

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

**Faculté de Technologie**  
**Domaine : science et technologie**  
**Département : Génie mécanique**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Fabrication mécanique et productique**

**Mémoire**

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

**Elaboration d'une gamme d'usinage d'une pièce complexe par  
procédé expérimentale et commande**

**Présenté par :**  
*Laliliche Ibtissem*

**Encadrant :**  
*Boussaid Ozine*

**Jury de Soutenance :**

Bouchlegem Abdelaziz	Pr	UBMA	Président
Boussaid Ozine	Pr	UBMA	Encadrant
Louar Lakhder	Pr	UBMA	Examineur
Mekhilef Slimen	Dr	UBMA	Examineur

**Année Universitaire : 2021/2022**

# *Remerciement*

*Avant toutes choses, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir  
donné la force et la patience*

*J'exprime d'abord mes profonds remerciements et ma vive  
connaissance au **PROFESSEUR BOUSSAID OZINE** pour nous  
avoir fait confiance et accepté de nous encadrer, de nous avoir  
encouragé, orienté et conseillé, je la remercie pour sa disponibilité et  
sa patience, pour son soutien et sa grande générosité, tout le long de  
notre travail, qu'il soit assuré de notre profonde*

*Je remercie **MONSIEUR BOUHLAGHEM. A** d'avoir accepté de  
présider le jury de soutenance*

*Je remercie également **MONSIEUR MEKHILEF** et  
**MONSIEUR LOUAR** Qui a accepté de juger ce travail.*

*Je remercie beaucoup **MONSIEUR KHELLAF** pour tous ses efforts  
pendant la période de stage*

***ET MONSIEUR MOKAS** pour tous les encouragements et le soutien  
qu'il nous a apportés.*

*Je remercie tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à  
réaliser ce travail.*

# *Dédicace*

*Avec l'aide d'Allah le tout puissant, ce travail est achevé*

*Je le dédie à toutes personnes qui me sont chère ;*

*A la femme qui joue le rôle d'un père et une mère en même temps et qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort à me rendre heureuse : mon adorable **Maman***

*A mon père qui est loin de moi mais qui est présent dans le cœur malgré la séparation : mon **cher Père***

*A mes frères qui sont toujours soutenu et encouragées : **MED TAHER et BADIS***

*A mes tantes, qui sont toujours sacrifiées pour réussir : **NAIMA et CHAHRA***

*A ma belle sœur **HADIL***

*A mes amies : **NOUARA, GHOZLENE, LINA et BASMA** merci pour tous ces moments simples qui devenus inoubliable*

*A mon petits anges **OUMAIMA, WEAM, NOUR et ANIS***

*A mon morceau de sucre **KOSAI***

*A toute la promotion de génie mécanique*

*LAILICHE IBTISSEM*

## RESUME

Notre travail a pour objectif de réaliser une pièce complexe de forme non axisymétrique sur une machine-outil à commande numérique à trois axes. En premier lieu, une recherche bibliographique était nécessaire pour comprendre l'évolution de la commande numérique, présenter l'historique et les nouveautés dans le domaine et présenter l'intérêt d'une machine-outil à commande numérique. Dans un second temps, et afin de s'imprégner de cette nouvelle technologie de fabrication, l'occasion nous a été donnée pour la conception et la réalisation en entreprise où notre stage a été effectué, d'une pièce complexe de géométrie multiforme sur une machine-outil à commande numérique. Et comme la fabrication d'une pièce peut être réalisée suivant plusieurs possibilités, un recours dans certains cas, à la simulation en virtuel de la fabrication des pièces est important, grâce à des logiciels industriels de simulation, qui nous permettent de prévoir plus d'un scénario pour réaliser la pièce et choisir la démarche optimale.

**Mots clés :** machine à commande numérique, SINUMERIK 840D ShopTurn, Simulation

## ABSTRACT

The objective of our work is to produce a complex part with a non-axisymmetric shape on a three-axis numerical control machine tool. First, a bibliographical research was necessary to understand the evolution of the numerical control, to present the history and the innovations in the field and to present the interest of a numerical control machine tool. In a second time, and in order to impregnate itself with this new technology of manufacture, the occasion is given to us for the design and the realization in company where our training course was carried out, of a complex part of multiform geometry on a machine-tool with numerical control. And as the manufacture of a part can be carried out according to several possibilities, a recourse, in certain cases, to the simulation of the manufacture of the parts in virtual is important, thanks to industrial software of simulation, which enable us to foresee more than one scenario to carry out the part and to choose the optimal step.

**Keywords:** CNC machine, SINUMERIK 840D ShopTurn, Simulation

## ملخص:

يهدف عملنا إلى إنتاج جزء معقد من الشكل غير المتماثل المحور على أداة آلية ذات ثلاثة محاور يتم التحكم فيها عددياً. أولاً، كان البحث الببليوغرافي ضرورياً لفهم تطور التحكم العددي، ولتقديم التاريخ والمستجدات في هذا المجال ولتقديم الاهتمام بأداة آلية يتم التحكم فيها رقمياً. في الخطوة الثانية، ومن أجل استيعاب تقنية التصنيع الجديدة هذه، تُمنح الفرصة لنا للتصميم والإنجاز في الشركة حيث تم تنفيذ الدورة التدريبية الخاصة بنا، لجزء معقد من الهندسة متعددة الأشكال على آلة CNC. ونظراً لأن تصنيع جزء ما يمكن تنفيذه وفقاً لإمكانات متعددة، فإن اللجوء، في بعض الحالات، إلى محاكاة

تصنيع الأجزاء الافتراضية أمر مهم ، بفضل برامج المحاكاة الصناعية ، التي تتيح لنا تخطيط المزيد من السيناريو لعمله.  
المسرحية واختيار النهج الأمثل.

الكلمات الرئيسية: آلة CNC ، SINUMERIK 840D ShopTurn ، محاكاة

## SOMMAIRE

---

Remerciement

Dédicace

Résumer

Introduction

### *Chapitre 1 : Etude bibliographique*

1. Introduction.....	1
2. Les différents procédés d'usinage :.....	1
2.1. Le Tournage.....	1
2.1.1. Les différentes opérations de tournage.....	2
2.1.2. Les outils de coupe en tournage .....	3
2.1.3. Les différentes formes de plaquettes .....	4
2.1.4. Principaux paramètres de coupe.....	5
2.2. Le Fraisage .....	6
2.2.1. Principe.....	6
2.2.2. Les modes de fraisage .....	6
2.2.3. Le fraisage en opposition : .....	8
2.2.4. Le fraisage en avalant :.....	8
2.2.5. Différents types de fraises .....	9
2.3. Le Perçage .....	9
2.4. Outils de perçage : .....	10
3. La commande numérique :.....	10
3.1. Historique .....	11
3.2. Définitions et structure d'une machine-outil à commande numérique.....	13
3.2.1. Définition .....	13
3.2.2. Structure d'une machine-outil à commande numérique .....	14
4. Types des MOCN .....	16
5. Décalage et géométrie d'outil .....	19
5.2. Géométrie des outils .....	20
5.3. Décalage d'origine (G59) .....	22
6. Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN :.....	22
6.1. Les différentes techniques d'usinage avec les MOCN [13].....	24
6.2. Domaine d'utilisation technique.....	25
6.3. Domaine d'utilisation économique.....	26
7. Architecture et organisation générale d'une MOCN .....	27

8.	Avantages et les inconvénients [12] .....	29
8.1.	Les avantages.....	29
8.2.	Les inconvénients .....	29
9.	Centres d’usinage.....	30
9.1.	Centres de tournage .....	30
9.1.1.	Types des machines-outils à commande numérique .....	30
9.1.2.	Centre de tournage à trois axes .....	31
9.1.3.	Centre de tournage à cinq axes.....	31
9.2.	Centres de fraisage [14].....	32
10.	Conclusion :.....	32

### ***Chapitre2: Réalisation de la pièce sur une machine à commande numérique***

1.	Introduction :.....	33
2.	Description du logiciel « SOLIDWORKS ».....	33
3.	Conception de la pièce à usiner sur SolidWorks .....	33
4.	Présentation du logiciel du fonctionnement de la machine [15].....	41
4.1.	Aperçu du système.....	41
4.2.	Récapitulatif des caractéristiques distinctives .....	42
5.	Présentation de la pièce.....	43
5.1.	Matériaux utilisé XC 48 .....	44
5.2.	Machine-outil utilisée .....	45
5.3.	Pupitre de commande .....	45
5.4.	La mise en œuvre des machines à commande numérique nouvellement installée.....	46
6.	Créer un programme « ShopTurn » .....	47
6.1.	SINUMERIK 840D SL .....	47
6.2.	Gestion et création de programmes .....	47
6.3.	Appel d'un outil .....	51
7.	Conclusion.....	67

### ***Chapitre 3 :Simulation de la fabrication de la pièce sur logiciel industriel***

1.	Introduction : .....	68
2.	L’aspect technique de la simulation .....	68
3.	Caractéristiques du logiciel utilisé :.....	68
4.	Etapes de la simulation de la gamme d’usinage de la pièce sur le logiciel .....	69
4.1.	Modélisation numérique 1 : .....	70
4.2.	Modélisation numérique 2 : .....	73
5.	Conclusion :.....	75

Conclusion .....	76
References bibliographique.....	77

## Liste des figures :

### *Chapitre 1 : Etude bibliographique*

Fig. 1 : Pièce et Outil en tournage .....	1
Fig. 2 : le tour parallèle .....	2
Fig. 3 : Types de chariotage .....	3
Fig. 4 : Types d'alésage.....	3
Fig. 5: Dressage surfacique .....	3
Fig. 6 : perçage et outil.....	3
Fig. 7 : Outils utilisés en tournage extérieur.....	4
Fig. 8 : Outils utilisés en tournage intérieur .....	4
Fig. 9 : Les formes de plaquettes.....	5
Fig. 10 : Arêtes et surface d'une fraise 2tailles .....	6
Fig. 11 : Fraisage en bout    Fig. 12 : : Fraisage en roulant.....	6
Fig. 13 : Fraisage combiné    Fig. 14 : Fraisage en 3D.....	7
Fig. 15 : Etat de surface d'une pièce fraisée en bout .....	7
Fig. 16 : Etat de surface d'une pièce fraisée de profil.....	7
Fig. 17 : Mode de fraisage de profil .....	8
Fig. 18 : Cas du fraisage en bout.....	8
Fig. 19 : différentes formes de fraise.....	9
Fig. 20 : Fraises pour opération de poche et de profilage .....	9
Fig. 21 : Principe d'une opération de perçage .....	10
Fig. 22 : Premier MOCN en 1952 [9] .....	12
Fig. 23 : Pupitre operateur d'une CN 32 bits [9].....	13
Fig 24: MOCN de type BOXFORD (FANUC) [10].....	13
Fig 25: Structure d'une MOCN.....	14
Fig. 26 : Fonction originale d'une commande numérique [10] .....	14
Fig. 27 : : Eléments de partie opérative [10] .....	15
Fig. 28 : cinématique de tour multiaxes [3].....	18
Fig.29: structures des machines de 3 à 5 axes [3] .....	18
Fig. 30: Point de référence dans le volume d'usinage don le cas fraisage [4].....	19
Fig.31: Point de référence dans le volume d'usinage dans le cas tournage.[4].....	19
Fig.32 : Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et fraisage.[4].....	20
Fig. 33: Longueur d'une fraise.[5] .....	20
Fig 34 : Type de l'outil (cas de fraisage).[5].....	21
Fig. 35: Position du bec des outils.[5] .....	21
Fig. 36: Longueur de l'outil [5].....	22
Fig. 37 : Productivité technique de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation [11].....	24
Fig. 38: domaine d'utilisation des machines -outils à commande numérique [11].....	26
Fig. 39 : structure d'une machine à commande numérique .....	27
Fig. 40: schéma d'une machine à commande numérique .....	28
Fig.41: centre d'usinage [14] .....	30
Fig. 42 : : Centre de tournage .....	31
Fig. 43 : Centre de tournage    Fig. 44: Centre de tournage .....	31



Fig. 45: Identification des axes pour un Centre de fraissage .....	32
--	----

## *Chapitre 2 : Réalisation de la pièce sur une machine à commande numérique*

Fig. 46: L'introduction à l'interface du logiciel SolidWorks .....	34
Fig. 47: présentation de l'interface d'une nouvelle pièce.....	34
Fig.48: SolidWorks – l'esquisse-.....	35
Fig. 49: la forme de la pièce après la fonction <b>Bossage/Base</b> .....	36
Fig. 50: création le congé1 sur la pièce .....	37
Fig. 51: création le congé 2 sur la pièce .....	38
Fig. 52: création le chanfrein sur la pièce.....	39
Fig.53: Fraisage d'une forme prismatique sur la pièce .....	39
Fig. 54: pièce finie d'axe de roue sur SolidWorks .....	40
Fig. 55: réalisation la mise en plan de la pièce.....	40
Fig.56: mise en plan -AXE DE ROUE- .....	43
Fig. 57: la machin clx 550.....	45
Fig. 58: pupitre de la commande .....	45
Fig. 59: l'installation de la machine (vue de face) .....	46
Fig. 60 : : l'installation de la machine (vue de dessus) .....	46
Fig.61: Image de base. ....	47
Fig. 62: Menu principal.....	48
Fig. 63. : Gestionnaire de programmes .....	48
Fig. 64: Création de pièce.....	49
Fig. 65: Créer un programme d'usinage. ....	49
Fig. 66.: En-tête du programme - image d'aide. ....	50
Fig. 67 : : En-tête de programme exemple - éditeur pas à pas. ....	50
Fig. 68: En-tête de programme exemple - éditeur pas à pas.....	50
Fig. 69: Rotation - vue graphique.....	51
Fig. 70: Liste des outils. ....	52
Fig. 71: Outil – saisie (exemple). ....	52
Fig. 72: Création du contour ' COUNTOUR ' .....	53
Fig 73: Saisie du point de départ. ....	54
Fig.74: Saisie du segment de contour vertical.....	54
Fig. 75: Saisie du segment de contour horizontal.....	55
Fig. 76: Saisie du segment de contour vertical.....	55
Fig.77: Saisie du segment de contour horizontal.....	56
Fig. 78: Saisie du segment de contour horizontale.....	56
Fig. 79: Saisie du segment de contour vertical .....	57
Fig. 80: Saisie du segment de contour horizontale.....	57
Fig. 81: Contour dans la gamme d'usinage.....	58
Fig. 82: Ebauche du contour.....	58
Fig. 83: chariotage - vue graphique.....	59
Fig. 84: Finition du contour.....	60
Fig. 85: Concaténation des opérations dans la gamme d'usinage.....	60
Fig. 86: Gorge. ....	61
Fig. 87: Simulation De GORGE.....	61
Fig. 88: Gamme d'usinage avec les gorges.....	62
Fig. 89: Simulation De perçage profond .....	62
Fig. 90: Gamme d'usinage avec le perçage profond.....	63

Fig. 91: Simulation - cercle de position .....	63
Fig.92: Simulation de Polyèdre .....	64
Fig. 93: Polyèdre - vue graphique .....	65
Fig. 94: Rotation - vue graphique.....	65
Fig. 95: Simulation de la vue de côté. ....	66
Fig. 96: Simulation de la vue à 2 fenêtres .....	67

### ***Chapitre 3 : Simulation de la fabrication de la pièce sur logiciel industriel***

Fig.97: Disposition de l'outil et de la pièce dans l'opération de fraisage .....	69
Fig. 98 : Disposition de l'outil et de la pièce dans l'opération de perçage.....	70
Fig. 99: Pièce brute aux dimensions extérieures .....	70
Fig. 100: Réalisation de la forme prismatique sur toute la longueur.....	71
Fig. 101 : Chariotage et réalisation de Fraisage d'une forme prismatique sur la pièce.....	71
Fig.102: Réalisation des congés sur la pièce .....	72
Fig.103: Réalisation LA GORGE .....	72
Fig. 104: Réalisation d pièce finie d'axe de roue .....	72
Fig.105 : Présentation de La pièce brut .....	73
Fig.106: Réalisation de chariotage d'une forme prismatique sur la pièce.....	73
Fig. 107: Réalisation de corps de la pièce en chariotage.....	74
Fig. 108: réalisation de Fraisage d'une forme prismatique sur la pièce .....	74
Fig 109: Réalisation de pièce finie d'axe de roue .....	74

### **Liste des tableaux**

Tab. 1: Les outils de perçage.....	10
Tab. 2: classification des machines-outils [3] .....	17
Tab. 3: Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN. [11] .....	23

## INTRODUCTION

L'usinage de pièces complexes réalisé sur une machine à commande numérique s'étend à l'ensemble des secteurs de l'industrie. Réservé, il y'a pas si longtemps, à certaines industries de pointe, les machines-outils à commande numérique sont aujourd'hui utilisées au sein de la plupart des usines de fabrication mécanique et des petites et moyennes entreprises. Désormais, l'acquisition de ces machines est devenue nécessaire dans l'industrie en général, et demeure une condition de réussite technico-économique. Ces progrès sont essentiellement dus à la révolution technologique en informatique industriel, ce qui permet le développement des solutions numériques efficaces avec une possibilité d'implanter des algorithmes plus complexes. Cette technologie en majorité est basée sur les microprocesseurs, les DSP (Digital Signal Processor) et les microcontrôleurs PIC. Ces machines à commande numérique par ordinateur (CNC) permettent une production économique rentable. Le contrôle des coûts reste une préoccupation importante.

