

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

FACULTE : Technologie

DEPARTEMENT : Génie Mécanique

N° :



DOMAINE : Sciences et Technologie

FILIERE : Génie Mécanique

OPTION : Construction Mécanique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Par: AGAGUENI Hassane

Intitulé

**Contribution à l'étude de la programmation
de CNC avec MASTERCAM et simulation
sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D**

Soutenu Devant le jury composé de:

ZAOUI Moussa	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
AMROUNE Salah	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
FARSI Chouki	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur
BOUDILMI Aissa	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail,

A la mémoire de mon père.

A ma mère et ma femme pour leurs soutiens et leurs encouragements.

*Et une spéciale dédicace à mes très chers enfants
«TAMIM et RIFKA ».*

*Ainsi que toute ma famille et la grande famille
« AGAGUENI ».*

*Egalement, à tous qui m'ont aidé à la création de
ce mémoire.*

AGAGUENI Hassane.

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude à "Allah" tout puissant qui m'a donné la volonté, la santé, et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Tout d'abord, je tiens à remercier Mr: AMROUNE SALAH, enseignant au département de génie mécanique à l'université de M'sila. En tant que Directeur de mémoire, qui a accepté de m'accompagner durant toute l'année sur l'élaboration de mon mémoire. Son expertise, son expérience, ces précieux conseils, son écoute et sa disponibilité.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et de l'enrichir par leurs propositions et conseils.

Enfin, je souhaiterai adresser mes sincères remerciements également à tous les participants de près ou de loin à la réalisation de ce travail spécialement, mes chers amis Oucif Salah et Guerra Mohamed.

SOMMAIRE

DEDICAES		
REMERCEMENTS		
SOMMAIRE		
LISTE DES FIGURES		
LISTE DES ABREVEATIONS		
INTRODUCTION GENERALE		1

Chapitre I: Notions et généralités sur les MOCN

1	Introduction		2	
2	Les machines-outils à commande numérique (MOCN)		2	
2	1	Définition et structure physique d'une MOCN	2	
2	1	1	Partie commande	3
2	1	2	Partie opérative	3
2	2	Historique de la Commande Numérique		5
2	3	Evolution des MOCN		8
2	4	Classification des MOCN		10
2	4	1	Classification selon la nature de déplacement	10
2	4	2	Classification selon le mode de fonctionnement de la partie opérative	10
2	4	3	Classification selon le nombre d'axes de la partie opérative	13
2	5	Caractéristiques d'une MOCN		15
2	5	1	Caractéristiques mécaniques	15
2	5	2	Caractéristiques du système de commande des déplacements	16
2	6	Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN		19
2	7	Avantages et inconvénients liés aux MOCN		21
2	8	Système d'axes et origines		21
2	8	1	Système d'axes	21
2	8	1	Origine	24
3	Programmation des MOCN		26	
3	1	Programme d'usine APT et bande perforée		26
3	1	1	Programme d'usinage APT (Programmation Automatique par langage symbolique)	26
3	1	2	Programme d'usinage à l'aide de la bande perforée	27
3	2	Programme d'usinage G-code		28
3	2	1	Définition d'un programme	28
3	2	2	Elaboration d'un programme	29
3	2	3	Création d'un programme	30
3	2	4	Structure et contenu d'un programme CN	31
4	Conclusion		37	

Chapitre II: CFAO d'une pièce prismatique sur MasterCAM

1	Introduction		38
2	Les systèmes CAO et FAO		38
2	1	Conception Assistée par Ordinateur (CAO)	38
2	1	1 Définition de la CAO	38
2	1	2 Développement de la CAO du 2D à 3D:	38
2	2	Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)	39
2	2	1 Définition de la FAO	39
2	2	2 Système FAO	39
2	2	3 Etapes pour l'utilisation d'un système FAO	41
2	2	4 Intégration entre la CAO et la FAO	42
3	Présentation de l'outil CFAO MasterCAM		43
3	1	Définition	43
3	2	Historique et caractéristiques	43
3	3	Différentes stratégies d'usinage pour Mastercam	44
4	Géométrie 2D et 3D de la pièce mécanique		45
5	CAO des géométries de la pièce prismatique		47
5	1	Lancement du logiciel MasterCam version 2018	47
5	2	La configuration sur MasterCAM version 2018	48
5	3	Création des rectangles	48
5	4	Création des cercles	50
5	5	Création des arcs de raccordements entre deux côtés d'un rectangle	51
5	6	Création des arcs de raccordements entre deux points	52
5	7	Suppression des côtés inutiles	52
5	8	Extrusion des différentes géométries de la pièce prismatique	54
5	8	1 Extrusion du rectangle	54
5	8	2 Extrusion du rectangle à coin arrondis	56
5	8	3 Extrusion du rectangle avec deux demi-cercles aux extrémités	57
5	8	4 Extrusion des cercles	57
6	FAO des géométries d'une pièce mécanique		58
6	1	Définition d'une stratégie d'usinage	58
6	2	Gamme d'usinage d'une pièce	58
6	3	Différentes stratégies d'usinage de notre pièce prismatique	60
6	3	1 Stratégie une (Face):	60
6	3	2 Stratégie deux (Drill)	64
6	3	3 Stratégie trois (Pocket - Zigzag)	65
6	3	4 Stratégie quatre (04) (Pocket - Constant Overlap Spiral)	65
6	4	Génération du programme CN d'usinage	67
7	Conclusion		69

**Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour
SINUMERIK 828D**

1	Introduction		72	
2	Présentation du logiciel SINUTRAIN		72	
2	1	Définition	72	
2	2	Avantages	72	
2	3	Vue d'ensemble	73	
2	4	Enregistrement et impression de programmes CN	74	
2	5	Liste de machines	74	
2	6	Système de contrôle SinuTrain operate 4.4	75	
2	7	Commandes	76	
3	Présentation du langage ShopMill		78	
3	1	Définition	78	
3	2	Avantages	78	
3	3	Fonctions optionnelles	79	
4	Présentation de la commande SINUMERIK 828D fraisage		80	
4	1	Définition	80	
4	2	Pupitres opérateur	81	
4	3	Tableaux de commande machine	82	
5	Réalisation de la pièce prismatique sous le SINUMERIK 828D		84	
5	1	Création d'un programme ShopMill	84	
5	2	Procédure	85	
6	Simulation du programme d'usinage		95	
6	1	Simulation du programme sur SinuTrain à partir du programme ShopMill	95	
6	1	1	A partir du programme crée manuellement à l'aide ShopMill	95
6	1	2	A partir du programme en G-code généré du MasterCAM (téléchargement)	95
6	2	Simulation du programme sur MasterCAM à partir du G-code	98	
7	Conclusion		100	

CONCLUSION GENERALE	101
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE I: Les principales fonctions	
ANNEXE II: Programme d'usinage en G-code de notre pièce prismatique	
ANNEXE III: Rapport de fiche d'installation	
RESUME	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I: Notions et généralités sur les MOCN		
Figure I.1	Structure d'une MOCN	02
Figure I.2	Eléments de la partie opérative	04
Figure I.3	Machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L (Université de M'sila)	04
Figure I.4	Partie commande (SINUMERIK 828D) de la machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L (Université de M'sila)	05
Figure I.5	Première machine-outil à commande numérique	06
Figure I.6	Centre de fraisage à 3 axes (parcours 3 axes)	09
Figure I.7	Centre de fraisage à 3+2 axes (parcours 3+2 axes)	09
Figure I.8	Centre de fraisage à 5 axes (parcours 5 axes)	10
Figure I.9	Déplacements point à point	11
Figure I.10	Déplacements par-axial	12
Figure I.11	Déplacements continu (contournage)	13
Figure I.12	Fraiseuses à commande numérique: (a) 3 axes et (b) 4 axes	14
Figure I.13	Caractéristiques des MCON	16
Figure I.14	Système de commande en boucle ouverte	17
Figure I.15	Système de commande en boucle fermée	18
Figure I.16	Système de commande adaptative	19
Figure I.17	Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation	19
Figure I.18	Centre d'usinage à 5 axes (TX , TY, TZ, T'W et RY)	22
Figure I.19	Sens positif des mouvements de rotation	23
Figure I.20	Axes de translations et de rotations	24
Figure I.21	Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et le fraisage	25
Figure I.22	Perforatrice de bande (télétype)	27
Figure I.23	Quelque affectations de combinaison de perforation dans le code ISO	28
Figure I.24	Comment élaborer un programme CN	29
Figure I.25	Programme: (a) Structure et (b) Format général des mots	32
Figure I.26	Mot définissant: (a) une dimension, adresse X (unité interne au mm) (b) une fonction, adresse G	33
Figure I.27	Format général des blocs	33
Figure I.28	Ecriture d'un bloc définissant: (a) un changement d'outil et l'appel de son correcteur (b) la mise en rotation de broche	34
Figure I.29	Ecriture d'un bloc définissant une trajectoire	34
Figure I.30	Programme ISO: (a) Structure, (b) Sauts et appels de sous programmes	35

CHAPITRE II: CFAO d'une pièce prismatique sur MasterCAM		
Figure II.1	Rôle du Préprocesseur dans un système FAO	39
Figure II.2	Rôle du processeur dans un système FAO	40
Figure II.3	Rôle du post processeur dans un système FAO	40
Figure II.4	Etapas pour utiliser un système FAO ou CFAO	42
Figure II.5	Usinage de poche horizontale en entrant	43
Figure II.6	Usinage de perçage	43
Figure II.7	Usinage de surfaçage	43
Figure II.8	Dessin de définition en 2D de la pièce prismatique	45
Figure II.9	Présentation en 3D de la pièce prismatique sous MasterCam	46
Figure II.10	Interface utilisateur MasterCam	47
Figure II.11	La barre de menu principal MasterCam	48
Figure II.12	Liste des commandes du menu FILE	48
Figure II.13	Menu WIREFRAME	49
Figure II.14	Création du rectangle extérieur (100 mm x 80 mm)	49
Figure II.15	Création des quatre (04) rectangles	49
Figure II.16	Création des quatre (04) cercles	50
Figure II.17	Création de les quatre (04) arcs de raccordements de rayon 5 mm entres les quatre côtés du rectangle (80 mm x 60 mm)	51
Figure II.18	Création de les deux (02) arcs de raccordements de rayon 5 mm entres les deux côtés latéraux du rectangle (80 mm x 60 mm)	52
Figure II.19	Sélection de toutes les côtés inutiles	53
Figure II.20	Vue de de dessus de la pièce prismatique en 2D	53
Figure II.21	Vue de dessous sur le plan (XY)	55
Figure II.22	La barre des onglets	55
Figure II.23	Menu Chaining	55
Figure II.24	Orientation de la flèche bleu vers le haut du rectangle	56
Figure II.25	Extrusion du rectangle (100 mm x 80 mm)	56
Figure II.26	CAO d'une pièce prismatique	57
Figure II.27	Exemple de quelques stratégies d'usinage disponibles dans MasterCAM	58
Figure II.28	Gamme d'usinage typique	59
Figure II.29	Menu Toolpaths	60
Figure II.30	Saisie des paramètres du brut	61
Figure II.31	Présentation de la stratégie Facing	62
Figure II.32	Présentation menu Tool List Filter Facing	63
Figure II.33	Présentation menu Linking Parameters Facing	63
Figure II.34	Présentation menu Drill Point Selection	64
Figure II.35	Présentation menu Break Through	66
Figure II.36	Présentation des cinq stratégie d'usinage ensemble	67
Figure II.37	Présentation du menu Post processing	67
Figure II.38	Programme d'usinage en G-code de la FAO	68

CHAPITRE III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D		
Figure III.1	Présentation du logiciel SINUTRAIN	73
Figure III.2	Liste de machines	74
Figure III.3	Présentation du langage ShopMill	79
Figure III.4	Groupes fonctionnels	80
Figure III.5	Face avant du pupitre opérateur OP 010 [12]	81
Figure III.6	Face avant du pupitre opérateur de la machine CNC.....	81
Figure III.7	Vue d'ensemble du tableau de commande machine	83
Figure III.8	Vue d'ensemble du tableau de commande machine CNC 3 axes de type ...	83
Figure III.9	Dessin d'atelier d'une pièce prismatique	84
Figure III.10	Pièce prismatique	84
Figure III.11	Interface SinuTrain pour SINUMERIK 828D (Image de base)	85
Figure III.12	Menu principal	86
Figure III.13	Gestionnaire de programmes	87
Figure III.14	Menu Nouvelle pièce	88
Figure III.15	Création du type de programme et le nom de la gamme d'usinage	88
Figure III.16	Menu En-tête du programme	89
Figure III.17	Saisie des paramètres de la pièce	90
Figure III.18	En-tête de programme Exemple - Editeur pas-à-pas	90
Figure III.19	Liste des outils	92
Figure III.20	Surfaçage de poche rectiligne	93
Figure III.21	Rainurage rectiligne	93
Figure III.22	Gamme d'usinage du programme ShopMill	94
Figure III.23	Menu PROGRAM MANAGER	96
Figure III.24	Configuration Sinutrain / fichier	96
Figure III.25	Lecture et affichage le programme en G-code sur l'écran	97
Figure III.26	Interface SinuTrain avant simulation	97
Figure III.27	Interface SinuTrain après simulation	98
Figure III.28	Interface MasterCAM avant simulation	98
Figure III.29	Interface MasterCAM après simulation	99

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I: Notions et généralités sur les MOCN		
Tableau I.1	Historique de la commande numérique	07
Tableau I.2	Classification des MOCN suivant le nombre d'axe	15
Tableau I.3	Les avantages et les inconvénients d'une MOCN	21
Tableau I.4	Particularité des axes principaux linéaires	23
Tableau I.5	Axes des différents mouvements possibles	24
Tableau I.6	Point utilisées dans des MOCN	25
CHAPITRE III: Simulation d'usinage de la pièce prismatique sur SSCNC (SINUMERIK 828D)		
Tableau III.1	Les commandes disponibles l'utilisation de SinuTrain	76-77

LISTE DES ABREVIATIONS

MO: Machine-Outil

MOCN: Machine-Outil à Commande Numérique.

CNMO: Commande Numérique des Machines-Outils

CAO: Conception Assisté par Ordinateur (**CAD:** Computer Aided Design).

FAO: Fabrication Assisté par Ordinateur (**CAM:** Computer Aided Manufacturing).

CFAO: Conception et Fabrication Assisté par Ordinateur (CAD/CAM).

PAO: Programmation Assistée par Ordinateur.

CNC: Computer Numerical Control (Commande Numérique par Calculateur).

CN: Commande Numérique.

DCN: Directeur de Commande Numérique

CIM : Computer Integrated Manufacturing

CAD: Computer Aided Design.

CAM: Computer Aided Manufacturing.

MIT: Massachusetts Institute of Technology

APT: Automatic Programed Tools

CIM: Computer Integrated Manufacturing

DNC: Direct Numerical Control

ISO: International Standard Organization

EIA: Electronic Industries Association.

EU: États-Unis

US: United States

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERAL

La machine-outil à commande numérique CNC ou Computer Numerical Control en anglais est une machine-outil dotée d'une commande numérique assurée par un ordinateur. De nos jours, elle est très utilisée dans le domaine de la fabrication mécanique.

Les machines-outils à commande numérique MOCN permettent d'augmenter la productivité tout en assurant une meilleure qualité des produits. De plus, avec le développement des logiciels de Conception et de Fabrication Assisté par Ordinateur CFAO (MasterCAM, SolidCAM, SolidWorks, CamWorks,...etc.) et des directeurs de commandes numériques DCN (SINUMERIK 828D de SIEMENS, FANUC, MITSUBISHI, FAGOR, ...etc.), ce qui provoque l'apparition de plusieurs commandes de programmation CN.

Dans ce contexte, ce travail a pour but de faire réaliser ou élaborer d'une pièce prismatique sous le logiciel de CFAO MasterCAM et de faire une simulation d'usinage en utilisant le logiciel de simulation SinuTrain pour SINUMERIK qui parmi ces machines on trouve SINUMERIK 828D ShoppMILL (Fraisage) de SIEMENS qui ressemble à notre machine CNC 3 axes de type F-VMC 510L qui est installé dans le hall technologique de notre université (Mohamed Boudiaf de M'sila). Ce logiciel (SINUMERIK 828D ShoppMILL) nous donne la possibilité de faire une simulation d'usinage d'une pièce prismatique de forme virtuelle. Application sur notre machine afin de faire son mise en marche réelle, cette opération est notre objective principale de ce mémoire, chose qui n'est pas faite auparavant à cause de l'absence du stabilisateur de tension électrique qui permet de régler la tension pour ne pas endommagé les composants électronique de la machine.

Cette étude comprend trois (03) chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation des machines outil à commande numérique MOCN et donne un aperçu général sur leurs technologies (définition, structure, ...etc.) ainsi que leurs programmations. Dans le second chapitre, on retrouve la CFAO d'une pièce prismatique sur MasterCAM à partir du dessin de définition jusqu'à la génération du programme d'usinage en G-code. Enfin le troisième chapitre aborde la simulation d'usinage sur le logiciel de simulation SinuTrain pour SINUMERIK permettant une visualisation virtuelle de la pièce telle qu'elle sera conçue lors de l'usinage tout en passant par les différentes étapes de programmation.

Chapitre I:

**Notions et généralités sur
les MOCN**

1. Introduction:

On dit une machine à commande numérique, appelée communément MOCN, si elle est capable de travailler suivant les instructions d'un programme CN. Ce programme soit construit manuellement soit généré par un système FAO à partir d'un fichier CAO (dans notre cas on va utiliser le logiciel CFAO MasterCAM).

Dans ce chapitre qui est divisé en deux parties, on va présenter un aperçu général sur les MOCN, citant leurs définition, historique, évolution, classification, structure, ainsi que le système d'axes et repères dans la première partie et la programmation de ces machines en deuxième partie.

2. Les machines-outils à commande numérique (MOCN):

2.1. Définition et structure physique d'une MOCN:

Une machine-outil à commande numérique (MOCN, ou simplement CN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour Computer Numerical Command, francisé en « commande numérique par ordinateur ». [1]

- Les machines à commande numérique (MOCN) sont des machines partiellement ou totalement automatisées.
- Les ordres de mouvement des différents organes sont donnés par programmation.
- En particulier, les positions successives de l'outil par rapport à la pièce sont exprimées sous forme numérique.

Elle est composée de deux principales parties totalement différentes, une partie commande (DCN: directeur de commande numérique), et une partie opérative comprenant la structure de la machine-outil (porte-outil, outil, une table support pièce, moteurs électriques, capteurs, ...etc), la matière d'œuvre est la pièce (**Figure I.1**).

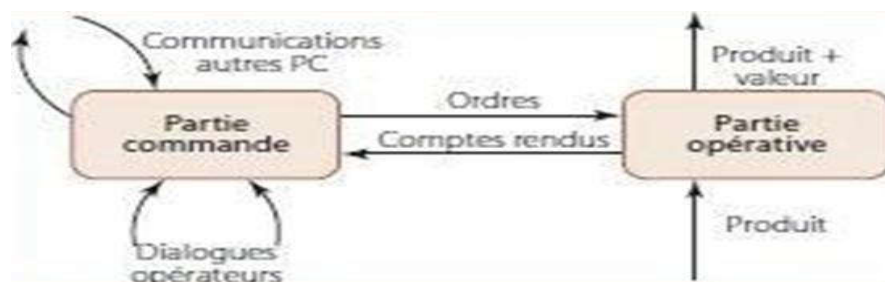


Figure I.1: Structure d'une MOCN

2.1.1. Partie commande:

Différente d'une machine conventionnelle et constituée d'une armoire dans laquelle on trouve:

- ✓ Le pupitre permettant de rentrer les commandes à l'aide d'un clavier (**Figure I.4**);
- ✓ Le lecteur de données (ce lecteur peut être une option lors de l'achat de la machine);
- ✓ La sortie RS 232 pour les liaisons avec les Périphériques externes;
- ✓ L'écran de visualisation de toutes les données enregistrées;
- ✓ Le calculateur;
- ✓ les cartes électroniques (commandes d'axes, mémoire, ...etc.).

2.1.1. Partie opérative:

Les mouvements sont commandés par des moteurs, presque comparable à une machine-outil classique, et elle comprend:

- ✓ Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol;
- ✓ Un bâti, un banc, dont les larges glissières sont en acier traité;
- ✓ Un support outil (broche, laser, jet d'eau ...);
- ✓ Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille. Le granit, ou le granit reconstitué, est utilisé pour la fabrication des tables et des bâtis des machines à mesurer tridimensionnelles des rectifieuses et de certains tours (**Figure I.2**);
- ✓ Des moteurs chargés de l'entraînement de la table (**Figure I.2**);
- ✓ Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe (**Figure I.2**);
- ✓ Une dynamo tachymétrie assurant la mesure de la vitesse de rotation (**Figure I.2**).

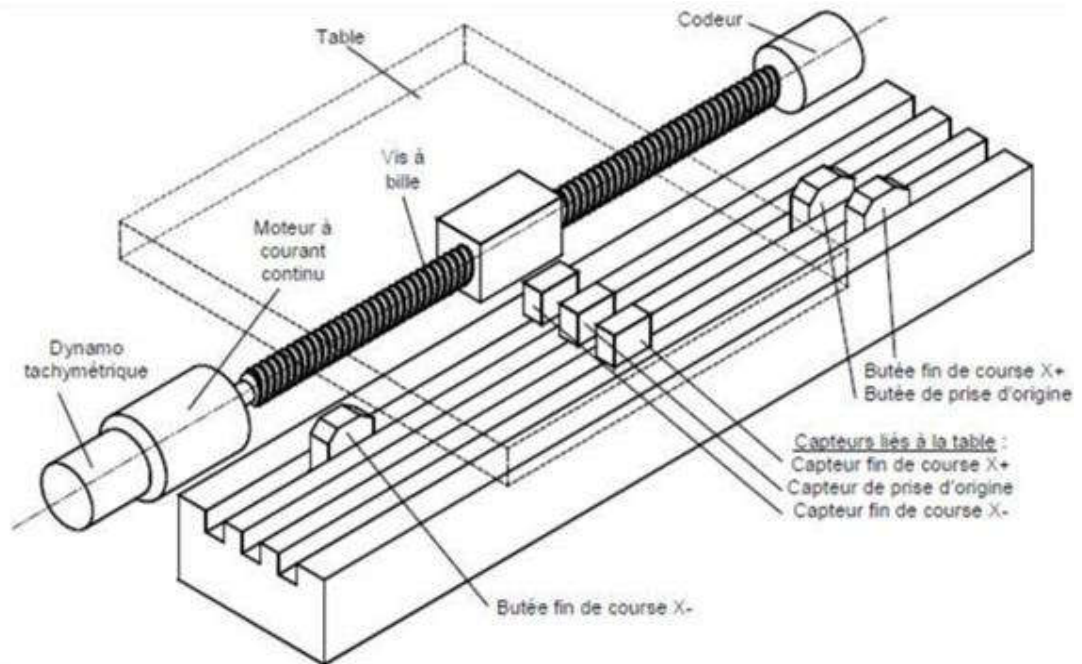


Figure I.2: Eléments de la partie opérative

La figure ci-dessous (**Figure I.3**) montre une machines à commande numérique de type F-VMC 510L (installée dans le hall technologique de l'université Mohamed Boudiaf de M'sila).



Figure I.3: Machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L (Université de M'sila)



Figure I.4: Partie commande (SINUMERIK 828D) de la machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L (Université de M'sila)

2.2. 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.

Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technology (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 :1), conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le Servomechanisms Laboratory du MIT (**Figure I.7**). L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de Numerical Control (NC). 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. [2]

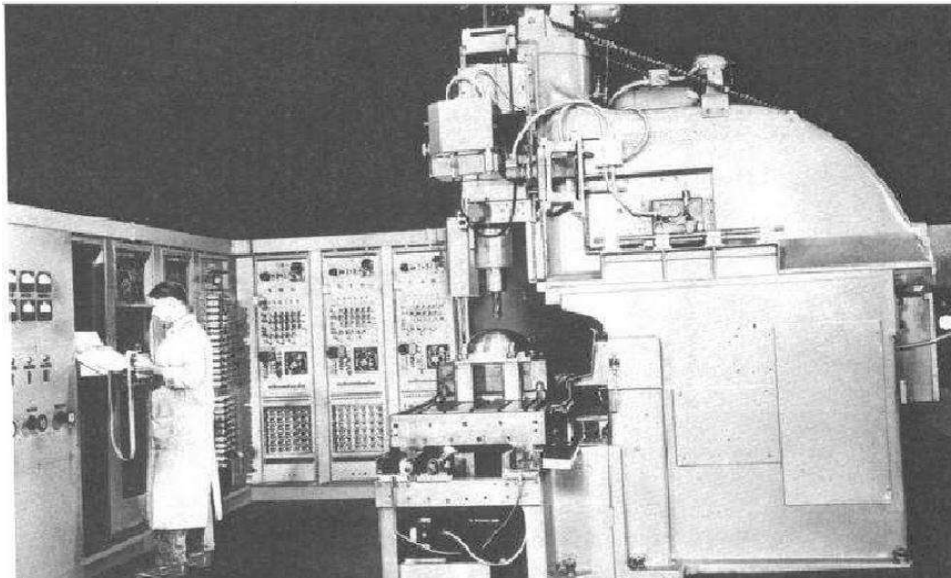


Figure I.5: Première machine-outil à commande numérique

Les différentes étapes de développement de la CN sont récapitulées dans le tableau au-dessous:

Tableau I.1: Historique de la commande numérique

DATE	EVENEMENT
1954	première machine NC produite industriellement (Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle),
1955	à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN,
1958	développement du premier langage de programmation symbolique,
1959	apparition de la NC en Europe (foire de Hanovre). Le MIT annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Programed Tools).
1960	apparition du système DNC (Direct Numerical Control)
1964	en France, la Télémécanique Électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstatic.
1965	premier changement d'outils automatique,
1969	première installation DNC,
1972	première machine CNC avec microprocesseur intégré,
1976	développement des CN à microprocesseurs.
1984	première machine CNC avec aide à la programmation graphique,
1986	les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : Computer Integrated Manufacturing).
1990	développement des CN à microprocesseurs 32 bits
1994	bouclage de la chaîne de processus entre CAO, FAO et CNC,
2000	des interfaces par Internet permettent un échange de données au niveau mondial et un diagnostic de défauts intelligent.

2.3. Evolution des MOCN:

L'évolution de la technique des commandes numériques et de l'usinage a commencé dans les années 50 au MIT (Massachusetts Institute of Technology, EU) quand l'armée américaine a demandé des pièces fabriquées dans la masse. Les premières machines ne pouvaient travailler alors qu'en 3 axes. Dans les années 60 puis 70, l'utilisation des techniques à circuits intégrés ont rendu les contrôleurs plus fiables et plus petits jusqu'à l'apparition des commandes numériques à micro-processeur. Du côté des contrôleurs, sont apparues dans les années 80 les interfaces utilisateurs graphiques suivies des premiers systèmes de FAO qui ont permis une productivité beaucoup plus élevée ainsi que l'usinage de surfaces complexes. Partant de l'usinage 3 axes, les systèmes de FAO sont passés à l'usinage 3+2 axes puis à l'usinage 5 axes simultanés. Les besoins actuels en automatisation pour une productivité plus élevée ont conduit à de fortes exigences envers les systèmes de FAO. Notamment en ce qui concerne l'usinage 5 axes, qui exige une collaboration étroite entre le système de FAO, et la cinématique de la machine et le contrôleur.

Les parcours 3 axes sont suffisants tant que la pièce n'est pas trop profonde par rapport au diamètre de l'outil. Si la pièce est très profonde et présente des cavités étroites, l'utilisation d'un simple parcours 3 axes n'est pas suffisante pour réaliser la finition complète de la pièce. En particulier si l'usinage se fait sur des matériaux durs, l'utilisation d'outils longs entraîne une mauvaise qualité des surfaces et des temps d'usinage longs. La **Figure I.6** illustre le cas pour un parcours 3 axes. Ici, la longueur minimale de l'outil doit être très importante pour atteindre toutes les zones verticales du parcours. Pour cette raison, la broche est inclinée de façon à permettre l'usinage d'une zone spécifique de la pièce avec un outil plus court. Le procédé consistant à définir un angle constant pour la broche est l'usinage 3+2 axes. Quand les pièces sont complexes, il est fréquent de devoir définir une douzaine de vues pour couvrir complètement toute la pièce. Les parcours obtenus doivent se recouvrir, ce qui entraîne non seulement un prolongement du temps d'usinage, mais également des difficultés dans le recouvrement parfait des différentes vues d'usinage. En même temps, le nombre d'engagements et de dégagements augmente considérablement, occasionnant des problèmes de qualité des surfaces et davantage de mouvements de l'outil. Enfin, ce type de programmation est particulièrement difficile pour l'utilisateur et souvent la somme de toutes les vues ne couvre pas toute la géométrie.

La **Figure I.7** montre quatre vues de la pièce. Il reste toutefois une zone non couverte au centre de la pièce. Il faudrait des vues supplémentaires pour cette zone où celle-ci doit être érodée. En résumé, il est clair qu'il est possible d'usiner la pièce avec un outil plus court, mais à un prix plus élevé. Il faut définir de nombreuses vues qui se recouvrent, ce qui occasionnent des problèmes de qualité des surfaces en raison du nombre plus élevé d'engagements et de raccords machine. La programmation prend du temps, nécessite une intervention manuelle et est source d'erreurs très court, il n'est pas nécessaire de générer des vues qui se recouvrent, la probabilité d'oublier une zone est beaucoup plus faible et l'usinage peut s'effectuer en continu sans engagement ni dégagement supplémentaires (**Figure I.8**). [3]

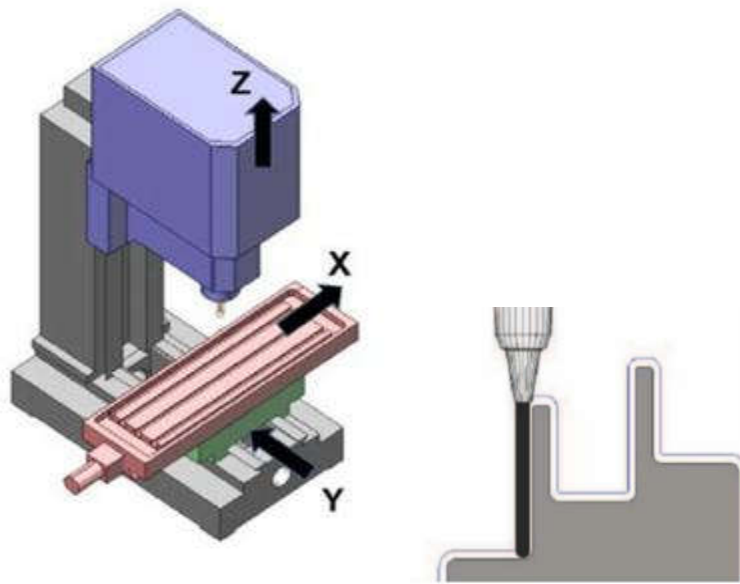


Figure I.6: Centre de fraisage à 3 axes (parcours 3 axes)

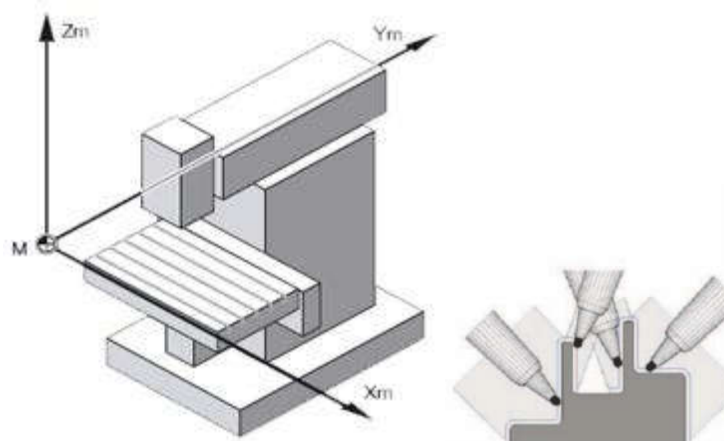


Figure I.7: Centre de fraisage à 3+2 axes (parcours 3+2 axes)

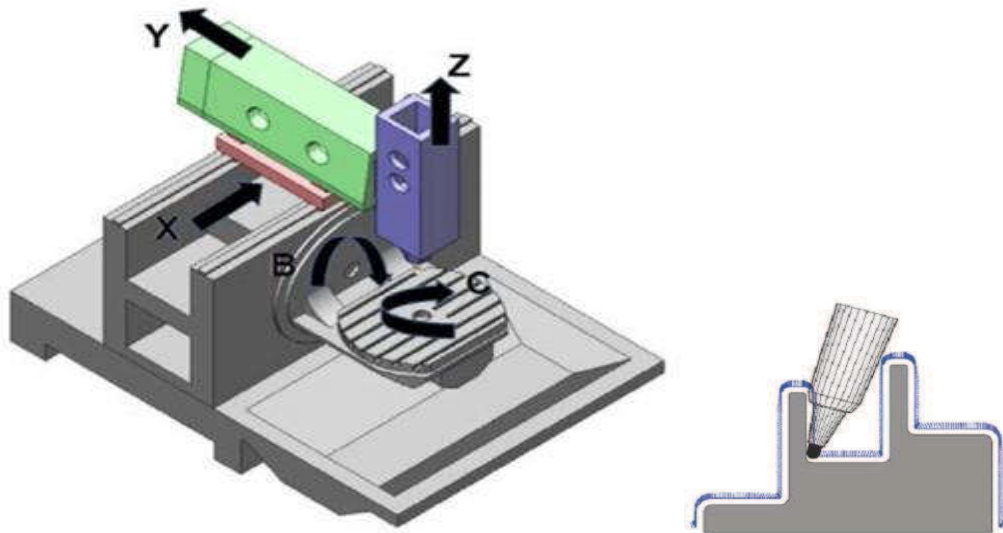


Figure I.8: Centre de fraisage à 5 axes (parcours 5 axes)

2.4. Classification des MOCN:

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

- la nature de déplacement;
- le mode de fonctionnement de la partie opérative;
- le nombre d'axes de la partie opérative;

2.4.1. Classification selon la nature de déplacement:

Le classement des machines est nécessaire car il aide au choix de machines, lors d'étude de gammes de fabrication. Traditionnellement, on a classé les machines en fonction des formes de surfaces à réaliser: cylindriques / parallélépipédiques, tournage / fraisage. Cette classification est remise en cause, car la commande numérique et l'adaptation des structures de machine cassent le lien entre les deux couples. [4]

2.4.2. Classification selon le mode de fonctionnement de la partie opérative:

La définition des positions successives de l'outil par rapport à la pièce sera toujours schématisée par un déplacement d'outil et ce quel que soit le type de machine.

Par exemple en fraisage, on définit les déplacements successifs de l'outil par rapport à la pièce considérée comme immobile.

Selon le mode de fonctionnement de la partie opérative on peut classer les MOCN en trois catégories:

2.4.2.1. Machines à déplacements point à point:

Elles sont destinées essentiellement aux travaux de pointage, de perçage et d'alésage.

❖ Application:

Soit une pièce (**Figure I.9**) placée sur une processus à chariots croisés.

Plaçons nous dans l'hypothèse où le trou (A') vient d'être percé et on veut percer (B). (X) et (Y) représentent les axes des déplacements des chariots et (O) la projection de l'axe broche sur la table. Le problème consiste à amener le point B sous le point (O) soit en provoquant le déplacement:

- du chariot longitudinal (X) jusqu'au moment où le point (B) sera sur l'axe OY puis du chariot transversal (Y) jusqu'au moment où les points (B) et (O) seront confondus (**Figure I.9.a**);
- du chariot transversal (Y) puis du chariot longitudinal (X) [c'est la situation réciproque];
- simultané des deux chariots. Dans ce cas, le trajectoire suivie au départ sera sensiblement égale à 45° . Quand un chariot a atteint sa position, il s'arrête (**Figure I.9.b**).

Pour les travaux de type pointage, perçage, ...etc., peu importe la trajectoire suivie, seul compte le positionnement exact du point B sur le point O. L'outil ne travaille pas avant que la mise en position soit terminée.

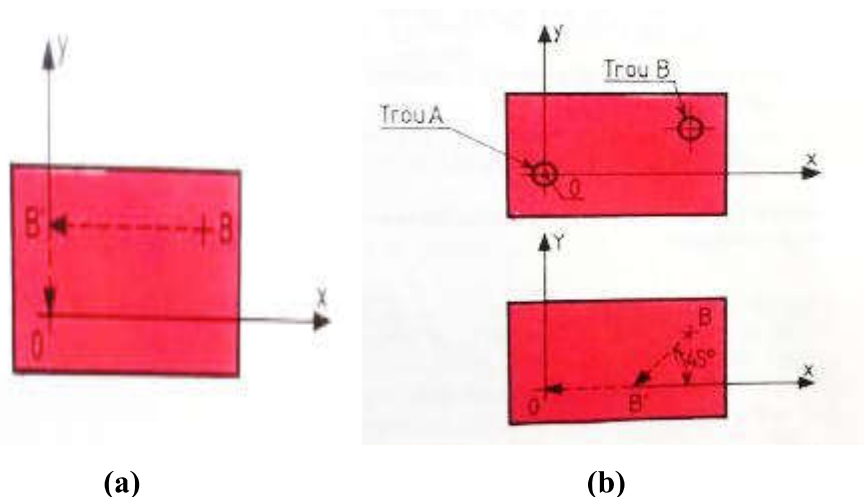


Figure I.9: Déplacements point à point

2.4.2.2. Machines à déplacements par-axiale:

Déplacements parallèle aux axes XYZ de la fraiseuse.

❖ Application

Soit une pièce placée sur une table de fraiseuse. Pour fraiser les deux épaulements l'outil doit suivre une trajectoire parallèle au profil à obtenir (**Figure I.10**).

❖ Analyse du cycle

1. amener la fraise en position «1» de travail (mouvements rapide, trajectoire (1));
2. provoquer l'avance « travail » suivant (Y) jusqu'en «2» (trajectoire (2));
3. amener l'outil de «2» à «3» (mouvements rapide, trajectoire (3));
4. provoquer l'avance « travail » suivant (Y) jusqu'en «4» (trajectoire (4));
5. amener la fraise en position de départ cycle (mouvements rapide, trajectoire (5)).

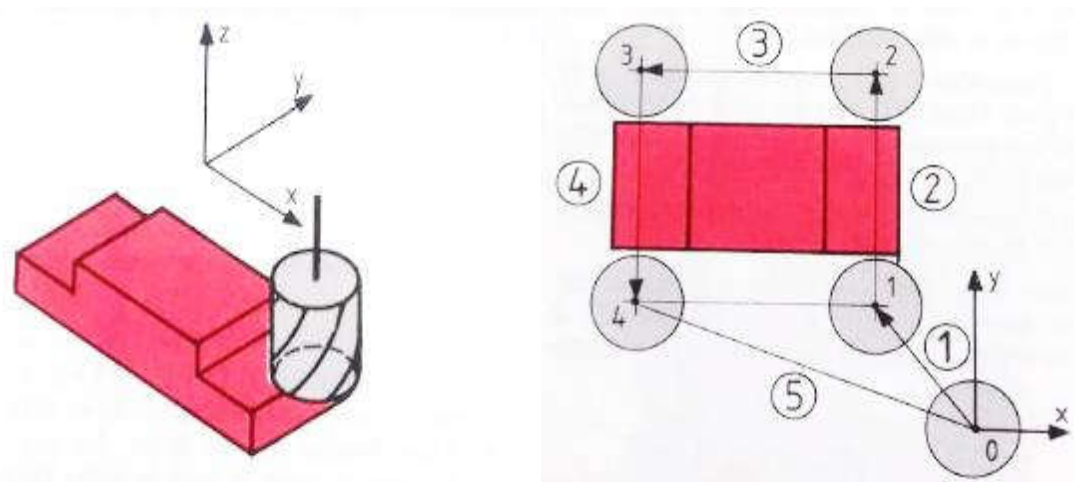


Figure I.10: Déplacements par-axial

2.4.2.3. Machines à déplacements de contournage:

On les appelle également machines de contournage. Ce sont les répandues. Elle permettent à l'outil de décrire des trajectoires (arc de cercle, droite inclinée, etc.) par composition de deux mouvements (exemple: X et Y) dont les déplacements sont synchronisés. Le directeur de commande numérique possède un calculateur qui fournit, pour les formes simples, les coordonnées de points rapprochés du profil à exécuter (arc de cercle, droite inclinée). [5]

❖ Application

Réalisation d'une rainure comprenant une partie circulaire de a à b (R, α) et une pente de b à c (β) (**Figure I.11.a**).