Notre projet de fin d'étude a pour objectif de réaliser une pièce complexe de forme non axisymétrique sur une machine-outil à commande numérique à trois axes. Notre travail est réparti sur quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique est nécessaire pour comprendre l'évolution de la commande numérique, présenter l'historique et les nouveautés dans le domaine. De même, on aura besoin de présenter l'intérêt d'une machine-outil à commande numérique, le fonctionnement, les avantages et les inconvénients par rapport à la fabrication classique.

Le deuxième chapitre est consacré à une présentation de l'intérêt de recourir dans certains cas à la simulation en virtuel de la fabrication d'une pièce avant même de décider de sa réalisation sur la machine. Cette démarche, faisant appel à des logiciels industriels de simulation, nous permet de prévoir plus d'un scénario pour réaliser la pièce et de là, opter pour le scénario qui nous permet de choisir les moyens les plus rentables, et gagner du temps et de l'argent.

Quant au troisième chapitre, il est consacré à la présentation de la machine-outil utilisée dans l'entreprise ou notre stage a été effectué, machine pilotée par le logiciel SINUMERIK 840D ShopTurn et qui nous a permis de réaliser la gamme et la fabrication de la pièce, appelée axe de roue, dont la conception a été réalisée sur SolidWorks.

*Chapitre 1 :*  
*Etude bibliographique*

## 1. Introduction

Les différentes pièces réalisées en mécanique sont le fruit de l'usinage de matières brutes sur différentes machines-outils. Grâce à l'évolution de ces machines on pouvait réaliser les pièces de forme plus compliquée en recourant à des machines à commande numérique et aux centres d'usinage. Ce chapitre se veut une description de cette technologie pour comprendre l'évolution de la commande numérique, présenter l'historique et les nouveautés dans le domaine. De même, on aura besoin de présenter l'intérêt d'une machine-outil à commande numérique, le fonctionnement, les avantages et les inconvénients par rapport à la fabrication classique

## 2. Les différents procédés d'usinage :

### 2.1. Le Tournage

Le tournage est un procédé de réalisation des pièces par enlèvement de métal (copeaux), il est destiné pour le façonnage (mise en forme) des surfaces de révolution extérieures et intérieures.

En tournage la pièce, qui est généralement serrée dans un porte-pièce appelé mandrin, est animée d'un mouvement circulaire uniforme, c'est le **mouvement de coupe** et l'outil à arête unique est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation de la pièce, c'est le **Mouvement d'avance**.

Il est à noter que le tournage permet aussi la réalisation des formes intérieures (perçage, alésage, taraudage, ... etc.) et des surfaces plane lorsque le déplacement de l'outil est perpendiculaire à l'axe de rotation de la pièce, c'est le cas du dressage [1,2]

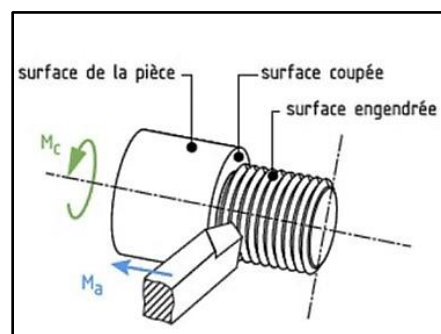


Fig. 1 : Pièce et Outil en tournage

La machine utilisée est le tour (Fig. 02), il est principalement constitué de :

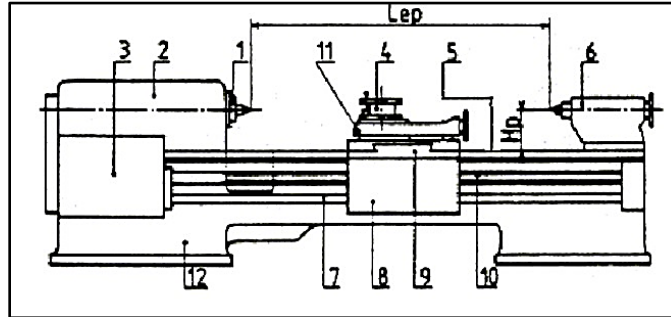


Fig. 2 : le tour parallèle

1 : Broche	2 : Boîte des vitesses	3 : Boîte des avances
4 : Tourelle porte-outil	5 : Banc	6 : Poupée mobile
7 : Barre de chariotage	8 : Chariot longitudinal	9 : Chariot transversal
10 : Vis mère	11 : Chariot supérieur	12 : Le Bâti (socle)

LEP : Longueur entre pointes HP : Hauteur des pointes.

La pièce est entraînée en rotation par la Broche (1) par l'intermédiaire d'un mandrin ou autre dispositif spécial. Une boîte des vitesses (2) permet de varier la vitesse de rotation de la broche ( $N$  [tr/min.]).

Le mouvement de translation du traînard est commandé soit par la barre de chariotage (7) soit par la vis-mère (10), une boîte des avances (3) permet de régler la vitesse du traînard et par conséquent le déplacement de l'outil correspondant à un tour de la pièce ( $f$  [mm/tr]).

### 2.1.1. Les différentes opérations de tournage

La forme de la partie active de l'outil dépend de l'opération à réaliser [3].

- **Le chariotage :**

Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieurement, comme présenté sur les figures suivantes :

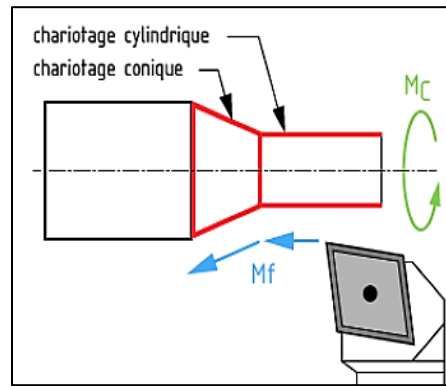


Fig. 3 : Types de chariotage

- **L'alésage :**

Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieurement.

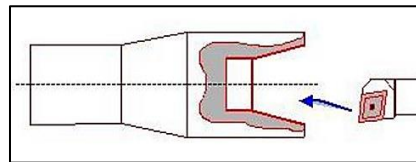


Fig. 4 : Types d'alésage

- **Le dressage :**

Opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche.

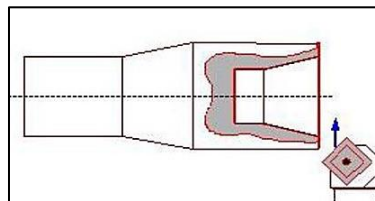


Fig. 5: Dressage surfacique

- **Le Perçage :**

Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'un foret.

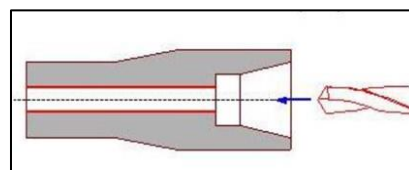


Fig. 6 : perçage et outil

### 2.1.2. Les outils de coupe en tournage

Les outils les plus courants sont normalisés et la forme leur partie active dépend de L'opération à réaliser.

- Outil en acier rapide pour travaux d'extérieur :

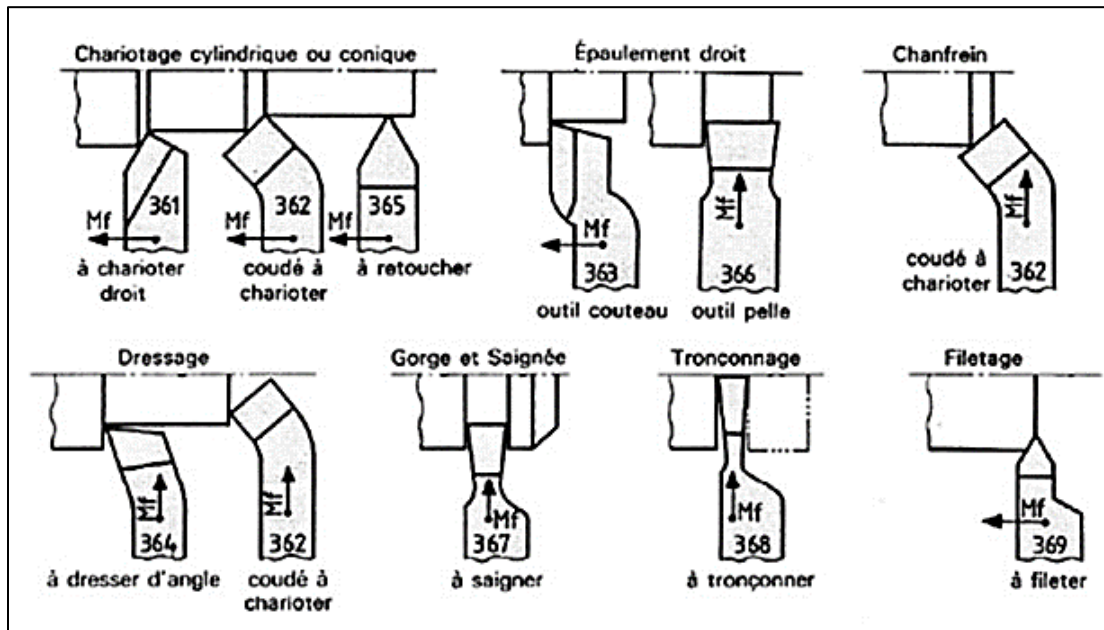


Fig. 7 : Outils utilisés en tournage extérieur

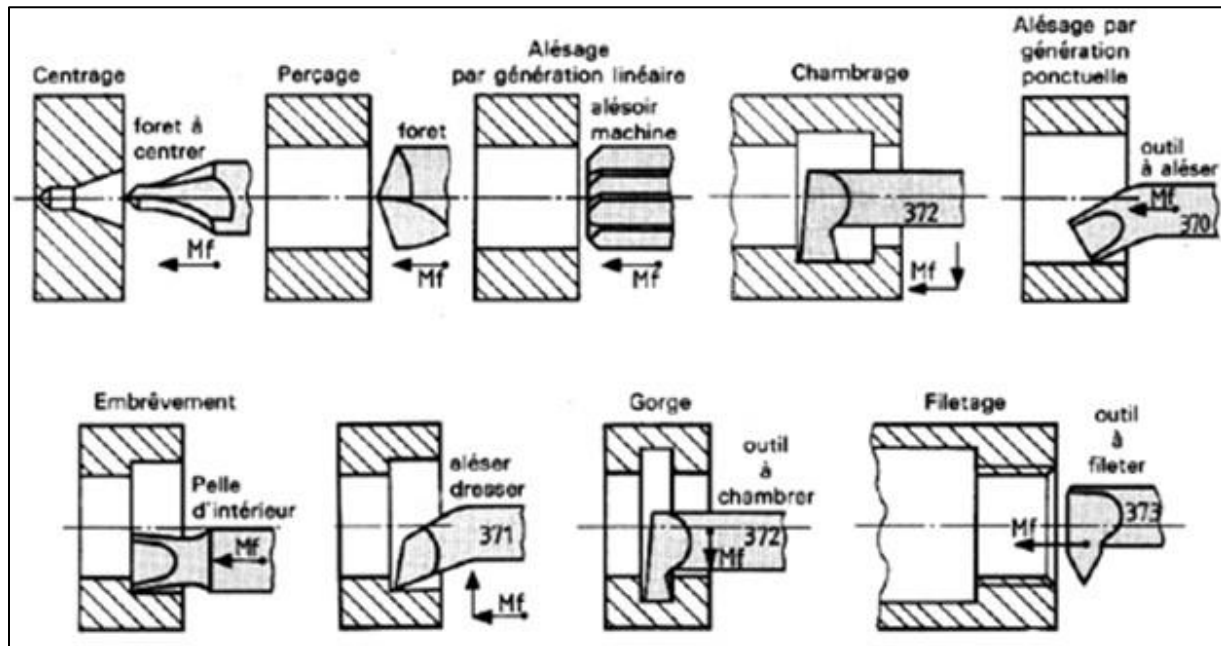


Fig. 8 : Outils utilisés en tournage intérieur

### 2.1.3. Les différentes formes de plaquettes

On utilise principalement des plaquettes de formes carré, ronde, rectangulaire, rhombique, rhomboïdale, triangulaire.



La forme de la plaquette est choisie en fonction des surfaces à obtenir et du cycle de travail. Si plusieurs formes conviennent on choisira celle qui donne la meilleure résistance mécanique ( $\epsilon_r$  maximum). Si le critère résistance n'est pas prépondérant, on choisira la plus économique, c'est à dire celle qui permet de disposer du maximum d'arêtes utilisables (plaquette carrée). Il existe également des plaquettes de formes hexagonale, octogonale et pentagonale [4].

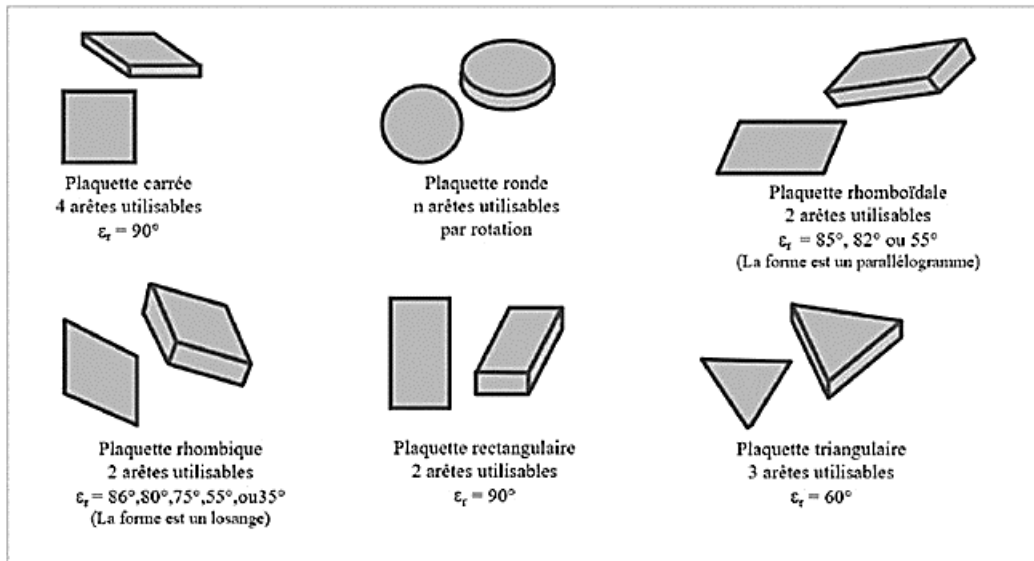


Fig. 9 : Les formes de plaquettes

### 2.1.4. Principaux paramètres de coupe

Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité d'usinage, usure modérée de l'outil, ...) on doit faire un choix judicieux des paramètres de coupe. [2,5]

- La vitesse de coupe ( $V_c$ ) [m/min] : désigne la vitesse linéaire de l'outil dans le sens du mouvement de coupe, on définit aussi la vitesse de rotation ( $N$ ) [tr/min] : C'est le nombre de tours par minute accomplis par la pièce dans le mouvement de coupe.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$$

Avec :

Où :

- $D$  : Diamètre d'usinage de la pièce [mm].
- L'avance par tour ( $f$ ) [mm/tr] : désigne le déplacement de l'outil dans le mouvement d'avance, correspondant à un tour de pièce.
- La profondeur de passe ( $a_p$ ) [mm] : désigne l'épaisseur de la couche enlevée sur la pièce

## 2.2. Le Fraisage

### 2.2.1. Principe

L'outil à dents multiples, appelé « Fraise », est animé d'un mouvement circulaire uniforme (Mouvement de coupe) ; la pièce est animée d'un mouvement de translation par rapport à la fraise (Mouvement d'avance) [4].

Comme toute opération de coupe des métaux, le fraisage nécessite le respect de conditions relatives notamment aux vitesses de coupe et d'avance.

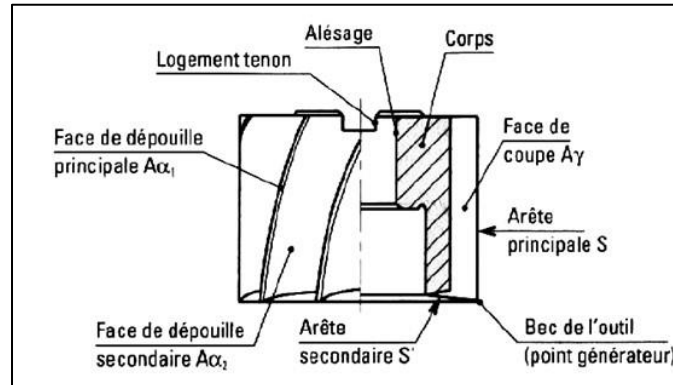


Fig. 10 : Arêtes et surface d'une fraise 2tailles

### 2.2.2. Les modes de fraisage

On distingue deux modes de fraisage : le fraisage de face (ou encore appelé le fraisage en bout) et le fraisage de profil (ou encore appelé le fraisage en roulant) [6].

Le FRAISAGE EN BOUT (frb) : l'axe de la fraise est perpendiculaire au plan fraisé.

Le FRAISAGE EN ROULANT (frr) : la génératrice de la fraise est parallèle à la surface usinée.

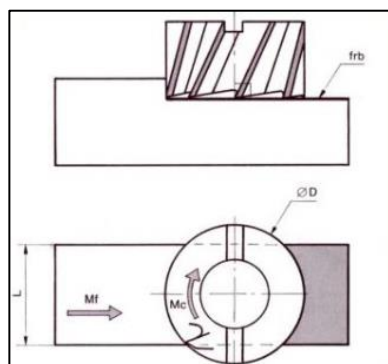


Fig. 11 : Fraisage en bout

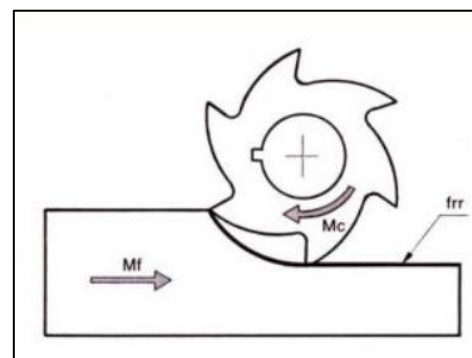


Fig. 12 : : Fraisage en roulant

Il est à noter que les deux modes de fraisage peuvent se trouver en application au cours D'une même opération. C'est le cas des fraises 2 tailles, 3 tailles, travaillant simultanément en bout et en roulant : c'est le fraisage combiné [7].

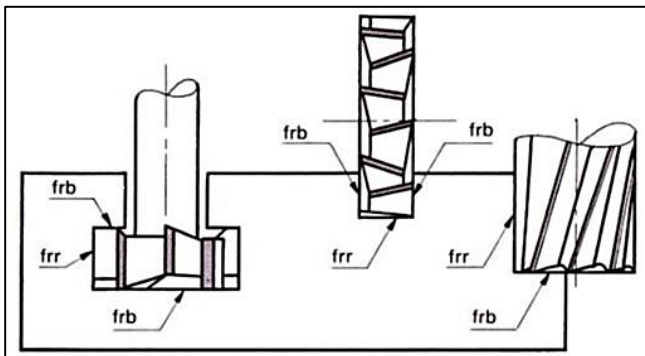


Fig. 13 : Fraisage combiné

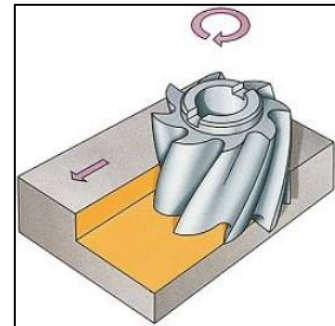


Fig. 14 : Fraisage en 3D

L'aspect d'une surface usinée en fraisage en bout est caractérisé par une série de courbes sécantes appelées cycloïdes correspondant à la trace laissé par les dents de la fraise sur la pièce.

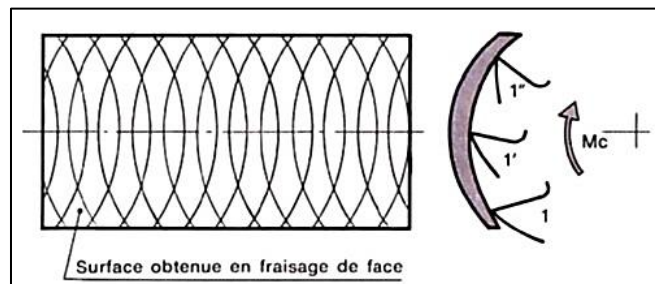


Fig. 15 : Etat de surface d'une pièce fraisée en bout

Pour le fraisage en roulant, la surface usinée présente une série d'ondulations laissées par les dents de la fraise : celles-ci dépendent de l'avance et du diamètre de l'outil [5].

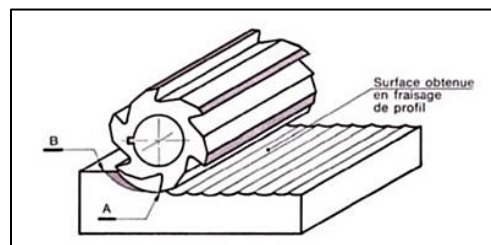
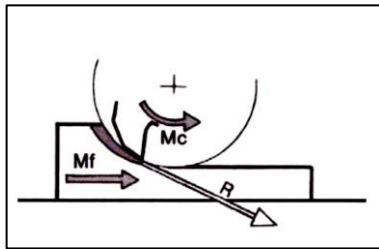


Fig. 16 : Etat de surface d'une pièce fraisée de profil

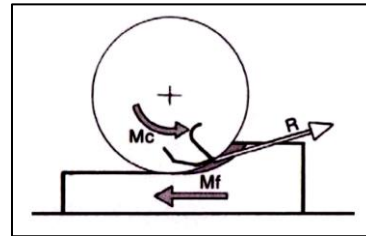
Lors d'une opération de fraisage en roulant, on distingue [5] :

**2.2.3. Le fraisage en opposition :**

Le mouvement d’avance  $M_f$  de la pièce et le mouvement de coupe  $M_c$  de la fraise dans la zone fraisée sont de sens contraire. L’épaisseur du copeau est faible (presque nulle) à l’attaque, puis devient maximale en fin de trajectoire de la dent. La résultante  $R$  des efforts de coupe est dirigée dans le sens opposé au  $M_f$  d’où la possibilité d’utiliser ce mode sur les fraiseuses à systèmes d’avance (vis/écrou) sans rattrapage de jeu. Par contre l’effort de coupe tend à soulever la pièce de ses appuis.



a- Fraisage en opposition



b- Fraisage en avalant

Fig. 17 : Mode de fraisage de profil

**2.2.4. Le fraisage en avalant :**

Lors du fraisage en avalant ou en concordance, le mouvement d’avance  $M_f$  de la pièce et le mouvement de coupe  $M_c$  de la fraise dans la zone fraisée sont de même sens. L’épaisseur du copeau est maximale à l’attaque puis devient nulle en fin de trajectoire de la dent. La résultante des efforts de coupe  $R$  est dirigée dans le même sens que le  $M_f$ . Ce qui conduit à un rattrapage du jeu entre la vis et l’écrou du système d’avance, d’où la nécessité d’utiliser ce mode de fraisage sur les machines disposant d’un système d’avance avec rattrapage de jeu (fraiseuses CN et centres d’usinage). Dans ce cas l’effort de coupe tend à faire plaquer la pièce sur ses appuis.

Dans le cas du fraisage en bout (surfaçage), certaines dents peuvent travailler en opposition et d’autres en avalant. On peut remédier à cela en choisissant une fraise d’un diamètre plus important et en la déportant sur le côté.

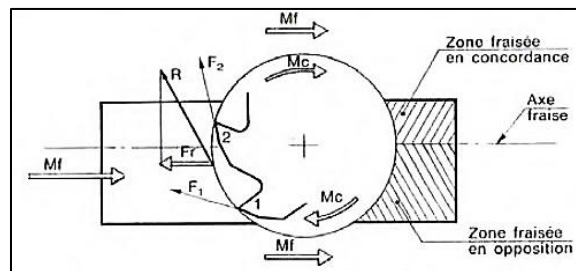


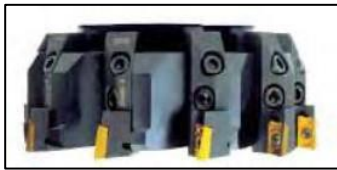
Fig. 18 : Cas du fraisage en bout

### 2.2.5. Différents types de fraises

Il existe un grand nombre d'outils de diverses formes pour les opérations de fraisage, on peut cependant en sortir trois grandes familles :

- les fraises à surfacer,
- les fraises 2 tailles,
- les fraises 3 tailles.

Ces fraises sont, comme pour le cas du tournage fabriquées en ARS ou basées sur des plaquettes carbure rapportées



a - Fraise à surfacer à plaquettes carbure



b- Fraise 3 tailles



c - Fraise 2 tailles

Fig. 19 : différentes formes de fraise

Pour les opérations de poches et de profilage utilisées avec les centres d'usinage, on utilise des fraises à bout hémisphérique en ARS ou des fraises à plaquettes carbure rondes qui permettent de fabriquer des surfaces complexes. Ces fraises sont généralement de petit diamètre.



a - Fraise à plaquettes rondes



b - Fraise à bout hémisphérique



c - Fraise à fileter

Fig. 20 : Fraises pour opération de poche et de profilage

### 2.3. Le Perçage

Pour percer un trou dans une pièce à l'aide d'un foret, il faut que :

- la pièce soit fixée sur un étau, soit montée en montage de perçage. Le foret soit situé à l'emplacement voulu au-dessus de la pièce, l'axe du foret doit rigoureusement correspondre avec l'axe du perçage à réaliser.
- le foret soit entraîné en rotation : c'est le *mouvement de coupe*
- le foret avance progressivement dans la pièce : c'est le *mouvement d'avance*.

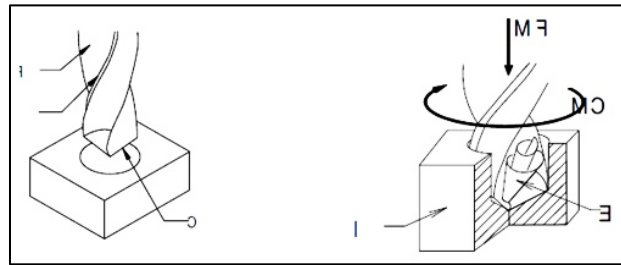


Fig. 21 : Principe d'une opération de perçage

Le foret pénètre dans la matière. L'arête transversale (âme du foret) qui permet le perçage en plein matière, repousse le métal, puis l'arête principale « C » coupe la matière de la pièce à percer « D ». Les copeaux « E » sont évacués dans les formes en creux appelés goujures « F ». Le foret est facilement guidé grâce à ses bords de forme hélicoïdale ou listels « G » [8]

### 2.4. Outils de perçage :

L'opération de perçage définit l'obtention d'un trou quelconque dans une pièce. On y associe des outils de perçage, à savoir les forets

Tab. 1: Les outils de perçage

Foret à centrer	Foret à pointer	Foret	Alésoir	Fraise à lamer
				
A utiliser pour situer l'axe d'une pièce en tournage	A utiliser pour positionner un perçage	Pour percer des trous (tolérance H10)	Pour la finition d'un trou de bonne qualité (tolérance H7)	Pour noyer une tête de vis Chc

### 3. La commande numérique :

La commande numérique désigne, dans le domaine de la fabrication mécanique, l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments

d'une machine-outil. La programmation de commande numérique (CN) permet de définir des séquences d'instructions permettant de piloter des machines-outils.

Une machine-outil à commande numérique (MOCN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique, elle permet selon ses caractéristiques d'effectuer diverses opérations - percer, scier, rectifier, découper, fraiser, plier, graver, tarauder, souder, visser, déposer un matériau, etc. - nécessitant des gestes précis et/ou répétitifs, sur des matériaux divers. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle de machine CNC pour (computer numerical control), francisé en « commande numérique par calculateur ». De nos jours, elle est très utilisée dans le domaine de la fabrication mécanique.

### **3.1. Historique**

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique. [9]

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

En 1947, à Traverse City dans l'État du Michigan, John Parsons 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.

L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées.

La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage. 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 (Fig.22), conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le Servomechanisms Laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de Numerical control. [9,10]

Il aurait tout aussi bien s'appeler commande symbolique



Fig. 22 : Premier MOCN en 1952 [9]

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 Machine-outil à commande numérique (MOCN) réellement opérationnelle

Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes.

**1954** : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.

**1955** : à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.

**1959** : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre). Le MIT annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Programmed 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.

**1968** : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante. Le premier centre d'usinage est mis en vente par Kearney & Trecker (USA).

**1972** : les mini calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC. 1976 : développement des CN à microprocesseurs.

**1984** : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).

**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 (Fig.23).





Fig. 23 : Pupitre opérateur d'une CN 32 bits [9]

### 3.2. Définitions et structure d'une machine-outil à commande numérique

#### 3.2.1. Définition

La MOCN est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes dans un programme CN. Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée Commande Numérique par Calculateur (CNC). La plupart des MOCN sont des CNC.

La figure ci-dessous montre une machine à commande numérique de type BOXFORD.[10]



Fig. 24: MOCN de type BOXFORD (FANUC) [10]

**3.2.2. Structure d’une machine-outil à commande numérique**

Une machine-outil à commande numérique est composée de deux principales parties :

- Partie commande
- Partie Opérative

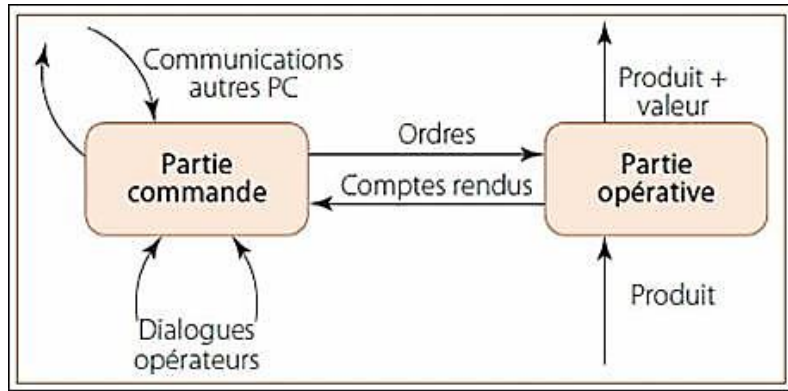


Fig. 25: Structure d’une MOCN

❖ **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,
- 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 ...).

La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter en direct les moteurs de la machine (Fig.26).

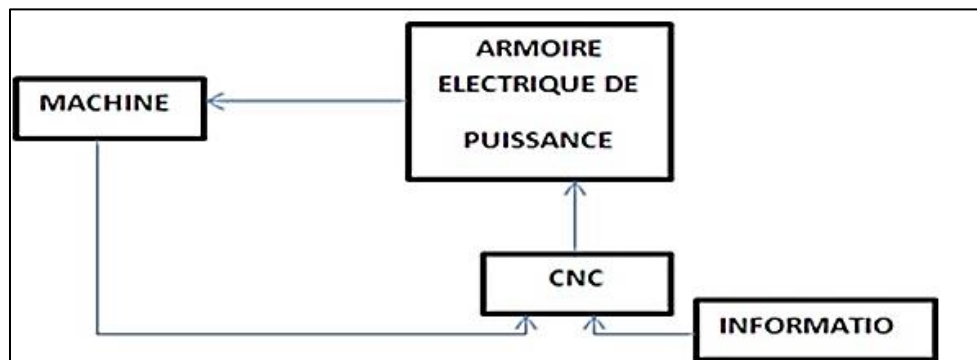


Fig. 26 : Fonction originale d'une commande numérique [10]

### ❖ 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, torche, 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,
- Des moteurs chargés de l'entraînement de la table,
- Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe,
- Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation (Fig.26).