Pour la trajectoire a-b, le calculateur définit pour chaque déplacement $\Delta x = 0.001$ mm, le déplacement Δy correspondant. Il effectue le même travail pour la trajectoire b-c ($\Delta y = 0.01 \cdot \text{tg } \beta$) et il asservit les déplacements des chariots en conséquence.

Le premier calcul est une interpolation circulaire (**Figure I.11.b**) le second calcul est une interpolation linéaire (**Figure I.11.c**).

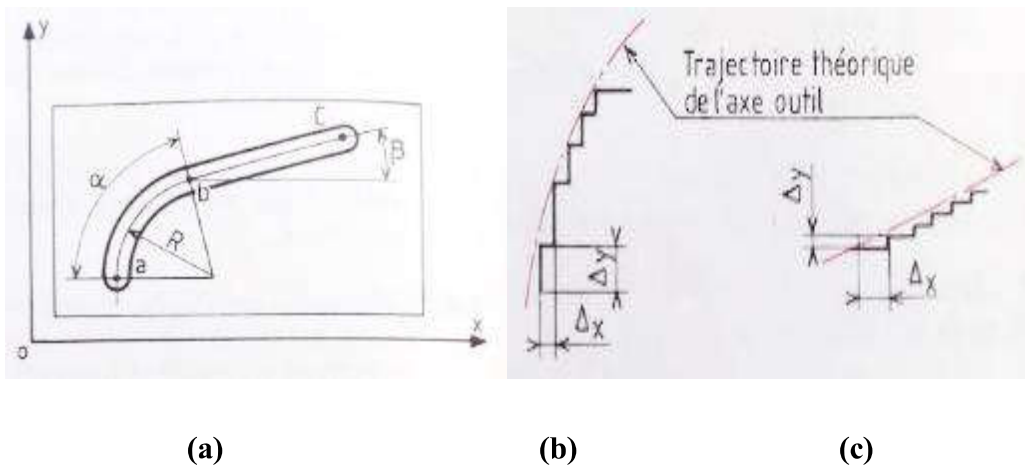


Figure I.11: Déplacements continu (contournage)

2.4.3. Classification selon le nombre d'axes de la partie opérative:

Les axes sont les degrés de mobilité des différents chariot de la machine. Ils sont repérés par des lettres affectées d'un signe (+) ou (-) pour indiquer le sens du déplacement (norme NF Z 68-020).

On peut caractériser une machine par le nombre d'axes qu'elle peut commander numériquement. A titre d'exemple, on prend deux fraiseuses de 3 axes et autre de 4 axes:

1. Fraiseuse 3 axes: les axes X, Y, Z sont commandés numériquement (**Figure I.12.a**);
2. Fraiseuse 4 axes: en plus des X, Y, Z, un plateau tournant commander numériquement assure la rotation des pièces (**Figure I.12.b**). Les axes sont: X longitudinal, Y transversal (ou vertical), Z parallèle et C rotation autour de l'axe Z

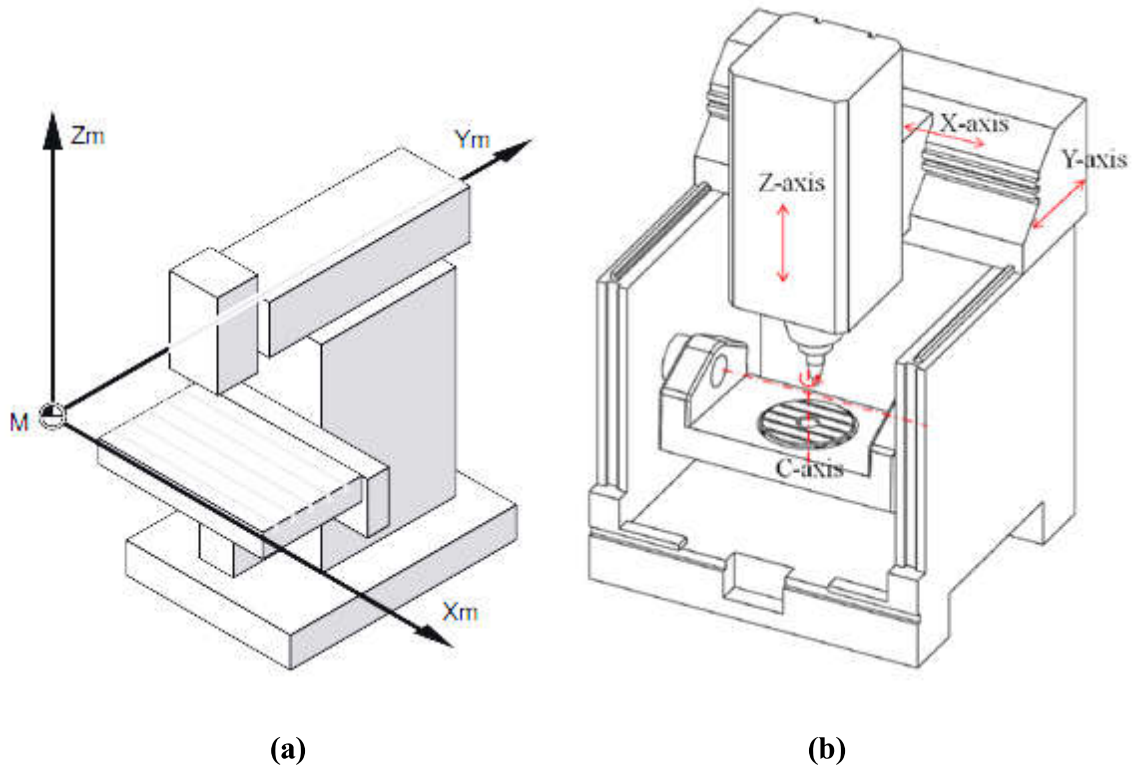


Figure I.12: Fraiseuses à commande numérique: (a) 3 axes et (b) 4 axes

On classe maintenant les MOCN par le nombre de mouvements élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce. **(Tableau I.2)** Seuls les axes sont décomptés. La mise en œuvre simultanée de plusieurs outils entraîne l'augmentation du nombre d'axes.

Cette classification ne permet pas d'associer directement un type de forme usinable à une classe de machine, car elle ne reflète pas la cinématique de l'outil. Par exemple un tour à cinq axes ne permet pas de faire des pièces différentes par rapport à un tour à trois axes.

Tableau I.2 : Classification des MOCN suivant le nombre d'axe [6]

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

2.5. Caractéristiques d'une MOCN:

2.5.1. Caractéristiques mécaniques:

La précision de la machine dépend de sa rigidité et des solutions techniques employées pour faciliter les déplacements.

- Commande des déplacements de chariots par vis à circulation de billes (suppression des jeux entre la vis et l'écrou). Cette solution permet d'envisager en fraisage, indifféremment le travail en concordance ou en position.

- Guidage des chariots par glissières à galets (jeux pratiquement nuls), la transformation du glissement en roulement permet d'assurer des déplacements de très faibles valeurs (0.01 mm).

Ces solutions garantissent en outre une grande longévité de la précision des systèmes de guidage.

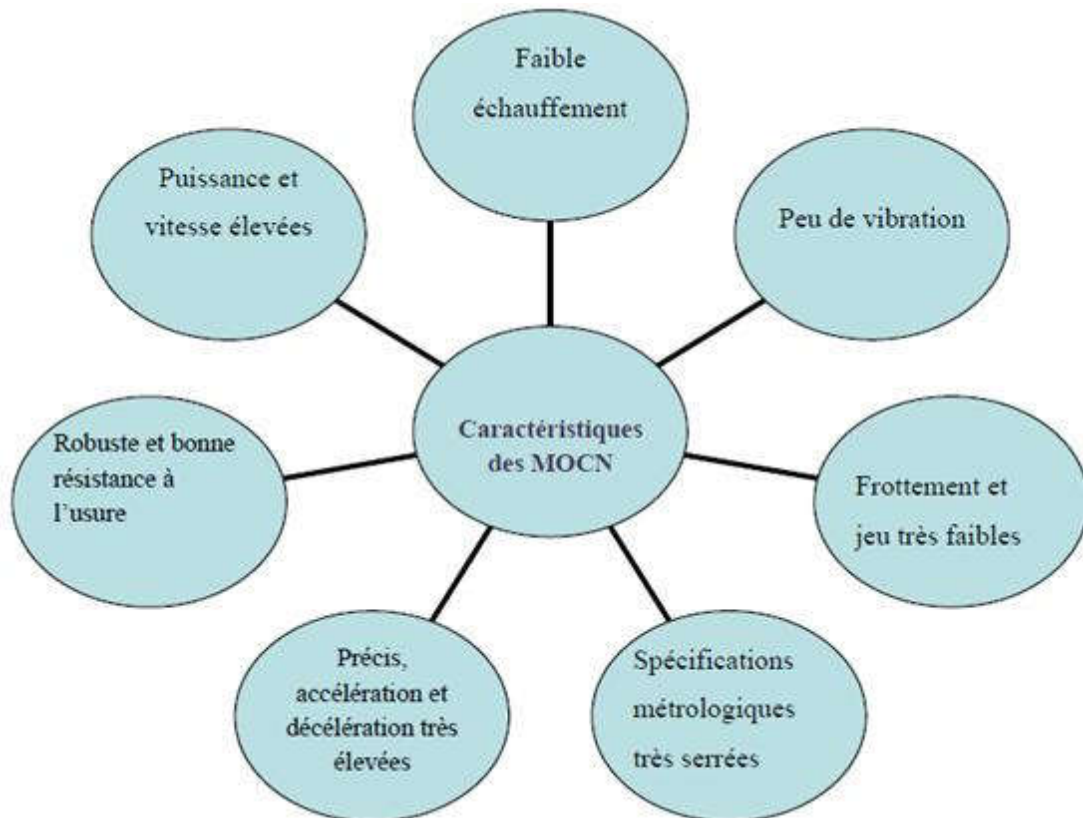


Figure I.13: Caractéristiques des MCON

2.5.2. Caractéristiques du système de commande des déplacements:

2.5.2.1. Commande en boucle ouverte:

En boucle ouverte le système assure le déplacement de chariot mais ne le contrôle pas. Les ordres sont donnés au « moteur pas à pas » sous forme d'impulsions.

Le DCN transforme les valeurs de consigne données par la bande ou le clavier à touche en impulsions qui sont dirigées vers le moteur pas à pas qui provoque la rotation de la vis. Par exemple, une impulsion provoque une rotation de $1,5^\circ$ du moteur qui lui-même entraîne une translation de 0.01 mm du chariot. Si le déplacement souhaité est de: 5.25 mm, le moteur délivrer: $5,25 / 0,01 = 525$ impulsions.

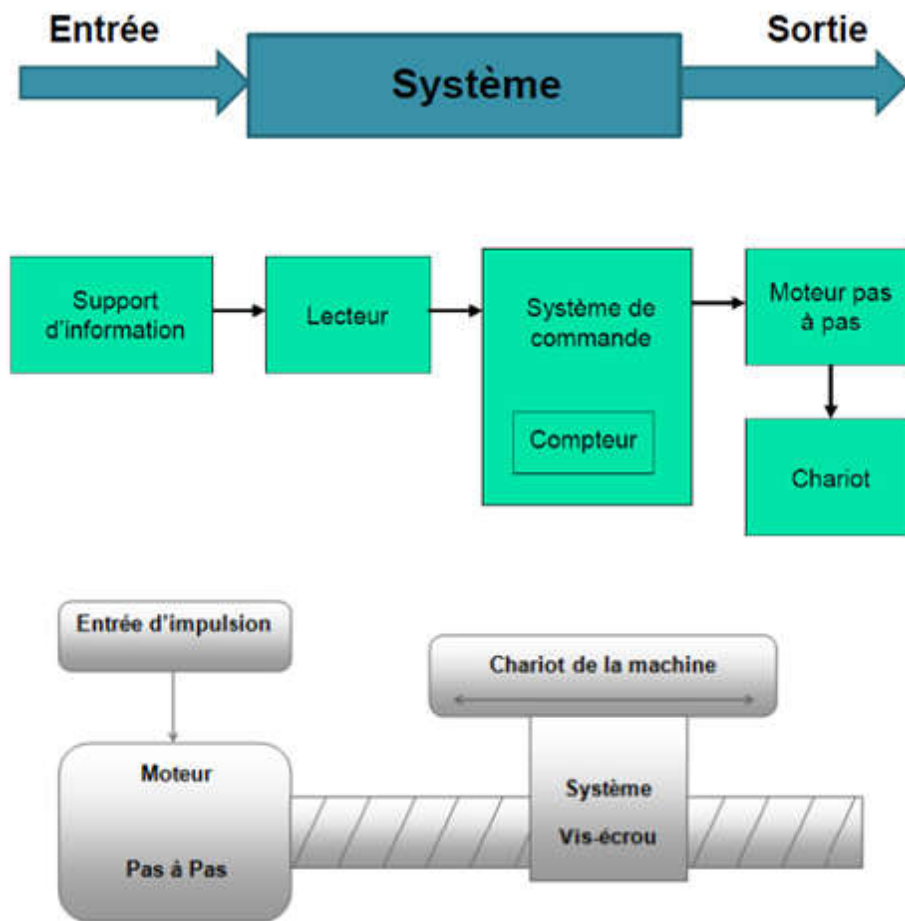


Figure I.14: Système de commande en boucle ouverte

2.5.2.2. Commande en boucle fermée:

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée dans le programme et la sortie (position mesurée). Les fonctions commande et contrôle des déplacements sont dissociées.

Pour chaque chariot:

- Un moteur a vitesse variable assure la rotation de la vis de commande;
 - Un capteur de position contrôle sa position suivant l'une des deux solutions:
 - ✓ Le capteur de position est monté directement en bout de vis. Il contrôle les fractions de tours et les tours par mesure indirecte.
- C'est le système le plus utilisé, il est économique, fiable et suffisamment précis pour contrôler des déplacements avec une précision de 0.01 mm (fig....).

- ✓ Le capteur de position est fixé sur la partie mobile et contrôle les déplacements par rapport à une règle étalon finement graduée solidaire du bâti (fixe). On a une mesure directe des déplacements (fig....).

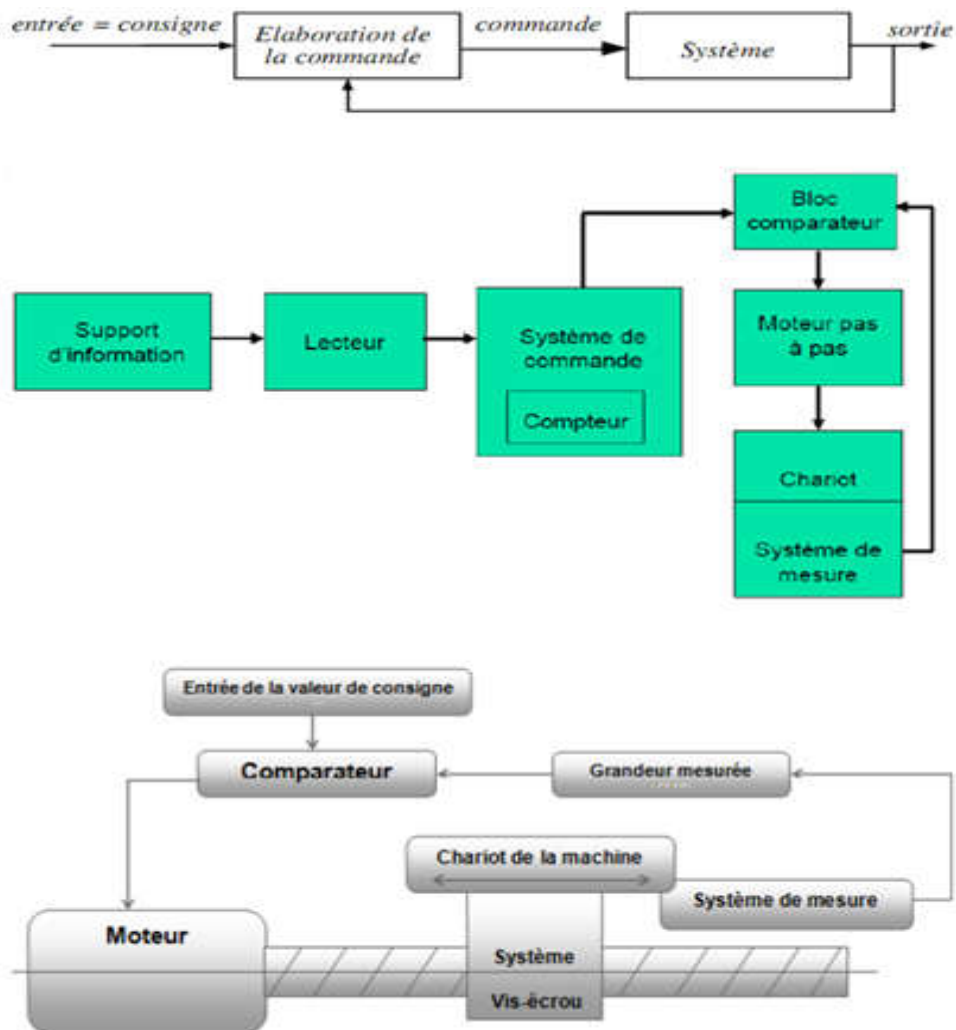


Figure I.15: Système de commande en boucle fermée

2.5.2.3. Commande adaptative:

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe. Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité (Figure I.16). [4]

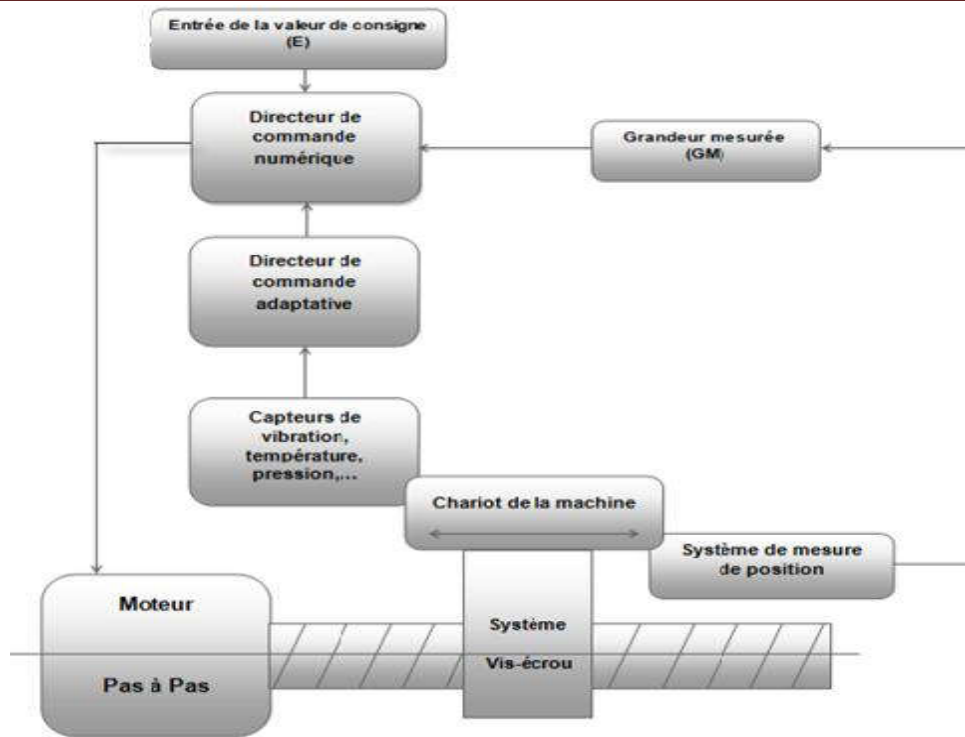


Figure I.16: Système de commande adaptative

2.6. Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN :

Si l'on compare une MO conventionnelle et une MOCN, on peut considérer que le temps copeau est assez voisin sur les deux types de machines. En revanche, la productivité comparée de diverses catégories de machines de niveaux d'automatisation différents, c'est-à-dire ce même temps copeau ramené au temps effectif de production, est très différent compte tenu de la réduction importante des temps non productifs que l'on enregistre sur les machines à fort taux d'automatisation (Figure I.17).

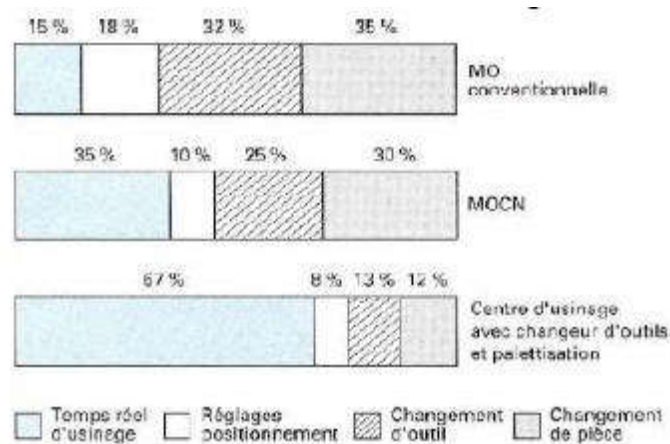


Figure I.17: Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation [2]

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

- ✓ 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.

2.7. Avantages et inconvénients liés aux MOCN:

Le tableau au-dessous présentent les avantages et les inconvénients d'une MOCN.

Tableau I.03: Les avantages et les inconvénients d'une MOCN [2]

AVANTAGES	INCONVINIENTS
<p>1. Permet la réalisation d'usinages impossibles sur les machines conventionnelles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surfaces complexes; • Très grand nombre d'opérations; <p>2. Favorise les très petites séries et les pièces unitaires ; Prototypes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pièces en cours de conception ou modifiées fréquemment ; • Production à la demande ou juste à temps (réduction de la taille des lots); <p>3. Précision:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Machines de meilleure qualité en général ; • Moins de montage, démontage de la pièce ; <p>4. Fidélité de reproduction:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Répétabilité (pas d'opérateur humain dans la chaîne de pilotage). 	<p>1. Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des MOCN ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investissement initial plus important. • Rentabilité pas immédiate. <p>2. Amortissement impose souvent un travail en 2 ou 3 équipes;</p> <p>3. Programmation et électronique demandant de la qualification ;</p> <p>4. Fausse fragilité de l'électronique ;</p> <p>5. Équipement annexe: ordinateur, logiciel, banc de réglage des outils, changeur d'outils;</p> <p>6. Changement dans les méthodes de préparation et de fabrication ;</p> <p>7. Réticence du personnel au changement</p>

2.8. Système d'axes et origines:

2.8.1. Système d'axes:

Une MOCN est capable de commander ses propres mouvements suivant plusieurs axes et de mesurer avec précision les déplacements de ses organes: porte-pièce et/ou porte-outils. La machine est composée d'éléments mobiles indépendants pouvant être commandés individuellement, suivant leur propre direction. Les mouvements de base ainsi définis représentent les axes de la machine. Une machine est caractérisée par son nombre d'axes:

- 2 pour un tour,
- 3 pour une fraiseuse,
- 4 axes au moins pour un centre d'usinage.

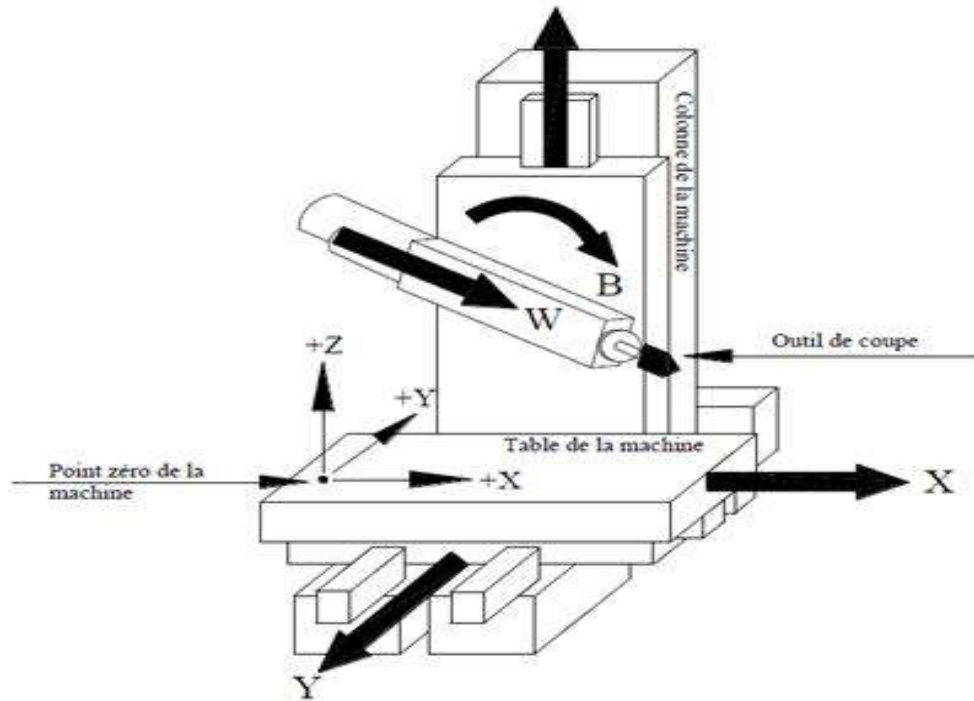


Figure I.18: Centre d'usinage à 5 axes (T_X , T_Y , T_Z , T'_W et R_Y)

On appelle axe, une direction de déplacement linéaire ou rotatif contrôlé en vitesse et en position.

D'après la norme, on suppose toujours que l'outil se déplace et que la pièce reste fixe. Les déplacements de l'outil ou du porte-pièce s'effectuent par combinaisons de translations et/ou de rotations. Chaque mouvement élémentaire (axe) est repéré par une lettre affectée du signe(+) ou(-) indiquant le sens du déplacement. Les translations primaires s'effectuent suivant les axes X, Y, Z formant ainsi le trièdre de référence. Les rotations primaires sont les trois rotations A, B, C autour de ces trois axes.

2.8.1.1. Les axes linéaires (translation):

Les axes principaux linéaires sont au nombre de trois ayant pour symbolisation:

- ✓ X Y Z quand l'outil se déplace.
- ✓ X' Y' Z' quand la pièce se déplace.

L'axe Z est parallèle à la broche principale (tour, fraiseuse) ou perpendiculaire à la table (raboteuse), l'axe X est celui définissant le plus grand déplacement et l'axe Y est celui pour le petit déplacement (**Figure I.20**).

Tableau I.04: Particularité des axes principaux linéaires

AXES	PARTICULARITES
Z ou Z'	Dans la majeure partie des cas, l'axe Z ou Z' est l'axe de la broche. Le sens positif de ces axes correspond à un accroissement des distances relatives porte pièce-outil.
X ou X'	Il est perpendiculaire à l'axe Z ou Z' et correspond à l'axe ayant le plus grand déplacement. Sur une fraiseuse : C'est généralement un axe // à la glissière longitudinale. Sur un tour : cet axe est radial
Y ou Y'	L'axe Y ou Y' forme avec l'axe (X et Z) ou (X' et Z') un trièdre de sens direct.

2.8.1.2. Les axes circulaires primaires:

A, B, C, désignent les axes circulaires, ils tournent respectivement autour des axes X, Y, Z. Le sens positif secondaire en positionnant la main droite tel que le pouce placé dans le sens positif du mouvement, les doigts repliés donnent le sens positif (Figure I.19 et Figure I.20).

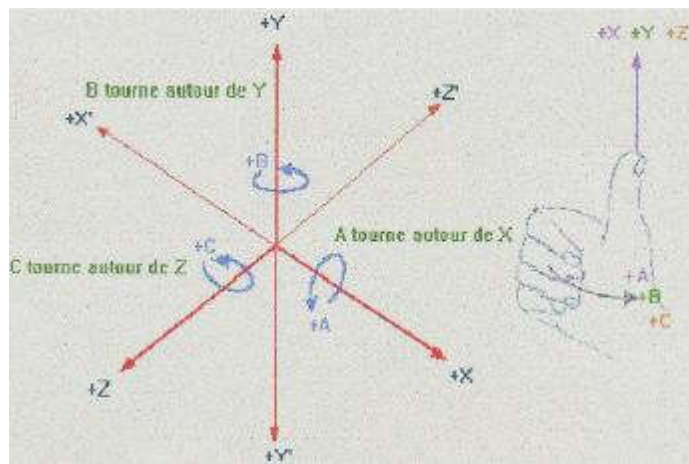


Figure I.19: Sens positif des mouvements de rotation

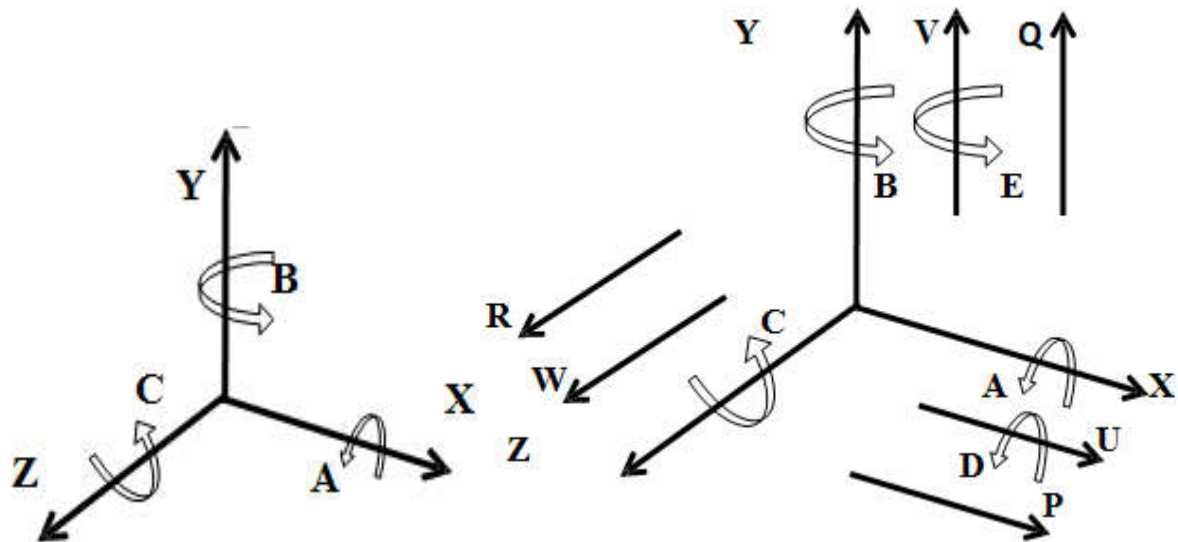


Figure I.20: Axes de translations et de rotations

Le tableau au-dessous (**Tableau I.5**) présentent les différents mouvements qui peuvent les possèdent une MOCN.

Tableau I.5: Axes des différents mouvements possibles

Translation			Rotation	
Primaire	Secondaire	Tertiaire	Primaire	Secondaire
X	U	P	A	D
Y	V	Q	B	E
Z	W	R	C	





2.8.2. Origine:

Le processeur CN calcule tous les déplacements par rapport au point d'origine mesure de la machine. A la mise sous tension le système ne connaît pas l'origine mesure, les courses mécaniques accessibles sur chacun des axes de la machine sont limitées par des butées fin de course mini et maxi.

Le système traite toujours les cotes repérées par rapport à une origine mesure quel que soit le mode de programmation choisi.

Le tableau ci-dessous résume les différentes origines des MOCN.

Tableau I.6: Point utilisées dans des MOCN

Points utilisés	Symbole	Définition
Origine machine M (OM)		C'est la référence des déplacements de la machine. C'est un point défini (sur chaque axe) par le constructeur qui permet de définir l'origine absolue de la machine. OM et om peuvent être confondues.
Origine mesure R (Om)		C'est le point de départ de toutes les mesures dans l'espace machine
Origine Programme OP		C'est le point de départ de toutes les cotes
Origine Pièce W (Op)		Origine de la mise en position (isostatique de la pièce)

2.8.2.2. Décalage de l'origine machine:

La position de point « M », l'origine machine, étant très éloignée de la pièce à usiner, ne convient pas en tant que point de départ de la programmation. Donc, il va falloir décaler l'origine machine vers un point qui facilite la programmation. Ce point est l'origine de la pièce.

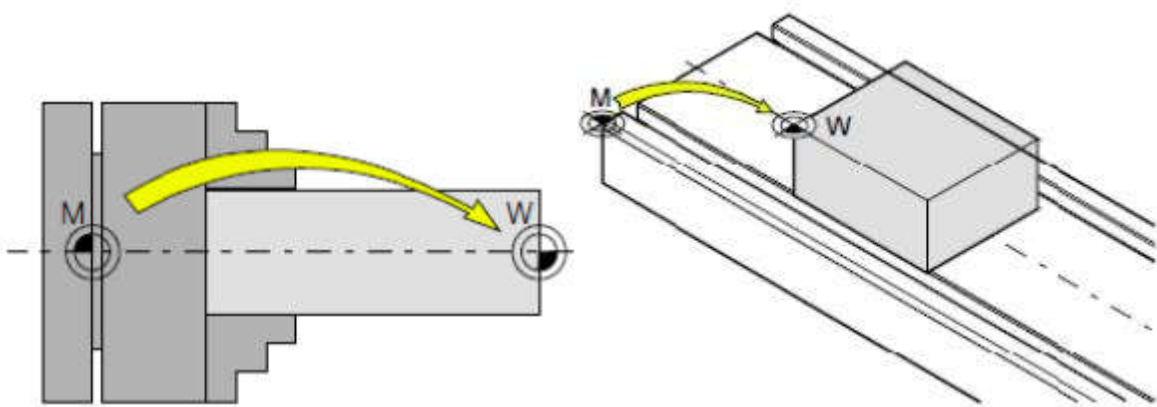


Figure I.21: Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et le fraisage

3. Programmation des MOCN:

La programmation (CN) permet de piloter des machines-outils à commande numérique MOCN. C'est le directeur de commande numérique (DCN) qui interprète les instructions, reçoit les informations des capteurs et agit (par l'intermédiaire d'un variateur électronique) sur les moteurs.

La programmation consiste à décrire les opérations d'usinage dans un langage codé (appelé code G) assimilable par le calculateur de la machine. C'est le langage de programmation des MOCN. Ce langage est normalisé (norme ISO 1056) où certains codes utilisés ont les mêmes fonctionnalités pour différents contrôleurs de machines-outils (SIEMENS, NUM, FANUC, FAGOR, ...etc.).

❖ Le langage ISO

À l'origine, le langage de programmation était le G-code, développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement normalisé par l'ISO en 1980 sous la référence RS274D/ (ISO 6983). Le langage ISO est encore énormément répandu surtout sur les petites Machines commandes numériques.

3.1.1. Programme d'usinage APT (Programmation Automatique par langage symbolique):

Les programmes CN un peu plus complexes sont généralement créés en utilisant un ordinateur et un langage d'aide à la programmation CN tel que APT (Automatic Programmed Tool).

❖ Le Système APT:

APT est le premier langage d'aide à la programmation CN. Il a été développé au MIT en 1955. C'est l'un des langages les plus utilisés dans l'industrie. Plusieurs autres langages dérivés de APT ont été développés comme NELAPT, EXAPT, UNIAPT, ADAPT et IFAPT. Des langages non dérivés de APT ont été aussi développés. Ils sont pourvus de fonctionnalités similaires à celle de APT. Parmi ces langages, on peut citer, GNC développé en Angleterre; ELAN développé en France; GTL développé en Italie; et COMPACT II développé aux USA. Les concepts utilisés dans ces systèmes sont généralement similaires à ceux de APT. Dans ce qui suit on portera notre intérêt sur le langage APT standard.

Deux composantes constituent le système APT : le processeur qui est le langage de base et le post-processeur. Le processeur prend comme entrée le programme source écrit par l'utilisateur et par une série de traitement vérifie les erreurs de syntaxe, de géométrie et de mouvement d'outil et le post processeur joue un rôle important dans le système APT d'aide à la programmation CN. Le processeur génère un fichier CLfile qui définit les positions de l'outil nécessaires aux opérations d'usinage. [7]

3.1.2. Programme d'usinage à l'aide de la bande perforée:

C'est le support d'information le plus utilisée à l'époque (fin des années 1970 et début des années 1980).

La bande en plastique ou carton a une largeur de « un pouce » (25.4 mm). Elle comporte huit (08) pistes réservées au codage et une réservées au contrôle de l'avance en « pas à pas » de la bande.

Les information relatives à l'usinage sont affichées ligne par ligne sous la forme de perforation réalisés sous le code ISO (international) NF 68-010 ou le code EIA (américain).

Les perforations sont réalisées sur une machine à écrire spéciale qui perfore la bande et frappe le listing. On l'appelle: « perforatrice de bande » ou « télétype » (**Figure I.28**).



Figure I.22: Perforatrice de bande (télétype) [5]

Les huit (08) pistes permettent de définir 2^8 (256) combinaisons de perforation. Elle ne sont pas toutes utilisées. La **Figure 29** indique quelques affectations de combinaison de perforation dans le code ISO.

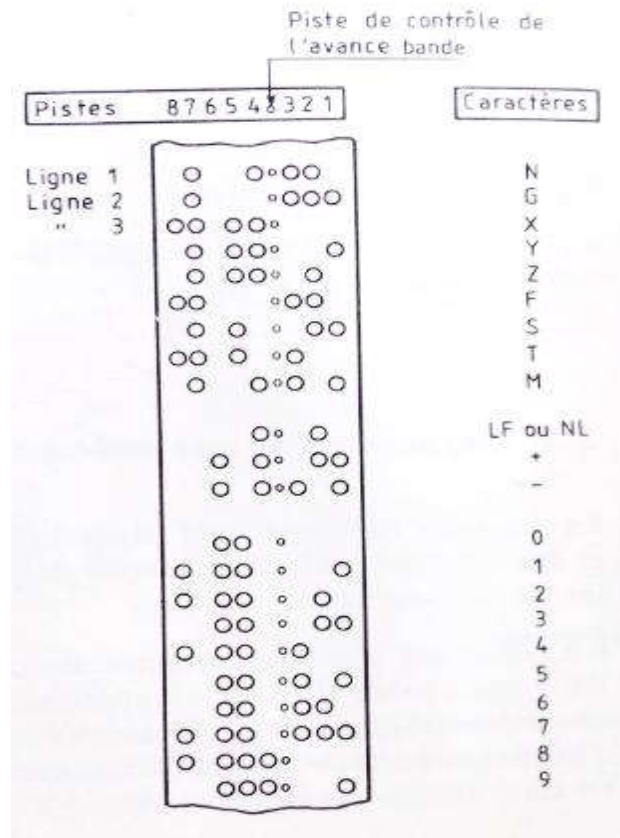


Figure I.23: Quelques affectations de combinaison de perforation dans le code ISO [5]

3.2. Programme d'usinage G-code:

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué.

3.2.1. Définition d'un programme:

Un programme est une suite d'instructions écrites dans un langage codé propre à la commande numérique (le plus utilisé est le code ISO).

La commande numérique interprète le programme pour commander un usinage sur la machine-outil. Les supports d'archivages de programmes les plus répandus sont la bande perforée et la disquette.

3.2.2. Elaboration d'un programme:

Le programme pièce peut être créé par programmation traditionnelle ou par l'intermédiaire d'un système CFAO (Figure I.30).

3.2.1.1. Programmation manuelle:

Elle est utilisée pour les pièces simples ne nécessitant pas de calcul de cotes compliqué.

3.2.1.2. Programmation assistée par ordinateur PAO:

Lorsque le nombre d'opérations est important, les profils à réaliser tourmentés, la rédaction du programme devient trop lourde. L'emploi d'un mini-ordinateur ayant en mémoire des programmes et des données relatives au calcul: du nombre de passes d'usinage, de définition de profil, ..etc., est très apprécié.

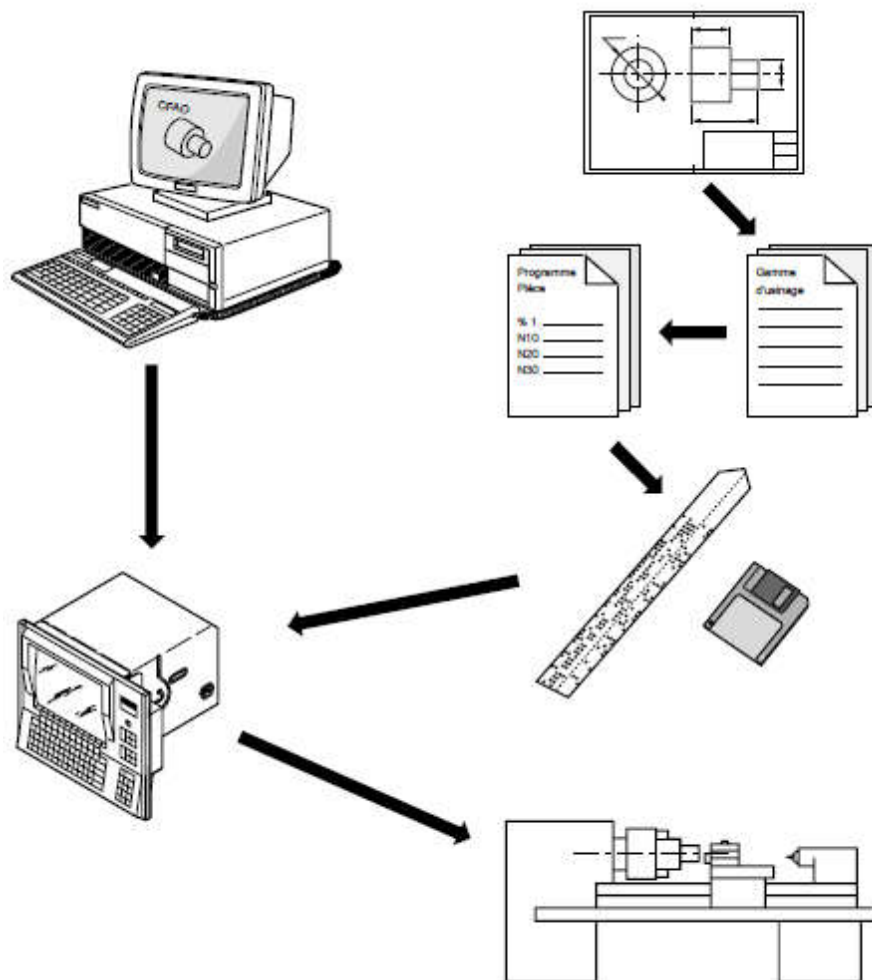


Figure I.24: Comment élaborer un programme CN

La création d'un programme est soumise à des règles de structure, syntaxe ou format.

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

Elles regroupent:

- Les données géométriques, qui permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue;
- Les instructions indiquant le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage, le choix de l'outil, ...etc.;
- Les données technologiques qui précisent les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage.

3.2.3. Création d'un programme:

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 terminé.

3.2.3.1. Préparer le dessin de la pièce:

- ✓ Définir l'origine de la pièce;
- ✓ Indiquer le système de coordonnées;
- ✓ Eventuellement calculer les coordonnées manquantes.

3.2.3.2. Définir le déroulement des opérations d'usinage:

- ✓ Quels sont les outils à mettre en œuvre, à quel moment et pour le traitement de quel contour ?
- ✓ Dans quel ordre les différents éléments de la pièce devront-ils être usinés ?
- ✓ Quels sont les éléments qui se répètent et qui devraient figurer dans un sous-programme ?
- ✓ Est-ce que d'autres programmes pièce ou sous-programmes contiennent des contours susceptibles d'être utilisés pour la pièce actuelle ?

3.2.3.3. Définir la gamme de fabrication:

Définir pas à pas toutes les phases d'opération de la machine, par exemple:

- ✓ Déplacements à vitesse rapide pour le positionnement;
- ✓ Changement d'outil;
- ✓ Définition du plan d'usinage;
- ✓ Dégagement pour les mesures;
- ✓ Mise en marche / arrêt de la broche, de l'arrosage;
- ✓ Appel des données d'outil;
- ✓ Approche de l'outil;
- ✓ Correction de trajectoire;
- ✓ Accostage du contour;
- ✓ Retrait de l'outil.

3.2.3.4. Traduire les opérations dans le langage de programmation:

- ✓ Transcrire chaque opération sous la forme d'un bloc CN (ou de blocs CN).

3.2.3.5. Regrouper toutes les opérations en un programme:

Le regroupement des opérations doit obéir aux règles de programmation.

3.2.4. Structure et contenu d'un programme CN:

Un programme CN se compose d'une suite de blocs CN. Chaque bloc contient les données pour l'exécution d'une opération d'usinage. Il est divisé en 3 domaines : En-tête de programme, corps de programme et fin de programme. Ensemble, ces domaines constituent la gamme d'usinage.

Un programme pièce CNC est une liste d'instructions et données à transmettre au système de commande.

La création d'un programme composé de blocs et de mots est soumise à des règles de structure, syntaxe ou format.

La programmation est à format variable et adresses suivant les codes et normes ISO et EIA.

La programmation est possible dans les deux code:

- ISO (International Organization for Standardization). Normes ISO 6983-1 (NF Z 68-035), 6983-2 (NF Z 68-036) et 6983-3 (NF Z 68-037).

- EIA (Electronic Industries Association). Normes RS 244 A et 273 A.

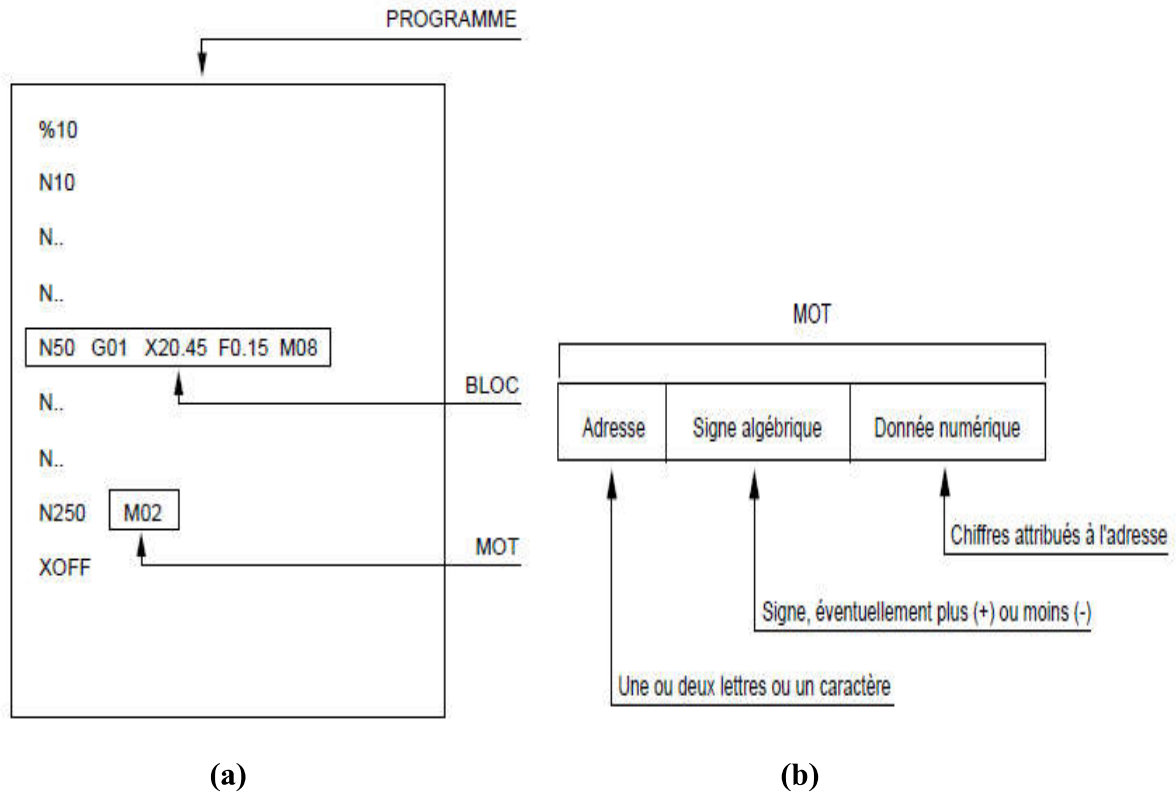


Figure I.25: Programme: (a) Structure et (b) Format général des mots

3.2.4.1. Format de mot:

Le mot définit une instruction ou donnée à transmettre au système de commande.

Types de mots:

- mots définissant des dimensions,
- mots définissant des fonctions.

Le format de mot définit les caractéristiques particulières de chaque mot codé employé en programmation (**Figure I.25.b**). [8]

Remarque: Pour les mots définissant une dimension, le point décimal est généralement explicite, il sépare l'unité de la partie décimale de l'unité (il n'apparaît pas dans l'écriture du format de mot).

Le nombre de caractères et d'espaces composant un bloc ne doit pas excéder 118.

❖ Exemples de formats de mots:

1. Ecriture du mot de dimension de valeur 0,450 mm au format X+053 (format variable).

0,450 mm peut s'écrire (**Figure I.26.a**):

X+0.450 ou X.45

2. Ecriture de mots de fonction adresses G au format G02 (format variable) (**Figure I.26.b**).

Le mot G01 peut s'écrire: **G1**

Le mot G04 peut s'écrire: **G4**

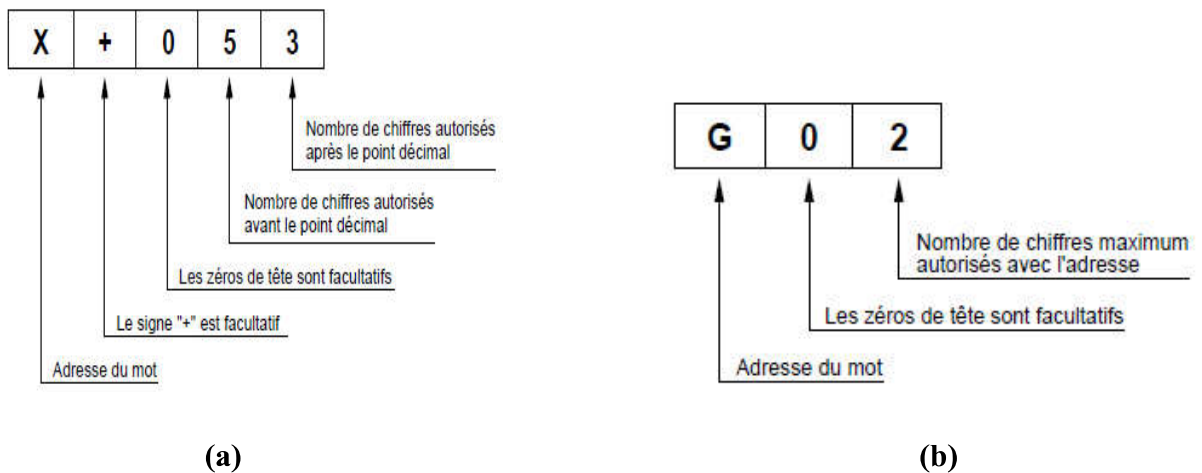


Figure I.26: Mot définissant: (a) une dimension, adresse X (unité interne au mm)
(b) une fonction, adresse G

3.2.4.2. Format des blocs:

Un bloc (ou séquence) définit une ligne d'instructions composée de mots codés à transmettre au système de commande.

Le format de bloc définit la syntaxe des mots de fonction et de dimension composant chaque bloc de programmation (**Figure I.27**). [8]

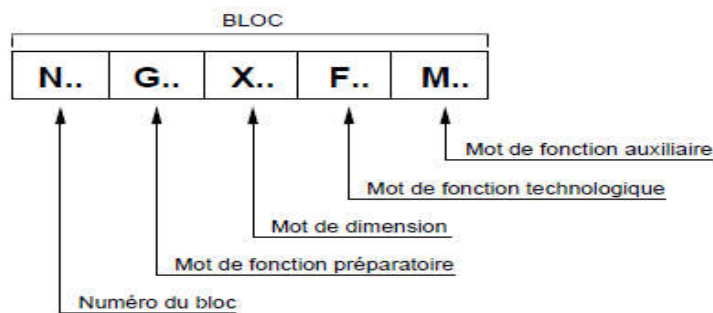


Figure I.27: Format général des blocs

❖ Exemples de blocs:

1. Appel de son correcteur.
2. la mise en rotation de broche.
3. une trajectoire.

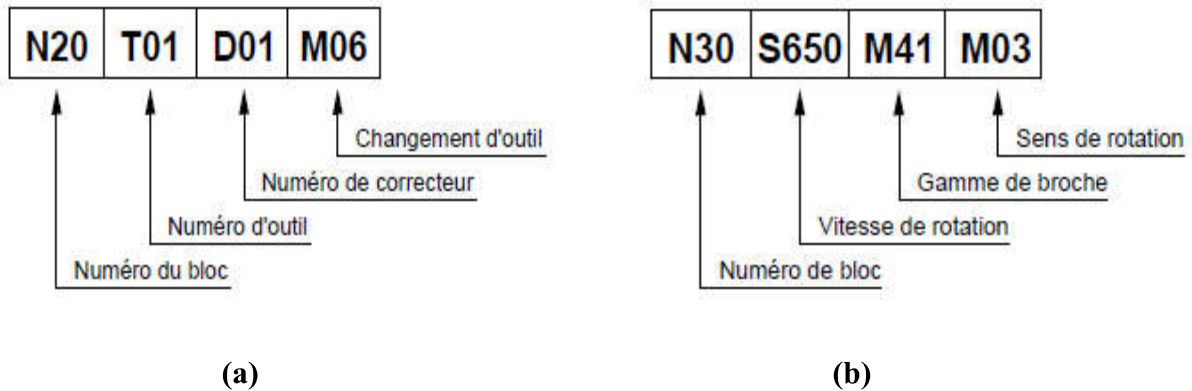


Figure I.28: Ecriture d'un bloc définissant:

- (a) un changement d'outil et l'appel de son correcteur
- (b) la mise en rotation de broche

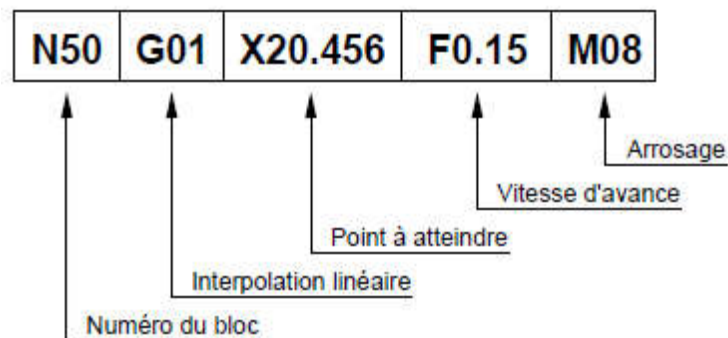


Figure I.29: Ecriture d'un bloc définissant une trajectoire

3.2.4.3. Structure générale d'un programme:

Un programme CN comporte des caractères obligatoires de début et fin. Un programme est exécuté dans l'ordre d'écriture des blocs situés entre les caractères de début et de fin de programme.

La numérotation des blocs n'intervient pas dans l'ordre de déroulement du programme.

Il est malgré tout conseillé de numéroter les blocs dans l'ordre d'écriture (de dix en dix par exemple).

Remarques: L'écriture d'un programme peut être effectuée suivant les codes ISO ou EIA. La reconnaissance des codes ISO ou EIA est effectuée par le système à la lecture d'un caractère définissant le début du programme.

- **Structure d'un programme ISO**

Début de programme : caractère %

Fin de programme : code M02

Fin de chargement de programme: caractère XOFF [8]

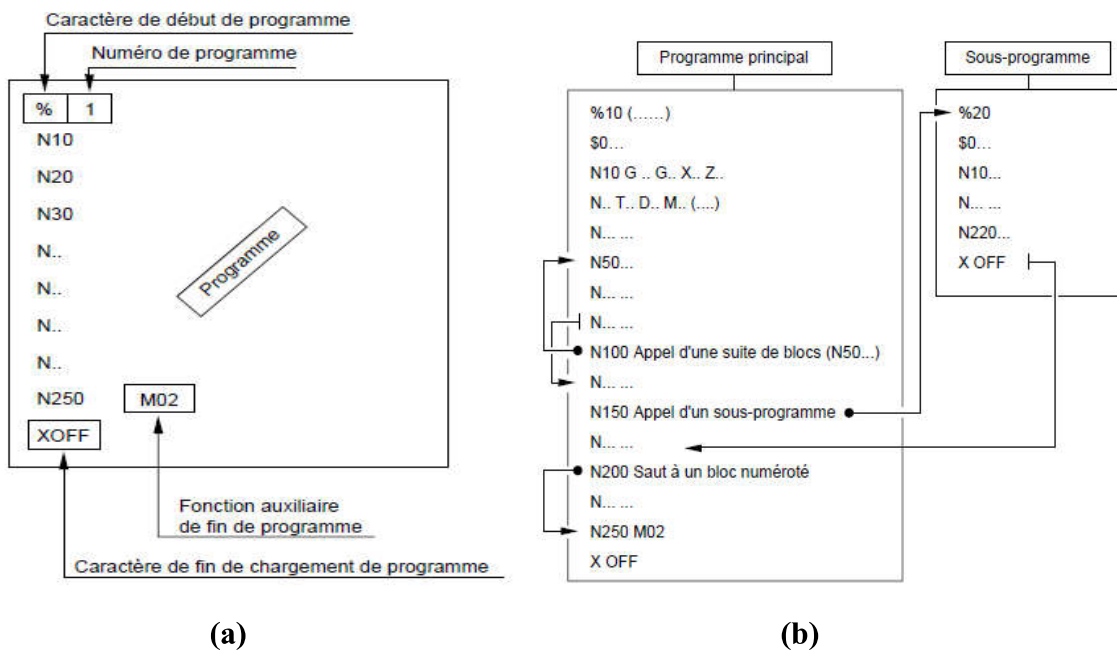


Figure I.30: Programme ISO: (a) Structure, (b) Sauts et appels de sous programmes

- **Structure d'un programme EIA**

La structure d'un programme en EIA est identique à celle d'un programme en ISO, seuls les caractères de début et de fin de programme sont différents. [8]

Début de programme: caractère EOR (End Off Record)

Fin de programme: caractère BS (Back Space)

Remarque: En EIA, un caractère de fin de programme autre que BS peut être déclaré par paramètre machine P80.

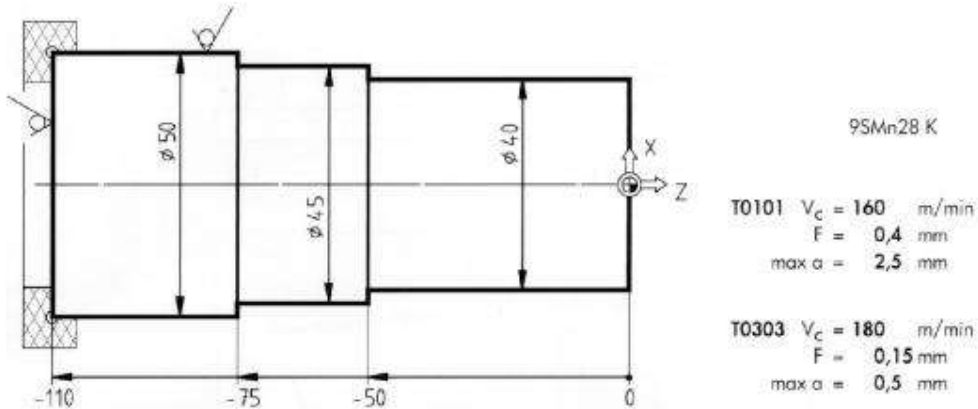
3.2.4.4. Sauts et appels de sous programmes:

Des instructions particulières (sauts et appels sous programmes) permettent de modifier l'ordre d'exécution d'un programme.

Un programme peut être structuré de la façon sur la (Figure I.30.b).

3.2.5. Exemple de programmation en tournage avec application de G0 et G1:

L'usinage de cette pièce consiste à dresser et charioter en ébauche avec l'outil T01 et laisser 0.1 mm de profondeur de passe pour la finition avec l'outil T03.



Programme	Commentaire
N1 G0 X150 Z250	Approche en rapide vers le point de changement d'outil Limitation de la vitesse de rotation maximale à $S_{max}=2500$ RPM
N2 G92 S2500 (Ebauche)	
N3 G96 F0.4 S160 T0101 M4	Rotation de la broche à $V_c=160$ m/min – avance=0.4 mm/min – choix de l'outil n°01 avec le correcteur n°1 – rotation dans le sens horaire SH
N4 G0 X52 Z0.1 M8	Déplacement en rapide - activation de l'arrosage
N5 G1 X0	Dressage en ébauche de la face avant
N6 Z2	Sortie de l'outil en Z
N7 G0 X45.1	Interpolation linéaire en rapide vers le point de coordonnées X45.1 et Z2
N8 G1 Z-75	Chariotage en ébauche du diamètre X=45.1
N9 X52	Sortie de l'outil en X
N10 G0 Z2	Interpolation linéaire en rapide vers le point d'abscisse Z2
N11 X40.1	Interpolation linéaire en rapide vers le point d'ordonnée X40.1
N12 G1 Z-50	Chariotage en ébauche du diamètre X=40.1
N13 X51	Sortie de l'outil en X
N14 G0 X150 Z250 (Finition)	Interpolation linéaire en rapide vers le point de changement d'outil
N15 T303	Appel de l'outil 3 avec son correcteur
N20 G96 F0.15 S180	Changement de la vitesse de coupe et de l'avance
N21 G0 X52 Z0	Déplacement en rapide
N22 G1 X0	Dressage en finition de la face avant
N23 Z2	Sortie de l'outil en Z
N24 G0 X40	Interpolation linéaire en rapide vers le point d'ordonnée X45
N25 G1 Z-50	Chariotage simultané en finition du diamètre X=40 et X=45
N26 X45	
N27 Z-75	
N28 X52	Interpolation linéaire en rapide vers le point de changement d'outil – désactivation de l'arrosage
N29 G0 X150 Z50 M9	
N30 M30	Fin programme et arrêt machine

4. Conclusion:

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur les machines-outils à commande numérique (MOCN), nous avons donné une vue générale sur le développement des systèmes MOCN dans la première partie, leurs définitions, historique, évolution, classification, structure, caractéristiques, leurs avantages et inconvénients ainsi que le système d'axes et origines. Ensuite nous avons montré dans la deuxième partie la programmation des MOCN ou les logiciels qui font fonctionner les machines-outils à commande numérique dans l'industrie mécanique.

L'utilisation des MOCN présente un grand intérêt pour la fabrication en petite et moyenne série ainsi que pour les formes complexes des pièces mécaniques à usiner.

Au chapitre suivant présente la CFAO d'une pièce prismatique de notre projet sur MasterCAM.

Chapitre II:

**CFAO d'une pièce prismatique sur
MasterCAM**

1. Introduction:

Dans ce chapitre on va présenter le système CFAO et expliquer en détail les différentes étapes de conception et de fabrication de la pièce prismatique de notre projet par l'utilisation des différentes stratégies d'usinages (surfaçage en bout ou de face, perçage, rainurage de profil en plein matière, usinage de poche horizontale en entrant et countournage) présentent dans le logiciel CFAO MasterCam qui est l'outil qu'on l'utilise dans cette opération à partir du dessin de définition en 2D jusqu'à la génération du programme d'usinage afin de le simuler au progiciel de simulation SSCNC.

2. Les systèmes CAO et FAO:

2.1. Conception Assistée par Ordinateur (CAO):

2.1.1. Définition de la CAO:

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels (MasterCam, CATIA, SolidWorks, SolidCam, RhinoCam, GibbsCam, CamWorks, SolidEdge, ...) et techniques de modélisation géométrique qui permettent de concevoir et de tester à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique un produit et de faire des modifications éventuelles [2].

2.1.2. Développement de la CAO du 2D à 3D:

Les systèmes de CAO des années soixante supportaient le dessin bidimensionnel (2D), ensuite, l'extension des systèmes 2D aux systèmes tridimensionnels (3D) a abouti au développement du modèle filaire. Cependant, ce modèle ne peut représenter des géométries de niveau plus haut tel que les surfaces. Et ce n'est qu'au début des années soixante-dix que les modèles surfaciques sont apparus. C'est une représentation de niveau plus élevé que le filaire mais pas assez pour représenter les volumes ou les solides. Le besoin des modèles solides a été ressenti avec l'évolution de la commande numérique et de la méthode des éléments finis. Au début des années soixante-dix la modélisation solide a commencé à se répandre. Maintenant, les systèmes CFAO supportent l'ensemble des trois modèles (filaire, surfacique et solide) et intègrent plusieurs fonctionnalités (multi-utilisateur, gestion des accès, gestion des versions...). Parmi les systèmes existants on peut citer CATIA (de Dassault System), Euclid (de Matra data vision), Ideas (de SDRC), Proengineer (de Parametric technology). [2]

2.2. Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO):

2.2.1. Définition de la FAO:

La fabrication assistée par ordinateur est la station de travail qui aide à la fabrication d'un produit, son but est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. [9]

2.2.2. Système FAO:

Généralement un système FAO se compose de trois modules le préprocesseur, le processeur et le post processeur.

Le préprocesseur joue le rôle d'un système CAO pour la création de la géométrie au sein du système FAO. Seulement, du point de vue fonctionnalité, le préprocesseur est loin d'avoir les mêmes performances qu'un Système CAO, puisqu'il est destiné à ne réaliser que la géométrie qui va être traitée par la suite par le processeur. Donc, dans le cas où la géométrie est complexe l'utilisateur doit passer par un système CAO. Le transfert de données se fait au moyen des standards existants tels qu'IGES, SET, STEP, ...etc. [9]

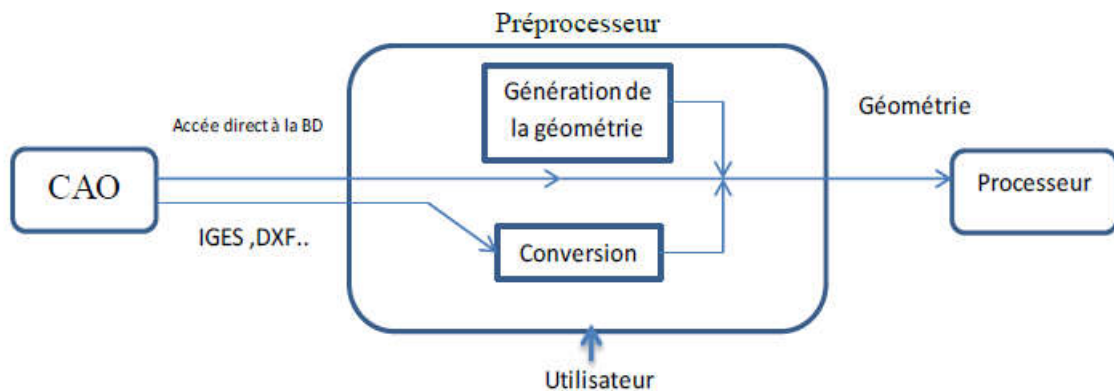


Figure II.1: Rôle du Préprocesseur dans un système FAO [9]

Le traitement au sein du processeur ne se fait pas d'une manière automatique et même si cela existe dans certains systèmes FAO, il n'est pas tout à fait développé ou si développé pour une application très particulière. Généralement, le fonctionnement d'un processeur FAO se fait d'une manière interactive avec l'utilisateur. La majorité des fournisseurs de systèmes FAO offre des modules ayant comme objectif de générer un CLfile ou un programme APT qui contient les données technologiques (vitesse, l'avance, le numéro d'outil..) et les trajectoires suivi par l'outil. [9]

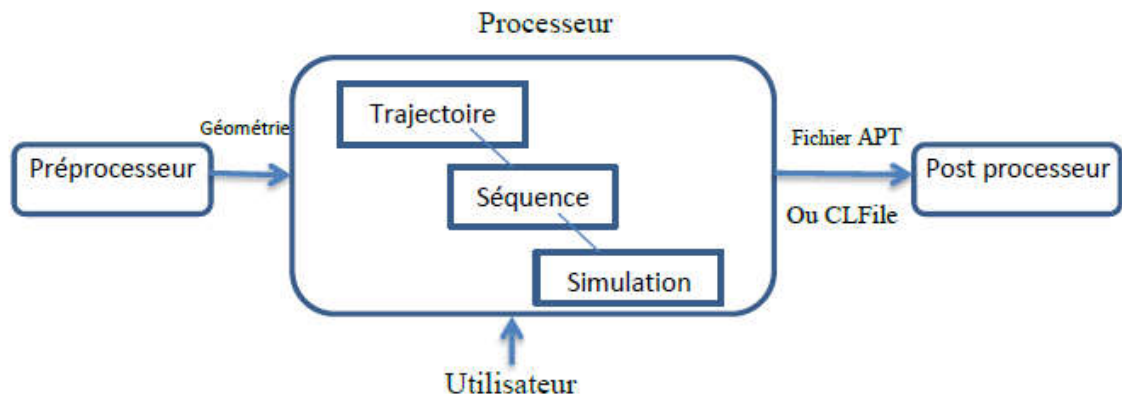


Figure II.2: Rôle du processeur dans un système FAO [9]

Le rôle du post processeur consiste à traduire, en fonction du type du contrôleur de la machine-outil à commande numérique, le CLfile ou le programme APT pour générer le programme CN. Ce programme est ensuite téléchargé dans la mémoire de la DCN ou de la CNC de la machine-outil. Dans un atelier équipé de plusieurs machines-outils à commande numérique, il n'est pas rare d'avoir des contrôleurs de MOCN différents. Pour cela un système FAO doit disposer d'autant de post processeurs que de contrôleurs différents. La **Figure II.3** présente le rôle de post processeur dans les systèmes FAO. [2]

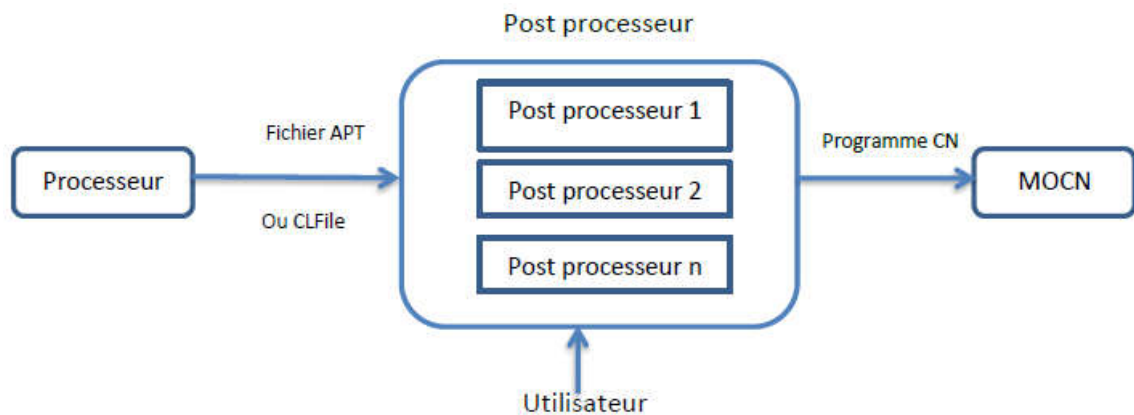


Figure II.3: Rôle du post processeur dans un système FAO [9]

2.2.3. Etapes pour l'utilisation d'un système FAO:

Pour utiliser un système FAO on passe par cinq étapes essentielles, qui sont les suivantes (Figure II.4) :

❖ Définition de la géométrie

La conception de la pièce à fabriquer est réalisée à l'aide d'un progiciel de Conception assistée par ordinateur CAO. Ce modèle sera alors exporté en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP, VDA, DXF ou autre. Certains outils de FAO sont capables de relire directement les fichiers des grands fournisseurs de CAO. Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont complètement intégrées et ne nécessitent pas de transfert et dans d'autre application de FAO.

❖ Elaboration des parcours d'outil

La modélisation 3D étant importée sur le progiciel de FAO puis relue par celui-ci, il est possible de passer à la programmation des parcours outils, le cœur de l'activité de la FAO. On crée les parcours en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Les progiciels de FAO sont capables de reproduire graphiquement (visualisation volumique) et d'une manière fiable, l'action des outils dans la matière, permettant ainsi de vérifier ses méthodes d'usinage et éviter a priori les collisions sur les machines outil. Il est possible désormais de modéliser entièrement la machine-outil et de visualiser les mouvements des éléments mobiles de celle-ci (tête, table, axes rotatifs) lors de la simulation d'usinage.

❖ Génération de programme CN

Cette étape consiste à générer le programme CN selon la commande de la machine (post processeur) depuis le programme de logiciel FAO utilisé en langage APT.

❖ Simulation d'usinage

Cette étape permet de vérifier la validation de programme généré et les paramètres fournis, par la visualisation (virtuelle) de la pénétration de l'outil dans la matière, elle permet aussi de détecter les collisions (broche/pièce ou broche/mandrin, etc.).

❖ Transfert vers la MOCN

Dans cette étape on fait le transfert du programme CN généré vers la MOCN.

2.2.4. Intégration entre la CAO et la FAO:

Du fait des avantages procurés par la réutilisation, dans les secteurs de production, des définitions établies au niveau du bureau d'études, on assiste à une intégration croissante des techniques de conception assistée par ordinateur et des techniques de fabrication assistée par ordinateur. L'ensemble étant regroupé sous le sigle CFAO, la liaison entre ces deux systèmes réside dans l'utilisation du model géométrique commun. Parfois on trouve le problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie dans la transmission de ce dernier de système CAO au système FAO dans le cas d'utilisation de deux système CAO et FAO séparés, pour cela il est préférable d'utiliser un système CFAO parce qu'il nous permet de faire la conception et la génération de programme CN dans le même environnement. [2]

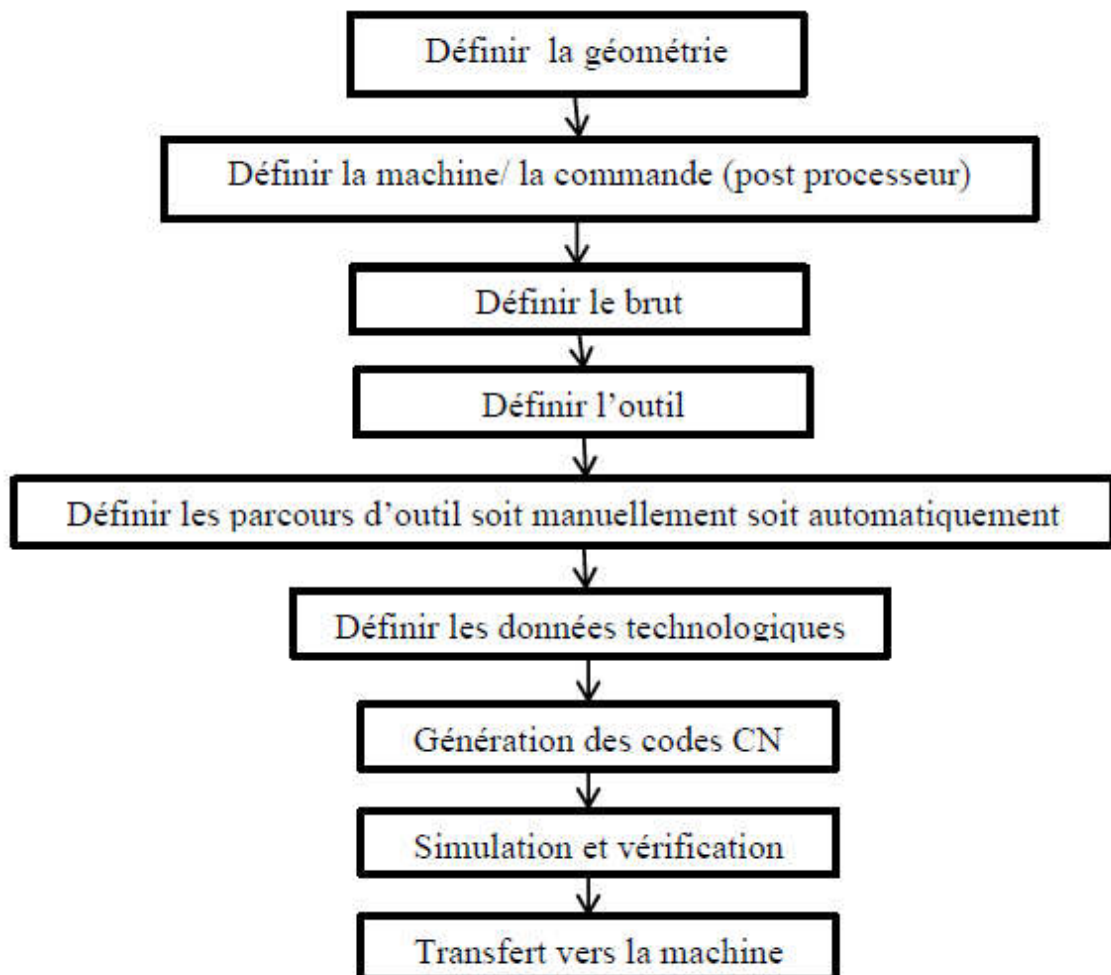


Figure II.4: Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO [9]

3. Présentation de l'outil CFAO MasterCAM:

Pour la conception et fabrication assistée par ordinateur de la pièce prismatique de notre projet on utilise l'outil de CFAO MasterCAM.

3.1. Définition:

MasterCAM est un logiciel utilisé pour la programmation de machines-outils (CNC) servant à l'usinage. Sa compatibilité avec la majorité des équipements à commande numérique et des logiciels de dessin 3D fait de cette interface la plus populaire sur le marché. La FAO (fabrication assistée par ordinateur) est un incontournable pour les manufacturiers d'où une forte demande pour la main-d'œuvre qualifiée dans ce domaine. [9]

3.2. Historique et caractéristiques:

Mastercam est né en 1984, aux USA, de la volonté de 2 frères, Jack et Mark Summers, de créer un logiciel de programmation de machines-outils à commande numérique facile à utiliser et fonctionnant sur PC. Mastercam est un logiciel utilisé pour la programmation de machines-outils (CNC) servant à l'usinage. Sa compatibilité avec la majorité des équipements à commande numérique et des logiciels de dessin 3D fait de cette interface la plus populaire sur le marché. La FAO (fabrication assistée par ordinateur) est un incontournable pour les manufacturiers d'où une forte demande pour la main-d'œuvre qualifiée dans ce domaine. De plus:

- ✓ Importation de dessins numériques.
- ✓ Programmation des opérations d'usinage.
- ✓ Simulation d'opération des outils.
- ✓ Transfert des données vers les machines-outils.

Mastercam offre toutes les fonctions nécessaires pour faire soi-même de la géométrie en 2D et en 3D. Les dessins sont facilement échangeables avec d'autres systèmes de CAO/FAO. Tels que : DXF, DWG, IGES, STEP et les interfaces directes telles que ParaSolid, SolidEdge et SolidWorks. CATIA et PRO-E peuvent être obtenus en option. [7]

3.3. Différentes stratégies d'usinage pour Mastercam:

On va définir quelques exemples de trajectoire d'outil sur le système Mastercam:

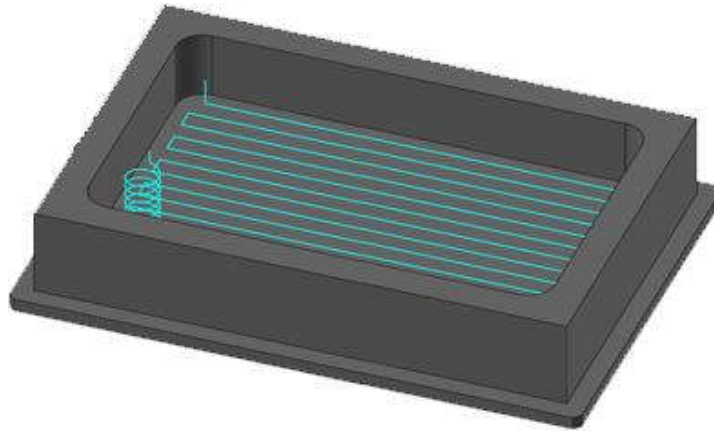


Figure II.5: Usinage de poche horizontale en entrant



Figure II.6: Usinage de perçage

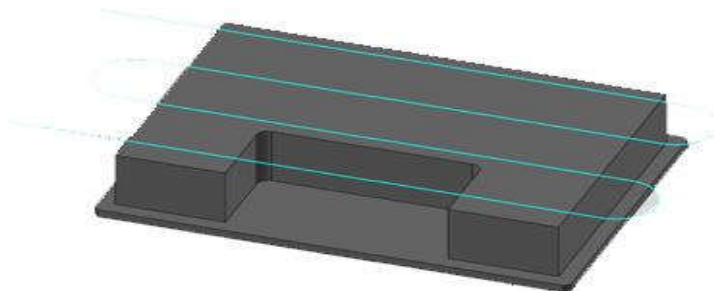


Figure II.7: Usinage de surfacage

4. Géométrie 2D et 3D de la pièce mécanique:

Les figures au-dessous (Figure II.8 et Figure II.9) présentent les dimensions de la géométrie en 2D et la présentation en 3D de la pièce mécanique de notre projet.