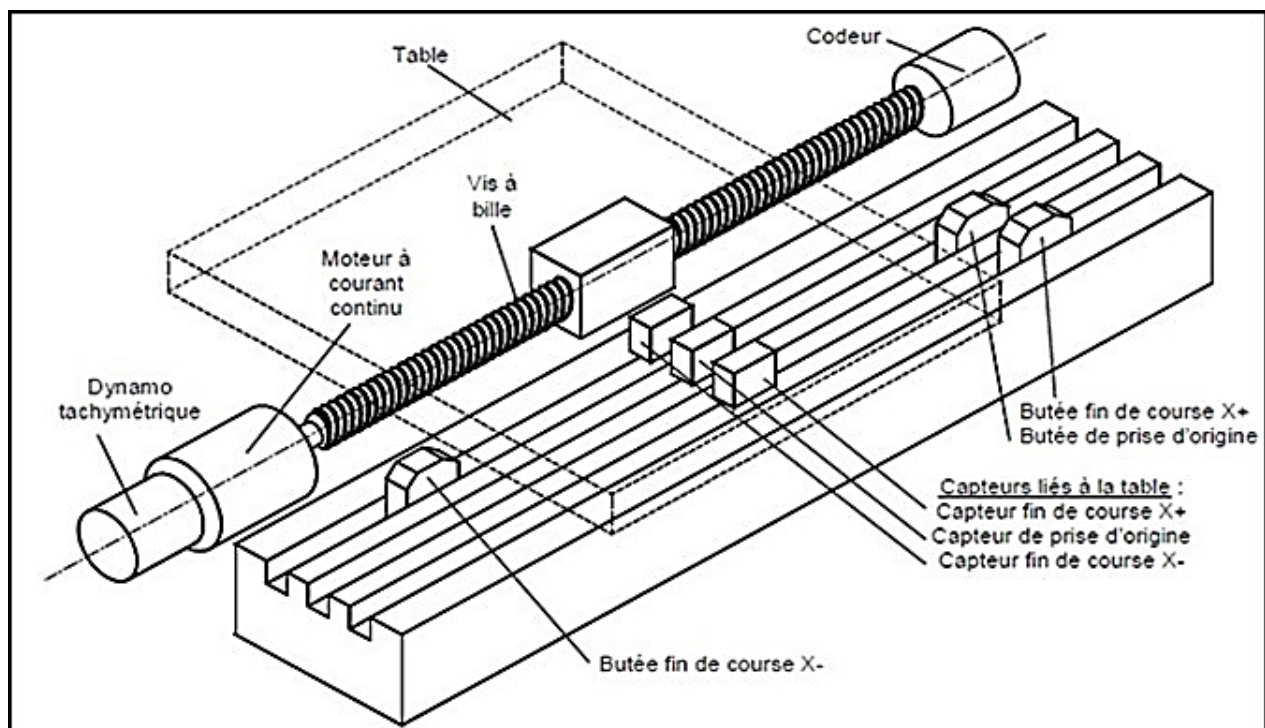


Fig. 27 : : Eléments de partie opérative [10]

**4. Types des MOCN**

Typologie des machines-outils à commande numérique 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. [3]

On classe maintenant les machines-outils par le nombre de mouvements élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce. (TAB.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.

TAB. 2: classification des machines-outils [3]

Nb d'axes	Mouvements	Désignation du type d'usinage et des opérations possibles
1	Z	Brochage, presse
2	X, Z	Tournage : toutes les formes obtenues ont le même axe de symétrie
3	X, Y,	Fraisage : surfaçage, 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 : surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et De surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
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 d'épinçage, 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)

De plus en plus, la broche se comporte comme un axe asservi. C'est le cas en tournage, où l'on peut être obligé de mettre en place une seconde motorisation lorsqu'elle génère un mouvement d'avance (tournage avec outil tournant). En fraisage, la broche est plutôt un demi-axe, car on cherche à asservir sa vitesse de rotation à la vitesse d'avance de

L'outil pour assurer, par exemple, des interpolations hélicoïdales (taraudage) ou de façon à garantir l'avance par dent de l'outil.

Les machines 5 axes du type (X, Y, Z, A, C) sont privilégiées dans le cadre de l'usinage de pièces de dimensions importantes (Fig.27) et (Fig.28), bien qu'elles perdent en rigidité au niveau de la tête de la machine

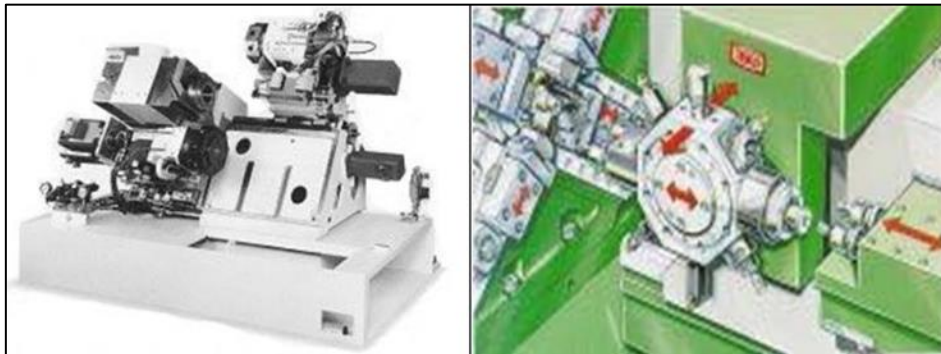


Fig. 28 : cinématique de tour multiaxes [3]

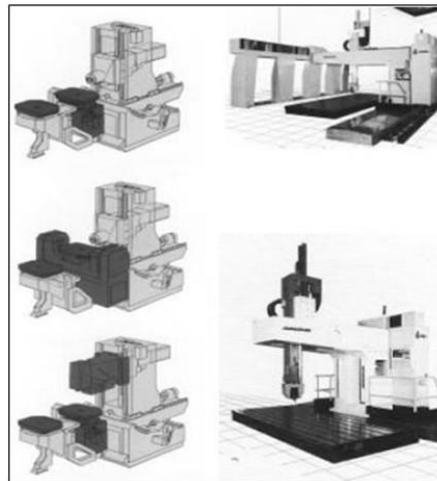


Fig.29: structures des machines de 3 à 5 axes [3]

On peut classer les machines à plus de cinq axes en trois catégories :

- Les mouvements génèrent une forme particulière, ce sont les affuteuses (jusqu'à neuf axes), ou des machines spéciales ;
- Les mouvements sont dédoublés, ce sont les machines transferts ; - les mouvements ne sont pas dédoublés, ce sont les robots. La dissociation entre le robot et la machine-outil vient de la comparaison des performances respectives sur la rigidité, la vitesse de déplacement et la précision.

### 5. Décalage et géométrie d'outil

Dans l'espace de travail d'une MOCN. Sont définis différents points de de référence. Ces points sont nécessaires pour le préréglage et la programmation de la machine. Nous présenterons les différents points ainsi que leur positionnement dans l'espace de travail d'une MOCN.

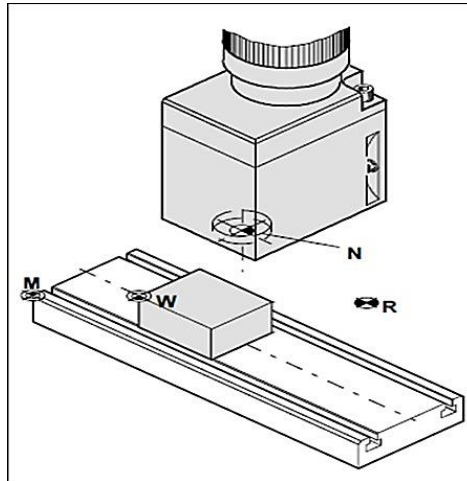


Fig. 30: Point de référence dans le volume d'usinage don le cas fraisage [4]

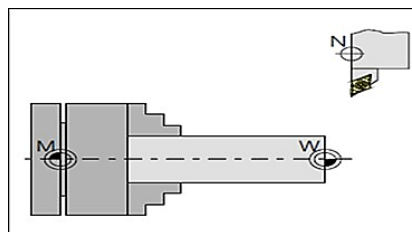


Fig.31: Point de référence dans le volume d'usinage dans le cas tournage.[4]

#### 5.1. 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 (Fig.31)

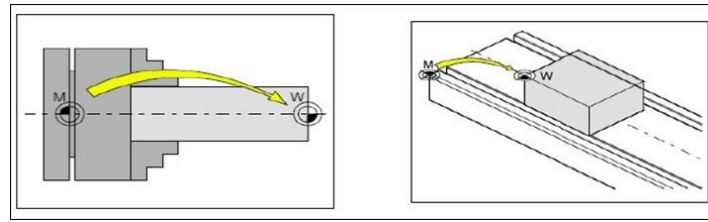


Fig.32 : Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et fraisage.[4]

## 5.2. Géométrie des outils

La saisie des données de l'outil est nécessaire pour que le logiciel utilise la pointe de l'outil (cas de tournage) ou le centre de l'outil (cas de fraisage) pour le positionnement, et non pas le point de référence du logement de l'outil « F ».

Chaque outil utilisé pour l'usinage doit être mesuré (Fig.32) Il s'agit ici de calculer l'écart entre le point de référence du logement de l'outil et la pointe respective de l'outil.

Une fois que les données sont déterminées. Nous les mémorisons dans le registre des outils. Les données spécifiques à l'outil diffèrent d'un type d'outil à un autre

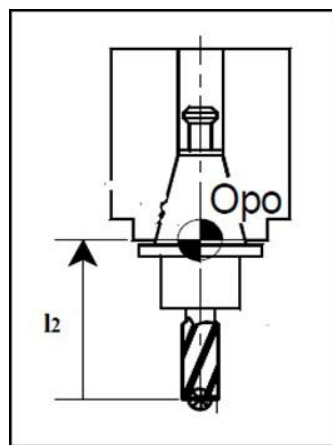


Fig. 33: Longueur d'une fraise.[5]

- **Données de l'outil : cas de fraisage**

Pour que l'outil soit reconnu par la machine, il faut définir les données suivantes :

- Type de l'outil
- Longueur en direction de X(L1)
- Longueur en direction de Z(L2)
- Rayon de l'outil



• **Type de l'outil :**

En fraisage, deux types d'outil sont envisagés s'il s'agit d'un foret : c'est le type 10. si l'outil est une fraise axée suivant la direction de z ; c'est le type 20 et si elle est axée suivant X, Y. En fonction du type de l'outil ; les longueurs de l'outil à mémoriser dans le registre « TOOL » sont illustrées sur la figure (Fig.33)

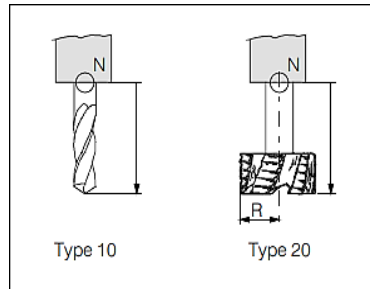


Fig 34 : Type de l'outil (cas de fraisage).[5]

. **Données de l'outil don le cas de tournage**

De même, pour que l'outil soit reconnu par la tour, il faut définir les données suivantes :

- Type de l'outil
- Longueur en direction de X(L1)
- Longueur en direction de Z(L2)
- La Rayon de la pointe de l'outil

- **Type de l'outil**

Pour définir le type de l'outil, nous regardons la fixation de l'outil sur la porte –outil. Les différents types sont donnés par la figure I.16.(Fig.34)

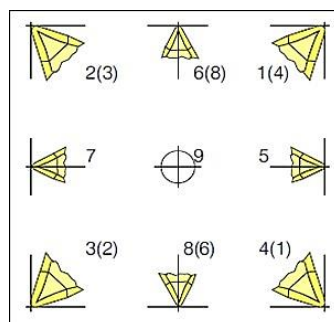


Fig. 35: Position du bec des outils.[5]

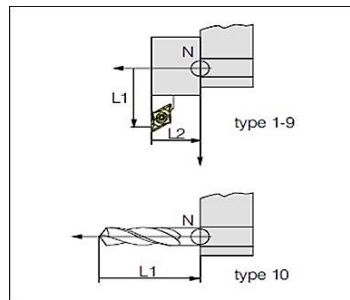


Fig. 36: Longueur de l'outil [5]

### - Longueur de l'outil

Les longueurs  $L1$  et  $L2$  sont les distances entre le point de référence du logement de l'outil «F» et la pointe de l'outil en direction de X et de Z respectivement. Dans le type 1.9.

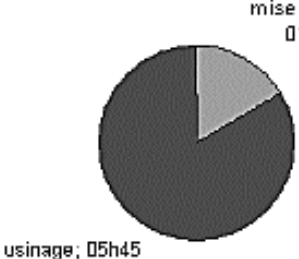
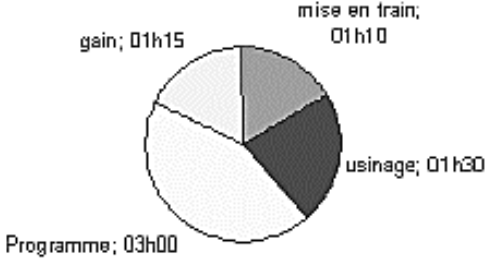

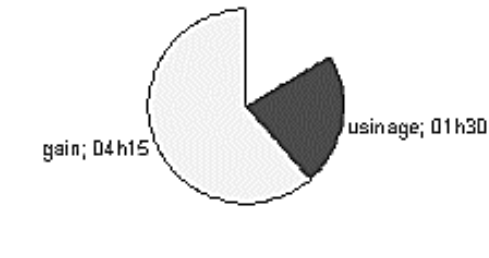
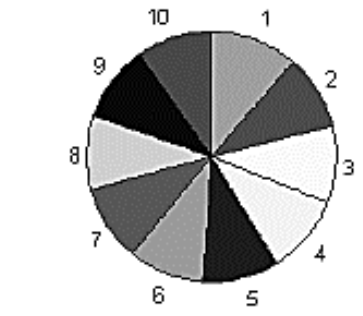
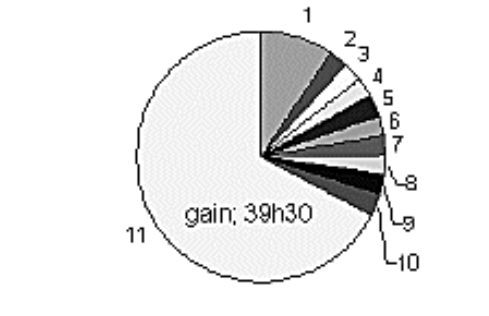
### 5.3. Décalage d'origine (G59)

C'est un décalage programmé qui peut être utilisé pour déterminer les origines de plusieurs parties de pièce (exemple : formes répétitives) ou de plusieurs pièces montées sur un même porte pièces.[6] Pour annuler la ou les décalages appliqués en G59, en programmation absolue, il faut programmer G59 X0 Y0 Z0. En programmation relative, il est conseillé de repasser en programmation absolue G90 et de programmer G59 X0 Y0 Z.

## 6. Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN :

Un exemple pratique des temps de réalisation d'une pièce sur machine à commande numérique a abouti aux résultats donnés dans le tableau suivant :

TAB. 3: Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN. [11]

	Usinage sur machine conventionnelle	Usinage sur perceuse CN
Usinage de la Première pièce	 <p>mise en train; 01h10 usinage; 05h45</p>	 <p>mise en train; 01h10 gain; 01h15 usinage; 01h30 Programme; 03h00</p>
Usinage de la deuxième pièce	 <p>usinage; 05h45</p>	 <p>gain; 04h15 usinage; 01h30</p>
Usinage d'une Série de 10 pièces	 <p>Usinage 1ère pièce : 6h55 Usinage 2ème à 10ème pièces : 5h40 9 fois 5h45 9 fois 1h30 Total : 58h40</p>	 <p>Usinage 1ère pièce : 5h40 Usinage 2ème à 10ème pièces : 1h30 9 fois 1h30 gain; 39h30 Total : 19h10</p>

Une autre façon de percevoir l'intérêt économique de la commande numérique est d'évaluer le temps où une machine-outil effectue le travail pour lequel a été conçue à savoir enlever de la matière, c'est-à-dire faire des copeaux.