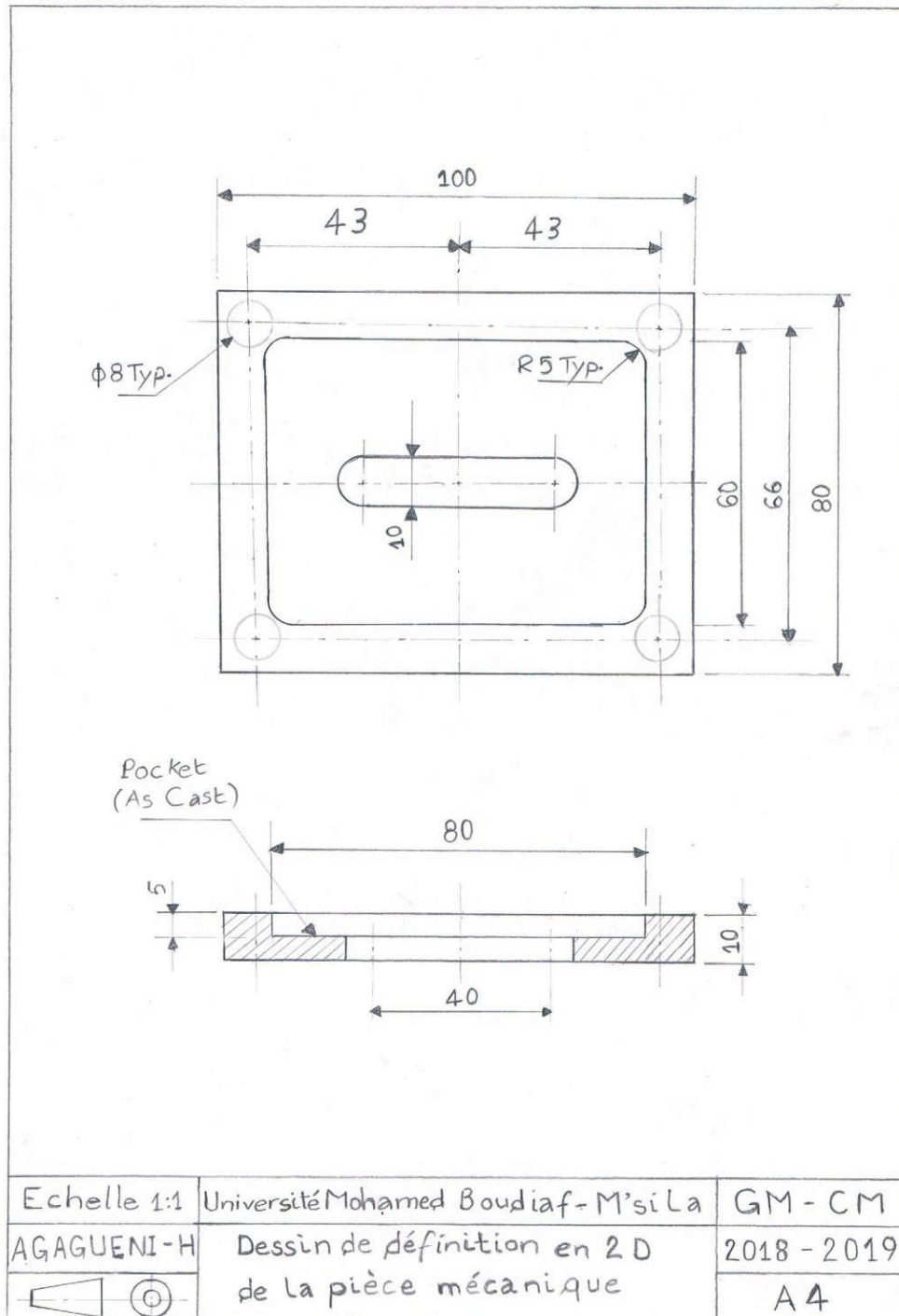


Figure II.8: Dessin de définition en 2D de la pièce prismatique

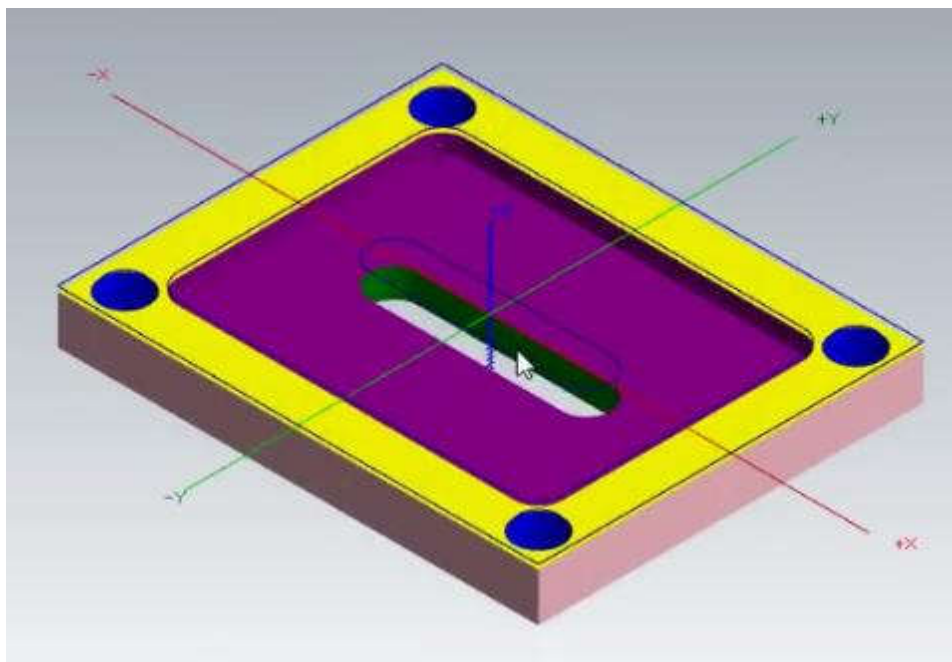


Figure II.9: Présentation en 3D de la pièce prismatique sous MasterCam

5. CAO des géométries de la pièce prismatique:

Pour la conception de la pièce prismatique de notre projet sous MasterCam version 2018 on va suivre les étapes suivantes:

- Lancement du logiciel MasterCam version 2018;
- La configuration sur MasterCam version 2018;
- La création des rectangles;
- Création des cercles;
- Création des arcs de raccordements entre deux côtés d'un rectangle;
- Création des arcs de raccordements entre deux points;
- Suppression des cotés inutiles;
- Extrusion des rectangles, des cercles, ...etc.

5.1. Lancement du logiciel MasterCam version 2018:



Pour accéder au MasterCam version 2018 en double cliquant sur cette icône, l'interface présenté à la **Figure II.16** s'affiche.

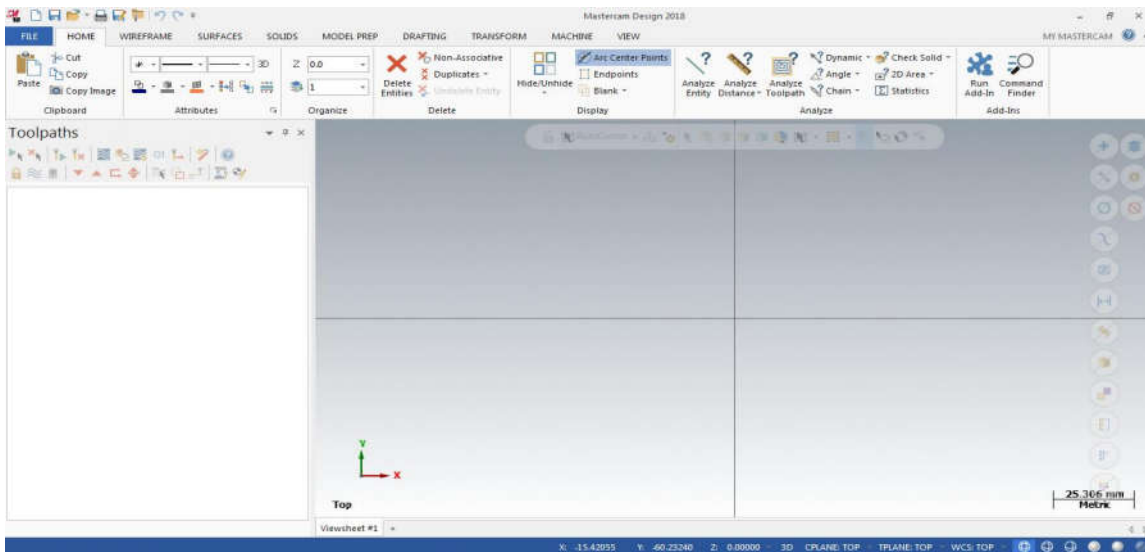


Figure II.10: Interface utilisateur MasterCam

5.2. La configuration sur MasterCAM version 2018:

La configuration sur MasterCAM se fait comme suit:

1. Cliquer sur le menu **FILE** (Figure II.11);

2. Choisir la commande **Configuration** (Figure II.12);

3. Sélectionner l'adresse:

c:\users\documents\my mcam201...\mcamxm.config <Metric> <Startup>


4. Valider la configuration en cliquant sur le bouton: 



Figure II.11: La barre de menu principal MasterCam v

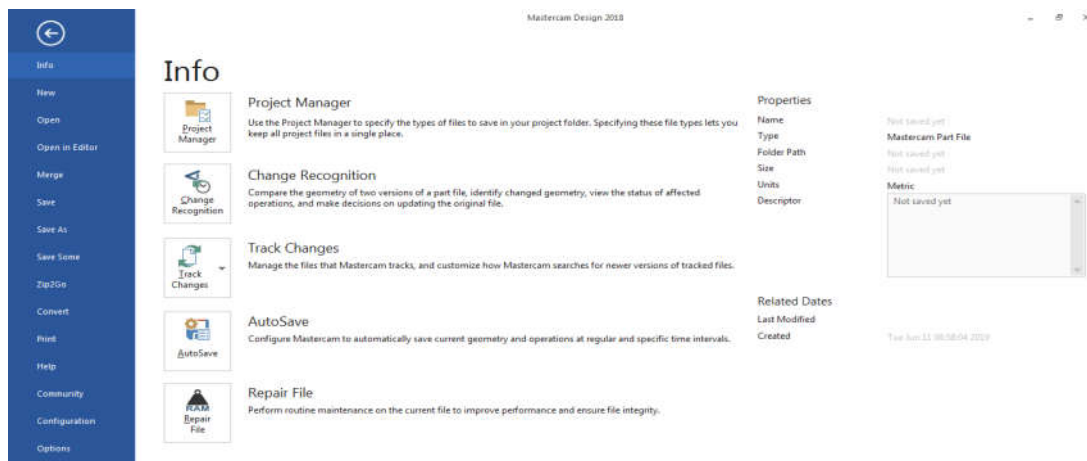


Figure II.12: Liste des commandes du menu FILE

5.3. Création des rectangles:

La création des rectangles sur MasterCam se fait comme suit:


1. Cliquer sur le menu **WIREFRAME** à partir de la barre du menu principal (Figure II.11);

2. Cliquer sur l'outil **Rectangle** à partir du menu WIREFRAME (Figure II.13);

3. Cocher sur la fonction **Ancre to center** situé à la gauche de l'espace de travail afin de centrer les rectangle et pour créer un point d'origine des rectangles;

4. Créer ou dessiner un contour rectangulaire quelconque à l'aide de la souris, en commençant par le point d'origine situé au centre de la page d'espace de travail afin de créer un rectangle quelconque centré au milieu;

5. Saisir les valeurs des dimensions du rectangle;

6. Cliquer sur le bouton  une fois les valeurs des dimensions du rectangle sont saisis pour la validation.

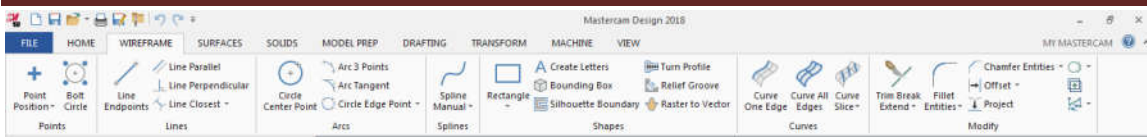


Figure II.13: Menu WIREFRAME

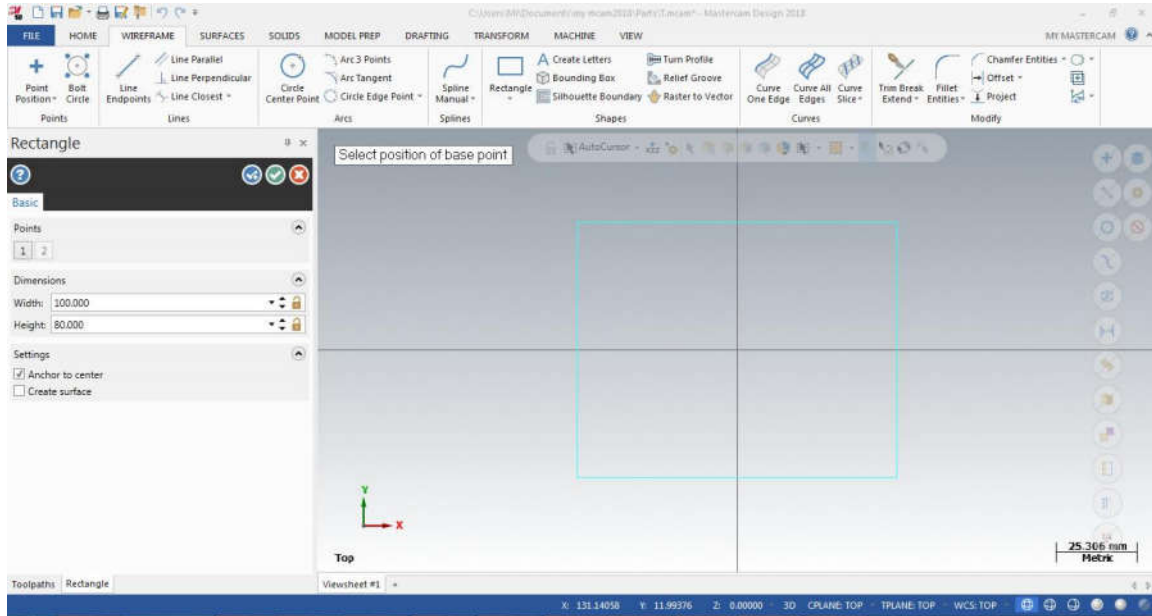


Figure II.14: Création du rectangle extérieur (100 mm x 80 mm)

On répète la même opération comme précédemment pour les autres trois (03) rectangles internes. A la fin de l'opération on obtient l'image représentée sur la **Figure II.15**.

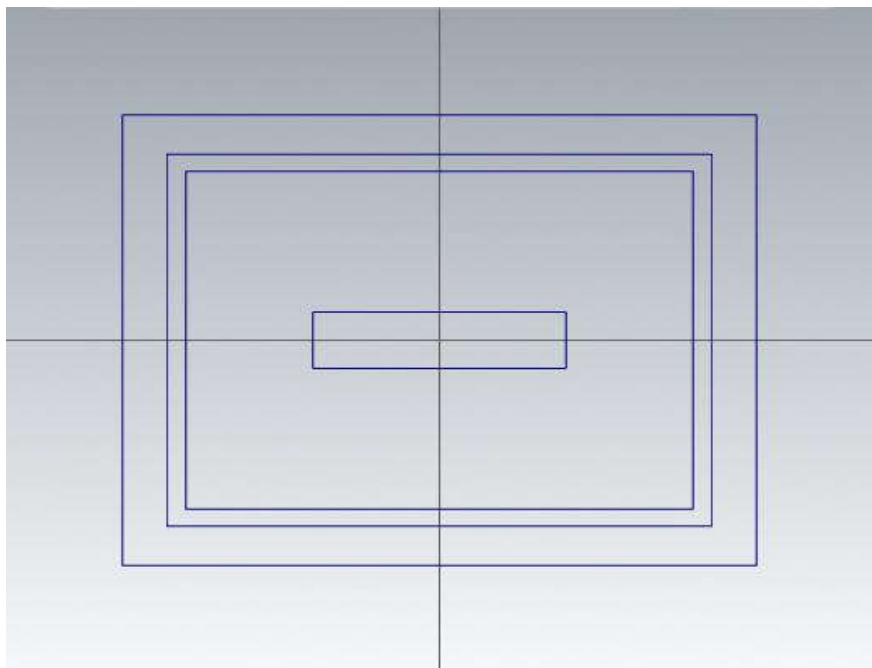



Figure II.15: Création des quatre (04) rectangles

Remarque: Concernant l'étape de validation (étape 6) on la fait après la finition de saisir de toutes les paramètres des dimensions de tous les rectangle afin d'éviter la procédure de le début de l'opération.

5.4. Création des cercles:

Pour la création des cercles sur MasterCAM en suivant les étapes suivantes:

1. Cliquer sur le menu **WIREFRAME** à partir de la barre du menu principal (**Figure II.11**);
2. Cliquer sur l'outil **Circle Center Point** à partir du menu WIREFRAME (**Figure II.13**);
3. Cocher sur la fonction **Manual** ou s'assurer qu'elle est déjà coché par défaut situé à la gauche de l'espace de travail afin de dessiner manuellement des cercles;
4. Créer ou dessiner un contour circulaire quelconque à l'aide de la souris, en commençant par le point d'origine désiré (dans notre cas les centres des quatre cercles sont celles les quatre bornes du deuxième rectangle extérieur de longueur 86 mm et de largeur 66 mm) (**Figure II.15**) afin de créer un cercle quelconque.
5. Saisir la valeurs du rayon ou du diamètre du cercle;
6. Cliquer sur le bouton  une fois les valeurs des rayons ou des diamètres du cercle sont saisis pour la validation.

On répète la même opération comme précédemment pour les autres trois (03) cercles. A la fin de l'opération on obtient l'image représente sur la **Figure II.16**.

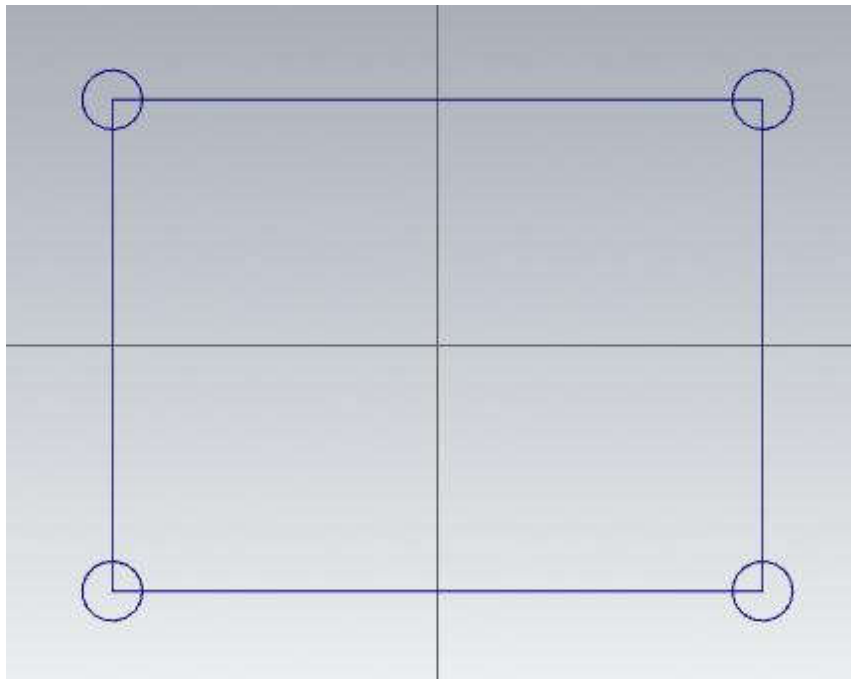



Figure II.16: Création des quatre (04) cercles

5.5. Création des arcs de raccordements entre deux côtés d'un rectangle :

Afin de créer des arcs de raccordements entre deux côtés d'un rectangle on doit suivre les étapes suivantes:

1. Cliquer sur le menu **WIREFRAME** à partir de la barre du menu principal (**Figure II.11**);
2. Cliquer sur l'outil **Fillet Entities** à partir du menu **WIREFRAME** (**Figure II.13**);
3. Cocher sur les fonctions **Manual** et **Trim entities** ou s'assurer qu'elles sont déjà cochées par défaut situé à la gauche de l'espace de travail;
4. Cliquer sur les deux côtés du rectangle à l'aide de la souris, afin de les accorder entre eux (dans notre cas les deux côtés sont celles du rectangle de longueur 80 mm et de largeur 60 mm) (**Figure II.15**) afin de créer un contour sous forme d'un arc de raccordement quelconque entre deux côtés;
5. Saisir le rayon de l'arc de raccordement;
6. Cliquer sur le bouton  une fois la valeur du rayon de l'arc de raccordement est saisi pour la validation.

Dans notre cas, on dessine l'arc de raccordement entre deux côtés du rectangle de longueur 80 mm et de largeur 60 mm de la pièce prismatique qui est celle de rayon 5 mm.

On répète la même opération comme précédemment pour les autres trois (03) arcs de raccordements. A la fin de l'opération on obtient l'image représentée sur la **Figure II.17**.

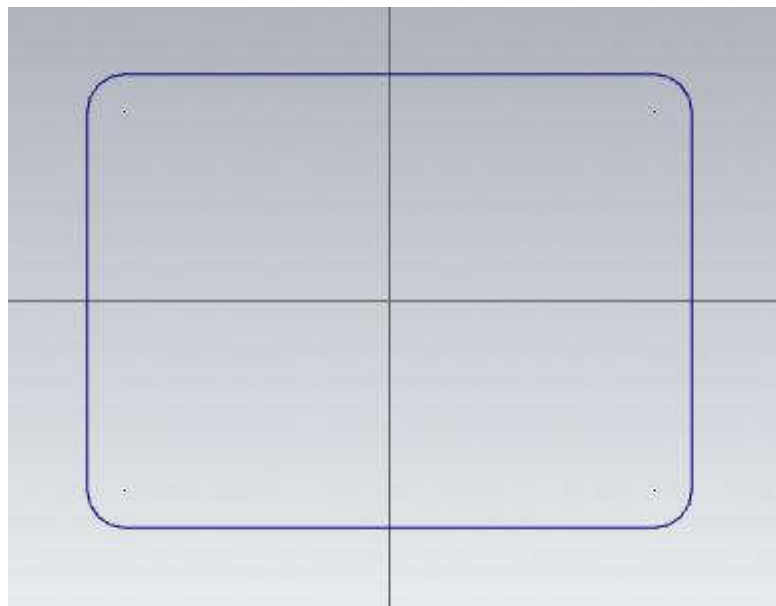



Figure II.17: Création de les quatre (04) arcs de raccordements de rayon 5 mm entre les quatre côtés du rectangle (80 mm x 60 mm)

5.6. Création des arcs de raccordements entre deux points:

Pour créer des arcs de raccordements entre deux points il faut suivre les étapes suivantes:

1. Cliquer sur le menu **WIREFRAME** à partir de la barre du menu principal (**Figure II.11**);
2. Cliquer sur le sous outil **Arc Endpoints** à partir de l'outil **Circle Edge Point** qui est situé dans le menu **WIREFRAME** (**Figure II.13**);
3. Cocher sur la fonction **Manual** ou s'assurer qu'elle est déjà coché par défaut situé à la gauche de l'espace de travail afin de raccorder entre deux points manuellement;
4. Cliquer sur les deux points à l'aide de la souris, en raccordant les deux points du rectangle entre eux (dans notre cas les deux points sont celles les deux bornes latéraux du rectangle interne de longueur 40 mm et de largeur 10 mm) (**Figure II.15**).
5. Saisir le rayon de l'arc de raccordement;
6. Cliquer sur le bouton  une fois la valeur du rayon ou du diamètre de l'arc de raccordement est saisis pour la validation.

Dans notre cas, on dessine l'arc de raccordement entre deux points celles les deux bornes latéraux du rectangle interne de longueur 40 mm et de largeur 10 mm de la pièce mécanique qui est celle de rayon 5 mm ou de diamètre 10 mm.

On fait la même chose pour l'autre arc de raccordement. A la fin de l'opération on obtient l'image représentée sur la **Figure II.18**.

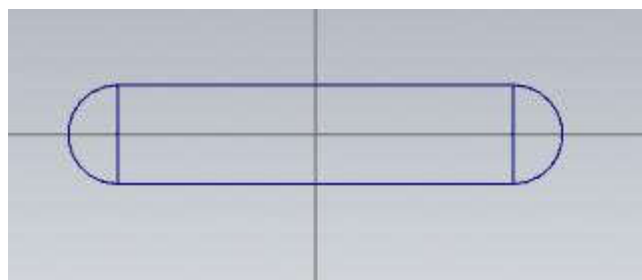


Figure II.18: Création de les deux (02) arcs de raccordements de rayon 5 mm entres les deux côtés latéraux du rectangle (80 mm x 60 mm)

5.7. Suppression des côtés inutiles:

Pour effectuer l'opération de la suppression des côtés inutiles, on les sélectionnes (**Figure II.19**) à l'aide de la souris, en appuyant sur le bouton **Suppr** du clavier du PC.

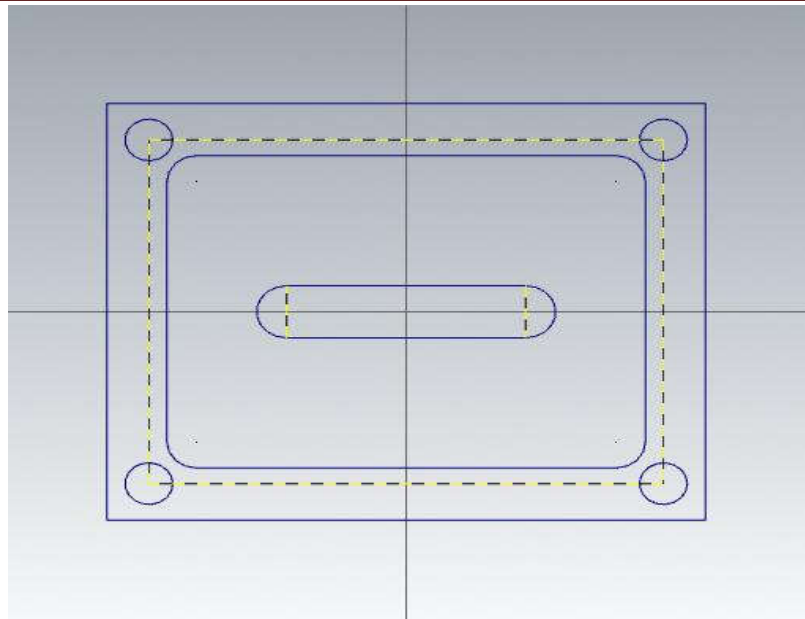


Figure II.19: Sélection de toutes les côtés inutiles

La figure au-dessous (**Figure II.20**) représente la vue de de dessus de la pièce prismatique après avoir supprimé de les côtés inutiles.

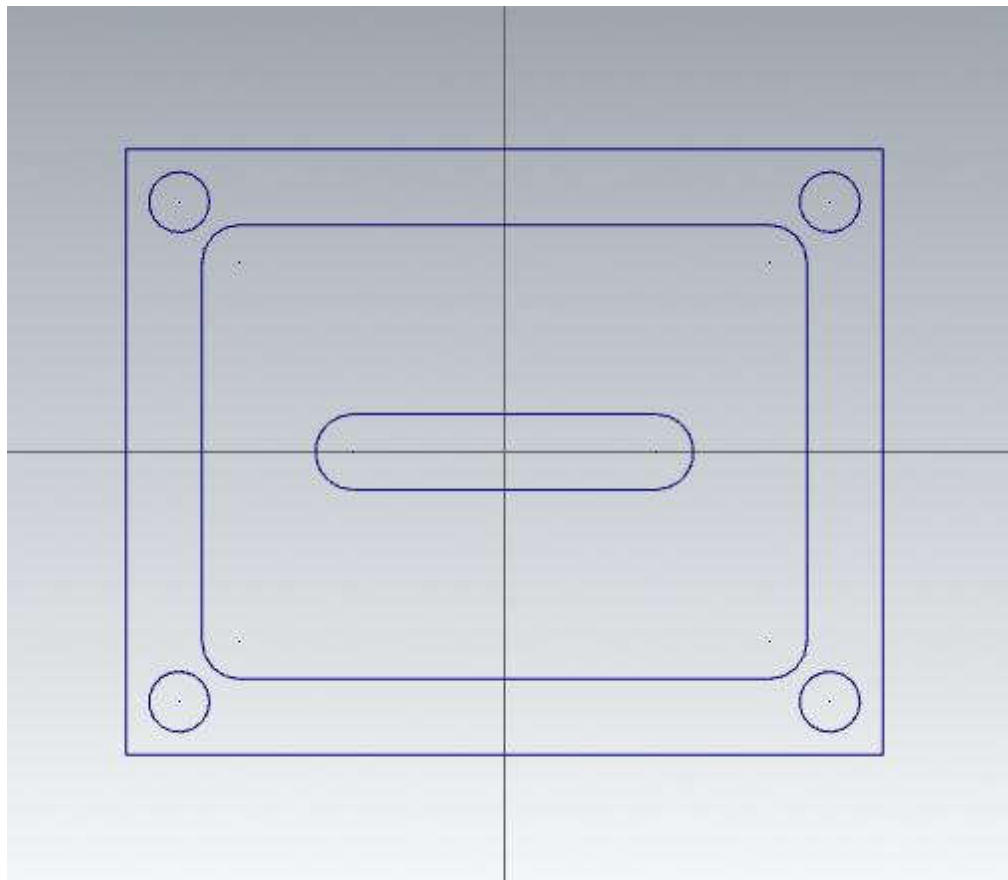


Figure II.20: Vue de dessus de la pièce prismatique en 2D

5.8. Extrusion des différentes géométries de la pièce prismatique:

L'opération d'extrusion des différentes géométries de la pièce prismatique est se fait comme suit:




Extrusion du rectangle;

Extrusion du rectangle à coin arrondis;

Extrusion du rectangle avec deux demi-cercles aux extrémités;

Extrusion des cercles.

5.8.1. Extrusion du rectangle:

1. A partir de la fenêtre montré à la **Figure II.20** et dans l'espace de travail, en cliquant à l'aide du bouton droit de la souris, une fenêtre s'affiche et en choisissant la fonction **Isometric (WCS)**. Après avoir cliqué sur la fonction **Isometric (WCS)**, la fenêtre dans la (**Figure II.21**) s'affiche;
2. Cliquer sur l'onglet **SOLIDS** puis choisir la commande **Extrude (Figure II.22)**, la fenêtre sur la **Figure II.23** s'affiche;
3. Cliquer sur  dans le menu **Chaining (Figure II.23)**;
4. Sélectionner le rectangle, en cliquant sur son circonférence à l'aide du bouton gauche de la souris, et puis en cliquant sur le bouton  pour valider la sélection.
Après validation, la fenêtre représentée à la **Figure II.24** s'affiche;
5. Orienter la flèche bleu vers le bas, en cliquant sur le circonférence du rectangle afin de garder la surface à usiner en haut (**Figure II.24**).
6. Cocher sur les fonctions **Create body**, **Create a single operation** et **Disrtance** ou s'assurer qu'elles sont déjà cochées par défaut;
7. Saisir la distance de l'épaisseur du rectangle (dans notre cas l'épaisseur du rectangle est de 10 mm), et puis en cliquant sur bouton  valider l'extrusion,

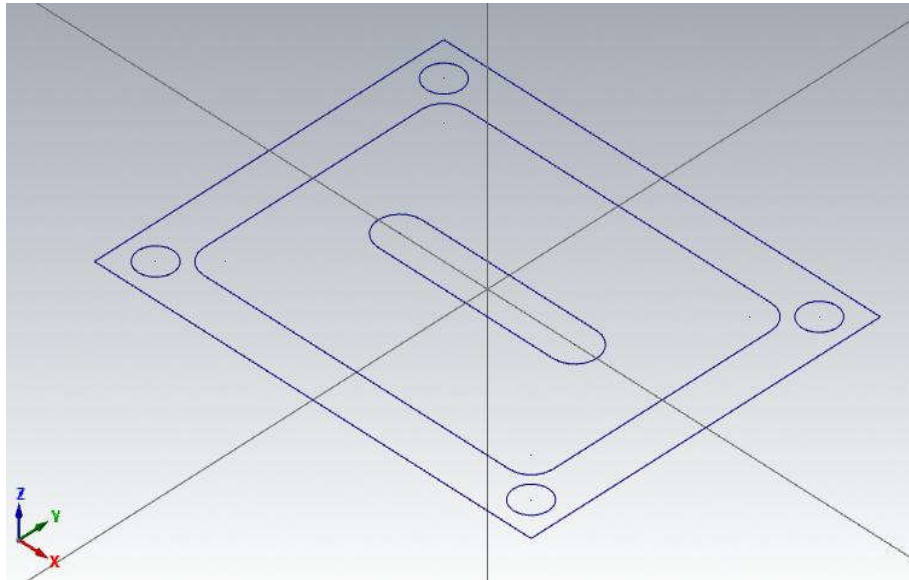


Figure II.21: Vue de dessous sur le plan (XY)

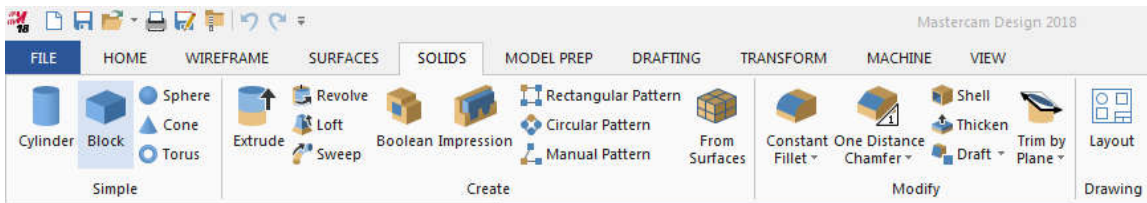


Figure II.22: La barre des onglets

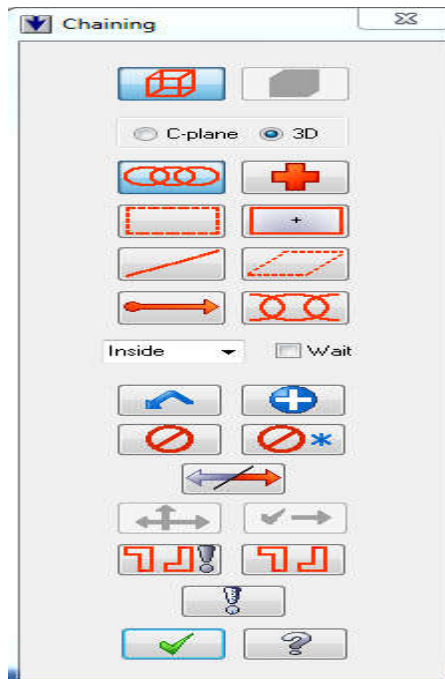


Figure II.23: Menu Chaining

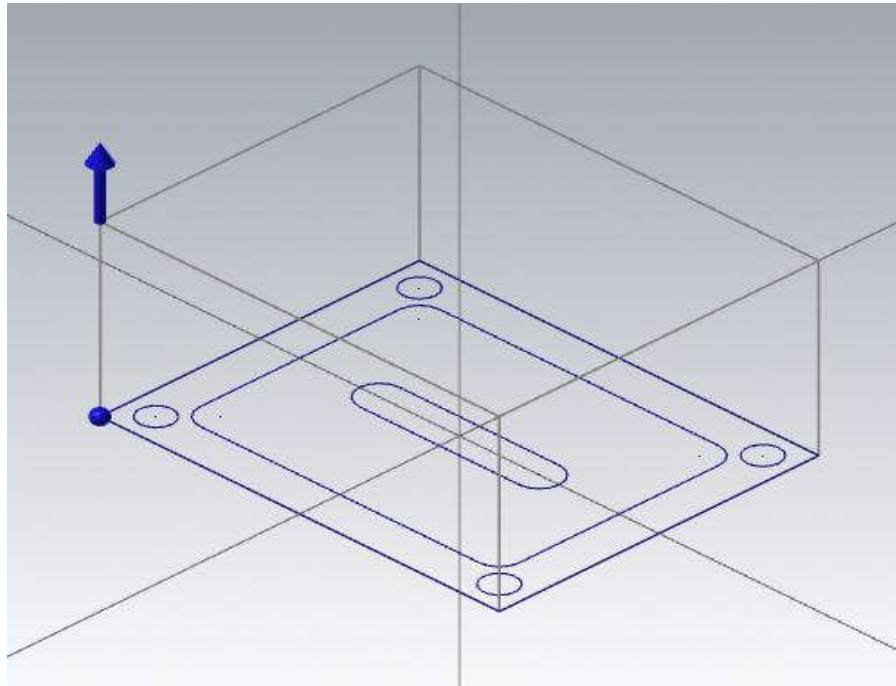


Figure II.24: Orientation de la flèche bleu vers le haut du rectangle

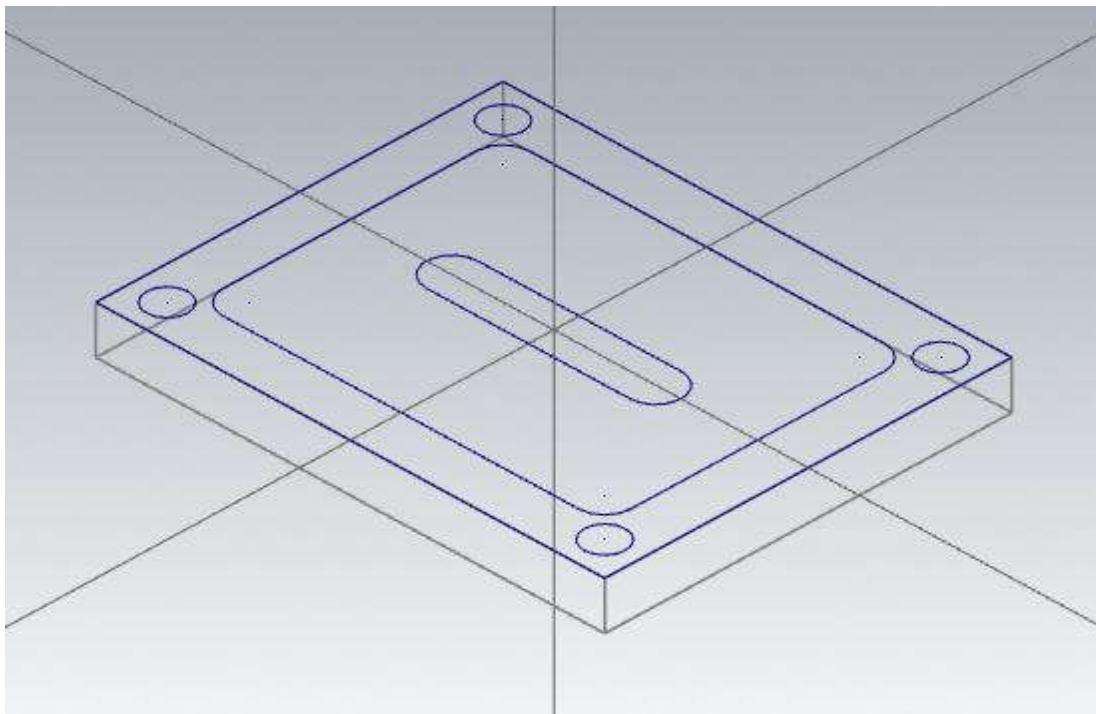


Figure II.25: Extrusion du rectangle (100 mm x 80 mm)

5.8.2. Extrusion du rectangle à coin arrondi:

On suivra pratiquement les mêmes étapes citées au-dessus dans le cas d'extrusion d'un rectangle (Figure II.22, Figure II.23 et Figure II.24).

5.8.3. Extrusion du rectangle avec deux demi-cercles aux extrémités:

Dans cette extrusion, en suivant la procédure comme dans les deux cas précédents (**Figure II.22**, **Figure II.23** et **Figure II.24**), sauf la différence suivante:

Lorsque on veut saisir la distance de la profondeur, on doit cocher les fonctions **Cut body** et **Through all** car la rainure est débouchant.

5.8.4. Extrusion des cercles:

La même chose que le cas qui précède, puisque dans ce cas les trous sont aussi débouchant. Après avoir extrudé tous les formes géométrique (rectangle, rectangle à coin arrondis, rectangle avec deux demi-cercles aux extrémités et les cercles) de la pièce prismatique, On obtient la forme présenté à la **Figure II.26**.

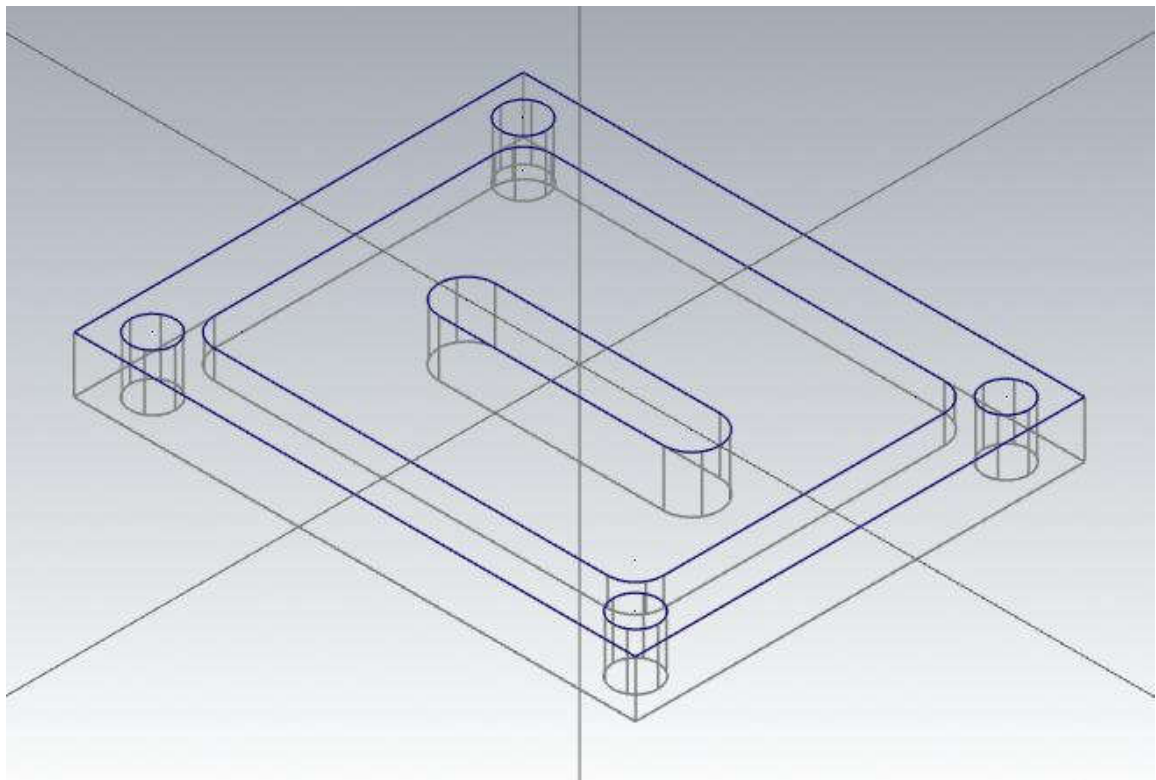


Figure II.26: CAO d'une pièce prismatique

6. FAO des géométries d'une pièce mécanique:

À partir d'une pièce brute en aluminium par exemple ayant pour forme un prisme rectangulaire (**Figure II.9**), une gamme typique utilise une ou des opération (s) d'ébauche permettant d'enlever le plus possible de matériel en fonction du temps. Par la suite, l'usinage se concentre sur la finition de la pièce en utilisant des stratégies d'usinage spécifiques pour chaque caractéristique de forme désirée. Dans les systèmes FAO, le choix de ces stratégies d'usinage de finition demeure très peu automatisé et/ou assisté. Le programmeur CN doit faire ces choix et programmer manuellement ces stratégies d'usinage même si elles sont semblables d'une pièce à l'autre. [4]

6.1. Définition d'une stratégie d'usinage:

Une stratégie d'usinage est définie dans ce travail comme une technique pour usiner une forme, ou encore le mouvement de l'outil, dans une pièce mécanique comme par exemple, un surfaçage, un perçage, ou encore un contournage,...etc. et se trouvent disponibles dans les systèmes FAO (**Figure II.31**).

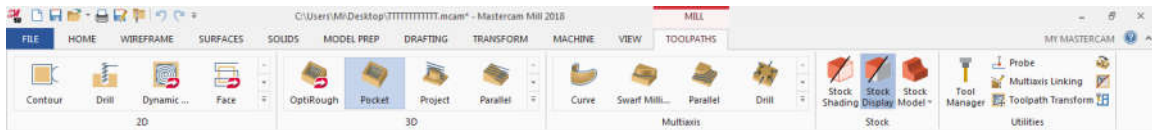


Figure II.27: Exemple de quelques stratégies d'usinage disponibles dans MasterCAM

Cette fonction dans le système FAO utilise deux outils: la MOCN, c'est-à-dire les « capacités » disponibles avec cette MOCN et la forme de l'outil disponible. Avec ces deux informations, l'utilisateur sélectionne la forme à usiner et le système FAO utilise un algorithme de génération de trajectoire pour obtenir le résultat final: la stratégie d'usinage. [4]

6.2. Gamme d'usinage d'une pièce:

Lors de la préparation à la fabrication, une gamme d'usinage, c'est-à-dire la séquence des opérations manufacturières est générée. Cette gamme est issue de quelques instants de réflexion de la part du programmeur CN (son expérience et ses connaissances deviennent des facteurs importants) pour déterminer la mise en position de la pièce sur la machine, l'outillage nécessaire, le type d'opérations (le choix des stratégies d'usinage) et évidemment, la séquence des opérations.

La séquence des opérations est importante puisque certaines opérations peuvent être complétées seulement si d'autres le sont. Cependant, la création d'une séquence demeure un problème d'ordre ultérieur. Celui-ci nécessite tout d'abord de réduire le problème en un sous-ensemble de la gamme d'usinage, soit le choix de la stratégie d'usinage à partir d'une forme dans le modèle CAO. [4]

❖ Gamme typique:

Une gamme typique (**Figure II.28**) de la pièce prismatique de notre projet est :

Surfaçage en bout ou de face / fraise à surfaçer

Perçage / foret (fraise à percer)

Surfaçage de poche / fraise à bout

Rainurage de profil en plein matière / fraise à rainurer

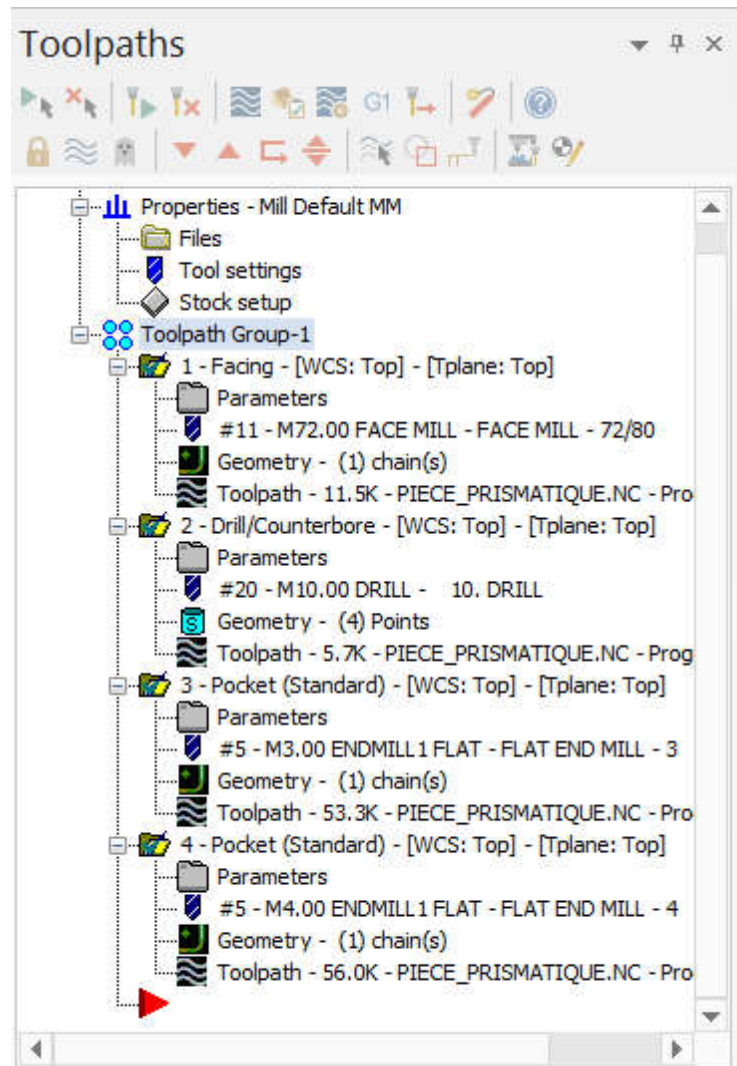


Figure II.28: Gamme d'usinage typique

6.3. Différentes stratégies d'usinage de notre pièce prismatique:


6.3.1. Stratégie une (Face):

Elle génère une surface plane sur la pièce.

Définition du brut

Le brut dans notre cas c'est un bloc de longueur 100 mm, de largeur 80 mm et d'hauteur 11 mm (**Figure II.30**).

Pour définir le brut de de la pièce prismatique, on suivre les étapes suivantes:

1. A partir de la fenêtre de la dernière étape de la CAO (**Figure II.26**) et du menu des onglets, en cliquant sur l'onglet **Machine**, puis la fonction **Mill** ensuite la fonction **Defaulte**, la fenêtre montrée sur la **Figure II.29** s'affiche;
2. De l'arborescence sur le menu **Toolpaths** (**Figure II.29**), en cliquant sur **Stock setup**, la fenêtre montrée sur la **Figure II.30** s'affiche, et puis en cliquant sur la fonction **All Solids** sur la **Figure II.30** afin de montrer les dimensions réelles de votre pièce;
4. Saisir les paramètres du brut (**Figure II.30**), et puis cliquer sur le bouton  pour validation. Après la validation on obtient le brut représenté sur la **Figure II.30**.

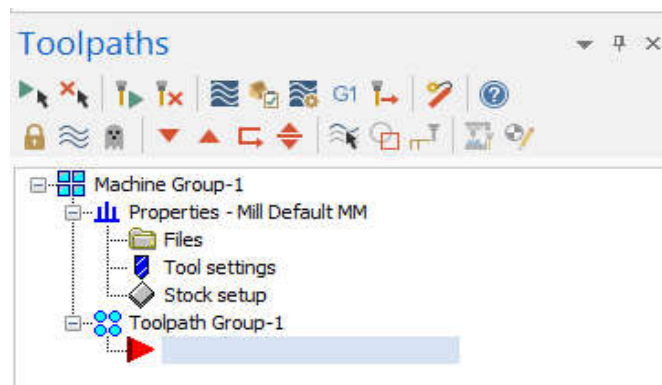


Figure II.29: Menu Toolpaths

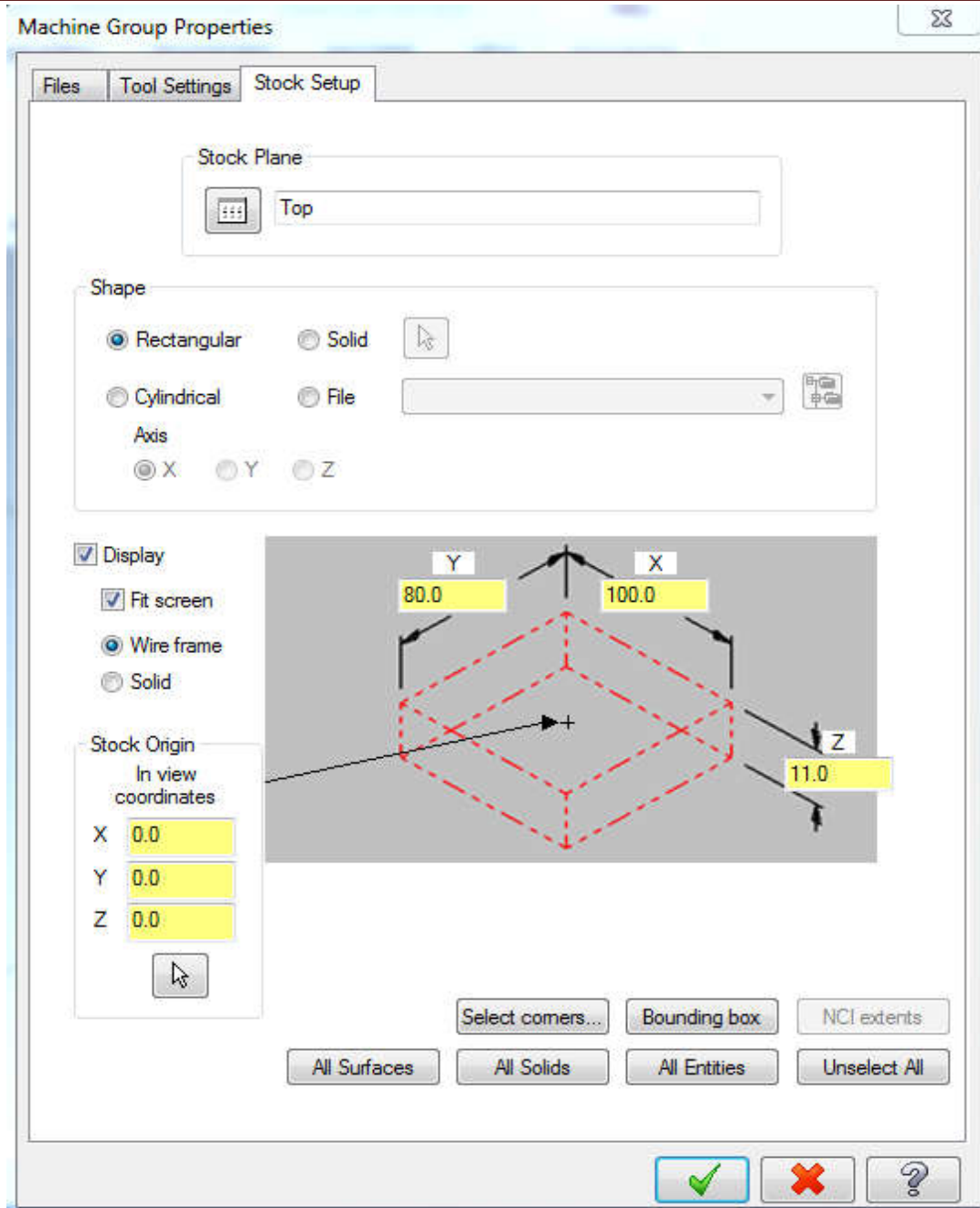




Figure II.30: Saisie des paramètres du brut

Une fois on a défini le brut, maintenant on peut faire la première stratégie d'usinage qui est la surfacage en bout ou en face (**Facing**). Pour l'atteindre on suive les étapes suivantes:

1. Cliquer sur la stratégie d'usinage **Face** (**Figure II.27**), la fenêtre sur la **Figure II.23** s'affiche, et puis cliquer sur  dans le menu **Chaining** (**Figure II.23**);
2. Sélectionner le rectangle à surfacer, en cliquant sur son circonférence à l'aide du bouton gauche de la souris, et puis cliquer sur le bouton  pour validation, la fenêtre sur la **Figure II.31** s'affiche;

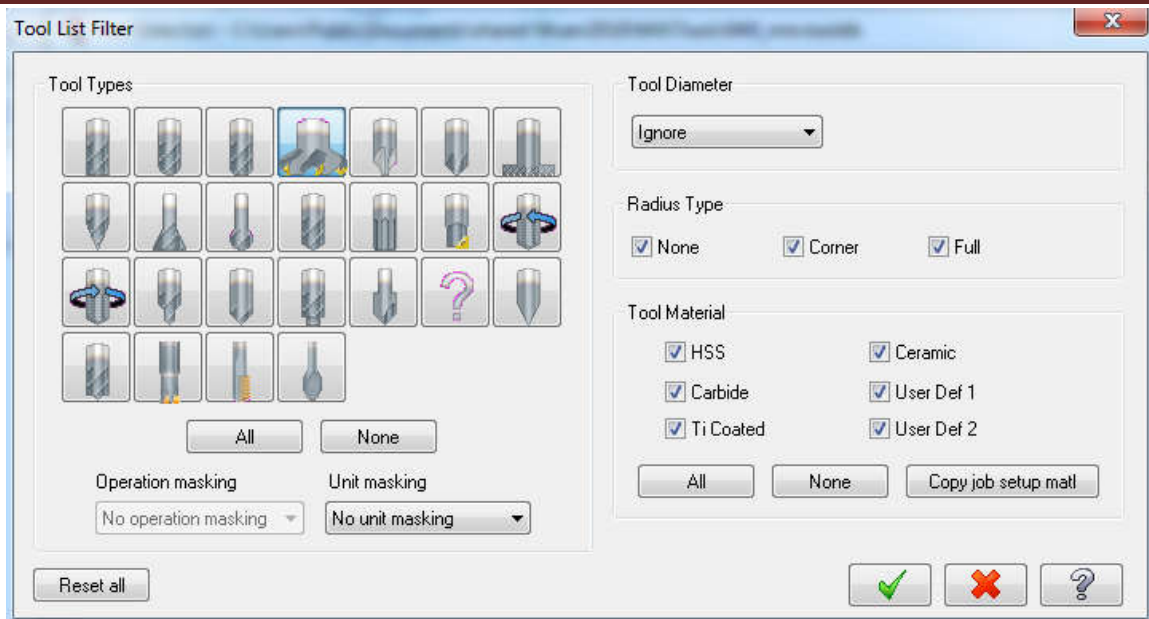


Figure II.32: Présentation menu Tool List Filter Facing

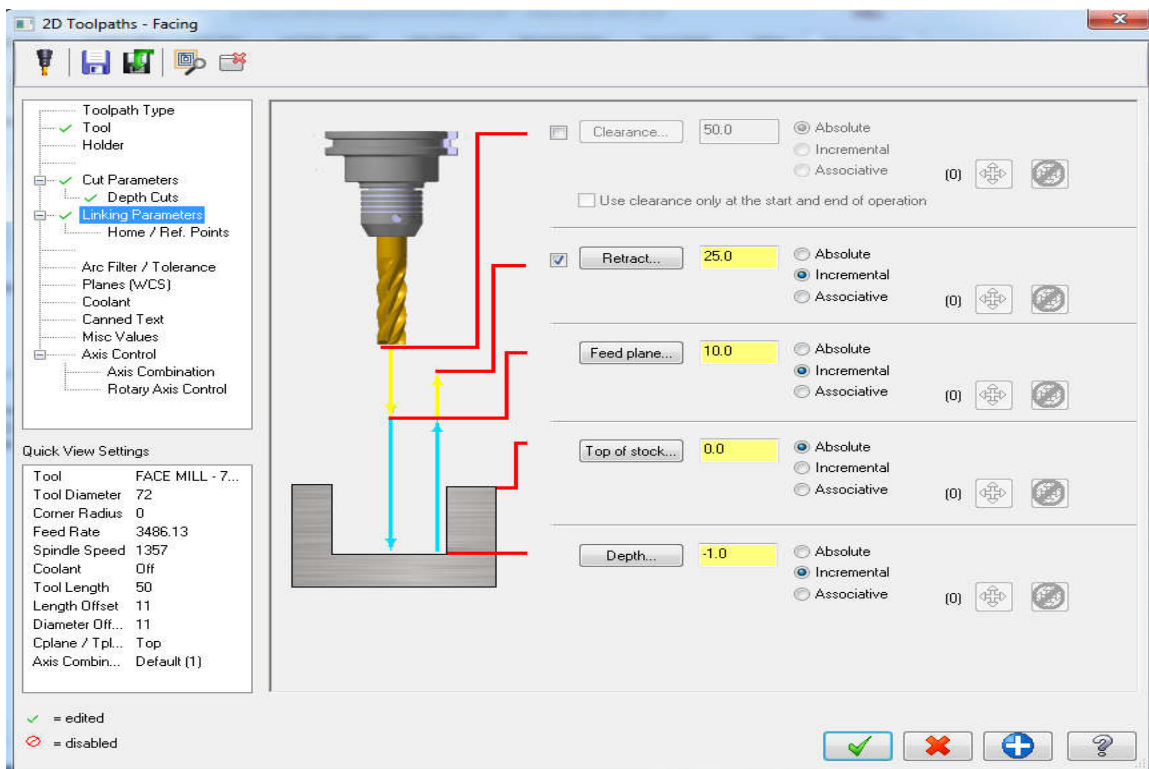




Figure II.33: Présentation menu Linking Parameters Facing

6.3.2. Stratégie deux (Drill):

Le perçage de trous est une stratégie d'usinage simple qui consiste à créer des surfaces cylindriques avec un foret.

La procédure de réalisation de deuxième stratégie d'usinage, perçage des trous sera être comme suit:

1. Cliquer sur la stratégie d'usinage **Drill** (Figure II.27), La fenêtre sur la Figure II.34 s'affiche et sélectionner les centres de quatre (04) cercles à l'aide du bouton droit de la souris et puis cliquer sur le bouton  pour validation, une fenêtre s'affiche (similaire à la Figure II.31);
3. Cliquer sur la fonction **Tool**, une fenêtre s'affiche puis en cliquant sur la fonction **Select library tool**, une autre fenêtre s'affiche, ensuite en appuyant sur la fonction **Filter** afin de saisir le diamètre du foret (dans notre cas le diamètre est 8 mm) de l'outil en choisissant la fonction **Equal** de la liste **Tool Diameter** en fin en cliquant sur le bouton pour validation des deux  opérations.
4. Cliquer sur la fonction **Stock**, une fenêtre s'affiche et puis cocher la case **Use Stock**;
5. Cliquer sur la fonction **Linking Parameters**, une fenêtre s'affiche et puis en saisissant la valeur de la profondeur (Depth) (dans notre cas Depth = -12 mm < -10 mm l'épaisseur de la pièce) en cochant sur la case **Depth Cut** et en fin valider en cliquant sur le bouton

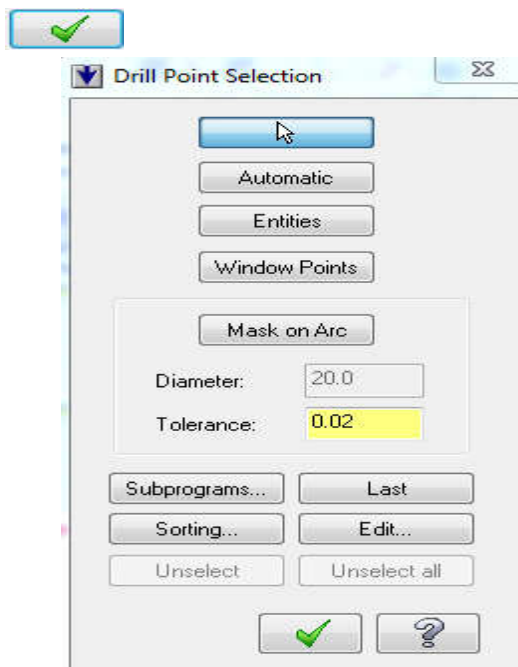








Figure II.34: Présentation menu Drill Point Selection

6.3.3. Stratégie trois (Pocket - Zigzag):

Pocket c'est l'usinage de poche horizontale en entrant, cette stratégie génère un style de poche de trajectoire de l'outil directement sur les faces horizontales déterminées (parallèle au plan XY).

Cette stratégie va dérouler comme suit:

1. Cliquer sur la stratégie d'usinage **Face** (sur la flèche descendante ) (**Figure II.27**), une fenêtre s'affiche, et puis cliquer sur la stratégie d'usinage **Pocket**, la fenêtre sur la **Figure II.23** s'affiche, ensuite cliquer sur  dans le menu **Chaining** (**Figure II.23**) afin de sélectionner le rectangle à coins arrondis et à la fin cliquer sur le bouton  pour validation, une fenêtre s'affiche (similaire à la **Figure II.31**);
2. Cliquer sur la fonction **Tool**, une fenêtre s'affiche, puis en cliquant sur la fonction **Select library tool**, une autre fenêtre la s'affiche, ensuite en appuyant sur la fonction **Filter** et en fin en cliquant sur le bouton pour  validation;
3. Définir l'outil de coupe (on choisit l'outil **FLAT END** de diamètre 3 mm), puis en cliquant sur le bouton  pour validation;
4. Cliquer sur la fonction **Cut Parameters**, une fenêtre s'affiche et modifier les paramètres (**Stock to leave on walls = 0** et **Stock to leave on floors = 0**);
5. Cliquer sur la fonction **Roughing**, une fenêtre s'affiche et choisir le mode **Zigzag**;
6. Cliquer sur la fonction **Depth Cut** (**Figure II.45**), une fenêtre s'affiche et modifier les paramètres de coupe (4 mm, 1 mm et 0.25 mm) en cochant sur la case **Depth Cut** ;
7. Cliquer sur la fonction **Linking Parameters**, une fenêtre s'affiche et puis en saisissant la valeur de la profondeur (Depth) (dans notre cas Depth = -5 la profondeur du poche) et en fin valider en cliquant sur le bouton 

6.3.4. Stratégie quatre (04) (Pocket - Constant Overlap Spiral):

Elle génère une rainure de profil en plein matière de la pièce.

Pour réaliser cette stratégie on suivra presque les mêmes étapes que la stratégie précédente (Pocket – Zigzag) sauf les différences suivantes:

1. La définition de l'outil de coupe, dans ce cas on choisit l'outil de diamètre 4 mm;
2. Dans la fonction **Roughing**, on choisit le mode **Constant Overlap Spiral**;
3. Dans la fonction **Break Through**, on coche la case **Break through** (**Figure II.35**) (car la rainure est débouchant);

4. Dans la fonction **Linking Parameters**, on saisit la valeur de la profondeur (Depth) (dans notre cas $\text{Depth} = -15\text{mm} < -10\text{ mm}$ l'épaisseur de la pièce).

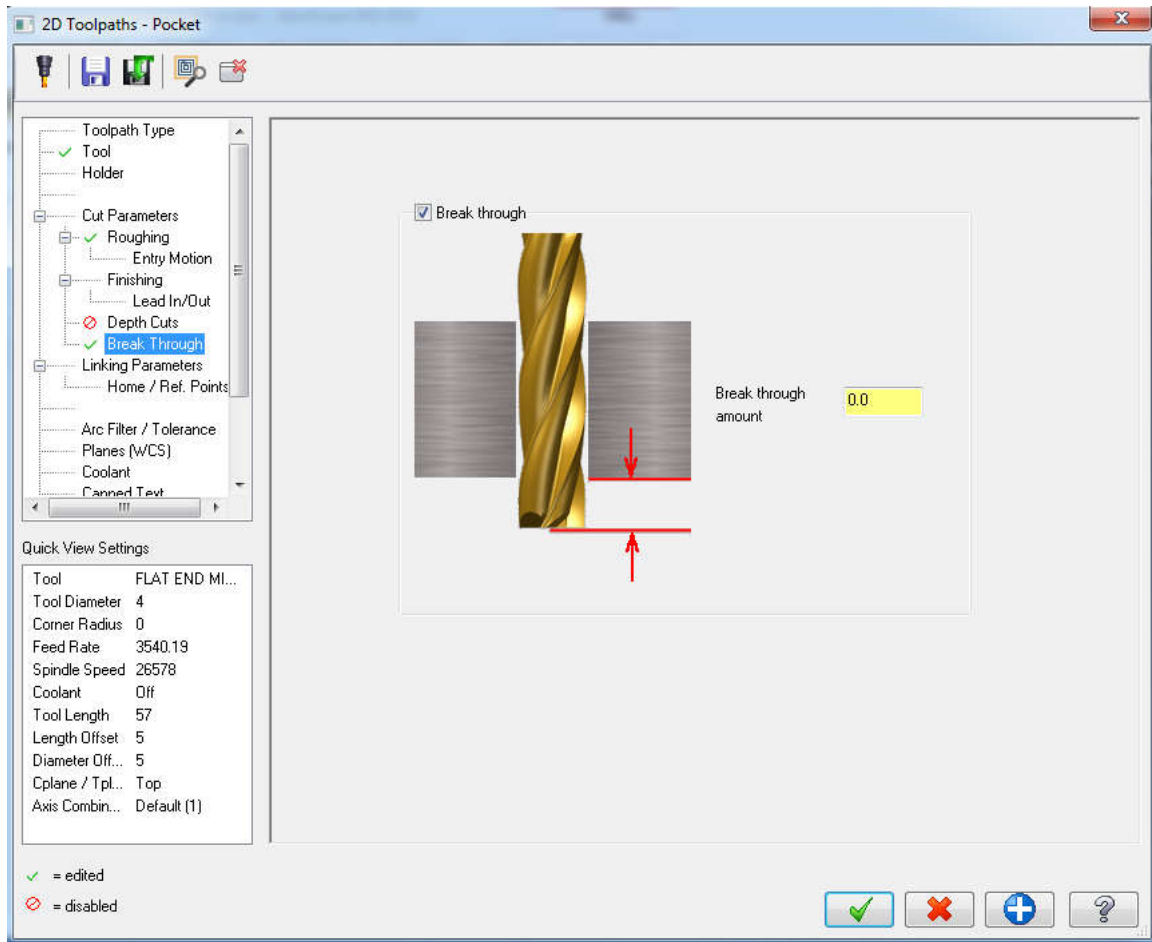


Figure II.35: Présentation menu Break Through

Après avoir terminé toutes les opérations de stratégies d'usinages précédentes (surfaçage de face, perçage, surfaçage de poche et rainurage en plein de matière) notre pièce prismatique est maintenant à la phase finale de la CFAO avant de générer le programme d'usinage en G-code.

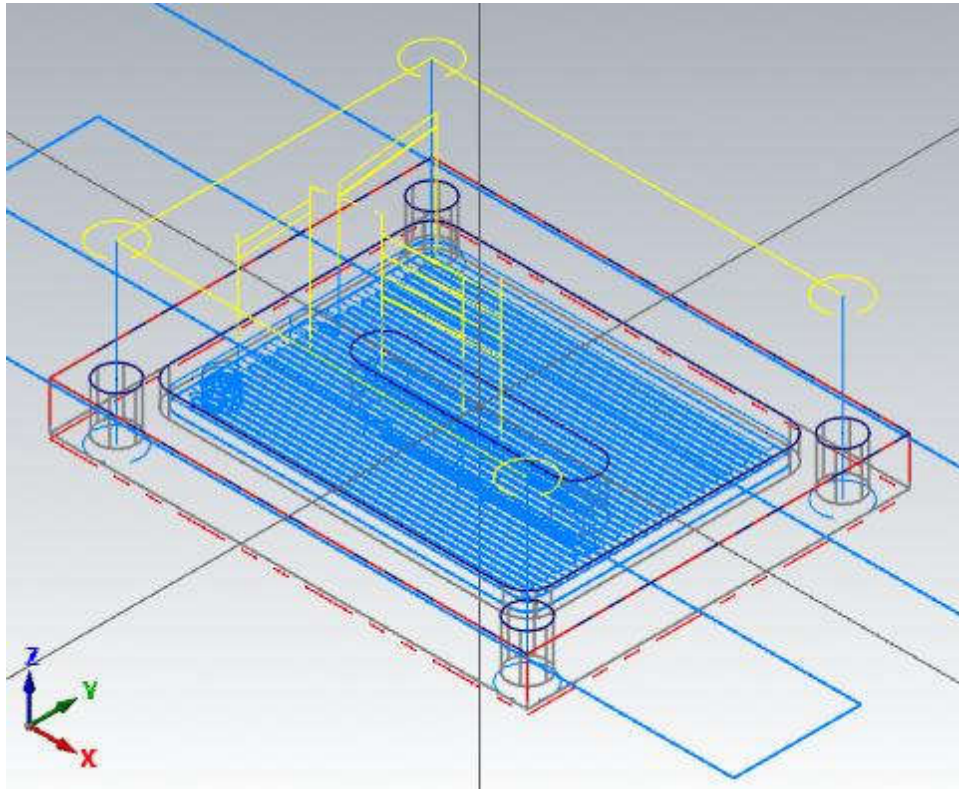



Figure II.36: Présentation des cinq stratégies d'usinage ensemble

6.4. Génération du programme CN d'usinage:

Pour générer le programme CN d'usinage en G-code on suit les étapes suivantes:

A partir de la fenêtre (Figure II.36) de la FAO et le menu **Toolpaths** (Figure II.29), en cliquant sur la touche **G1** (**Post selected operations**), la fenêtre sur la Figure II.37 s'affiche, et puis en cliquant sur le  bouton pour validation, le G-code se génère (Figure II.38).

Remarque: Le programme CN d'usinage en G-code complet est disponible sur l'annexe ...

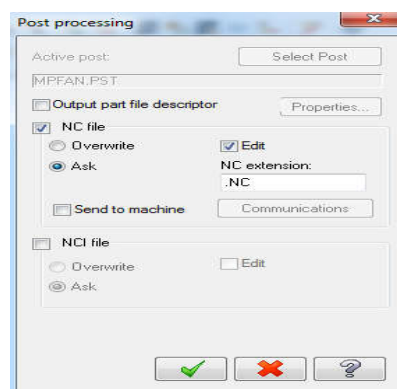


Figure II.37: Présentation du menu **Post processing**

```

1  §
2  O0000 (PIECE_PRISMATIQUE)
3  (DATE=DD-MM-YY - 29-06-19 TIME=HH:MM - 16:34)
4  (MCX FILE - C:\USERS\MI\DESKTOP\PIECE_PRISMATIQUE.MCAM)
5  (NC FILE - C:\USERS\MI\DESKTOP\PIECE_PRISMATIQUE.NC)
6  (MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
7  ( T11 | FACE MILL - 72/80 | H11 )
8  ( T20 | 10. DRILL | H20 )
9  ( T5 | FLAT END MILL - 3 | H5 )
10 N100 G21
11 N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90
12 / N120 G91 G28 Z0.
13 / N130 G28 X0. Y0.
14 / N140 G92 X250. Y250. Z250.
15 N150 T11 M6
16 N160 G0 G90 X-129.2 Y39.998 A0. S1357 M3
17 N170 G43 H11 Z25.
18 N180 Z10.
19 N190 G1 Z-.75 F1000.
20 N200 X93.2 F3486.1
21 N210 Y13.333
22 N220 X-93.2
23 N230 Y-13.333
24 N240 X93.2
25 N250 Y-39.998
26 N260 X-129.2
27 N270 G0 Z24.25
28 N280 Y39.998
29 N290 Z9.25
30 N300 G1 Z-1. F1000.

500 N5000 G1 X-20.
501 N5010 G3 X-20.5 Y0. I0. J-.5
502 N5020 X-20. Y-.5 I.5 J0.
503 N5030 G0 Z10.
504 N5040 X-3.969 Y.5
505 N5050 Z-4.75
506 N5060 G1 Z-15. F1000.
507 N5070 G3 X0. Y-3. I3.969 J.5 F3540.2
508 N5080 G1 X20.
509 N5090 G3 X23. Y0. I0. J3.
510 N5100 X20. Y3. I-3. J0.
511 N5110 G1 X-20.
512 N5120 G3 X-23. Y0. I0. J-3.
513 N5130 X-20. Y-3. I3. J0.
514 N5140 G1 X0.
515 N5150 G3 X3.969 Y.5 I0. J4.
516 N5160 G0 Z25.
517 N5170 M5
518 N5180 G91 G28 Z0.
519 N5190 G28 X0. Y0. A0.
520 N5200 M30
521 §

```

Figure II.38: Programme d'usinage en G-code de la FAO

Conclusion:

Dans ce chapitre on a présenté les systèmes CAO et FAO et ensuite on a montré la procédures en détaille de conception et de fabrication d'une pièce prismatique de notre projet par l'utilisation de plusieurs stratégies d'usinage (surfaçage en bout ou en face, perçage, surfaçage de poche et rainurage en plein de matière) du système CFAO MasterCAM, à partir du dessin de définition jusqu'à la génération du programme d'usinage en G-code.

Dans le chapitre suivant on va faire une simulation du programme d'usinage de cette pièce par l'utilisation du logiciel SinuTrain pour SINUMERIK 828D.

Chapitre III:

**Simulation d'usinage d'une pièce
prismatique sur SinuTrain pour
SINUMERIK 828D**

1. Introduction:

Le développement technologique des MOCN se caractérise par une évolution rapide et dynamique. Notamment au niveau de la création des programmes CN, la gamme des outils allant de la programmation pure de système FAO à la programmation directement sur la machine à commande numérique s'est grandement élargie. Pour chaque domaine, des méthodes de programmation spécifiques et productives sont disponibles. Avec ShopMill, SIEMENS offre un outil de programmation conçu pour l'atelier assurant une programmation des étapes de travail rapide et adaptée à la pratique de l'usinage de pièces individuelles jusqu'à la fabrication des petites séries. Combiné avec SINUMERIK 828D de SIEMENS.

2. Présentation du logiciel SINUTRAIN:

2.1. Définition:

Sinutrain est un logiciel de formation aux commandes numériques et à la préparation des programmes d'usinage sur PC. [10]

Il peut être utilisé pour:

- la formation;
- l'auto apprentissage;
- l'établissement de programmes et la simulation. Le logiciel permet de traiter les différentes CN SINUMERIK ainsi que les langages de programmation : DIN 66025, programGUIDE, Shopmill, Shopturn, programSYNC;
- les CN SINUMERIK type : 840D SolutionLine et 828D;
- gérer les modes Manuel, Automatique et Transfert de données.

2.2. Avantages:

- Formation sur une interface PC identique à celle de nos commandes numériques;
- SinuTrain est disponible en 6 langues dont le français;
- Intégration au système CAO, création rapide de programme;
- Aide en ligne intégrée pour la programmation et l'exploitation;
- Gestion de licences flottantes (pas de clé physique).



Figure III.1: Présentation du logiciel SINUTRAIN

2.3. Vue d'ensemble:

Le logiciel de formation SinuTrain for SINUMERIK Operate (dénommé ci-après SinuTrain) simule une SINUMERIK 840D sl ou SINUMERIK 828D avec l'interface utilisateur SINUMERIK Operate sur votre PC.

❖ 2.3.1. Représentation et comportement du logiciel:

SinuTrain permet une commande réelle grâce à la représentation fidèle à l'original du pupitre opérateur, du tableau de commande machine et de l'interface utilisateur.

- SinuTrain comprend un tableau de commande machine doté de fonctions spécifiques à un table de commande réel (par ex. CYCLE START (départ cycle), mode de fonctionnement etc.).
- SinuTrain comprend un pupitre opérateur permettant d'utiliser toutes les fonctions spécifiques à un pupitre opérateur réel (raccourci clavier etc.).
- L'interface utilisateur correspond à l'interface d'origine de SINUMERIK Operate.
- Le comportement de la simulation est identique à celui d'une commande réelle.
- Les fonctionnalités complètes de SINUMERIK Operate sur SINUMERIK 840D sl / 828D sont disponibles, mises à part les fonctions non autorisées et dépendant du matériel suivantes :
 - ✓ Fonctions d'entraînement
 - ✓ Interface V24
 - ✓ Mise en service de série

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

- ✓ Télédagnostic
- ✓ Fonctionnalités Safety et AP
- ✓ Ctrl-Energy
- Les fonctionnalités de SINUMERIK 828D sont en outre réduites des fonctions suivantes :
 - ✓ Service Planer
 - ✓ Easy Message
 - ✓ Easy Extend
 - ✓ Ladder Viewer et Ladder add-on

2.4. Enregistrement et impression de programmes CN:

SinuTrain offre la possibilité d'enregistrer des programmes CN créés par l'utilisateur (code G et programmes d'étapes opératoires).

Vous avez également la possibilité d'imprimer un programme ouvert dans l'interface utilisateur de SINUMERIK Operate.

2.5. Liste de machines:

La liste de machines permet de créer des machines, de paramétrer et gérer les configurations des machines avec lesquelles vous vous entraînez.