Analyse sur les temps de production effective :

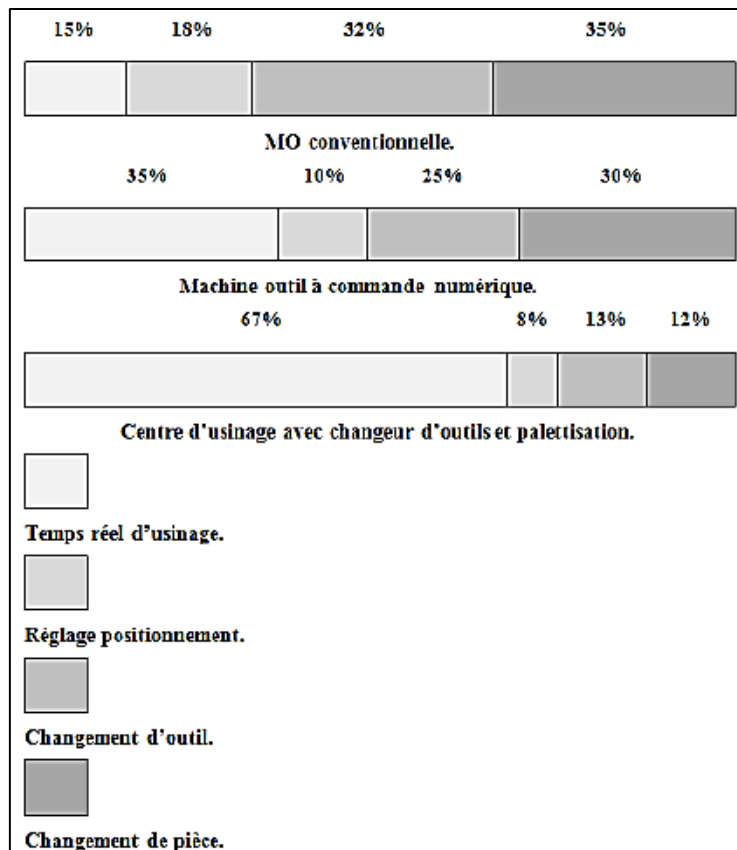


Fig. 37 : Productivité technique de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation [11]

### 6.1. Les différentes techniques d'usinage avec les MOCN [13]

Pour donner à une matière brute une forme précise, l'usinage fait appel à de nombreuses techniques complémentaires comme le perçage, le fraisage, le tournage, l'alésage ...etc.

- **Le perçage**

Le perçage consiste à faire un trou dans la matière à l'aide d'un outil de coupe en rotation. Le perçage est un usinage basique et stratégique en mécanique. 25% des usinages sont de fait des perçages. Les trous de perçage peuvent être réalisés avec une forêt ou une fraise. Selon le diamètre du trou à percer, les outils seront plus ou moins précis.

- **Le fraisage**

Le fraisage consiste à enlever de la matière sur une pièce mécanique pour pratiquer notamment une gorge, un trou cylindrique, et globalement tout type de formes en creux même complexes.

Le fraisage est réalisé à l'aide d'une fraise que l'on monte sur une fraiseuse. Cette machine-outil dédiée fait partie des indispensables au sein de toutes les usines mécaniques. La fraise rogne la matière en formant des copeaux.

Le fraisage combine deux mouvements : la rotation de la fraise et l'avance de la pièce à usiner.

Le fraisage et le tournage sont généralement des techniques complémentaires utilisées par des tourneurs-fraiseurs.

- **Le tournage**

Le tournage consiste comme le fraisage à enlever de la matière sur une pièce mécanique. Le tournage se distingue toutefois du fraisage par le fait qu'il ne permet qu'un mouvement rotatif. La pièce à façonner est en effet fixée dans un mandrin ou une pince. C'est elle qui tourne. L'outil coupant peut rogner l'intérieur ou l'extérieur de la pièce selon un mouvement d'avance. Les outils utilisés sur un tour permettent d'obtenir le plus souvent des cylindres pleins ou creux mais aussi toutes sortes de formes même complexes. Un tour de décolletage par exemple peut fabriquer des vis, des boulons... etc.

## **6.2. Domaine d'utilisation technique**

Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels. Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Electroérosion, Jet d'eau).

Les principaux débouchés de l'industrie des MOCN sont les secteurs de :

- L'automobile,
- L'horlogerie traditionnelle,
- L'aéronautique,
- Le médical,
- L'électronique,
- L'aérospatiale,
- L'électroménager,
- La connectique,
- Le machinisme agricole,
- Le bâtiment,
- Les travaux publics,
- L'armement,
- L'industrie électrique et nucléaire

### 6.3. Domaine d'utilisation économique

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

$$C = C_u + \frac{C_r}{L} + \frac{C_p}{ZL} \quad (I.1)$$

Avec :

- $C$  : coût total de fabrication pour une pièce,
- $C_u$  : coût d'usinage d'une pièce (matière, main d'œuvre directe, coût machine),
- $C_r$  : coût de lancement de la série et des réglages des outils et de la machine,
- $L$  : nombre de pièces d'une série,
- $C_p$  : coût de préparation (gammes et programmes d'usinage) et des outillages,
- $Z$  : nombre de séries,
- $ZL$  : nombre total de pièces fabriquées.

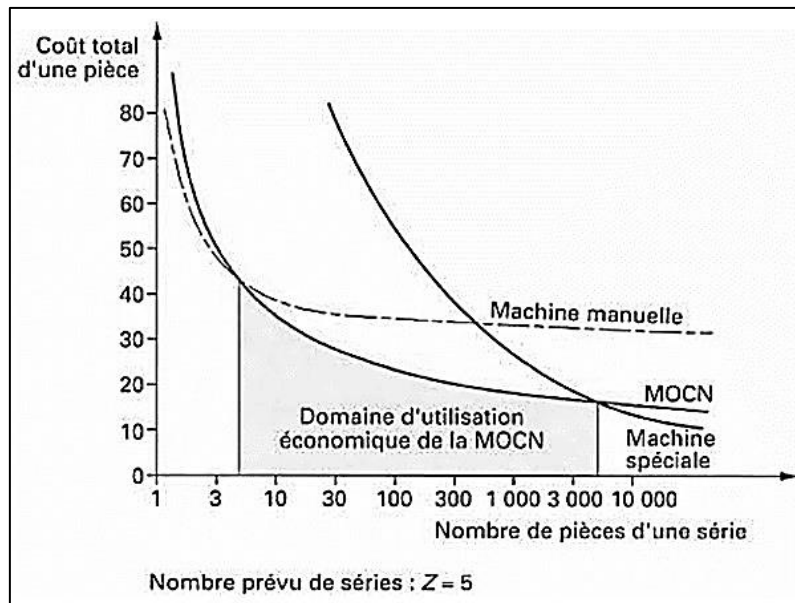


Fig. 38: domaine d'utilisation des machines -outils à commande numérique [11]

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

Si l'on considère le nombre de pièces usinées, le domaine d'utilisation économique de la machine-outil à commande numérique se situe dans la petite et la moyenne séries. Les machines-outils conventionnelles restent rentables pour des opérations simples où elles ont malgré tout tendance à être remplacées par des MOCN d'entrée de gamme.

Pour les grandes séries, le recours à des machines spéciales à automatisation rigide se montre encore très avantageux.

Si l'on représente le coût d'une pièce en fonction du nombre d'exemplaires à fabriquer, on peut déterminer les limites économiques d'utilisation de la commande numérique. Dans l'exemple de la figure 3, au-dessus de 5 pièces par série, l'usinage sur une MO à commande manuelle est plus rentable que sur une MOCN ; de la même façon, une machine spéciale le sera au-dessus de 5 000 pièces par série. [11]

## 7. Architecture et organisation générale d'une MOCN

Comme pour tout système automatisé, nous pouvons décomposer la structure d'une MOCN en deux parties principales :

- Partie opérative : agit directement sur le produit, c'est la machine-outil.
- Partie commande : élabore des ordres en fonction des consignes

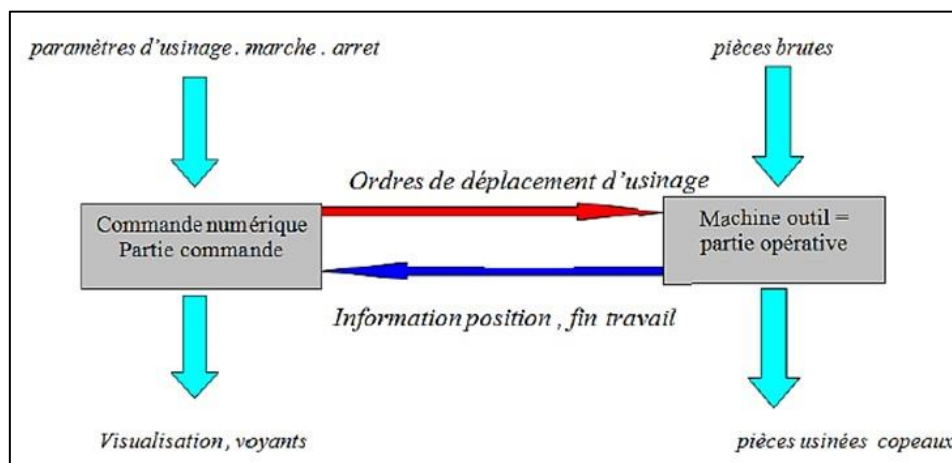


Fig. 39 : structure d'une machine à commande numérique

Éléments constitutifs d'une CNC :

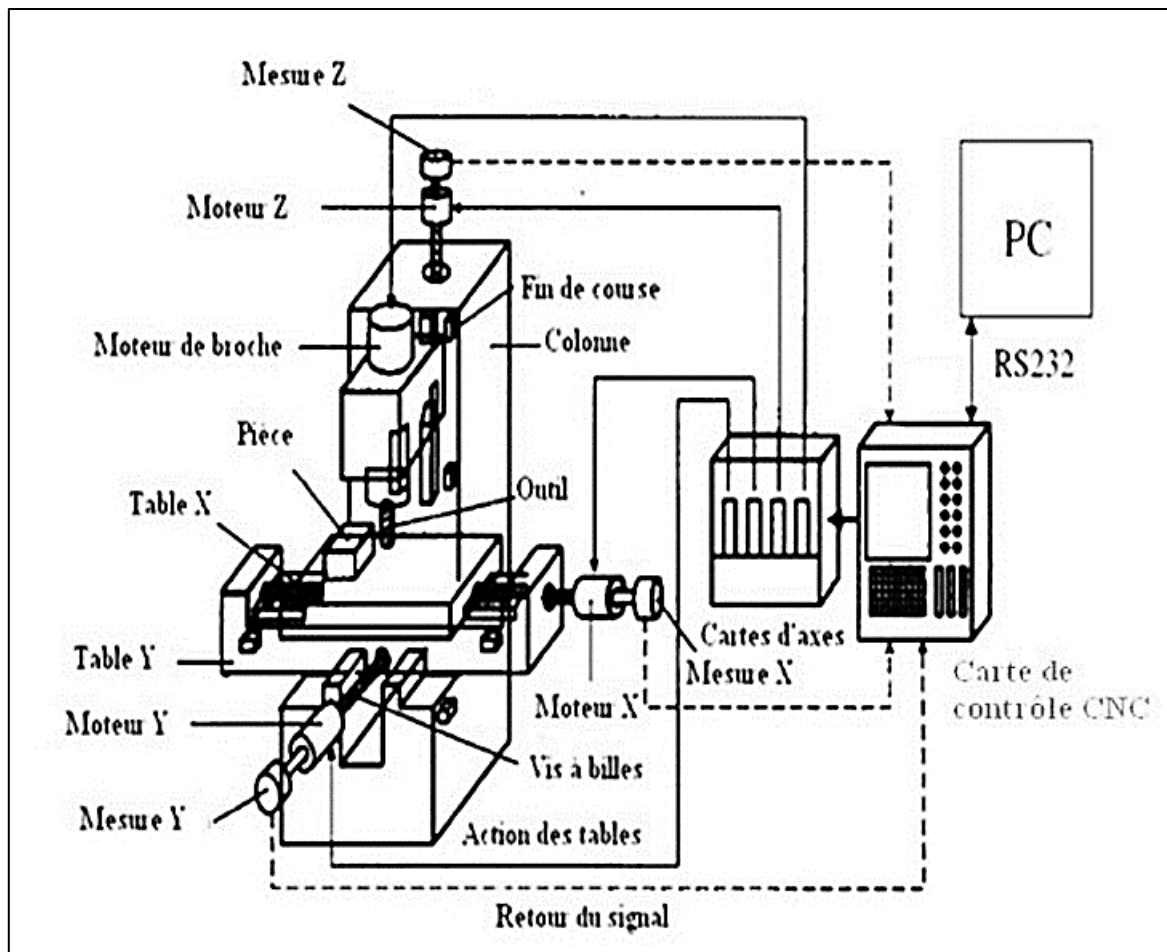


Fig. 40: schéma d'une machine à commande numérique

Une CNC est composée principalement de :

- **Ordinateur** : contenant les logiciels nécessaires pour la conception de la pièce (CAO : Conception Assistée par Ordinateur), le calcul des parcours d'outil, sous forme d'un code (exemple : G-code), pour usiner cette pièce (FAO : Fabrication Assisté par Ordinateur).
- **Carte de Contrôle CNC** : sa fonction principale est d'interpréter le code généré par le FAO et d'envoyer les signaux nécessaires aux cartes d'axes pour commander les moteurs et la broche.
- **Les moteurs** : Les déplacements peuvent être assurés par plusieurs types de moteurs
  - Moteurs pas à pas.
  - Moteurs à courant continu.
  - Moteur à courant alternatif



- **Les axes :** permettant le mouvement dans les trois directions X, Y, Z (pour une CNC 3 axes). Le mouvement est assuré par des glissières posées sur des rails et une vise-écrou (ou vise-écrou à billes, poulie courroie) accouplée à un moteur.
- **La Broche :** l'ensemble formé par le système de fixation de l'outil et le moteur permettant la rotation de cet outil.
- **Les capteurs :**
  - Des capteurs de fin de course : pour ne pas dépasser certaines limites.
  - Des capteurs de position et/ou vitesse.

## 8. Avantages et les inconvénients [12]

### 8.1. Les avantages

- Réduction du temps improductif
- Accroissement du degré de précision et de répétabilité
- Réduction des taux de rebuts
- Réduction de la nécessité de contrôle
- Possibilité de traiter des géométries complexes
- Facilité d'adapter les changements techniques
- Réduction des temps de mise en production
- Réduction des stocks
- Réduction des espaces requis
- Réduction du niveau de qualification des opérateurs

### 8.2. Les inconvénients

- Coûts d'investissement élevés
- Plus d'effort doit être fourni pour la maintenance
- Nécessité de programmation des équipements de CN
- Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des MOCN

## 9. Centres d'usinage

### 9.1. Centres de tournage

#### 9.1.1. Types des machines-outils à commande numérique

Les centres d'usinage (fig.) sont des machines-outils qui travaillent par enlèvement de matière et permettent de réaliser automatiquement des opérations de fraisage, alésage, perçage, taraudage. Elles possèdent un magasin d'outils avec changeur automatique et peuvent être équipées d'un dispositif automatique de chargement des pièces.