1. Menu SinuTrain
2. Barre d'outils contenant des icônes permettant l'accès à des fonctions importantes
3. Toutes les machines créées sont affichées

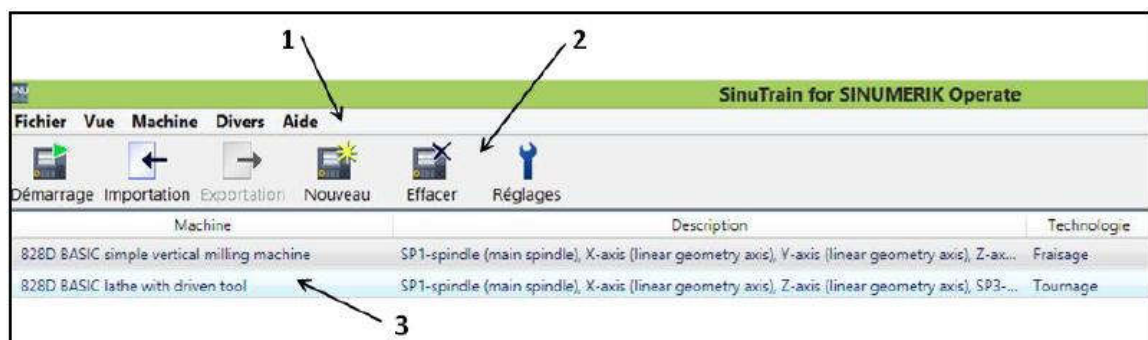


Figure III.2: Liste de machines

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

Les informations suivantes sont affichées dans la liste :

- **Machine**

Nom de la machine attribuée lors de la configuration, à l'étape "Paramètres" sous "Généralités".

- **Description**

Description brève de la machine saisie lors de la configuration, à l'étape "Paramètres" sous "Généralités".

- **Technologie**

Affiche la version de la machine, en fonction de la configuration standard sélectionnée :

- ✓ 840D sl : Universel
- ✓ 840D sl : Tournage
- ✓ 840D sl : Fraisage
- ✓ 828D : Tournage
- ✓ 828D : Fraisage

- **Disponibilité des licences**

Affiche l'état d'attribution de licence de la machine. Les états suivants sont possibles :

- ✓ crochet vert : il existe une licence valide
- ✓ X rouge : il n'existe aucune licence valide
- ✓ montre jaune : il existe une licence test valide
- ✓ barre noire : l'état de la licence est inconnu

- **Dernière utilisation**

Indique la date/heure du dernier arrêt de la machine.

- **Date de création**

Indique la date/heure de création de la configuration de la machine.

2.6. Système de contrôle SinuTrain operate 4.4:

Le programme complet de Siemens est utilisé pour vérifier le fonctionnement de la machine, la programmation, le diagnostic et l'introduction relativement facile de nouvelles pièces en production. L'avantage principal de ce système est qu'il permet de travailler dans deux technologies simultanément. Il comprend également une gamme de fonctionnalités de haute performance, y compris une interface graphique avec la simulation pour valider le programme.

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

L'avant dernière version est SINUTRAIN OPERATE 4.4 ed.2, qui prend directement en charge la version du sl 840D. Et 828D. Elle comprend plusieurs variantes de la formation du programme, basé sur les alternatives mentionnées ci-dessus. Tout d'abord, on peut utiliser le Guide du programme, ce qui permet la programmation à l'aide du G-code, avec des cycles de support. Il est particulièrement adapté pour les moyennes et grandes parties de pièces où nous devons optimiser la machine à voie unique par rapport au temps de fabrication. D'autres alternatives sont ShopMill atelier et ShopTurn, qui peut être appliquée en petites séries ou la production de pièces de composants plus simples. Ce qui nécessite à L'opérateur une grande expertise dans la programmation. Bien sûr, entre autres la programmation classique ISO.

2.6. Commandes :

Les commandes suivantes sont disponibles pour l'utilisation de SinuTrain:

Tableau III.1: Les commandes disponibles l'utilisation de SinuTrain

Menu	Options de menu	Fonction
Fichier	Nouveau...	Lance l'assistant pour la configuration de machine.
	Supprimer	Supprime une machine SinuTrain sélectionnée.
	Importer...	Ouvre la boîte de dialogue "Assistant pour la configuration de machine" pour ajouter des machines archivées et sauvegardées à la liste de machines SinuTrain.
	Exportation...	Ouvre la boîte de dialogue "Assistant pour la configuration de machine" pour exporter des configurations de machines depuis la liste des machines SinuTrain.
	Mise en page...	Ouvre la fenêtre "Mise en page". Permet de définir les bordures et l'étendue d'impression ainsi que de sélectionner la forme de représentation des programmes CN.
	Imprimer	Imprime des programmes conformément aux réglages dans "Mise en page" à partir de l'éditeur du SINUMERIK Operate.
	Quitter	Quitter SinuTrain for SINUMERIK Operate.
Vue	Affichage plein écran	Permet de choisir entre Affichage à fenêtres et Affichage plein écran.
Machine	Lancer	Lance la configuration de machine sélectionnée dans le champ de sélection de la liste de machines SinuTrain.
	Redémarrer	La machine SinuTrain est redémarrée.
	Arrêter	Arrête la machine SinuTrain. La liste de machines SinuTrain reste ouverte.
	Paramètre...	Ouvre la fenêtre "Paramètres" permettant de configurer la langue et la résolution de l'interface SINUMERIK Operate.

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

	Vérifier la disponibilité des licences	Vérifie si une licence suffisante est présente pour la machine SinuTrain sélectionnée.	
	Informations de licence...	Affiche les licences pouvant être utilisées pour la machine sélectionnée.	
	Outil de mise à jour des langues	Appelle le Language Update Tool.	
	Outil de configuration de machine	Appelle le SinuTrain for SINUMERIK Operate Machine Configuration Tool.	
	Vérifier la disponibilité des licences	Vérifie la disponibilité des licences pour toutes les configurations de machines disponibles dans la liste des machines.	
	Options...	Langue	Permet de modifier la langue de l'interface SinuTrain.
		Remarques	Active ou désactive des messages avertisseurs dans SinuTrain for SINUMERIK Operate (par ex. avertissement d'une éventuelle perte de données lors de la suppression d'une machine SinuTrain).
Aide	Rubriques d'aide		Ouvre l'aide en ligne pour SinuTrain for SINUMERIK Operate.
	Outils	Outil de configuration de machine	Ouvre l'aide en ligne pour SinuTrain for SINUMERIK Operate Machine Configuration Tool. Cette option de menu n'est présente que lorsque le SinuTrain for SINUMERIK Operate Machine Configuration Tool est installé.
	A propos de...		Ouvre la fenêtre d'information "A propos de SinuTrain for SINUMERIK Operate". Indique la version produit du logiciel SinuTrain for SINUMERIK Operate installé. La zone "Outils installés" répertorie les versions de tous les composants add-on installés (par ex. SinuTrain for SINUMERIK Operate Machine Configuration Tools). Le bouton "Étendu..." ouvre une boîte de dialogue présentant un aperçu de toutes les versions des composants installés. Le bouton "Copier" permet de copier toutes les informations de version dans le presse-papiers, par exemple pour les insérer dans un courriel afin de clarifier un problème.

3. Présentation du langage ShopMill:

3.1. Définition:

ShopMill est un logiciel de conduite et de programmation pour les fraiseuses de trois à cinq axes d'usinage. ShopMill s'adresse aussi bien aux utilisateurs confirmés qu'à ceux n'ayant pas de connaissances spécifiques du langage ISO. Facile d'utilisation et très convivial, ShopMill affiche le programme sous la forme d'une gamme d'usinage et représente les cycles et éléments de contour individuels à l'aide d'icônes. Vous pouvez alors modifier l'organisation de cette gamme d'usinage de façon très simple grâce aux fonctions copier, couper, insérer. Outre un grand nombre de cycles, ce logiciel offre toute une gamme de fonctionnalités pratiques (par exemples : détermination de l'origine pièce même sur un plan incliné, gestion graphique des outils, de leur usure et de leur durée de vie). [11]

ShopMill supporte trois types de programmation différents:

- Les programmes à Code G créés à l'extérieur de la machine, par exemple ceux réalisés sur les systèmes de CAO/FAO,
- Les programmes à Code G créés directement au pied de la machine avec le support des cycles de technologies Siemens Création sous la forme d'une gamme d'usinage avec le conversationnel ShopMill.

3.2. Avantages:

- Réglages de la machine (décalages d'origine, mesures d'outils) avec un support graphique;
- Gestion graphique des outils, géométries, usures et durées de vie;
- Simulation graphique 3D de la pièce définitive;
- Optimisation des programmes de formes (Prévisualisation 3D et cycle UGV);
- Usinage sur plan incliné, compatible avec les têtes et les tables orientables ou les cinématiques mixtes;
- Orientation dans l'espace du plan d'usinage (Frames).

Avec la programmation conversationnelle (option):

- Réduction du temps de programmation;

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

- Représentation graphique de la pièce sur l'écran au fur et à mesure de la programmation;
- Nombreux cycles de fraisage et de perçage intégrant une aide graphique, dont un cycle de gravure;
- Cycle d'évidement de poche intelligent, la poche peut inclure jusqu'à 12 îlots;
- Usinages simultanés de pièces identiques avec optimisation des changements d'outils.

3.3. Fonctions optionnelles:

- Programmation avec le conversationnel ShopMill
- Dessin en temps réel de la pièce en cours d'usinage
- Détection et usinage de la matière restante au sein du cycle de poches intelligent
- Usinages simultanés de plusieurs pièces différentes avec optimisation des changements d'outils
- Cycles de mesures en automatique
- Fonctions de lissages, inclus les fonctions Spline et compresseurs
- Fonctions cinq axes, inclus la fonction RTCP, TRAORI, programmation du vecteur d'outil
- Connexion réseau, lecteur de disquettes, Compact Flash Card Télédiagnostic.



Figure III.3: Présentation du langage ShopMill

4. Présentation de la commande SINUMERIK 828D fraisage:

4.1. Définition:

La SINUMERIK est une commande numérique à ordinateur (CNC, Computerized Numerical Control) destinée à des machines-outils. [12]

La commande CNC permet d'exécuter entre autres les fonctions de base suivantes en liaison avec une machine-outil :

- Élaboration et adaptation de programmes pièce;
- Exécution de programmes pièce;
- commande manuelle;
- Accès aux supports de données internes et externes;
- Édition de données à destination des programmes;
- Gestion d'outils, de points d'origine, etc. dans les données utilisateur nécessaires pour les programmes;
- diagnostic commande et machine.

Dans la commande, les fonctions de base sont regroupées au sein des groupes fonctionnels suivants:

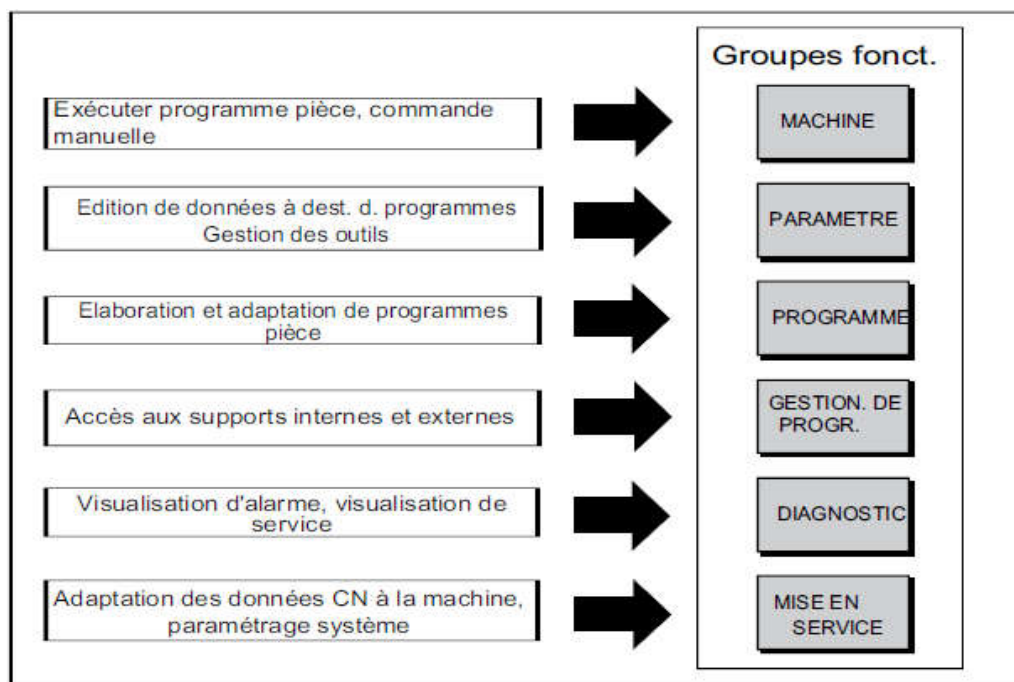


Figure III.4: Groupes fonctionnels

4.2. Pupitres opérateur:

L'affichage (écran) et la commande (par ex. touches matérielles et logicielles) de l'interface utilisateur SINUMERIK Operate s'effectuent au moyen du pupitre opérateur.

Les éléments disponibles pour la conduite de la commande et de la machine-outil sont représentés ci-dessous, à l'appui du pupitre opérateur OP 010 (**Figure III.1**).

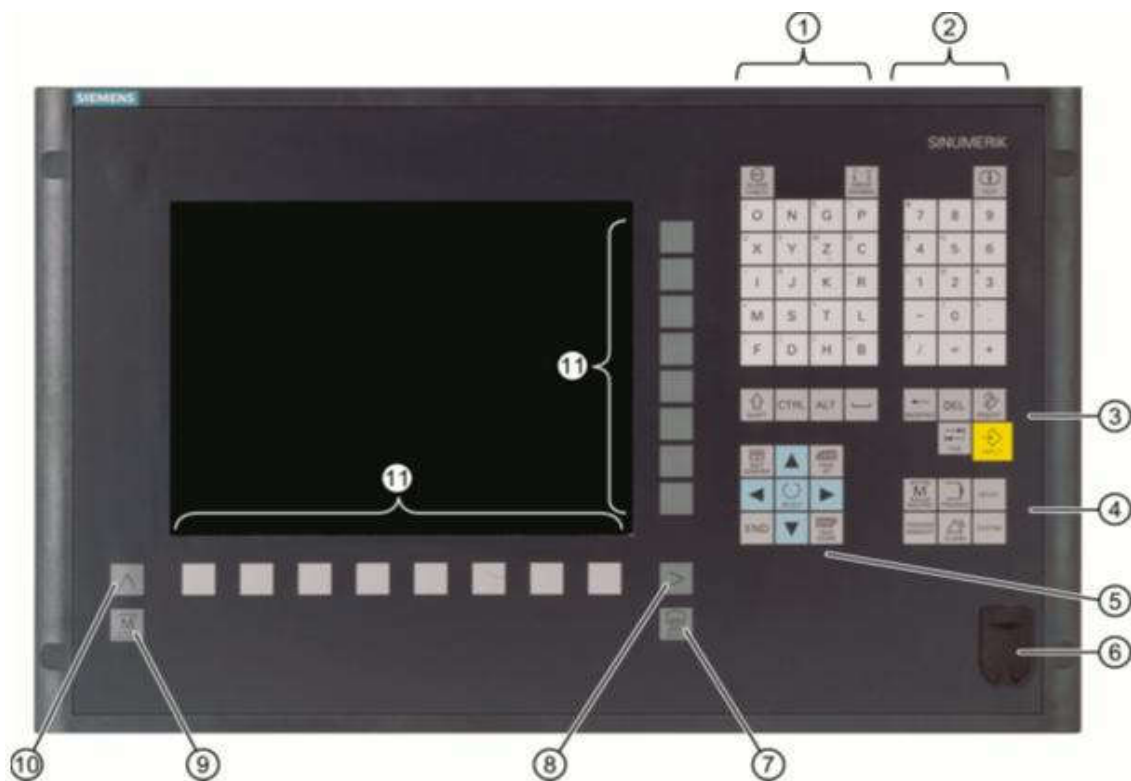


Figure III.5: Face avant du pupitre opérateur OP 010 [12]



Figure III.6: Face avant du pupitre opérateur de la machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L (Université de M'sila)

❖ **Éléments de commande et d'affichage:**

1. Pavé Alpha

Maintenez la touche <Maj> enfoncée pour utiliser les caractères spéciaux des touches à double affectation et écrire en majuscules.

Remarque: Selon la configuration de votre commande, la saisie se fait toujours en majuscules.

2. Pavé numérique

Maintenez la touche <Maj> enfoncée pour utiliser les caractères spéciaux des touches à double affectation.

3. Pavé de touches de commande

4. Pavé de touches de raccourci

5. Pavé de touches du curseur

6. Interface USB

7. Touche Menu Select

8. Touche d'accès au menu suivant

9. Touche machine

10. Touche d'accès au menu précédent

11. Touches logicielles

4.3. Tableaux de commande machine:

La machine-outil peut être équipée d'un tableau de commande machine de Siemens ou d'un tableau de commande machine spécifique au constructeur.

Le tableau de commande machine permet de déclencher des actions au niveau de la machine-outil, comme le déplacement des axes ou l'usinage de la pièce.

❖ **Éléments de commande du tableau de commande machine**

Les éléments de commande et d'affichage de Siemens vous sont présentés à travers l'exemple du tableau de commande machine MCP 483C IE (**Figure III.2**):

1. Bouton-poussoir d'arrêt d'urgence

2. Constructeur de la machine-outil

3. Emplacements des auxiliaires de commande (d = 16 mm) RESET

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

4. Commande du programme
5. Modes de fonctionnement, fonctions machine
6. Constructeur de la machine-outil
7. Touches de sélection du sens
8. Commande de la broche avec commutateur de correction
9. Commande de l'avance avec commutateur de correction
10. Commutateur à clé (4 positions)



Figure III.7: Vue d'ensemble du tableau de commande machine



Figure III.8: Vue d'ensemble du tableau de commande machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L (Université de M'sila)

5. Réalisation de la pièce prismatique sous le SINUMERIK 828D:

5.1. Création d'un programme ShopMill:

Pour créer un programme ShopMill afin de réaliser notre pièce prismatique à partir du dessin de définition jusqu'à la création du programme d'usinage on suivra la procédure suivante :

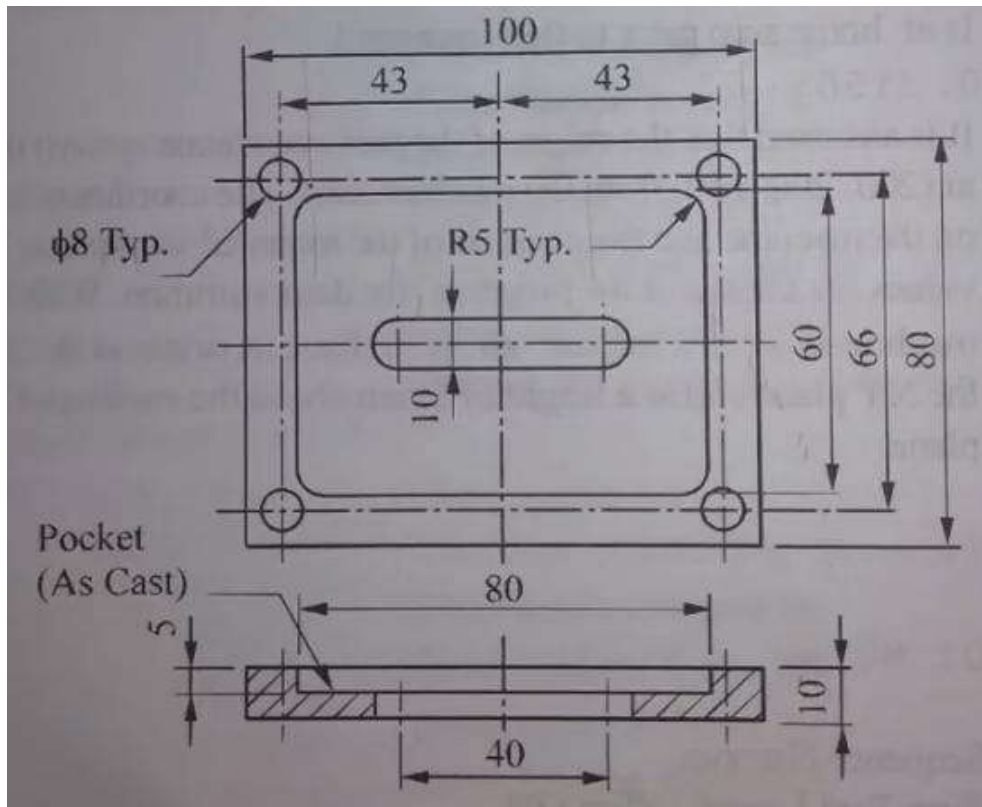


Figure III.9: Dessin d'atelier d'une pièce prismatique

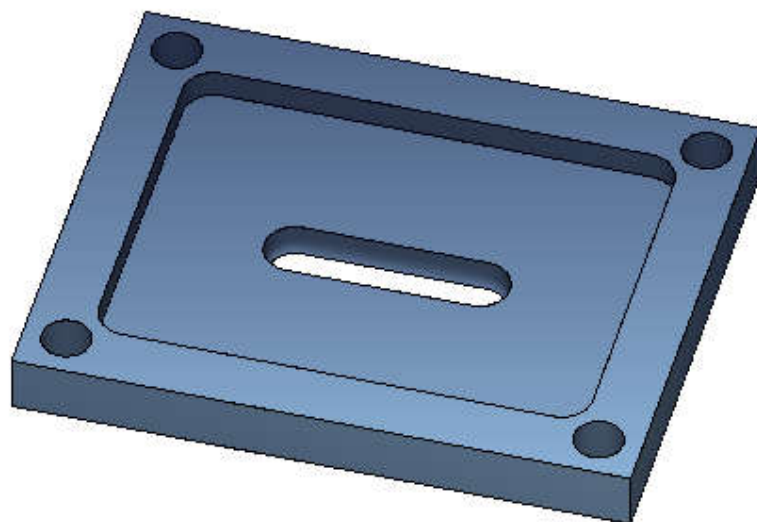


Figure III.10: Pièce prismatique

5.2. Procédure:

- Création d'un fichier de programme:

Après la mise sous tension du logiciel, cette interface s'affiche:

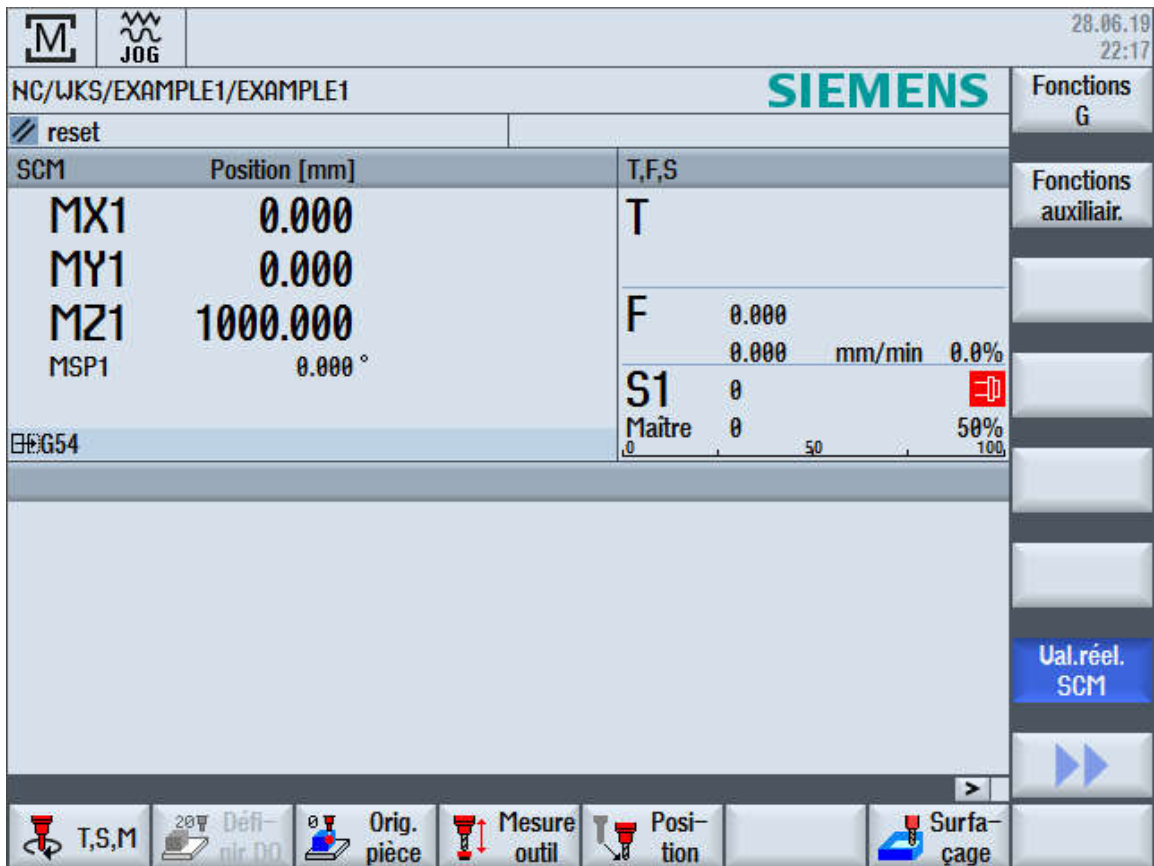


Figure III.11: Interface SinuTrain pour SINUMERIK 828D (Image de base)



1. Ouvrir le menu principal avec **MENU SELECT**.

A partir du menu principal (**MENU SELECT**), on peut appeler les différents groupes fonctionnels de ShopMill,

Après avoir ouvert le **MENU SELECT**, la fenêtre sur la figure suivante (**Figure III.12**) s'affiche;

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

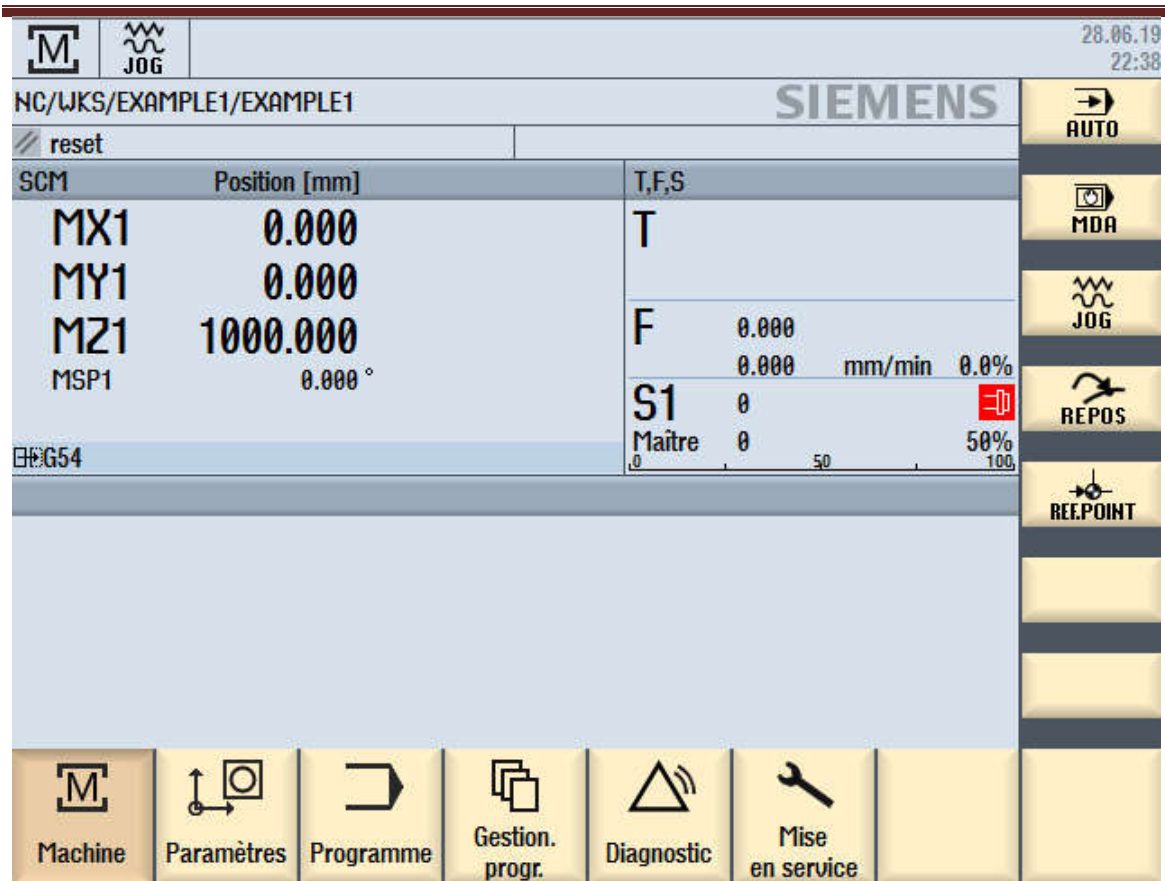


Figure III.12: Menu principal



2. Appuyer sur la touche logicielle **Gestion. Programme.**

Le gestionnaire de programmes s'ouvre. Le gestionnaire de programmes nous permet de gérer les gammes d'usinage et les contours (par exemple, fonctions Nouveau, Ouvrir, Copier,...etc.);

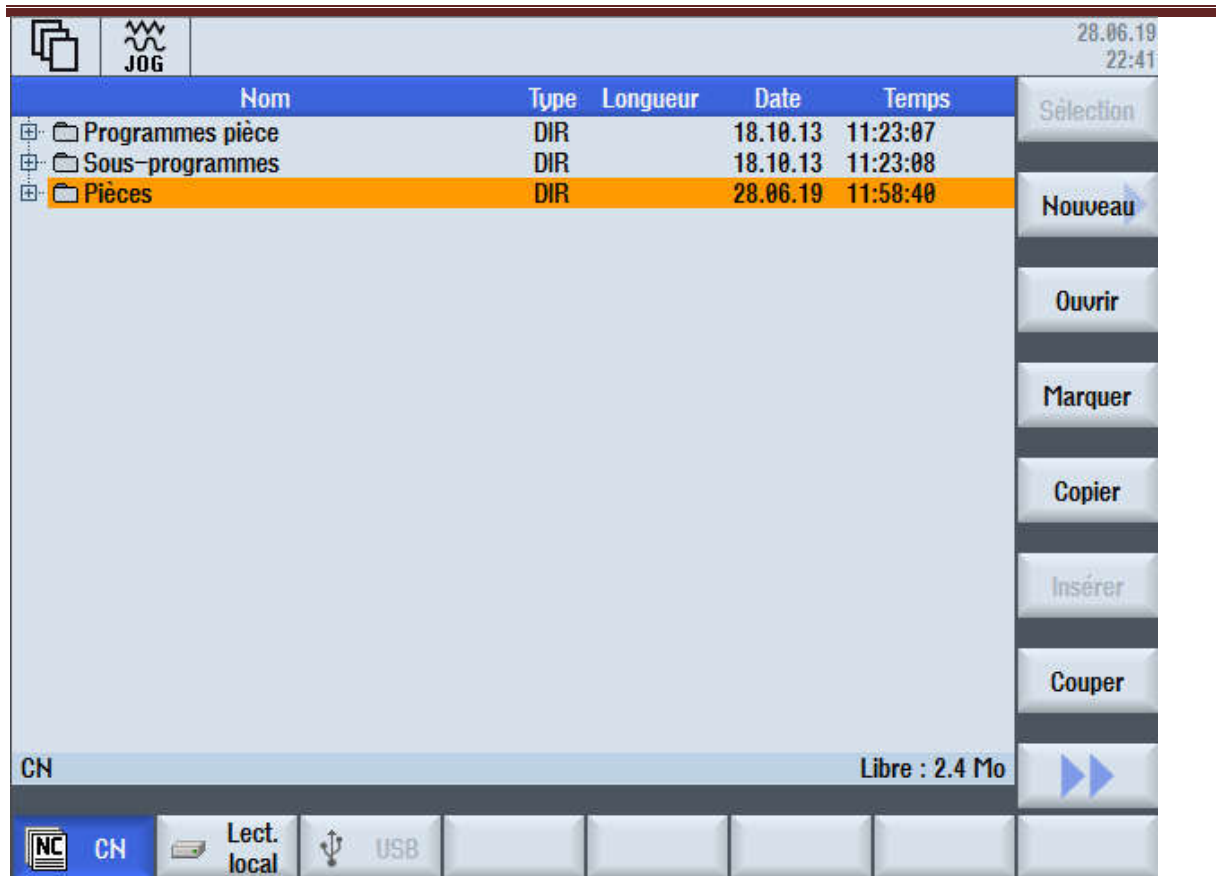


Figure III.13: Gestionnaire de programmes



3. Actionner la touche curseur vers la bas

le gestionnaire de programmes affiche la liste des répertoires existants. A l'aide du curseur vers le bas sélectionner le répertoire « Pièces »;



4. Actionner la touche logicielle **INPUT**

L'action sur la touche INPUT a pour but d'ouvrir le répertoire (arborescence) « Pièce »;



5. Actionner la touche logicielle **Nouveau**

La fenêtre montrée sur la **Figure 14** s'affiche pour la nomenclature de la gamme d'usinage

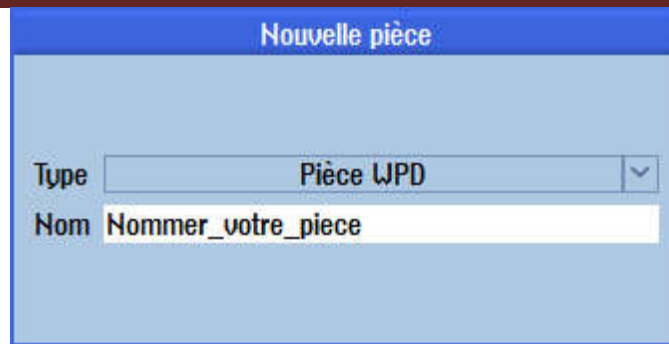
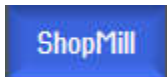


Figure III.14: Menu Nouvelle pièce



6. Cliquer sur le bouton **OK**

Afin de valider l'opération;



7. Actionner la touche logicielle **ShopMill**

Pour définir le type de programme. Après la définition saisir maintenant le type de programme (dans ce cas on s'intéresse au ShopMill « fraisage »);

La fenêtre présentée à la **Figure 15** s'ouvre et saisir le nom de la gamme d'usinage « **PIECE_PRISMATIQUE** »

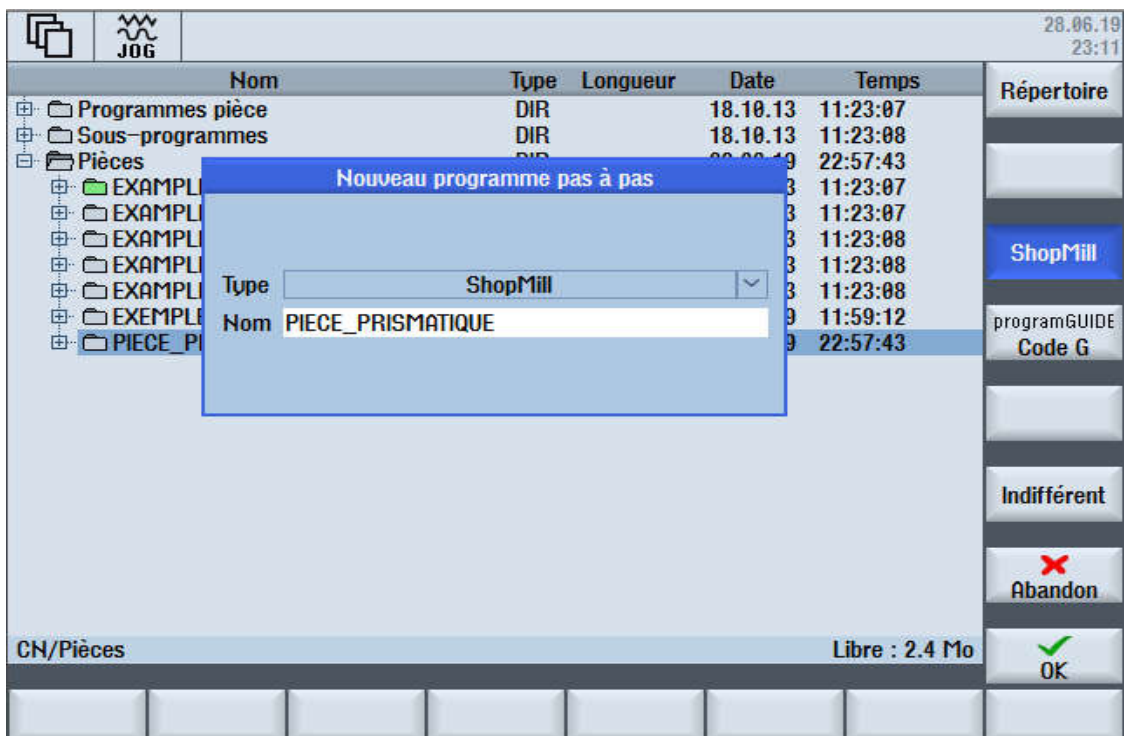


Figure III.15: Création du type de programme et le nom de la gamme d'usinage



8. Valider votre saisie.

- **Définition du brut**

Après validation de l'étape 8, le masque de saisie ci-après s'ouvre pour vous permettre de saisir les paramètres de la pièce.

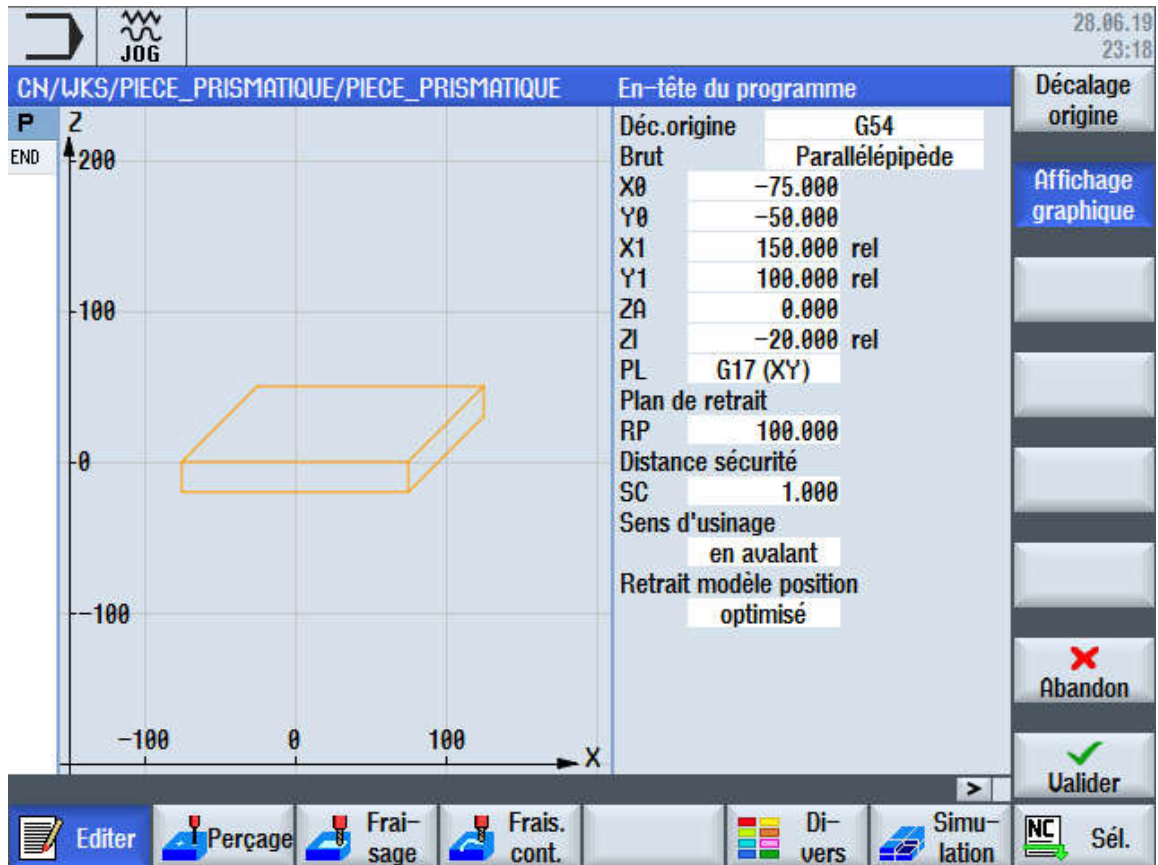


Figure III.16: Menu En-tête du programme

Dans l'en-tête du programme:

1. saisir les paramètres de la pièce et les données générales du programme.