L'ensemble de ces fonctions est géré par un ou plusieurs systèmes électroniques programmables (commande numérique (CN), ordinateur, automate programmable...) [14]

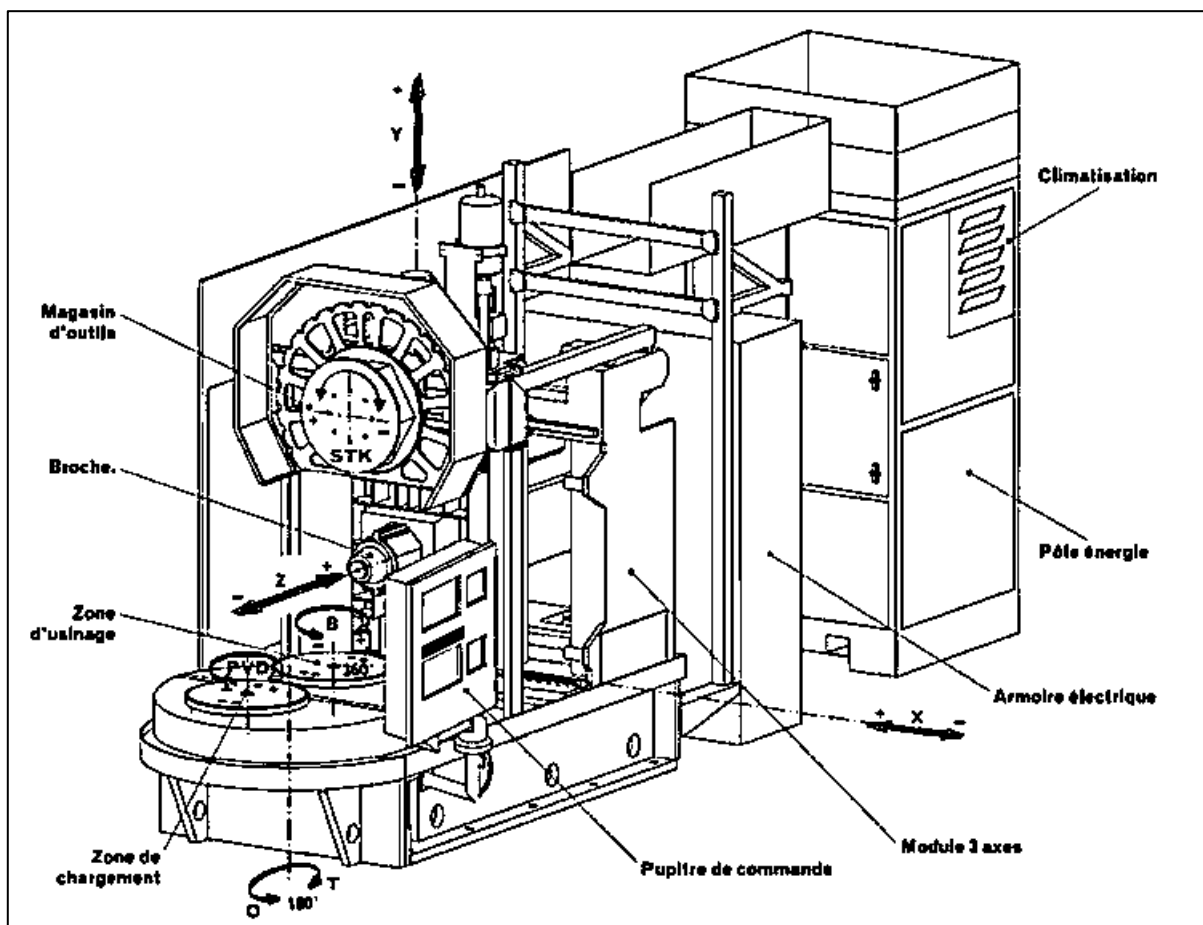
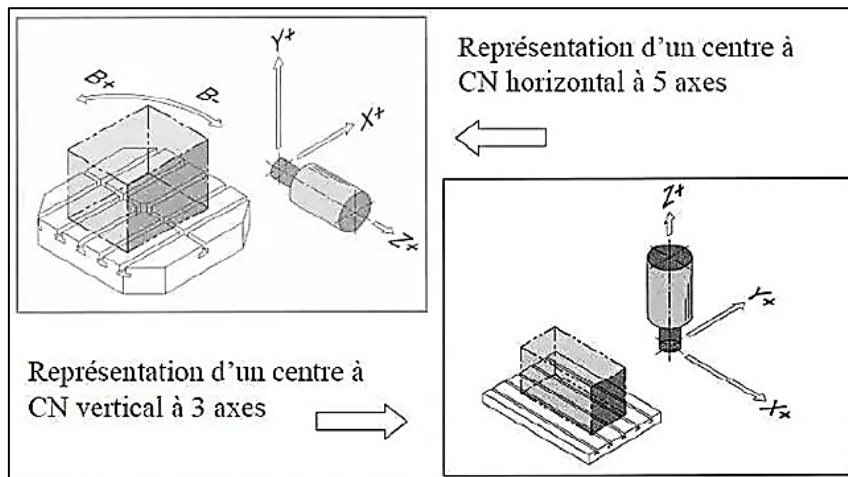


Fig.41: centre d'usinage [14]

Le centre d'usinage est une MOCN équipée d'équipements périphériques qui assurent :

- Le changement automatique d'outils stockés dans les magasins d'outils,
- Le changement automatique de pièces (palettisation),
- Éventuellement le convoyage des copeaux (convoyeur).

Il est dédié à des fabrications variées de pièces différentes.



### 9.1.2. Centre de tournage à trois axes

Centre de Tournage : 3 axes (X, Z, C) [commande de la rotation et contrôles de la vitesse et de la position de la broche porte-pièce (broche asservie, Interpol able avec les autres axes) permettant des perçages différents de l'axe de la broche et des fraisages grâce à des outils motorisés montés sur la tourelle].

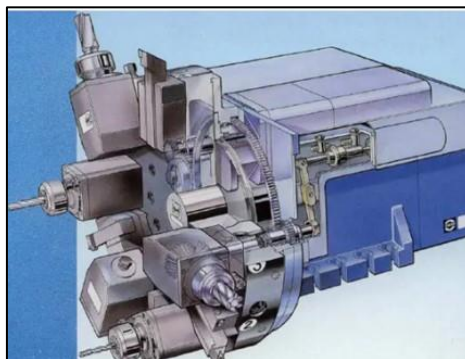


Fig. 42 : : Centre de tournage

### 9.1.3. Centre de tournage à cinq axes

Centre de Tournage à 2 tourelles : 5 axes (X, Z, U, W, C)

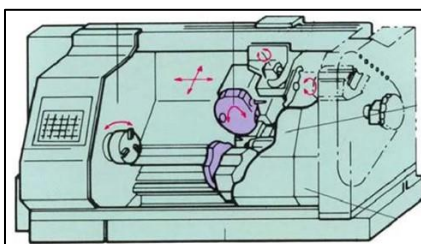


Fig. 43 : Centre de tournage

Bi-broche

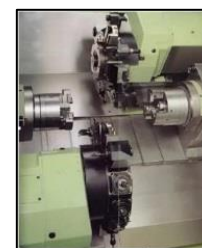


Fig. 44: Centre de tournage

Bi-tourelles

## 9.2. Centres de fraisage [14]

Centre de fraisage : Fraiseuse avec changement automatique d'outils

Centre d'Usinage : Fraiseuse avec changement automatique d'outils, changement automatique de pièces et convoyeur de copeaux. Attention à la nature de l'axe de rotation :

- Rotation rapide par incrément (axe indexé = axe positionné = axe de positionnement).
- Positionnement en rapide en l'absence d'usinage rotation (lente ou rapide) en continu (axe continu = vrai axe) généralement 360 000 positions pour un tour.

2 axes 1/2 : 3 axes asservis mais seulement 2 axes Interpolés. Par exemple (X, Y) et Z sur fraiseuse verticale : le déplacement de l'outil peut être interpolé suivant les axes X et Y ; le déplacement en Z n'a lieu qu'en l'absence de déplacement dans le plan (X, Y).

- 3 axes (X, Y, Z)
- 4 axes par ex (X, Y, Z, B)
- 5 axes par ex (X, Y, Z, A, C)

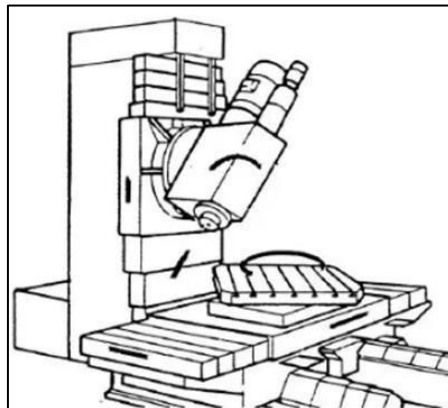


Fig. 45: Identification des axes pour un Centre de fraisage

## 10. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général des procédés d'usinage et la technologie des machines –outils à commande numérique (MOCN), en citant les différentes techniques d'usinage, les avantages et leurs intérêts ce qui donne une bonne motivation pour se lancer dans ce projet de réalisation.

*CHAPITRE 2 :*

*Réalisation de la pièce sur une machine à commande  
numérique*

### **1. Introduction :**

Ce chapitre explique en détail Réalisation de la pièce sur une machine à CN, Conception de la pièce à usiner sur SolidWorks et Présentation du Logiciel du fonctionnement de la machine.

A cet effet on utilise le logiciel dédié à la simulation d'usinage qui est le SINUMERIK 840D sl .

### **2. Description du logiciel « SOLIDWORKS »**

SOLIDWORKS est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification en un niveau sera transmise aux deux autres fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle

### **3. Conception de la pièce à usiner sur SolidWorks :**

SOLIDWORKS est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification en un niveau sera transmise aux deux autres fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

Créer un nouveau document « pièces », Dans le menu **Fichier**, choisissez **Nouveau**.

La fenêtre **Nouveau document SOLIDWORKS** apparaît :

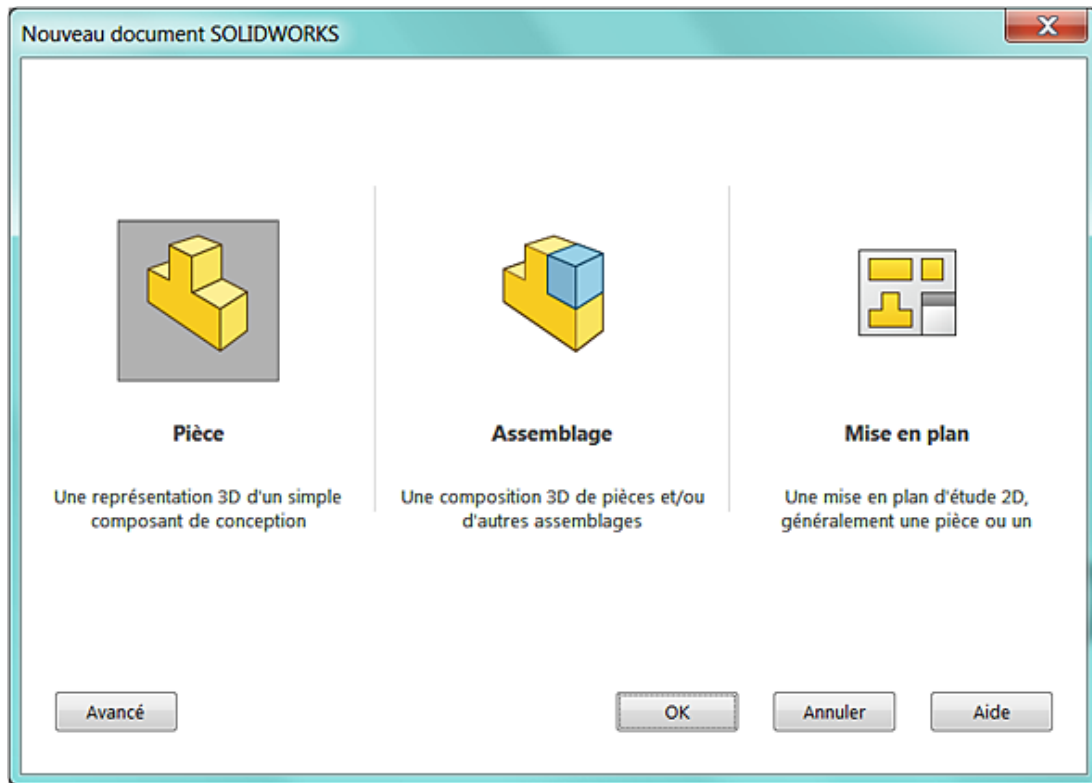



Fig. 46: L'introduction à l'interface du logiciel SolidWorks

→ Cliquez sur l'icône **Pièce**  puis cliquez sur **OK** pour démarrer un nouveau document « pièce ».

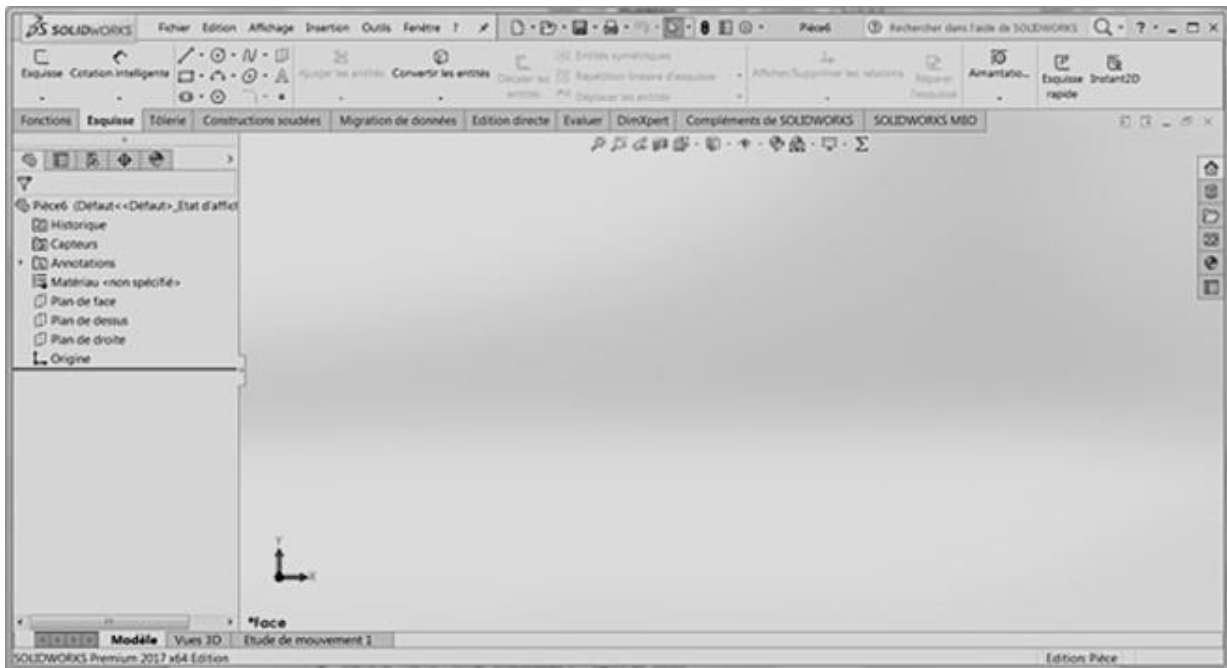



Fig. 47: présentation de l'interface d'une nouvelle pièce

→ Début il faut choisir un plan (plan de face)

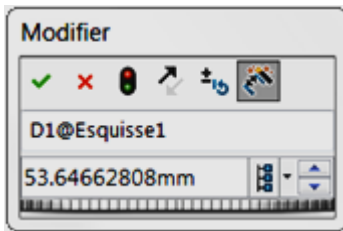
Il convient de contraindre géométriquement l'esquisse avant de dimensionner celle-ci. Une esquisse doit être associée à un plan. Elle contient des entités (lignes) qui sont contraintes par des relations d'esquisse et de côtes. L'esquisse sera associée à une fonction pour générer un volume.


Dans le **Gestionnaire de commandes**, activez l'onglet **Esquisse**, et cliquez sur l'icône

→ Pour créer les côtes, dans le ruban **Esquisse**, cliquez sur l'icône **Cotation intelligente** .

→ Sélectionnez un ou deux objets (points, lignes, arcs ou cercles).

→ Déplacez le curseur, puis cliquez dans la zone graphique pour placer la cote.



→ Dans la fenêtre **Modifier**, saisissez la valeur exacte de la cote, puis validez par [Entrée] ou cliquez sur l'icône  pour valider.

Divers résultats d'affichage de cotes sont présentés ci-dessous. Les objets sélectionnés permettant leur création y sont spécifiés.