Dans cette étape en saisissant toutes les coordonnées par rapport à l'origine.

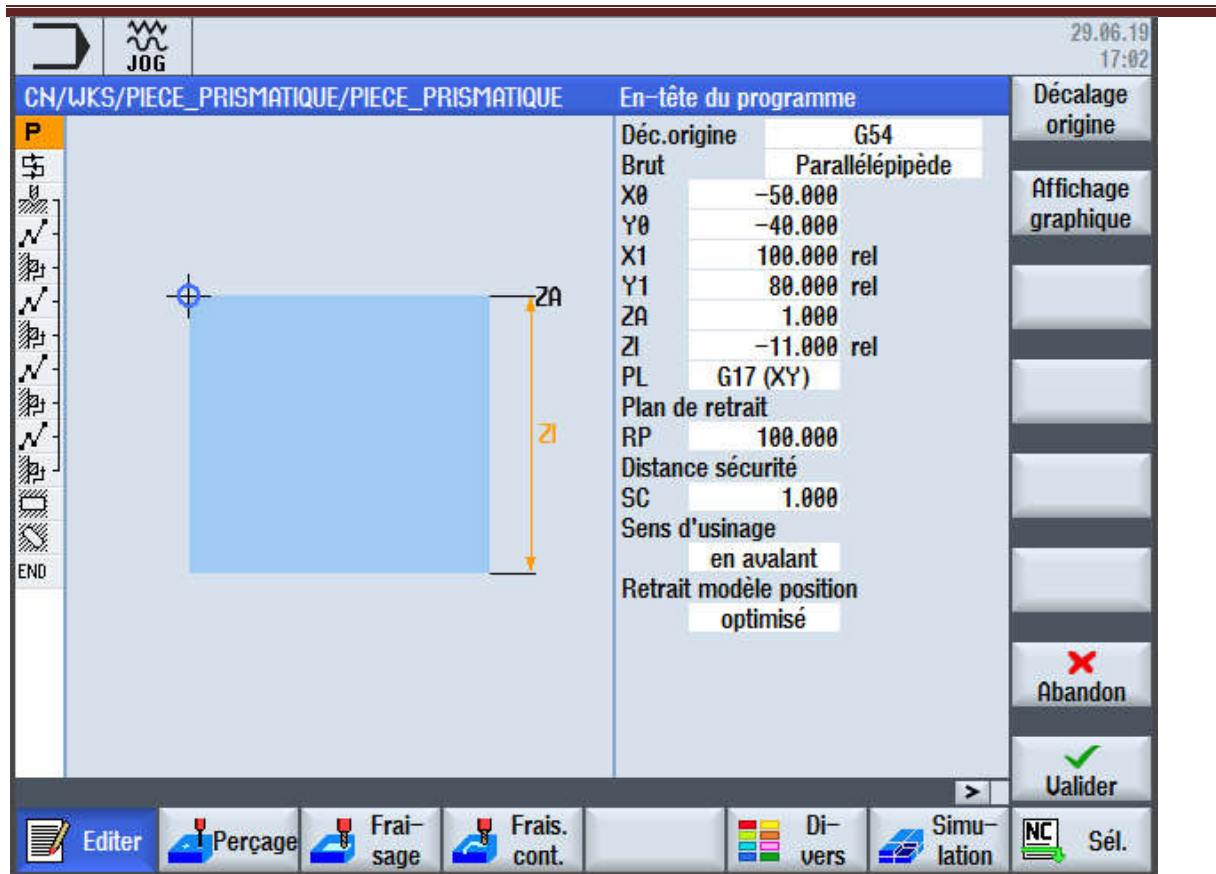


Figure III.17: Saisie des paramètres de la pièce



2. Valider votre saisie.

Après validation, l'en-tête de programme s'affiche:



Figure III.18 En-tête de programme Exemple - Editeur pas-à-pas

Le programme qui vient d'être créé va servir de base aux futures opérations d'usinage. Il porte un nom (indiqué dans la barre bleue) (figure 00), un en-tête (identifié par le pictogramme "P") et une fin (identifiée par le pictogramme "END"). Les opérations d'usinage et les contours individuels sont enregistrés les uns à la suite des autres dans le programme. L'exécution ultérieure s'effectue de haut en bas.



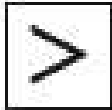
3. Actionner la touche curseur vers la droite

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

Pour modifier ou vérifier des valeurs en rappelant l'en-tête de programme.

- **Appel et réglage de l'outil**

La procédure suivante nous permet d'appeler l'outil souhaité:



1. Cette touche étend le menu horizontal de touches logicielles;



2. Sélectionner la touche logicielle **Droite Cercle**;



3. Sélectionner la touche logicielle **Outil**;



4. Ouvrir la liste des outils;

Après avoir actionné les touches logicielles au-dessus, la fenêtre suivante s'affiche (**Figure III.18**):

Em-plac.	Type	Nom d'outil	ST	D	Longueur	Ø	N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1		CUTTER 4	1	1	65.000	4.000	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2		CUTTER 6	1	1	120.000	6.000	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3		CUTTER 10	1	1	150.000	10.000	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4		CUTTER 16	1	1	110.000	16.000	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5		CUTTER 20	1	1	100.000	20.000	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6		CUTTER 32	1	1	110.000	32.000	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7		CUTTER 60	1	1	110.000	60.000	6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure III.18: Liste des outils

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

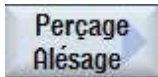


5. Sélectionnez l'outil **CUTTER60**, à l'aide de la touche curseur vers le bas;



6. Valider votre sélection;

Pour enregistrer l'outil dans le programme. Ensuite, indiquer la vitesse de coupe de 80 m/min (le cas échéant, modifier l'unité au moyen de la touche **SELECT**).



Cette touche de logiciel nous permet de déterminer le type de perçage désiré, puisque notre pièce prismatique contient quatre (04) trous débouchant.

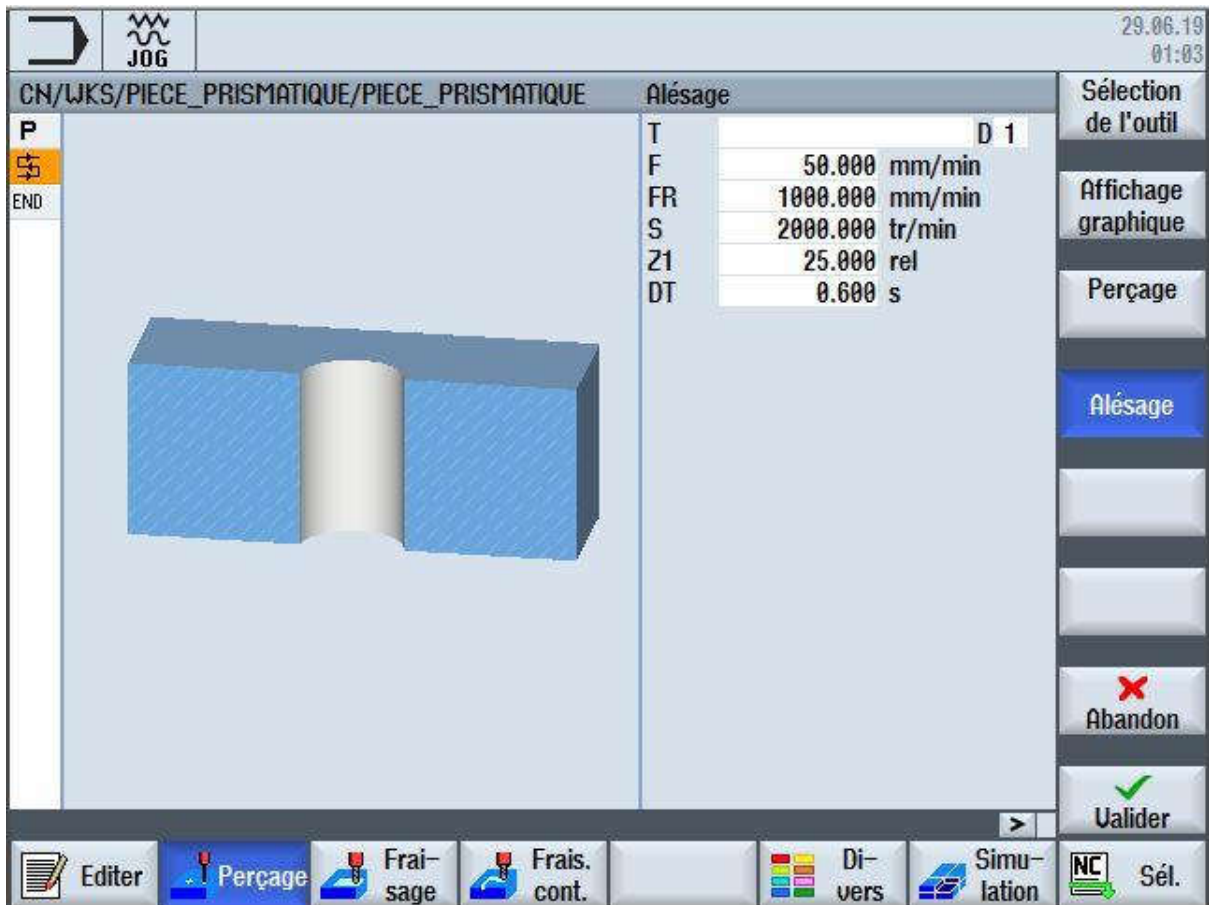


Figure III.19: Présentation de perçage alésage

On fait la même procédure pour les autres opérations d'usinages, perçage, surfacage de poche et rainurage en plein matière.

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

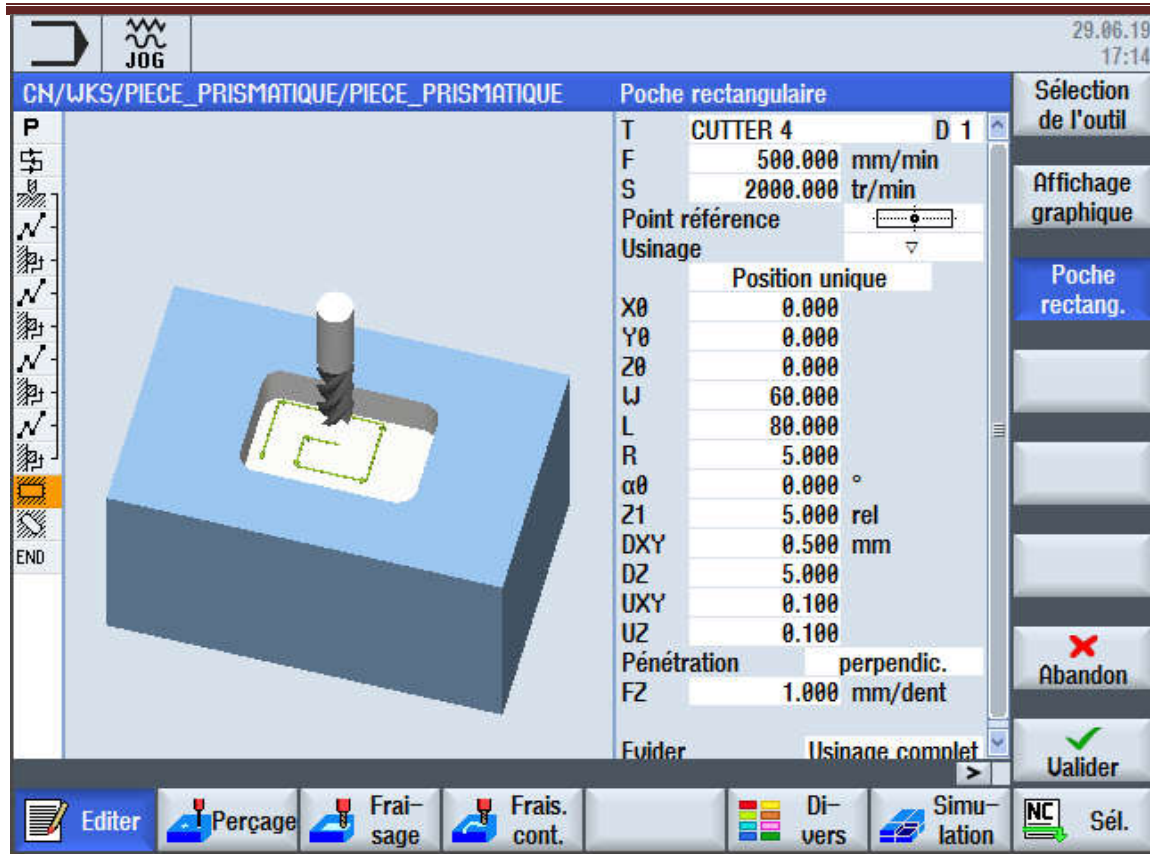


Figure III.20: Surfaçage de poche rectiligne

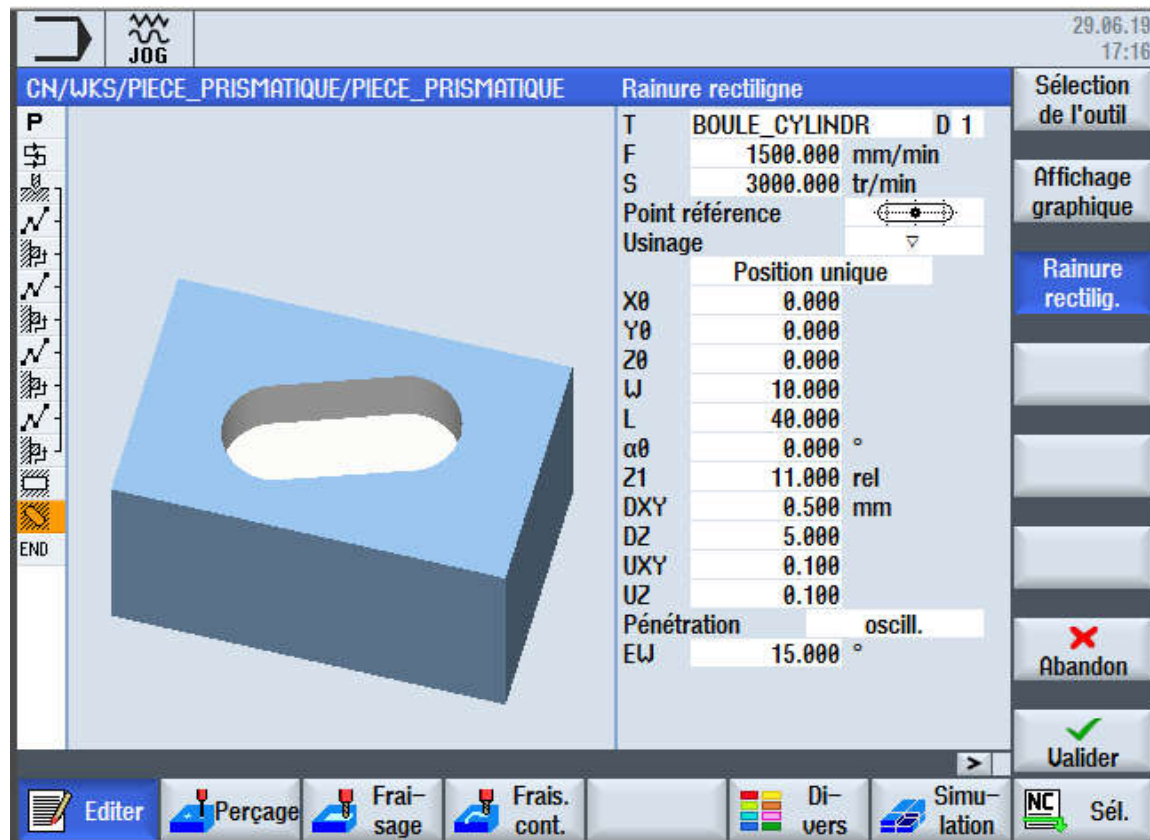


Figure III.21: Rainurage rectiligne

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

A la fin de la création du programme ShopMill et après avoir exécuté les quatre stratégies d'usinages: surfaçage, perçage, poche et rainurage on obtient la gamme d'usinage suivante :

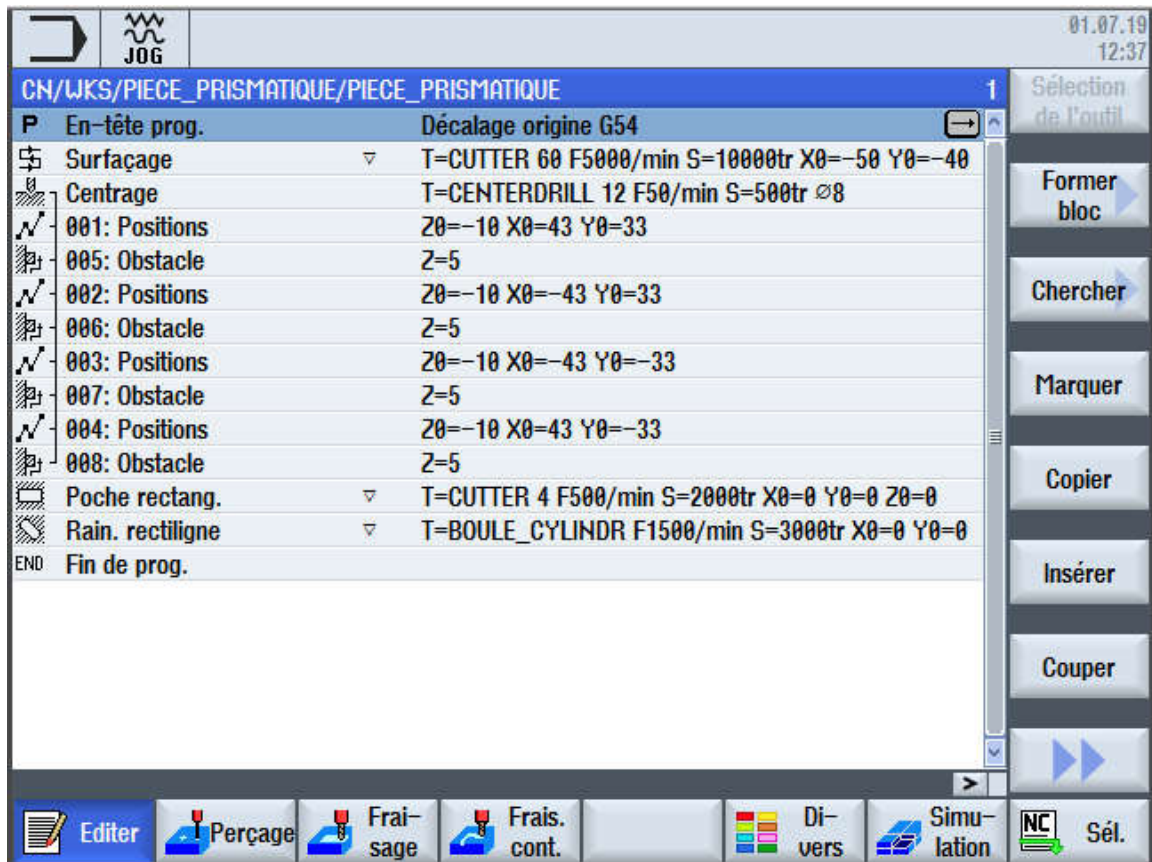


Figure III.22: Gamme d'usinage du programme ShopMill

6. Simulation du programme d'usinage:

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement (ShopMill) ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué ou avec un système CFAO (MasterCAM).

6.1. Simulation du programme sur SinuTrain à partir du programme ShopMill:

6.1.1. A partir du programme crée manuellement à l'aide ShopMill:



Actionner la touche logicielle **Simulation**

A partir de la fenêtre montrée sur **Figure III.22** qui est la gamme d'usinage du programme ShopMill en cliquant sur la touche logicielle **Simulation**.

6.1.2. A partir du programme en G-code généré du MasterCAM (téléchargement):

Pour simuler le programme d'usinage sur SinuTrain à partir d'un programme généré par un système CFAO (MasterCAM) en suivant les étapes suivantes:



1. A partir du programme d'usinage en G-code généré par le logiciel de CFAO MasterCAM en Chapitre II (**Figure II.38**) (une partie du programme. Voir annexe II où se trouve le programme complet), enregistrer le en format CN ou TXT;

2. Transférer le fichier « Programme en G-code » du PC vers une clés USB;



3. Actionner la touche **PROGRAM MANAGER**, la fenêtre sur la **Figure III.23** s'affiche;

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

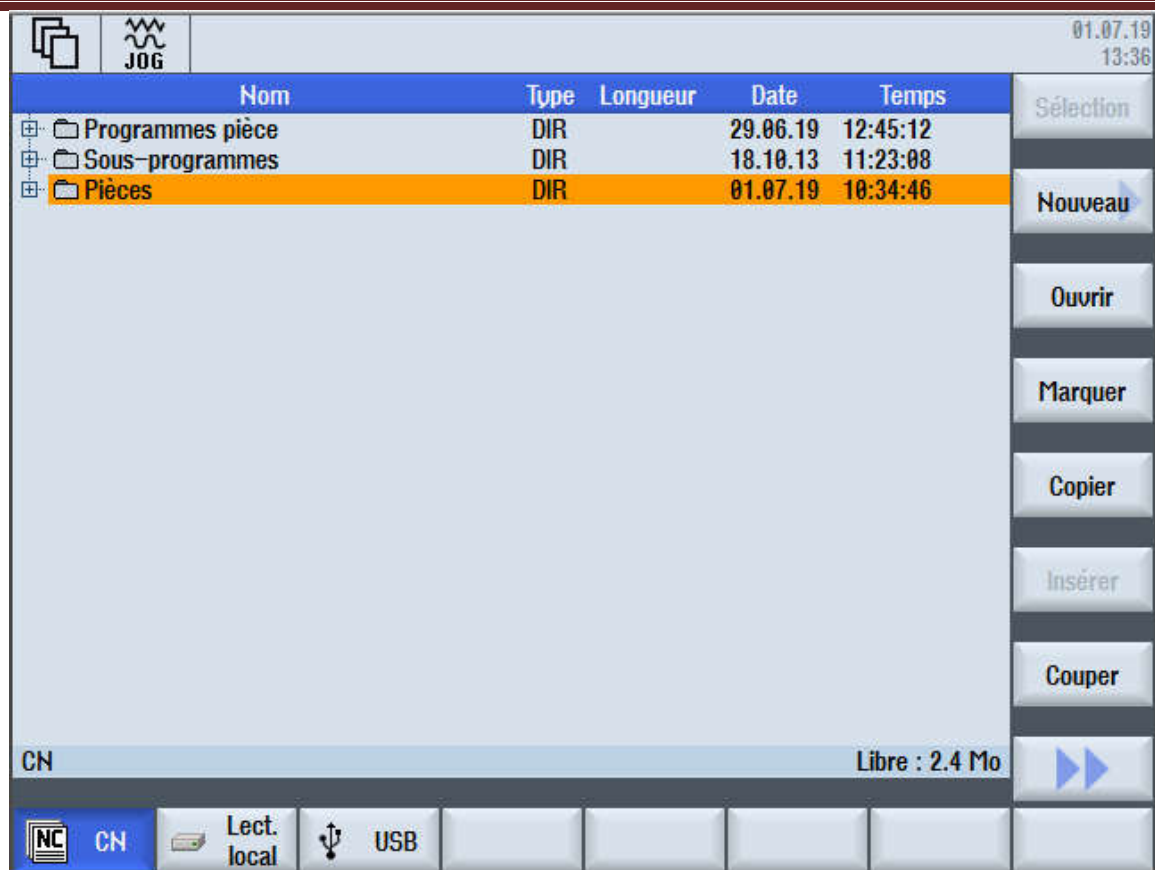


Figure III.23: Menu PROGRAM MANAGER



4. Appuyer sur la touche **USB**, le logiciel SinuTrain configure le fichier Programme en G.code (Figure III.23);



Figure III.24: Configuration Sinutrain / fichier

5. Cliquer sur l'icône **Programme en G-code** (Figure III.24), le programme s'affiche sur l'écran (Figure III.25);

6. Définir le brut et choisir les outils nécessaires (voir paragraphe 5.1).

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

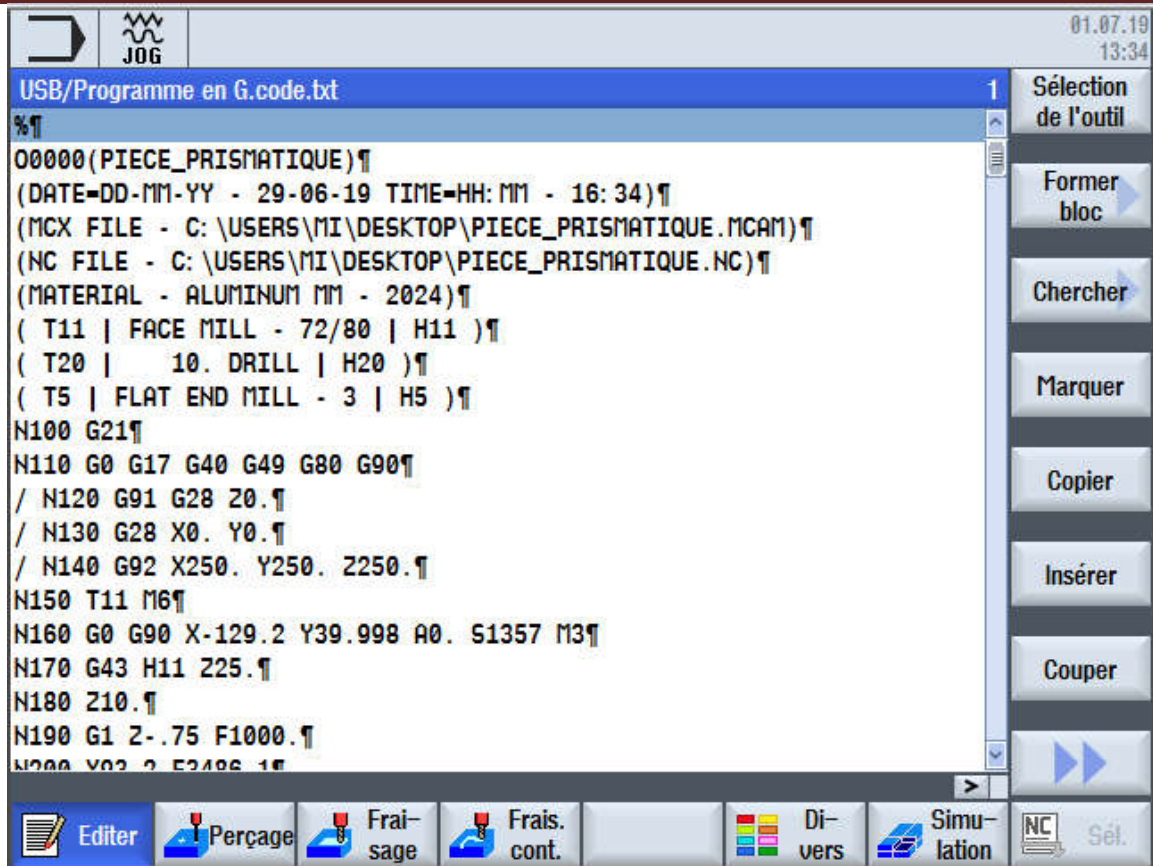


Figure III.25: Lecture et affichage le programme en G-code sur l'écran

Après lancement du simulation on prend les images avant et après la simulation suivante:

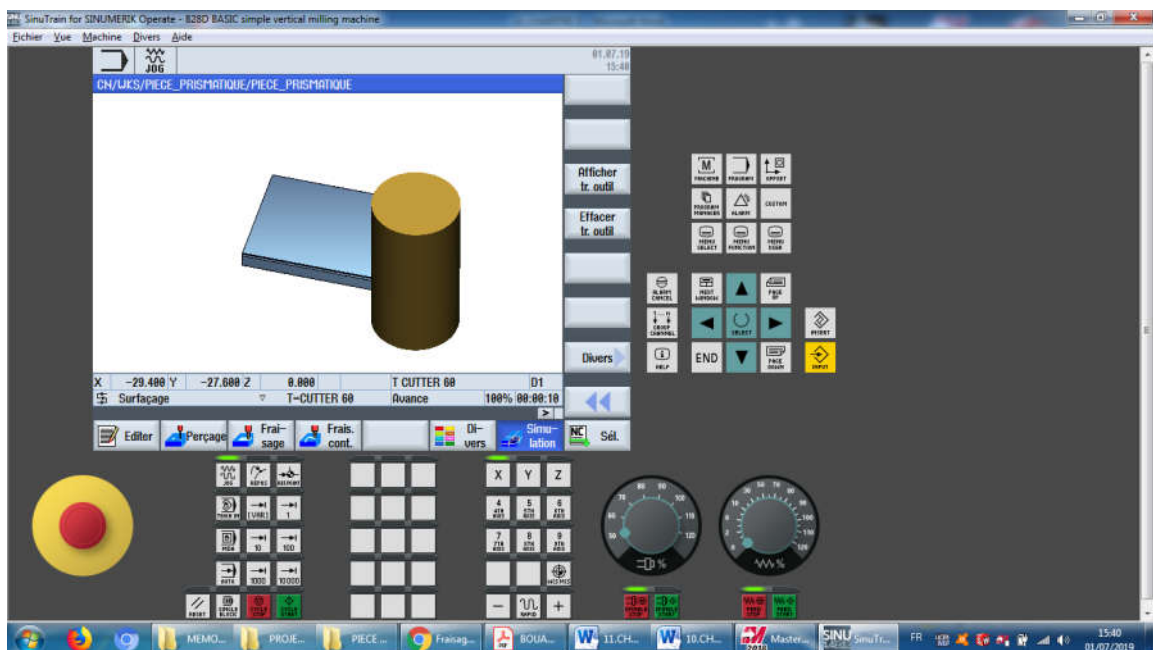


Figure III.26: Interface SinuTrain avant simulation

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

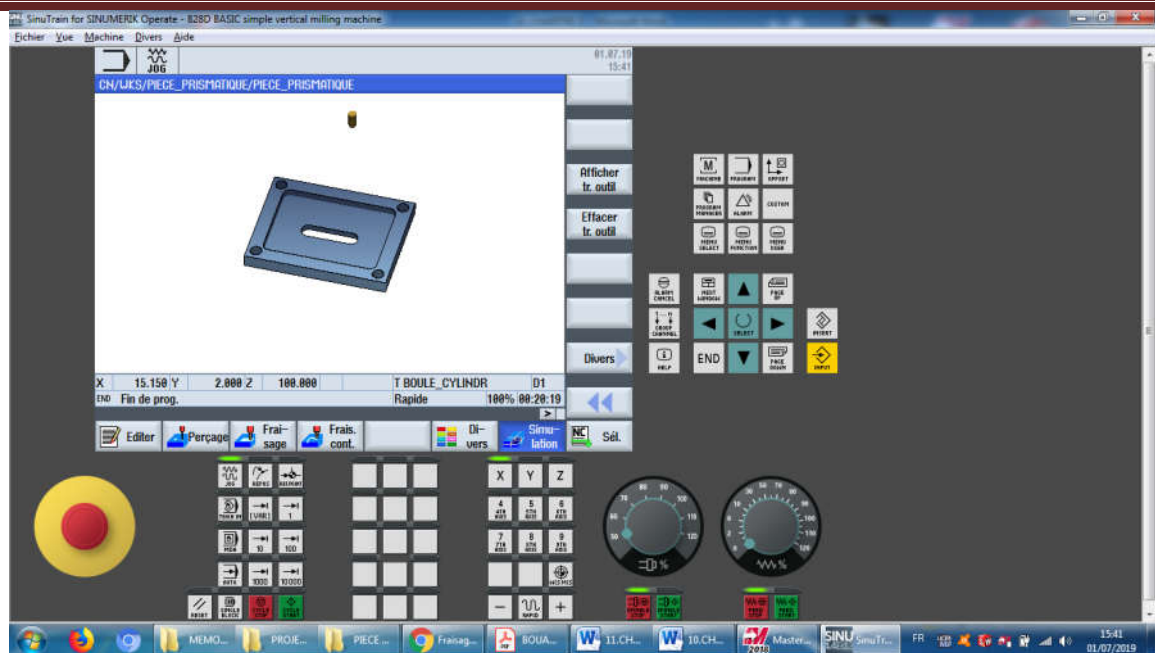


Figure III.27: Interface SinuTrain après simulation

6.2. Simulation du programme sur MasterCAM à partir du G-code:

A partir de la fenêtre (Figure II.36) de la FAO et le menu Toolpaths (Figure II.29), on continue les étapes suivantes:



1. Cliquer sur la touche (**Regenerate all selected operations**) puis;



2. Cliquer sur la touche (**Verify selected operations**);

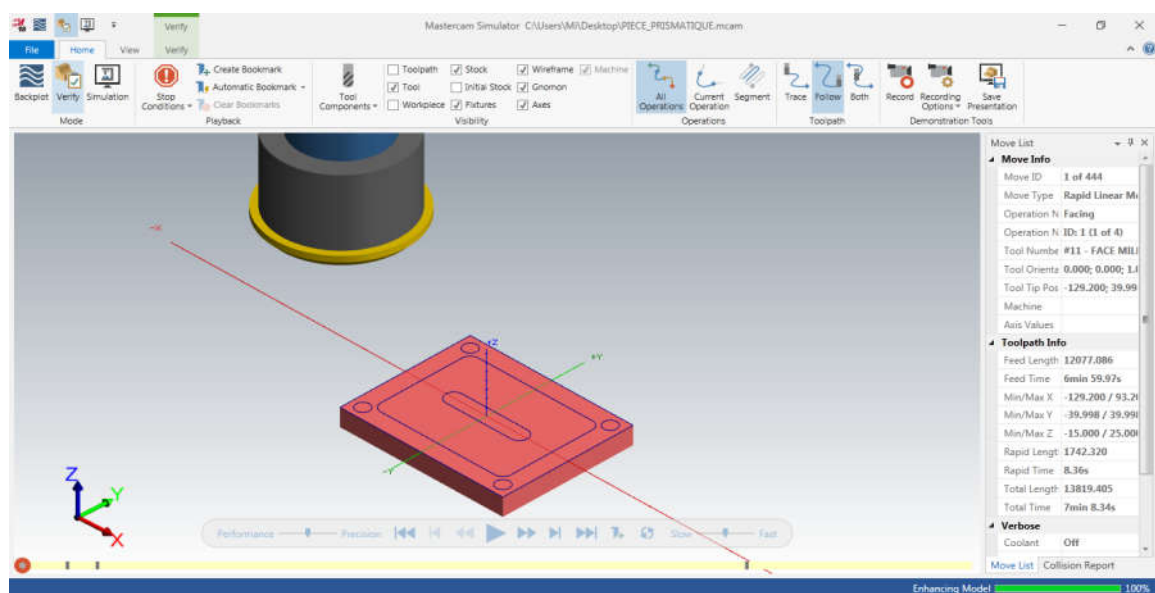


Figure III.28: Interface MasterCAM avant simulation

Chapitre III: Simulation d'usinage d'une pièce prismatique sur SinuTrain pour SINUMERIK 828D

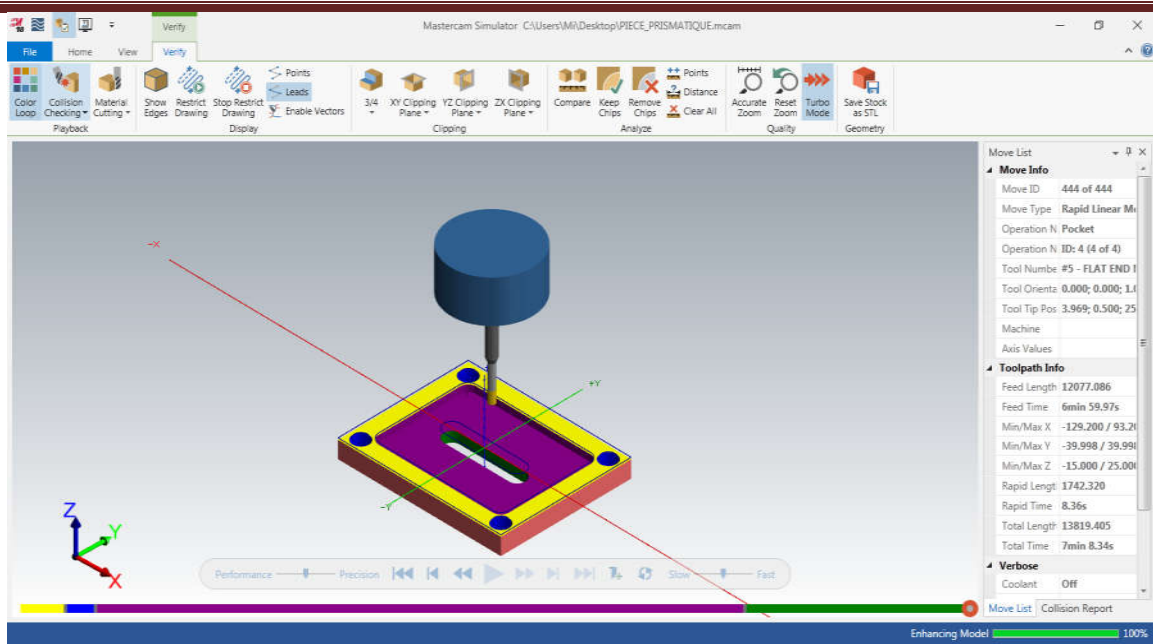


Figure III.29: Interface MasterCAM après simulation

7. Conclusion:

Ce chapitre nous a permis de résumer les capacités de la programmation du système d'exploitation SINUMERIK 828D ShopMill. A cet effet un aperçu et une brève description de chaque fonction de l'interface utilisateur ont été abordés. En outre la création des programmes (programmation paramétriques) et leur exploitation en vue d'une simulation sous le ShopMill ont été abordées. ShopMill permet d'élaborer le programme CN directement à partir du dessin de définition de la pièce prismatique.

Dance ce chapitres on a vu les deux simulations, la première sur le logiciel de simulation SinuTrain et la deuxième sur le logiciel de CFAO MasterCAM. Ces simulations nous ont permis aussi d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la commande numérique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire avait pour ambition de faire la mise en marche réelle de notre machine CNC à 3 axes de type F-VMC 510L qui est installé dans le hall technologique de notre université (Mohamed Boudiaf de M'sila). Malheureusement, ces espoirs ont été déçus, en raison de l'absence du stabilisateur de tension électrique de la machine. A cet effet on a fait l'opération d'usinage d'une façon virtuelle par la simulation sur le logiciel SinuTrain (SINUMERIK 828D ShoppMILL) qui est similaire au DCN de la dite machine.

Dans cette thèse on a réalisé une pièce prismatique sous le logiciel de CFAO MasterCAM à partir du dessin de définition de la pièce jusqu'à la génération du programme d'usinage en G-code et la simulation de ce programme sur le logiciel SinuTrain pour SINUMERIK 828D qui a remplacé notre machine réelle.

Ce travail nous a permis d'avoir une idée générale sur:

- les machines-outils à commande numérique (MOCN);
- le système CFAO (MasterCAM);
- la programmation CN assistée par ordinateur et la programmation manuelle;
- ainsi que la simulation virtuelle à l'aide d'un logiciel de simulation (SinuTrain pour SINUMERIK 828D). Cette simulation nous a donné l'opportunité d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la commande numérique et la génération du code G.

En perspective on souhaite que cette étude soit vérifiée par une étude expérimentale réelle sur la dite machine (F-VMC 510L) dans le futur si les moyens le permettent (en cas de disponibilité d'un stabilisateur de tension électrique).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] L. DAHMANI & B. HADJ BRAHIM, « Production par commande numérique », Support de cours de génie mécanique, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Siliana, Tunisie.
- [2]<https://fr.scribd.com/document/375724333/Chapitre-1-Generalites-Machines-Outils-Commande-Numerique>
- [3] F. BETTINE, « Etude du processus d'usinage des pièces mécaniques sur les machines CNC à 5 axes », Mémoire de Magister, Université de Biskra, Algérie
- [4] F. BOUANIK, « Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill », 2017, Mémoire de Master, Université de Annaba, Algérie.
- [5] R. BUTIN & M.PINOT, « FABRICATIONS MECANIQUES », 1981, Livre Tome 3, Les éditions FOUCHER, Paris, France.
- [6] K. SMILI, « Simulation de l'usinage d'un arbre sous les logiciels SINUTRAIN 828D ShopTurn et CAMWorks », 2018, Mémoire de Master, Université de Annaba, Algérie.
- [7] A. KAHOUADJI, 2013, « Etude comparative des stratégies d'usinage CN: Application au logo de l'université de Tlemcen », Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Algérie.
- [8]<http://www.lem3.univlorraine.fr/fundenberger/NUM/NUM%201020%201040%201060T.pdf>
- [9] I. BEKKAYE, 2013, « Etude comparative des stratégies d'usinage CN: Application au logo IS2M », Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Algérie.
- [10]<https://www.sitrain-learning.siemens.com/FR/fr/rw86356/Logiciel-SINUTRAIN-pour-CN-SINUMERIK>
- [11]https://w5.siemens.com/france/web/fr/ad/entrainement/equipements/conversationnels/shopmill/pages/fraisage_shopmill.aspx
- [12]SIEMENS SINUMERIK 840D sl /828D, Manuel d'utilisation (fraisage), 2015

Annexe I:

Les principales fonctions

COMMANDE	DESCRIPTION
G00	Avance rapide en coordonnées cartésiennes (la vitesse rapide est programmée par le constructeur).
G01	Interpolation linéaire en coordonnées cartésiennes.
G02	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées cartésiennes.
G03	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire (trigonométrique) en coordonnées cartésiennes.
G04	Temporisation.
G09	Arrêt précis.
G10	Avance rapide en coordonnées polaires.
G11	Interpolation linéaire en coordonnées polaires
G12	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées polaires.
G13	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire en coordonnées polaires.
G16	Sélection du plan.
G17	Sélection du plan.
G18	Sélection du plan.
G33	Filetage.
G40	Suppression compensation du rayon d'outil (plaquette en tournage).
G 41	Compensation du rayon d'outil à gauche
G 42	Compensation du rayon d'outil à droite.
G 48	Retrait du contour de la manière dont s'est opérée l'approche.
G 50	Suppression modification de l'échelle.
G 51	Sélection modification de l'échelle.
G 53	Suppression du décalage d'origine.
G 54 à G 57	Décalage d'origine.
G 58 et G59	Décalage d'origines additives, programmables.
G 60	Mode d'arrêt précis.
G 62,63	Suppression du mode d'arrêt précis.
G71	Indication de cotes en millimètre.
G90	Programmation en cotes absolues.
G 91	Programmation en cotes relatives.
G 92	Limitation de vitesse pour G96.
G 94	Avance par minute, vitesse d'avance A en mm/mn.
G 95	Avance par tour (f) en mm/tr.
G 96	Vitesse de coupe (m/mn).
G 97	Vitesse constante.
G 147	Accostage linéaire en douceur du contour.
G 247	Accostage en douceur du contour selon un quart de cercle.
G 347	Accostage en douceur du contour selon un demi-cercle.
G 148	Retrait linéaire en douceur.
M00	Arrêt programmé.
M01	Arrêt optionnel.
M02	Fin de programme pièce.
M03	Rotation de broche sens anti-trigonométrique.
M04	Rotation de broche sens trigonométrique.
M05*	Arrêt de broche.
M06	Changement d'outil.
M07	Arrosage n°2.
M08	Arrosage n° 1.
M09*	Arrêt des arrosages.
M10	Blocage d'axe.
M11	Déblocage d'axe.
M19	Indexation broche.

M40 à M45	6 gammes de broche.
M48*	Validation des potentiomètres de broche et d'avance.
M49	Inhibition des potentiomètres de broche et d'avance.
M64*	Commande broche 1.
M65	Commande broche 2.
M66*	Utilisation mesure broche 1.
M67	Utilisation mesure broche 2.
M998*	Mode MODIF, IMD et appel de sous-programme par l'automate autorisé.
M999	Masquage par programmation des modes MODIF, IMD et appel de sous-programme par l'automate.

ADRESSE	Définitions
O	Numéro de programme
F	Vitesse d'avance
G	Fonction préparatoire
I	Position du centre de cercle d'interpolation circulaire suivant l'axe X
J	Position du centre de cercle d'interpolation circulaire suivant l'axe Y
K	Position du centre de cercle d'interpolation circulaire suivant l'axe Z
M	Fonction auxiliaire
N	Numéro de bloc
P	Différent sens selon le cycle ou elle est utilisée
Q	Différent sens selon le cycle ou elle est utilisée
R	Rayon du cercle en interpolation circulaire. Différent sens selon le cycle ou elle est utilisée
S	Vitesse de rotation de la broche
T	Identification de l'outil à utiliser
U	Déplacement relatif selon l'axe des X
W	Déplacement relatif selon l'axe des Y
X	Coordonnée suivant l'axe X
Y	Coordonnée suivant l'axe Y
Z	Coordonnée suivant l'axe Z

Adresse	Désignations
%	Numéro de programme principale 1 à 9999
L	Numéro de sous-programme 1 à 9999
N	Numéro de séquence 1 à 9999
G	Fonctions préparatoires
M	Fonctions auxiliaires
A	Angle
D	Correction d'outil 1 à 49
F	Avance, Temporisation
I,J,K	Paramètre de cercle, pas de filetage
P	Nombre de perçage pour sous-programme, facteur d'échelle
R	Paramètre de reprise pour cycle
S	Vitesse de broche
T	Appel d'outil (position de changeur d'outil)
U	Rayon de cercle, rayon (signe positif), chanfrein (signe négatif)
X, Y, Z	Données de position (X aussi temporisation)
LF	Fin de séquence

Annexe II:

**Programme d'usinage en G-code de
notre pièce prismatique**

```

%
O0000 (PIECE_PRISMATIQUE)
 (DATE=DD-MM-YY - 29-06-19 TIME=HH:MM - 16:34)
 (MCX FILE -
 C:\USERS\MI\DESKTOP\PIECE_PRISMATIQUE.MCAM)
 (NC FILE -
 C:\USERS\MI\DESKTOP\PIECE_PRISMATIQUE.NC)
 (MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
 ( T11 | FACE MILL - 72/80 | H11 )
 ( T20 | 10. DRILL | H20 )
 ( T5 | FLAT END MILL - 3 | H5 )
N100 G21
N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90
 / N120 G91 G28 Z0.
 / N130 G28 X0. Y0.
 / N140 G92 X250. Y250. Z250.
N150 T11 M6
N160 G0 G90 X-129.2 Y39.998 A0. S1357 M3
N170 G43 H11 Z25.
N180 Z10.
N190 G1 Z-.75 F1000.
N200 X93.2 F3486.1
N210 Y13.333
N220 X-93.2
N230 Y-13.333
N240 X93.2
N250 Y-39.998
N260 X-129.2
N270 G0 Z24.25
N280 Y39.998
N290 Z9.25
N300 G1 Z-1. F1000.
N310 X93.2 F3486.1
N320 Y13.333
N330 X-93.2
N340 Y-13.333
N350 X93.2
N360 Y-39.998
N370 X-129.2
N380 G0 Z24.
N390 M5
N400 G91 G28 Z0.
N410 A0.
N420 M01
N430 T20 M6
N440 G0 G90 X43. Y33. A0. S1145 M3
N450 G43 H20 Z25.
N460 G99 G81 Z-12. R25. F50.
N470 X-43.
N480 Y-33.
N490 X43.
N500 G80
N510 M5
N520 G91 G28 Z0.
N530 A0.
N540 M01
N550 T5 M6
N560 G0 G90 X-31.638 Y-19.022 A0. S35650 M3
N570 G43 H5 Z25.
N580 Z10
N590 G1 Z1. F1000.
N600 G3 X-32. Y-19. Z.981 I-.362 J-2.978
N610 X-35. Y-22. Z.734 I0. J-3.
N620 X-32. Y-25. Z.487 I3. J0.
N630 X-29. Y-22. Z.24 I0. J3.
N640 X-31.638 Y-19.022 Z.012 I-3. J0.
N650 X-32. Y-19. Z-.007 I-.362 J-2.978
N660 X-35. Y-22. Z-.254 I0. J-3.
N670 X-32. Y-25. Z-.501 I3. J0.
N680 X-29. Y-22. Z-.748 I0. J3.
N690 X-31.638 Y-19.022 Z-.976 I-3. J0.
N700 X-32. Y-19. Z-.995 I-.362 J-2.978
N710 X-35. Y-22. Z-1.242 I0. J-3.
.
N1480 X36.
N1490 Y25.
N1500 G3 X35.014 Y26. I-1. J0.
N1510 G1 X-35.014
N1520 G0 Z22.625
N1530 X-32.5 Y3.

```

```

N720 X-32. Y-25. Z-1.489 I3. J0.
N730 X-29. Y-22. Z-1.736 I0. J3.
N740 X-31.638 Y-19.022 Z-1.964 I-3. J0.
N750 X-32. Y-19. Z-1.983 I-.362 J-2.978
N760 X-35. Y-22. Z-2.23 I0. J-3.
N770 X-33.805 Y-24.396 Z-2.375 I3. J0.
N780 G1 X-35.014 Y-26. F3151.5
N790 X35.014
N800 G3 X36. Y-25. I-.014 J1.
N810 G1 Y-24.514
N820 X-36.
N830 Y-23.028
N840 X36.
N850 Y-21.543
N860 X-36.
N870 Y-20.057
N880 X36.
N890 Y-18.571
N900 X-36.
N910 Y-17.086
N920 X36.
N930 Y-15.6
N940 X-36.
N950 Y-14.114
N960 X36.
N970 Y-12.629
N980 X-36.
N990 Y-11.143
N1000 X36.
N1010 Y-9.657
N1020 X-36.
N1030 Y-8.171
N1040 X36.
N1050 Y-6.686
N1060 X-36.
N1070 Y-5.2
N1080 X36.
N1090 Y-3.714
N1100 X-36.
N1110 Y-2.229
N1120 X36.
N1130 Y-.743
N1140 X-36.
N1150 Y.743
N1160 X36.
N1170 Y2.229
N1180 X-36.
N1190 Y3.714
N1200 X36.
N1210 Y5.2
N1220 X-36.
N1230 Y6.686
N1240 X36.
N1250 Y8.171
N1260 X-36.
N1270 Y9.657
N1280 X36.
N1290 Y11.143
N1300 X-36.
N1310 Y12.629
N1320 X36.
N1330 Y14.114
N1340 X-36.
N1350 Y15.6
N1360 X36.
N1370 Y17.086
N1380 X-36.
N1390 Y18.571
N1400 X36.
N1410 Y20.057
N1420 X-36.
N1430 Y21.543
N1440 X36.
N1450 Y23.028
N1460 X-36.
N1470 Y24.514
N2280 Y.743
N2290 X36.
N2300 Y2.229
N2310 X-36.
N2320 Y3.714
N2330 X36.

```

N1540	Z10.	N2340	Y5.2
N1550	G1 Z-2.375 F1000.	N2350	X-36.
N1560	X-35.5 F3151.5	N2360	Y6.686
N1570	G3 X-38.5 Y0. I0. J-3.	N2370	X36.
N1580	G1 Y-25.	N2380	Y8.171
N1590	G3 X-35. Y-28.5 I3.5 J0.	N2390	X-36.
N1600	G1 X35.	N2400	Y9.657
N1610	G3 X38.5 Y-25. I0. J3.5	N2410	X36.
N1620	G1 Y25.	N2420	Y11.143
N1630	G3 X35. Y28.5 I-3.5 J0.	N2430	X-36.
N1640	G1 X-35.	N2440	Y12.629
N1650	G3 X-38.5 Y25. I0. J-3.5	N2450	X36.
N1660	G1 Y0.	N2460	Y14.114
N1670	G3 X-35.5 Y-3. I3. J0.	N2470	X-36.
N1680	G1 X-32.5	N2480	Y15.6
N1690	G0 Z22.625	N2490	X36.
N1700	X-31.638 Y-19.022	N2500	Y17.086
N1710	Z7.625	N2510	X-36.
N1720	G1 Z-1.375 F1000.	N2520	Y18.571
N1730	G3 X-32. Y-19. Z-1.394 I-.362 J-2.978	N2530	X36.
N1740	X-35. Y-22. Z-1.641 I0. J-3.	N2540	Y20.057
N1750	X-32. Y-25. Z-1.888 I3. J0.	N2550	X-36.
N1760	X-29. Y-22. Z-2.135 I0. J3.	N2560	Y21.543
N1770	X-31.638 Y-19.022 Z-2.363 I-3. J0.	N2570	X36.
N1780	X-32. Y-19. Z-2.382 I-.362 J-2.978	N2580	Y23.028
N1790	X-35. Y-22. Z-2.629 I0. J-3.	N2590	X-36.
N1800	X-32. Y-25. Z-2.876 I3. J0.	N2600	Y24.514
N1810	X-29. Y-22. Z-3.123 I0. J3.	N2610	X36.
N1820	X-31.638 Y-19.022 Z-3.351 I-3. J0.	N2620	Y25.
N1830	X-32. Y-19. Z-3.37 I-.362 J-2.978	N2630	G3 X35.014 Y26. I-1. J0.
N1840	X-35. Y-22. Z-3.617 I0. J-3.	N2640	G1 X-35.014
N1850	X-32. Y-25. Z-3.864 I3. J0.	N2650	G0 Z20.25
N1860	X-29. Y-22. Z-4.111 I0. J3.	N2660	X-32.5 Y3.
N1870	X-31.638 Y-19.022 Z-4.339 I-3. J0.	N2670	Z7.625
N1880	X-32. Y-19. Z-4.358 I-.362 J-2.978	N2680	G1 Z-4.75 F1000.
N1890	X-35. Y-22. Z-4.605 I0. J-3.	N2690	X-35.5 F3151.5
N1900	X-33.805 Y-24.396 Z-4.75 I3. J0.	N2700	G3 X-38.5 Y0. I0. J-3.
N1910	G1 X-35.014 Y-26. F3151.5	N2710	G1 Y-25.
N1920	X35.014	N2720	G3 X-35. Y-28.5 I3.5 J0.
N1930	G3 X36. Y-25. I-.014 J1.	N2730	G1 X35.
N1940	G1 Y-24.514	N2740	G3 X38.5 Y-25. I0. J3.5
N1950	X-36.	N2750	G1 Y25.
N1960	Y-23.028	N2760	G3 X35. Y28.5 I-3.5 J0.
N1970	X36.	N2770	G1 X-35.
N1980	Y-21.543	N2780	G3 X-38.5 Y25. I0. J-3.5
N1990	X-36.	N2790	G1 Y0.
N2000	Y-20.057	N2800	G3 X-35.5 Y-3. I3. J0.
N2010	X36.	N2810	G1 X-32.5
N2020	Y-18.571	N2820	G0 Z20.25
N2030	X-36.	N2830	X-31.638 Y-19.022
N2040	Y-17.086	N2840	Z5.25
N2050	X36.	N2850	G1 Z-1.625 F1000.
N2060	Y-15.6	N2860	G3 X-32. Y-19. Z-1.644 I-.362 J-2.978
N2070	X-36.	N2870	X-35. Y-22. Z-1.891 I0. J-3.
N2080	Y-14.114	N2880	X-32. Y-25. Z-2.138 I3. J0.
N2090	X36.	N2890	X-29. Y-22. Z-2.385 I0. J3.
N2100	Y-12.629	N2900	X-31.638 Y-19.022 Z-2.613 I-3. J0.
N2110	X-36.	N2910	X-32. Y-19. Z-2.632 I-.362 J-2.978
N2120	Y-11.143	N2920	X-35. Y-22. Z-2.879 I0. J-3.
N2130	X36.	N2930	X-32. Y-25. Z-3.126 I3. J0.
N2140	Y-9.657	N2940	X-29. Y-22. Z-3.373 I0. J3.
N2150	X-36.	N2950	X-31.638 Y-19.022 Z-3.601 I-3. J0.
N2160	Y-8.171	N2960	X-32. Y-19. Z-3.62 I-.362 J-2.978
N2170	X36.	N2970	X-35. Y-22. Z-3.867 I0. J-3.
N2180	Y-6.686	N2980	X-32. Y-25. Z-4.114 I3. J0.
N2190	X-36.	N2990	X-29. Y-22. Z-4.361 I0. J3.
N2200	Y-5.2	N3000	X-31.638 Y-19.022 Z-4.589 I-3. J0.
N2210	X36.	N3010	X-32. Y-19. Z-4.608 I-.362 J-2.978
N2220	Y-3.714	N3020	X-35. Y-22. Z-4.855 I0. J-3.
N2230	X-36.	N3030	X-33.805 Y-24.396 Z-5. I3. J0.
N2240	Y-2.229	N3040	G1 X-35.014 Y-26. F3151.5
N2250	X36.	N3050	X35.014
N2260	Y-.743	N3060	G3 X36. Y-25. I-.014 J1.
N2270	X-36.	N3070	G1 Y-24.514
N3080	X-36.	N3880	G1 Y25.
N3090	Y-23.028	N3890	G3 X35. Y28.5 I-3.5 J0.
N3100	X36.	N3900	G1 X-35.
N3110	Y-21.543	N3910	G3 X-38.5 Y25. I0. J-3.5
N3120	X-36.	N3920	G1 Y0.
N3130	Y-20.057	N3930	G3 X-35.5 Y-3. I3. J0.
N3140	X36.	N3940	G1 X-32.5
N3150	Y-18.571	N3950	G0 Z25.
N3160	X-36.	N3960	M5

N3170	Y-17.086	N3970	G91 G28 Z0.
N3180	X36.	N3980	A0.
N3190	Y-15.6	N3990	M01
N3200	X-36.	N4000	T5 M6
N3210	Y-14.114	N4010	G0 G90 X-20. Y-.5 A0. S26578 M3
N3220	X36.	N4020	G43 H5 Z25.
N3230	Y-12.629	N4030	Z10.
N3240	X-36.	N4040	G1 Z-3.688 F1000.
N3250	Y-11.143	N4050	X20. F3540.2
N3260	X36.	N4060	G3 X20.5 Y0. I0. J.5
N3270	Y-9.657	N4070	X20. Y.5 I-.5 J0.
N3280	X-36.	N4080	G1 X-20.
N3290	Y-8.171	N4090	G3 X-20.5 Y0. I0. J-.5
N3300	X36.	N4100	X-20. Y-.5 I.5 J0.
N3310	Y-6.686	N4110	G0 Z21.313
N3320	X-36.	N4120	X-3.969 Y.5
N3330	Y-5.2	N4130	Z10.
N3340	X36.	N4140	G1 Z-3.688 F1000.
N3350	Y-3.714	N4150	G3 X0. Y-3. I3.969 J.5 F3540.2
N3360	X-36.	N4160	G1 X20.
N3370	Y-2.229	N4170	G3 X23. Y0. I0. J3.
N3380	X36.	N4180	X20. Y3. I-3. J0.
N3390	Y-.743	N4190	G1 X-20.
N3400	X-36.	N4200	G3 X-23. Y0. I0. J-3.
N3410	Y.743	N4210	X-20. Y-3. I3. J0.
N3420	X36.	N4220	G1 X0.
N3430	Y2.229	N4230	G3 X3.969 Y.5 I0. J4.
N3440	X-36.	N4240	G0 Z21.313
N3450	Y3.714	N4250	X-20. Y-.5
N3460	X36.	N4260	Z6.313
N3470	Y5.2	N4270	G1 Z-7.375 F1000.
N3480	X-36.	N4280	X20. F3540.2
N3490	Y6.686	N4290	G3 X20.5 Y0. I0. J.5
N3500	X36.	N4300	X20. Y.5 I-.5 J0.
N3510	Y8.171	N4310	G1 X-20.
N3520	X-36.	N4320	G3 X-20.5 Y0. I0. J-.5
N3530	Y9.657	N4330	X-20. Y-.5 I.5 J0.
N3540	X36.	N4340	G0 Z17.625
N3550	Y11.143	N4350	X-3.969 Y.5
N3560	X-36.	N4360	Z6.313
N3570	Y12.629	N4370	G1 Z-7.375 F1000.
N3580	X36.	N4380	G3 X0. Y-3. I3.969 J.5 F3540.2
N3590	Y14.114	N4390	G1 X20.
N3600	X-36.	N4400	G3 X23. Y0. I0. J3.
N3610	Y15.6	N4410	X20. Y3. I-3. J0.
N3620	X36.	N4420	G1 X-20.
N3630	Y17.086	N4430	G3 X-23. Y0. I0. J-3.
N3640	X-36.	N4440	X-20. Y-3. I3. J0.
N3650	Y18.571	N4450	G1 X0.
N3660	X36.	N4460	G3 X3.969 Y.5 I0. J4.
N3670	Y20.057	N4470	G0 Z17.625
N3680	X-36.	N4480	X-20. Y-.5
N3690	Y21.543	N4490	Z2.625
N3700	X36.	N4500	G1 Z-11.063 F1000.
N3710	Y23.028	N4510	X20. F3540.2
N3720	X-36.	N4520	G3 X20.5 Y0. I0. J.5
N3730	Y24.514	N4530	X20. Y.5 I-.5 J0.
N3740	X36.	N4540	G1 X-20.
N3750	Y25.	N4550	G3 X-20.5 Y0. I0. J-.5
N3760	G3 X35.014 Y26. I-1. J0.	N4560	X-20. Y-.5 I.5 J0.
N3770	G1 X-35.014	N4570	G0 Z13.938
N3780	G0 Z20.	N4580	X-3.969 Y.5
N3790	X-32.5 Y3.	N4590	Z2.625
N3800	Z5.25	N4600	G1 Z-11.063 F1000.
N3810	G1 Z-5. F1000.	N4610	G3 X0. Y-3. I3.969 J.5 F3540.2
N3820	X-35.5 F3151.5	N4620	G1 X20.
N3830	G3 X-38.5 Y0. I0. J-3.	N4630	G3 X23. Y0. I0. J3.
N3840	G1 Y-25.	N4640	X20. Y3. I-3. J0.
N3850	G3 X-35. Y-28.5 I3.5 J0.	N4650	G1 X-20.
N3860	G1 X35.	N4660	G3 X-23. Y0. I0. J-3.
N3870	G3 X38.5 Y-25. I0. J3.5	N4670	X-20. Y-3. I3. J0.
N4680	G1 X0.		
N4690	G3 X3.969 Y.5 I0. J4.		
N4700	G0 Z13.938		
N4710	X-20. Y-.5		
N4720	Z-1.063		
N4730	G1 Z-14.75 F1000.		
N4740	X20. F3540.2		
N4750	G3 X20.5 Y0. I0. J.5		
N4760	X20. Y.5 I-.5 J0.		
N4770	G1 X-20.		
N4780	G3 X-20.5 Y0. I0. J-.5		
N4790	X-20. Y-.5 I.5 J0.		

N4800 G0 **Z10.25**
N4810 X-3.969 Y.5
N4820 **Z-1.063**
N4830 G1 **Z-14.75** F1000.
N4840 G3 X0. Y-3. I3.969 J.5 F3540.2
N4850 G1 X20.
N4860 G3 X23. Y0. I0. J3.
N4870 X20. Y3. I-3. J0.
N4880 G1 X-20.
N4890 G3 X-23. Y0. I0. J-3.
N4900 X-20. Y-3. I3. J0.
N4910 G1 X0.
N4920 G3 X3.969 Y.5 I0. J4.
N4930 G0 **Z10.25**
N4940 X-20. Y-.5
N4950 **Z-4.75**
N4960 G1 **Z-15.** F1000.
N4970 X20. F3540.2
N4980 G3 X20.5 Y0. I0. J.5
N4990 X20. Y.5 I-.5 J0.
N5000 G1 X-20.
N5010 G3 X-20.5 Y0. I0. J-.5
N5020 X-20. Y-.5 I.5 J0.
N5030 G0 **Z10.**
N5040 X-3.969 Y.5
N5050 **Z-4.75**
N5060 G1 **Z-15.** F1000.
N5070 G3 X0. Y-3. I3.969 J.5 F3540.2
N5080 G1 X20.
N5090 G3 X23. Y0. I0. J3.
N5100 X20. Y3. I-3. J0.
N5110 G1 X-20.
N5120 G3 X-23. Y0. I0. J-3.
N5130 X-20. Y-3. I3. J0.
N5140 G1 X0.
N5150 G3 X3.969 Y.5 I0. J4.
N5160 G0 **Z25.**
N5170 M5
N5180 G91 G28 **Z0.**
N5190 G28 X0. Y0. A0.
N5200 M30
%

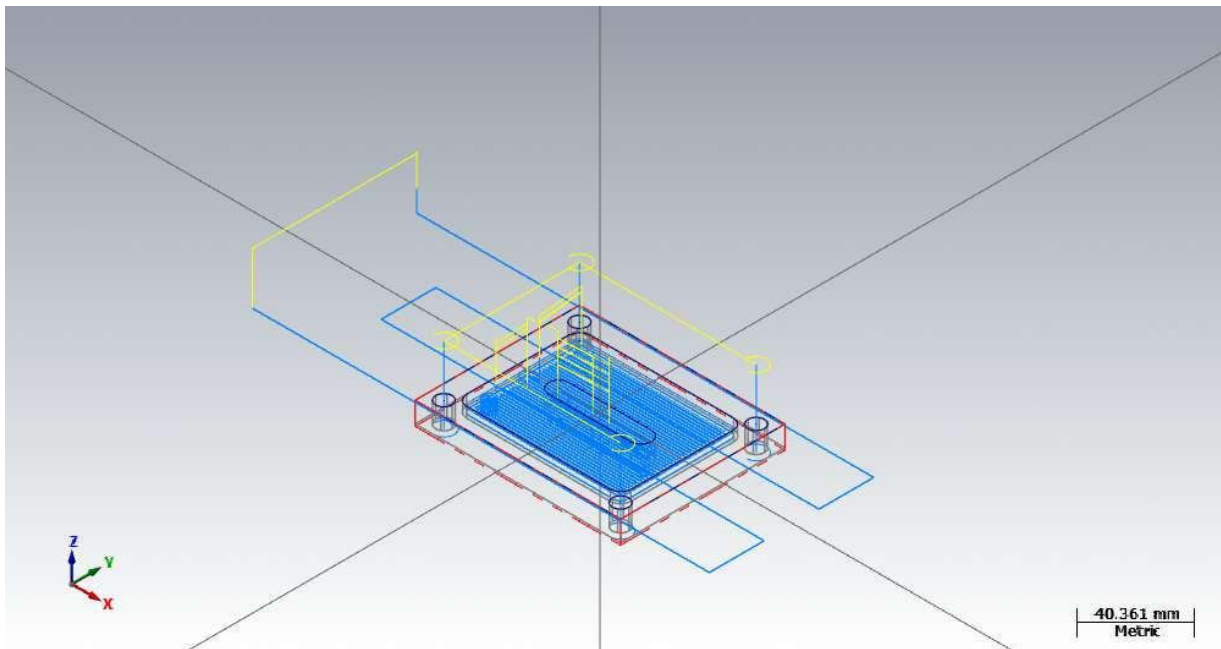
Annexe III:

Rapport de fiche d'installation

GENERAL INFORMATION

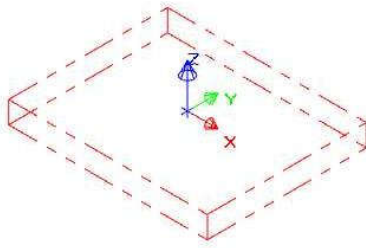
PROJECT NAME:	PIECE_PRISMATIQUE	
CUSTOMER NAME:	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	
PROGRAMMER:	AGAGUENI HASSANE	
DRAWING:		REVISION:
DATE:	samedi 29 juin 2019	
TIME:	17:29	

C:\USERS\MI\DESKTOP\PIECE_PRISMATIQUE 2019\PIECE_PRISMATIQUE.MCAM



COMMENTS

STOCK



STOCK:	YES
SHAPE:	Box
SIZE:	100.0, 80.0, 11.0
RADIUS:	NA
LENGTH:	NA
AXIS:	NA
FILE:	NA
IDN:	NA

C:\USERS\MI\DOCUMENTS\MIY

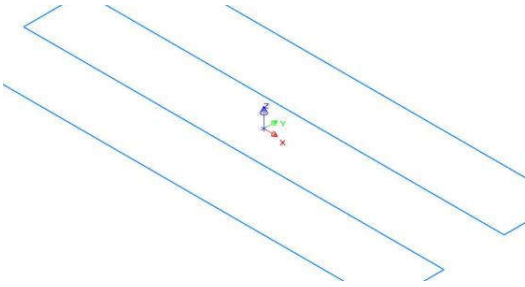
CYCLE TIME: 0 HOURS, 7 MINUTES, 0 SECONDS

OPERATION LIST

OPERATION INFO 1 - Facing

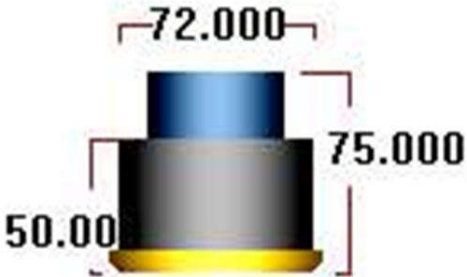
CYCLE TIME: 0 HOURS, 0 MINUTES, 32 SECONDS
COMMENT:

PROGRAM NUMBER: 0
SPINDLE SPEED: 1357 RPM
FEEDRATE: 3486.133 mm/min
CLEARANCE PLANE: 50.0
RETRACT PLANE: 25.0
FEED PLANE: 10.0
DEPTH: -1.0
STOCK TO LEAVE: 0.0
COMP TO TIP: YES
WORK OFFSET: 0



TOOL INFO FACE MILL - 72/80

TYPE: Face mill
NUMBER: 11
DIAMETER: 72.0
CORNER RADIUS: 0.0
LENGTH OFFSET: 11
DIAMETER OFFSET: 11
MATERIAL: Carbide
NUMBER OF FLUTES: 7
FPT: 0.367 SFM: 306.956
MFG CODE:
ASSEMBLY:
HOLDER: Default Holder
TIME: 00:00:32

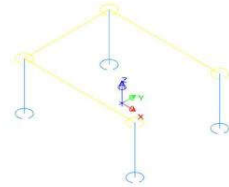


OPERATION INFO

2 - Drill/Counterbore

CYCLE TIME:	0 HOURS, 2 MINUTES, 58 SECONDS
COMMENT:	

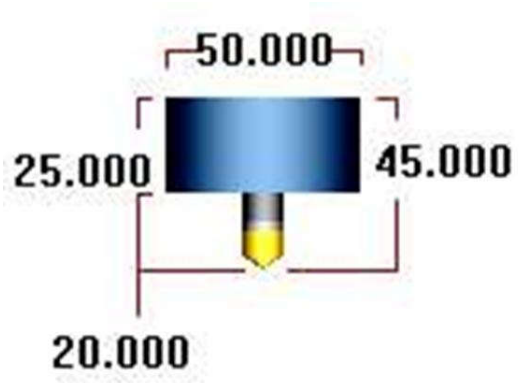
PROGRAM NUMBER:	0
SPINDLE SPEED:	1145 RPM
FEEDRATE:	50.0 mm/min
CLEARANCE PLANE:	50.0
RETRACT PLANE:	25.0
FEED PLANE:	25.0
DEPTH:	-12.0
STOCK TO LEAVE:	0.0
COMP TO TIP:	NO
WORK OFFSET:	0



TOOL INFO

10. DRILL

TYPE:	Drill
NUMBER:	20
DIAMETER:	10.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	20
DIAMETER OFFSET:	20
MATERIAL:	HSS
NUMBER OF FLUTES:	2
FPT: 0.022	SFM: 35.972
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:02:58

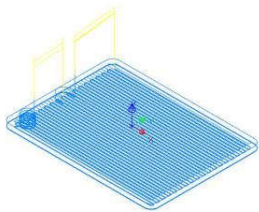


OPERATION INFO

3 - Pocket (Standard)

CYCLE TIME:	0 HOURS, 3 MINUTES, 3 SECONDS
COMMENT:	

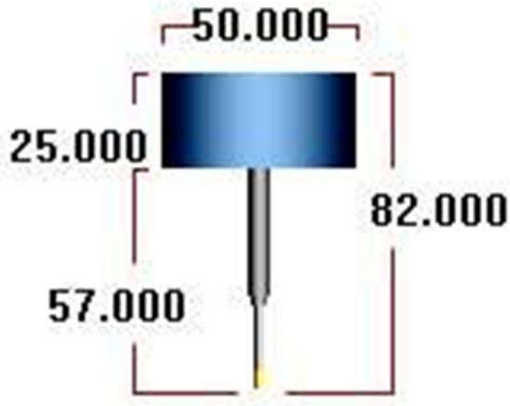
PROGRAM NUMBER:	0
SPINDLE SPEED:	35650 RPM
FEEDRATE:	3151.46 mm/min
CLEARANCE PLANE:	50.0
RETRACT PLANE:	25.0
FEED PLANE:	10.0
DEPTH:	-5.0
STOCK TO LEAVE:	0.0
COMP TO TIP:	YES
WORK OFFSET:	0



TOOL INFO

FLATEND MILL - 3

TYPE:	Endmill1 Flat
NUMBER:	5
DIAMETER:	3.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	5
DIAMETER OFFSET:	5
MATERIAL:	Carbide
NUMBER OF FLUTES:	4
FPT: 0.022	SFM: 336.004
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:03:03

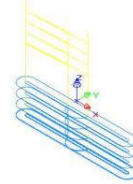


OPERATION INFO

4 - Pocket (Standard)

CYCLE TIME:	0 HOURS, 0 MINUTES, 26 SECONDS
COMMENT:	

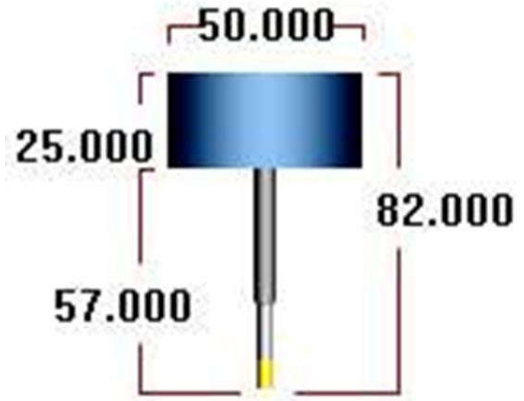
PROGRAM NUMBER:	0
SPINDLE SPEED:	26578 RPM
FEEDRATE:	3540.19 mm/min
CLEARANCE PLANE:	50.0
RETRACT PLANE:	25.0
FEED PLANE:	10.0
DEPTH:	-15.0
STOCK TO LEAVE:	0.0
COMP TO TIP:	YES
WORK OFFSET:	0



TOOL INFO

FLAT END MILL - 4

TYPE:	Endmill1 Flat
NUMBER:	5
DIAMETER:	4.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	5
DIAMETER OFFSET:	5
MATERIAL:	Carbide
NUMBER OF FLUTES:	4
FPT: 0.033	SFM: 333.999
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:00:26

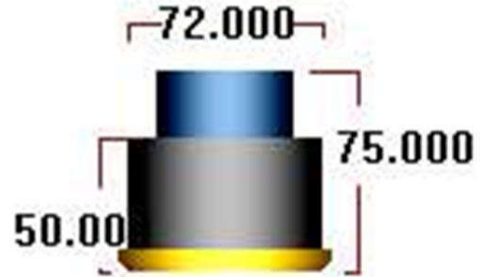


TOOL LIST

Sorted: NO

TOOL INFO **FACE MILL - 72/80**

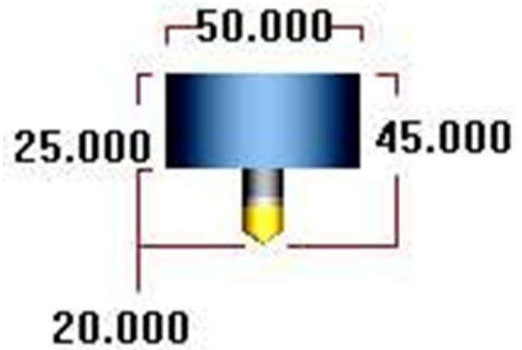
TYPE:	Face mill
NUMBER:	11
DIAMETER:	72.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	11
DIAMETER OFFSET:	11
MATERIAL:	Carbide
NUMBER OF FLUTES:	7
FPT: 0.367	SFM: 306.956
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:00:32



USED BY OPERATION: # 1 1 - Facing

TOOL INFO **10. DRILL**

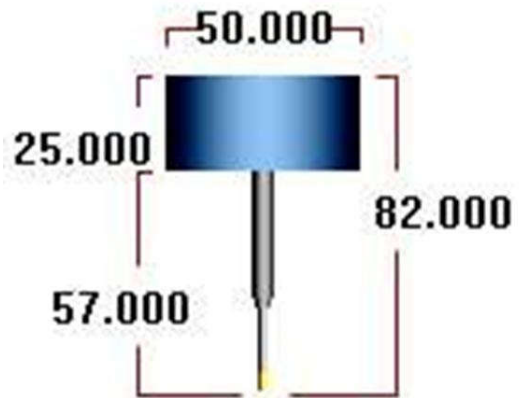
TYPE:	Drill
NUMBER:	20
DIAMETER:	10.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	20
DIAMETER OFFSET:	20
MATERIAL:	HSS
NUMBER OF FLUTES:	2
FPT: 0.022	SFM: 35.972
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:02:58



USED BY OPERATION: # 2 2 - Drill/Counterbore

TOOL INFO **FLATEND MILL - 3**

TYPE:	Endmill1 Flat
NUMBER:	5
DIAMETER:	3.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	5
DIAMETER OFFSET:	5
MATERIAL:	Carbide
NUMBER OF FLUTES:	4
FPT: 0.022	SFM: 336.004
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:03:03

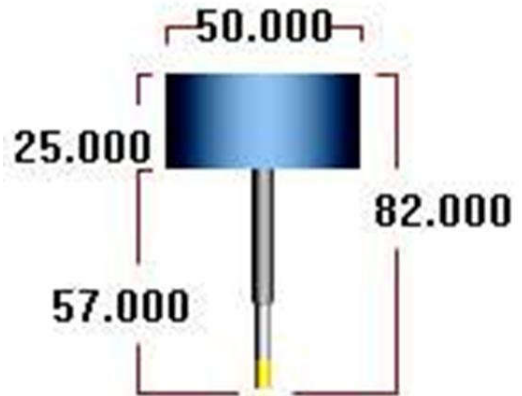


USED BY OPERATION: # 3 3 - Pocket (Standard)

TOOL INFO

FLATEND MILL - 4

TYPE:	Endmill1 Flat
NUMBER:	5
DIAMETER:	4.0
CORNER RADIUS:	0.0
LENGTH OFFSET:	5
DIAMETER OFFSET:	5
MATERIAL:	Carbide
NUMBER OF FLUTES:	4
FPT: 0.033	SFM: 333.999
MFG CODE:	
ASSEMBLY:	
HOLDER:	Default Holder
TIME:	00:00:26



USED BY OPERATION:	# 4	4 - Pocket (Standard)
--------------------	-----	-----------------------

WORKOFFSETS

OFFSET INFO

NUMBER: 0	PLANE: Top	ORIGIN: 0.0, 0.0, 0.0
USED BY OPERATION:	# 1	1 - Facing
USED BY OPERATION:	# 2	2 - Drill/Counterbore
USED BY OPERATION:	# 3	3 - Pocket (Standard)
USED BY OPERATION:	# 4	4 - Pocket (Standard)

Résumé

Dans ce travail on a présenté les notions fondamentales des machines à commande numérique, leurs définition, historique, évolution, classification, structure, ainsi que les méthodes de programmations. Une présentation des logiciels de CFAO MasterCAM et le logiciel de simulation SinuTrain pour SINUMERIK 828D, dans le but de simuler l'usinage relatif à la fabrication d'une pièce prismatique.

Mots-clés : Machine-outil à commande numérique; MasterCAM; SinuTrain.

الملخص

في هذا العمل قدمنا المبادئ الأساسية لألات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي، تعريفهم، تاريخهم، تطورهم، تصنيفهم، مكوناتهم وأيضا طرق برمجتهم آليا. كما قدمنا برامج التصميم والصناعة باستخدام الحاسب الآلي MasterCAM وكذلك برنامج المحاكاة SinuTrain لتشغيل SINUMERIK 828D كل هذا من أجل محاكاة التصنيع المتعلقة بتصميم وصناعة قطعة موشورية.

كلمات مفتاحية: آلات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي؛ MasterCAM؛ SinuTrain.

Abstract

In this work we presented the basic concepts of the machines with digital control, their definition, history, evolution, classification, structure, and the programming methods. Also a presentation of CAD/CAM software MasterCAM and the simulation software SinuTrain for SINUMERIK 828D, the purpose is to simulate machining relating to the manufacturing of prismatic piece.

Keywords: Machines with digital control; MasterCAM; SinuTrain.