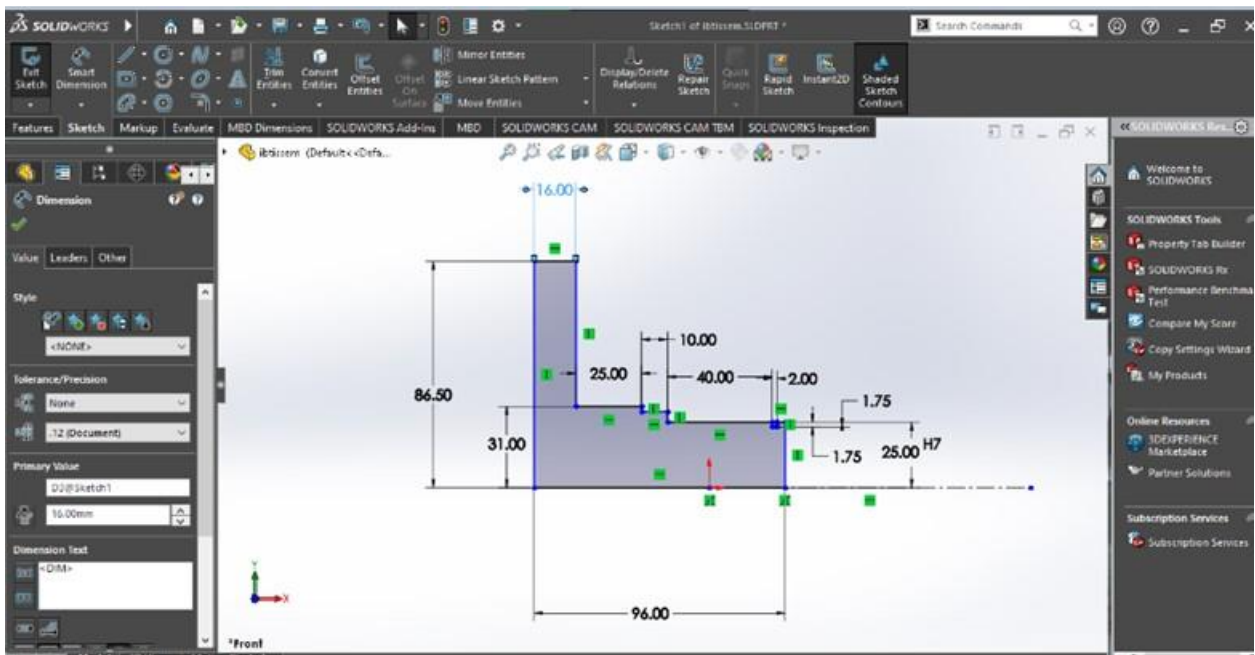
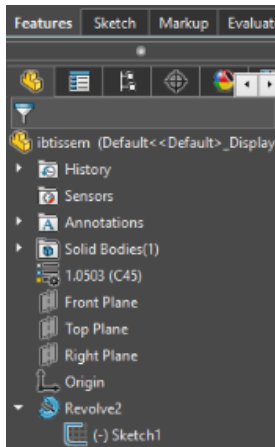


Fig.48: SolidWorks – l'esquisse-

→ Sous l'onglet « **Feature Manager** » dans l'arbre de conception, sélectionnez l'esquisse **Esquisse1**.



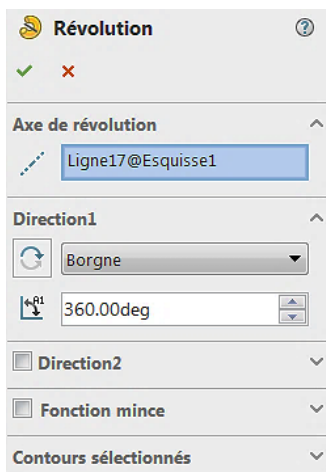


→ Dans le **Gestionnaire de commandes**, activez l'onglet **Fonction** et cliquez sur **Bossage/Base avec révolution**



→ Le contour de l'esquisse délimite le contour du volume et la ligne de construction comme axes de la révolution.

→ Dans l'onglet « **Property Manager** », les paramètres affichés sont les suivants :



→ Cliquez sur l'icône ✓ pour valider les propriétés de la révolution.

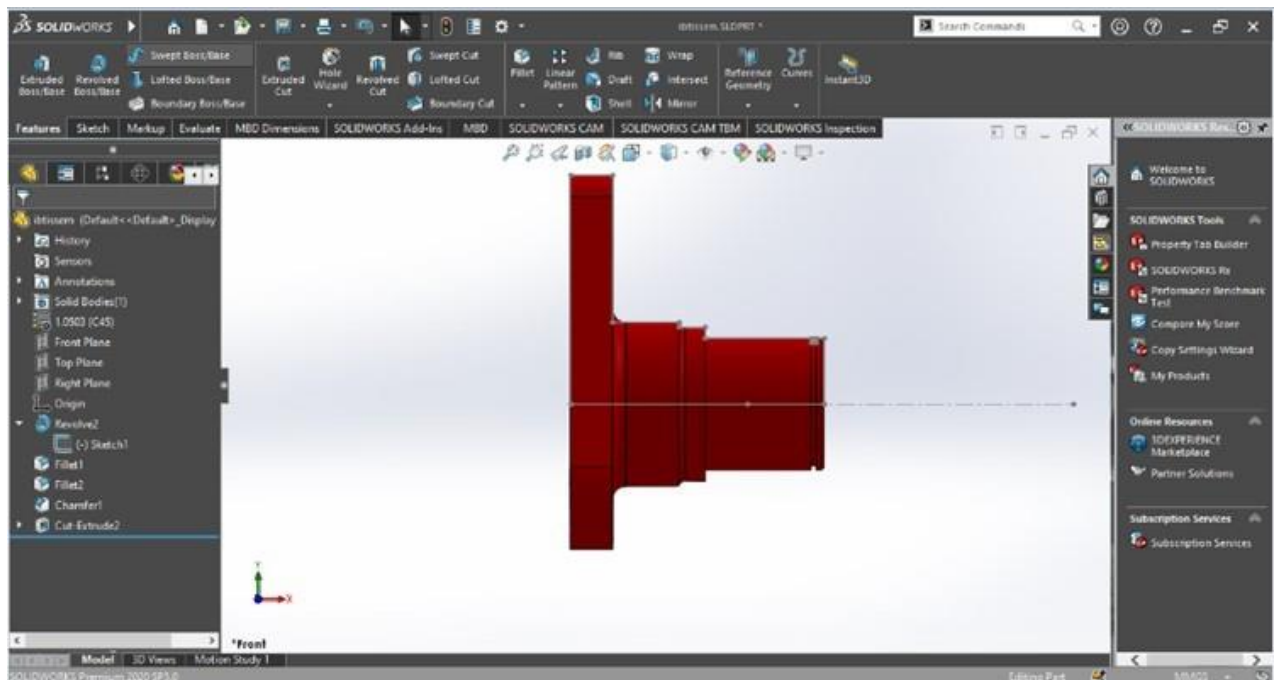



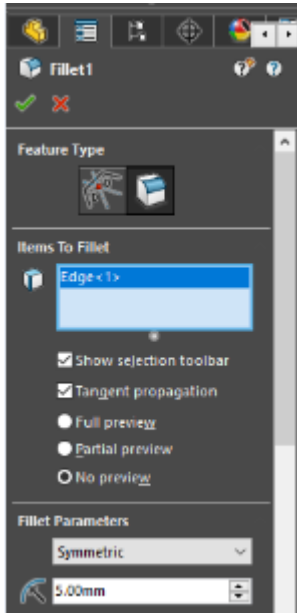
Fig. 49: la forme de la pièce après la fonction **Bossage/Base**

→ Dans le **Gestionnaire de commandes**, activez l'onglet **Fonctions** et cliquez sur

la fonction  **congé**

Donc choisie les arrête que vous voulez applique la fonction  (filet 1)

→ Dans l'onglet « **Property Manager** », les paramètres affichés sont les suivants :



→ Cliquez sur l'icône ✓ pour valider

La figure ci-dessous affiche le résultat

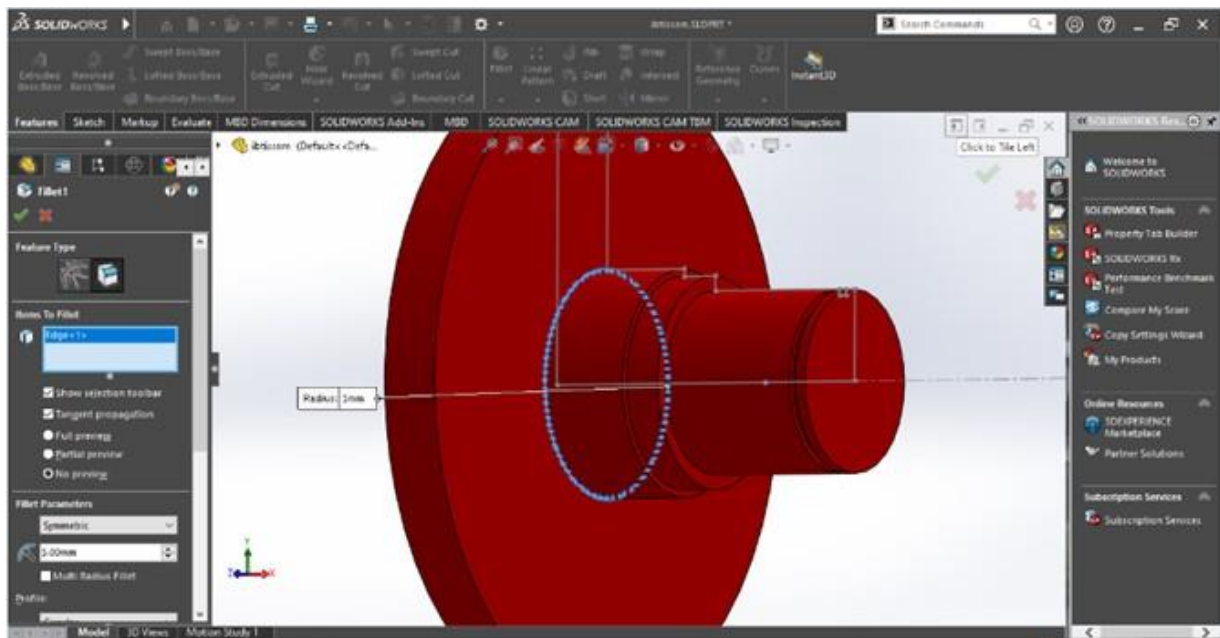



Fig. 50: création le congé1 sur la pièce

La même chose choisie les arrête que vous voulez applique la fonction  (filet 1)

→ Dans l'onglet « **Property Manager** », les paramètres affichés sont les suivants :

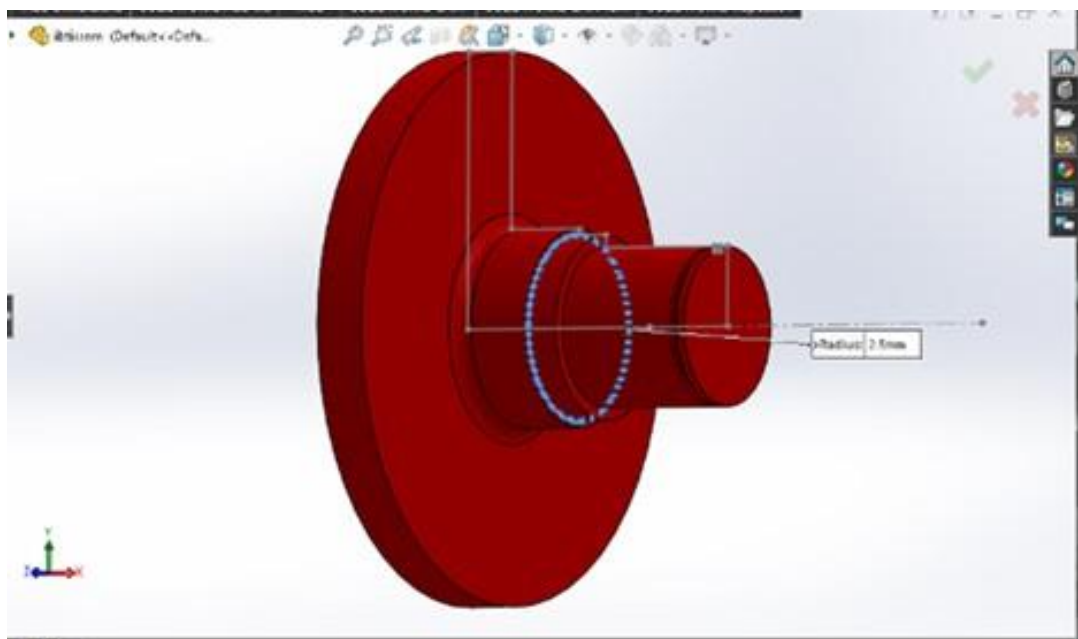
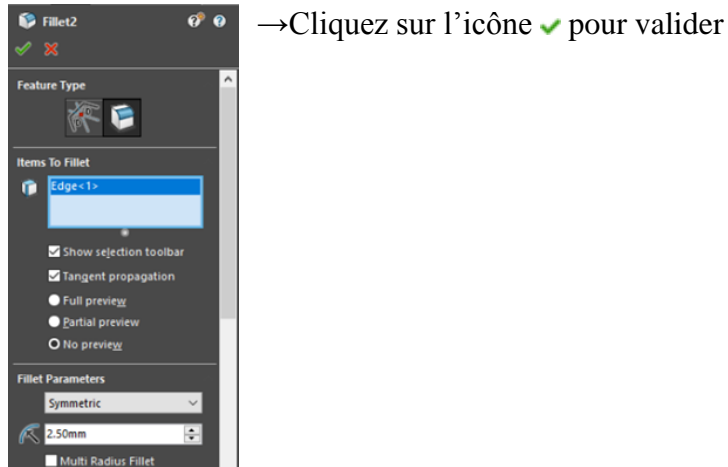

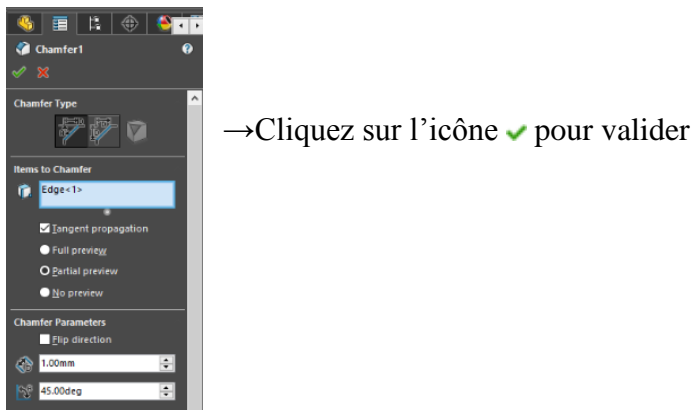


Fig. 51: création le congé 2 sur la pièce

→ Dans le ruban **Fonctions**, cliquez sur l'icône 

→ Dans la palette **Property Manager**, l'onglet **chanfrein** affiche les options décrites ci-après :



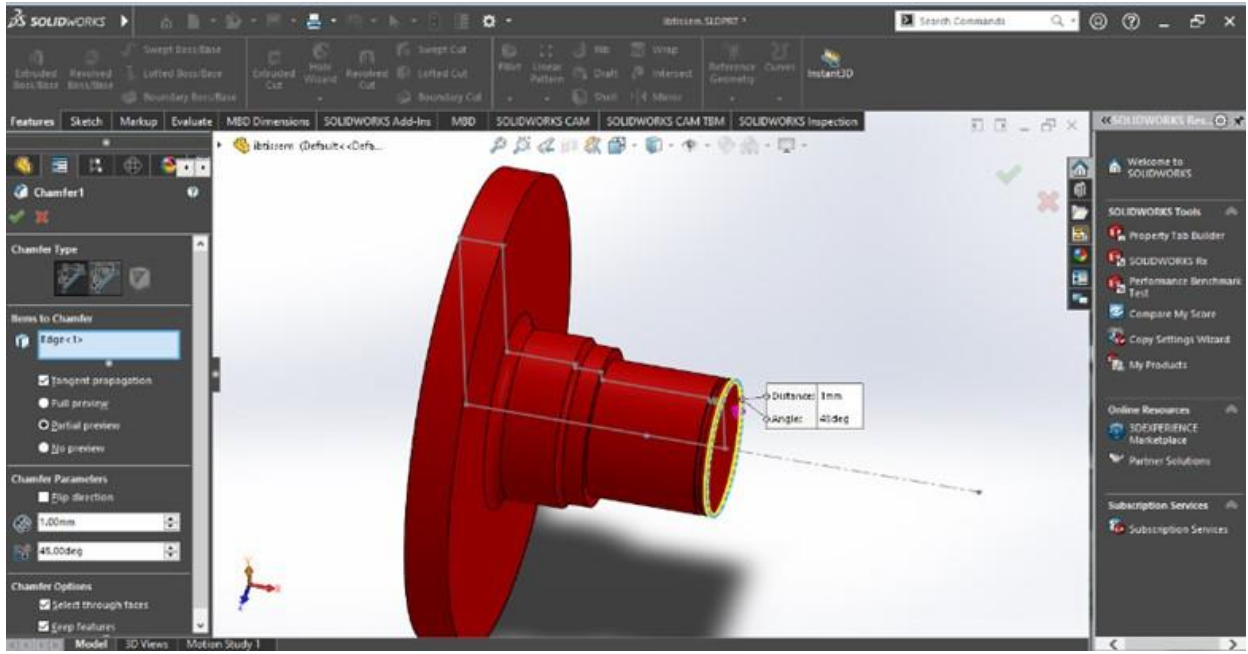


Fig. 52: création le chanfrein sur la pièce

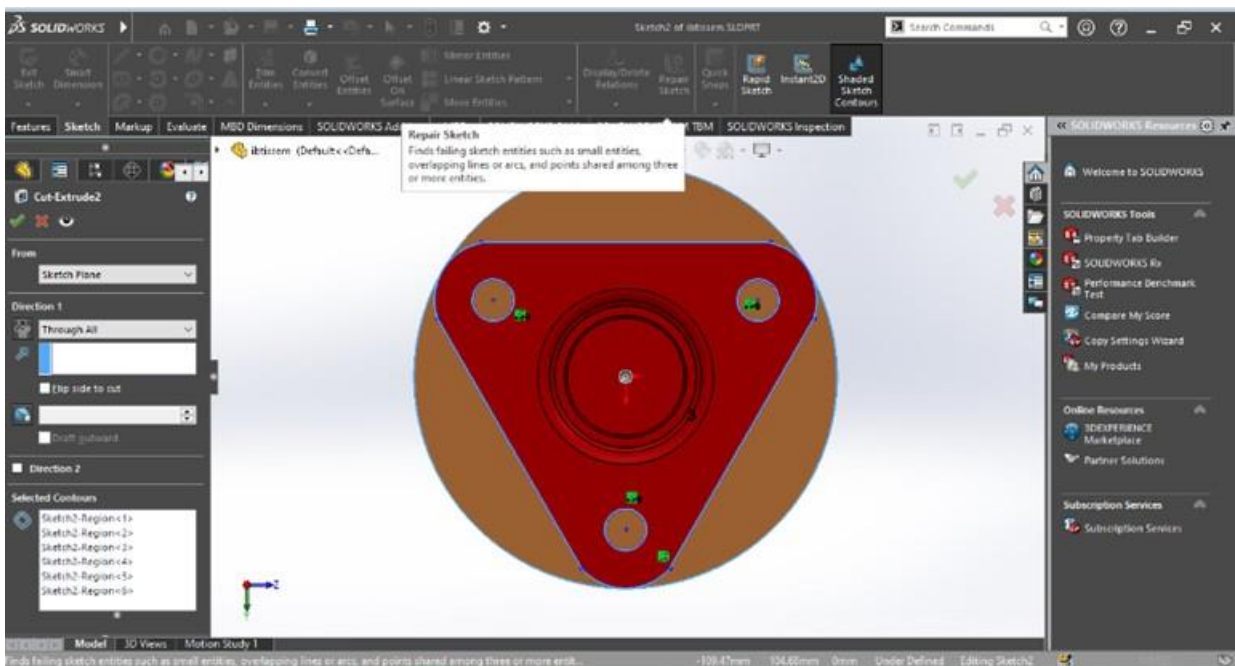


Fig.53: Fraisage d'une forme prismatique sur la pièce

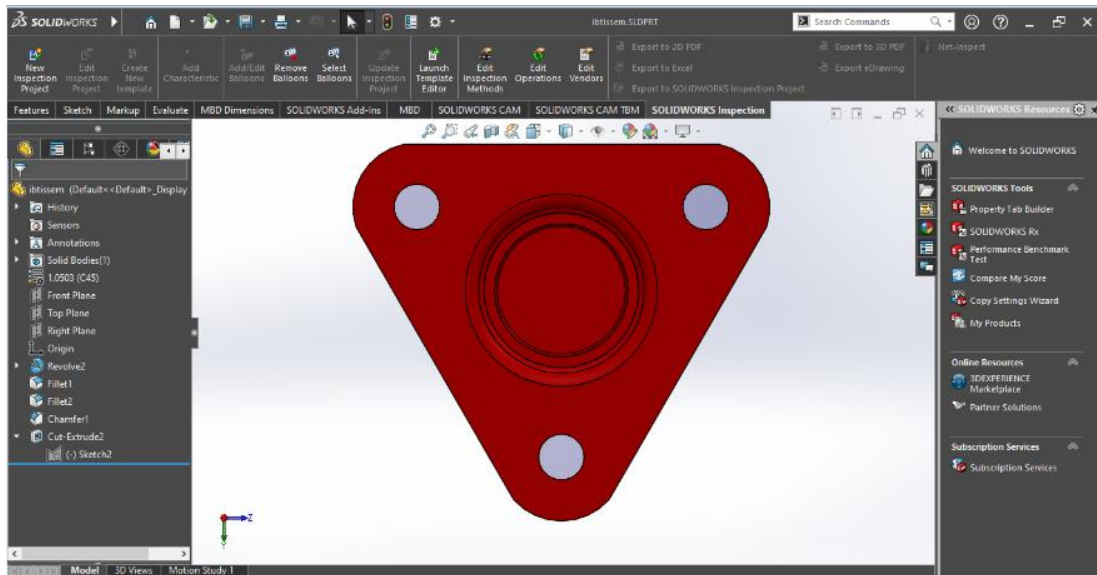





Fig. 54: pièce finie d'axe de roue sur SolidWorks

- Pour la mise plane de la pièce
1. Dans un document de pièce, cliquez sur Créer une mise en plan à partir de la pièce/assemblage  dans la barre d'outils Standard et sélectionnez un modèle dans la boîte de dialogue Taille/Format du fond de plan.  
La Palette de vues s'ouvre sur le côté droit de la fenêtre.
  2. Cliquez sur  pour punaiser la Palette de vues.
  3. Faites glisser une vue de la Palette de vues sur la feuille de mise en plan.
  4. Dans le **Property Manager** Vue de mise en plan ou Vue projetée, définissez les options comme l'orientation, le style d'affichage, l'échelle, etc. puis cliquez sur .
  5. Répétez les étapes 3 et 4 pour ajouter des vues.

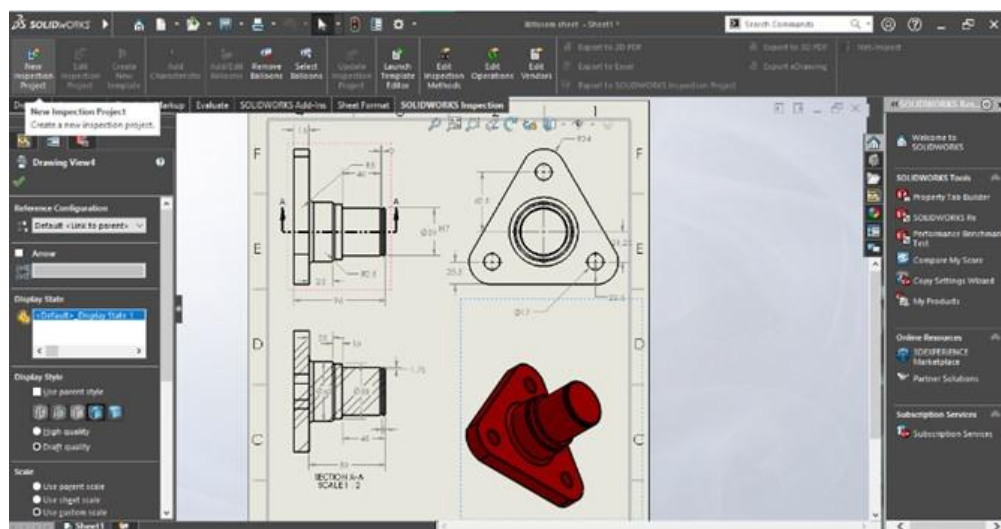


Fig. 55: réalisation la mise en plan de la pièce

#### **4. Présentation du logiciel du fonctionnement de la machine [15]**

« ShopTurn » est un package technologique "sur mesure" pour tous les tours CNC mono-chariots standard utilisés à l'échelle mondiale.

« ShopTurn » permet une utilisation facile de la machine-outil puisque toutes les manipulations sont associées à des images d'aide dynamiques.

Les fonctions du mode manuel permettent de régler rapidement et efficacement la machine en vue de l'usinage. Il s'agit en particulier de la détermination de la position de la pièce sur la machine ainsi que de la mise à jour et du contrôle dimensionnel des outils utilisés.

Pour la programmation, « ShopTurn » offre deux possibilités différentes :  
L'éditeur DIN/ISO qui sert à élaborer des programmes DIN/ISO sur la machine et à corriger des programmes DIN/ISO externes,

L'éditeur de gamme d'usinage qui permet d'effectuer une programmation graphique sur la machine, Les principales utilisation dans la fabrication de pièces individuelles ou de petites séries. Par exemple, dans le cas d'étapes de fabrication de pièces, les sections DIN/ISO peuvent être insérées de façon flexible.

« ShopTurn » offre ainsi une configuration uniforme de la commande, qui convient à tous les domaines d'application sans mise en service ni formation ultérieure :

- Interface utilisateur simple pour toutes les fonctions de la machine,
- Programmation DIN/ISO sur la machine ou hors ligne via le système CAD/CAM
- Programmation graphique
- Usinage complet
- Fonctions de mesure pour les pièces et les outils

##### **4.1. Aperçu du système**

L'utilisation, la programmation et la visualisation du nouveau SINUMERIK 840D SL sont caractérisées par la modularité, l'ouverture et la flexibilité ainsi que par une ergonomie uniforme. Un système numérique complet, adapté aux gammes de performances moyenne et supérieure, est intégré au nouveau système d'entraînement SINAMICS S120, qui est particulièrement compact et fiable. [15]

- Régulation d'entraînement numérique
- Concept modulaire pour les régulateurs d'entraînement et pièces de puissance
- Jusqu'à 31 axes / broches dans les canaux d'usinage (jusqu'à 10)
- Fonctions de commande intelligente répondant aux exigences les plus élevées dans le Domaine des techniques d'usinage Pour plus d'informations, voir catalogue NC 61 Points saillants

- Mise en œuvre flexible et sécurité d'investissement grâce à la structure modulaire et aux fonctions CNC étendues
- Dynamique élevée, précision et qualité d'interface du fait de l'utilisation de processeurs hautement performants
- Fonctions de sécurité intégrée certifiées pour l'homme et la machine, rendues possibles par (Safety Integrated)

#### **4.2. Récapitulatif des caractéristiques distinctives**

Le package de commande et d'entraînement de Siemens associant SINUMERIK 840D solution line et « ShopTurn » possède les caractéristiques suivantes :

Par rapport à l'offre d'autres constructeurs européens de commandes :

- Augmentation de la productivité
  - Le contour de pièce brut à trajectoire optimisée évite les passes à vide et réduit la durée de production, en particulier pour l'usinage ultérieur des pièces de fonderie.
  - L'orientation du chariotage par rapport aux arêtes de la pièce, au lieu d'une division régulière des passes, évite les pénétrations minimales défavorables et augmente ainsi la qualité des pièces.
  - La fonction Machine manuelle permet d'exécuter des opérations d'usinage individuelles sans devoir créer un programme pièce.

- Meilleure productivité et qualité des pièces
  - La limitation programmable des à-coups et la commande anticipatrice de vitesse permettent, en association avec des entraînements extrêmement dynamiques, une meilleure qualité de surface de la pièce.
  - Qualité constante des pièces grâce à la mesure process avec correction automatique des données d'outil ou décalages d'origine.

- Plus grande flexibilité pour la programmation DIN/ISO
  - Étendue de commandes flexible, extensible aux codes G, variables et éléments de langage évoluéDe plus, spécifiquement par rapport à l'offre des constructeurs de commandes asiatiques :

- Interface utilisateur conviviale
  - Les désignations en clair pour les programmes pièce et les outils permettent une plus grande transparence.
  - Sélection et chargement directs des outils dans le programme depuis la table des outils.
  - Programmation complète des étapes de travail avec spécifications concernant l'outil, l'avance et la vitesse de broche / vitesse de coupe, sans saisie DIN/ISO.

- Plus grande pérennité grâce à des fonctions de commandes intelligentes

– La détection de la matière restante et le cycle de gravure permettent de réduire les temps de programmation et de traitement.

– La concaténation d'étapes de travail évite de répéter plusieurs fois la saisie des contours et des modèles de positions. [15]

- Logiciel PC libérant la machine pour la production

– Conversion de contours et de modèles de positions au format DXF grâce à CAD Reader pour PC et traitement ultérieur avec le calculateur de contours dans la commande

– Logiciel PC SinuTrain identique à la commande pour la formation et la préparation du travail

**5. Présentation de la pièce**

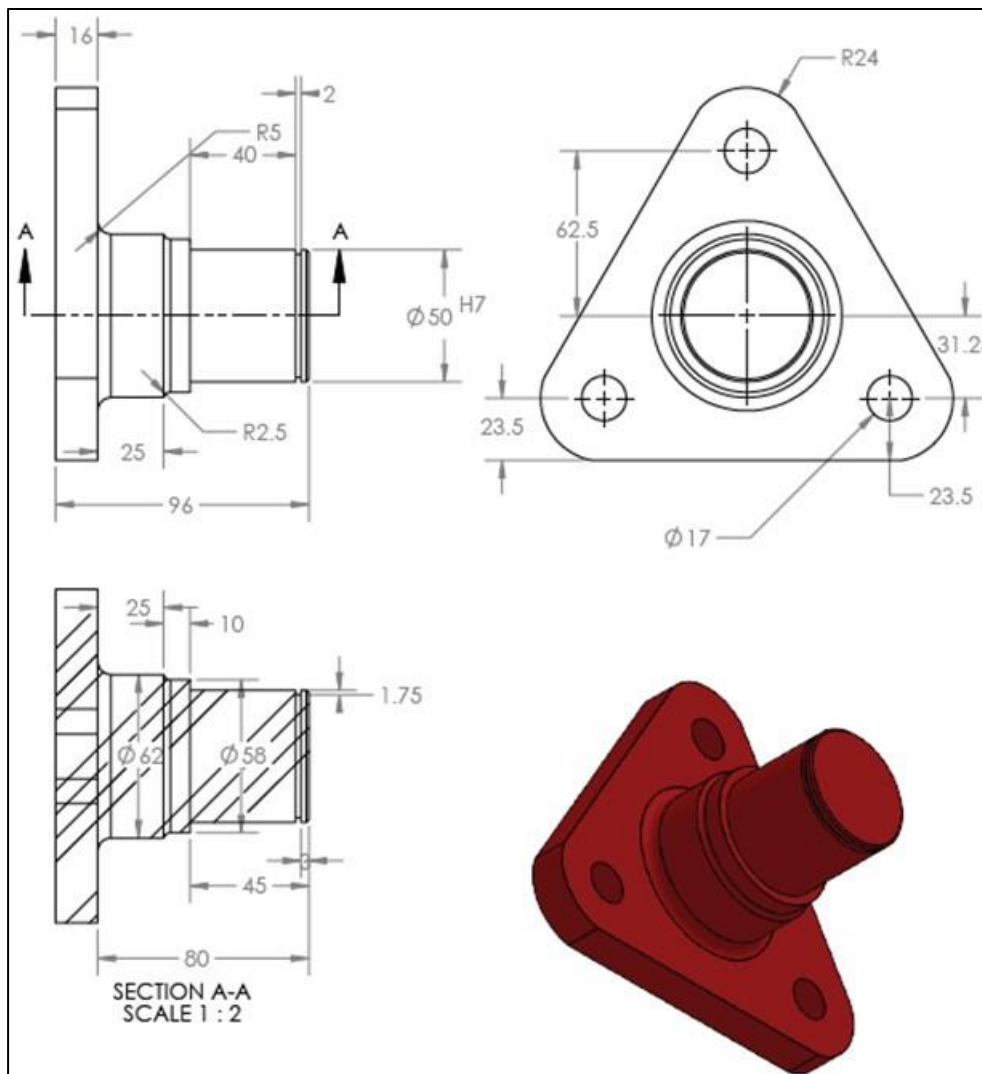


Fig.56: mise en plan -AXE DE ROUE-

La pièce **Axe Roue** c'est une partie de l'ensemble roue balancelle, cette pièce a été construite sur demande d'un client



## 5.1. Matériaux utilisé XC 48 :

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
XC 48	Ck 45		C 45 (1.1191)

- Composition chimique en %

C	S	Mn	P	Si
0,52 - 0,50	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 maxi

- Propriétés

Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et C40, utilisée en mécanique générale sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.

Apte aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°C

- Domaines d'application

Pièces soumises aux chocs et nécessitant une bonne résistance : axes, engrenages, vis sans fin, paliers, pignons, boulonnerie, forge (leviers, arbres)

- Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

Rm N/mm <sup>2</sup>	Re N/mm <sup>2</sup>	A %	Dureté HB
560 / 620	275 / 340	14 / 16	

### 5.2. Machine-outil utilisée

Tour à commande numérique

L'usinage a été réalisé au l'entreprise FERROVIAL, on a utilisé un tour de type : DMG MORI CLX 550



Fig. 57: la machin clx 550

### Pupitre de commande



Fig. 58: pupitre de la commande

5.3. La mise en œuvre des machines à commande numérique nouvellement installée  
Plans d'installation CLX550

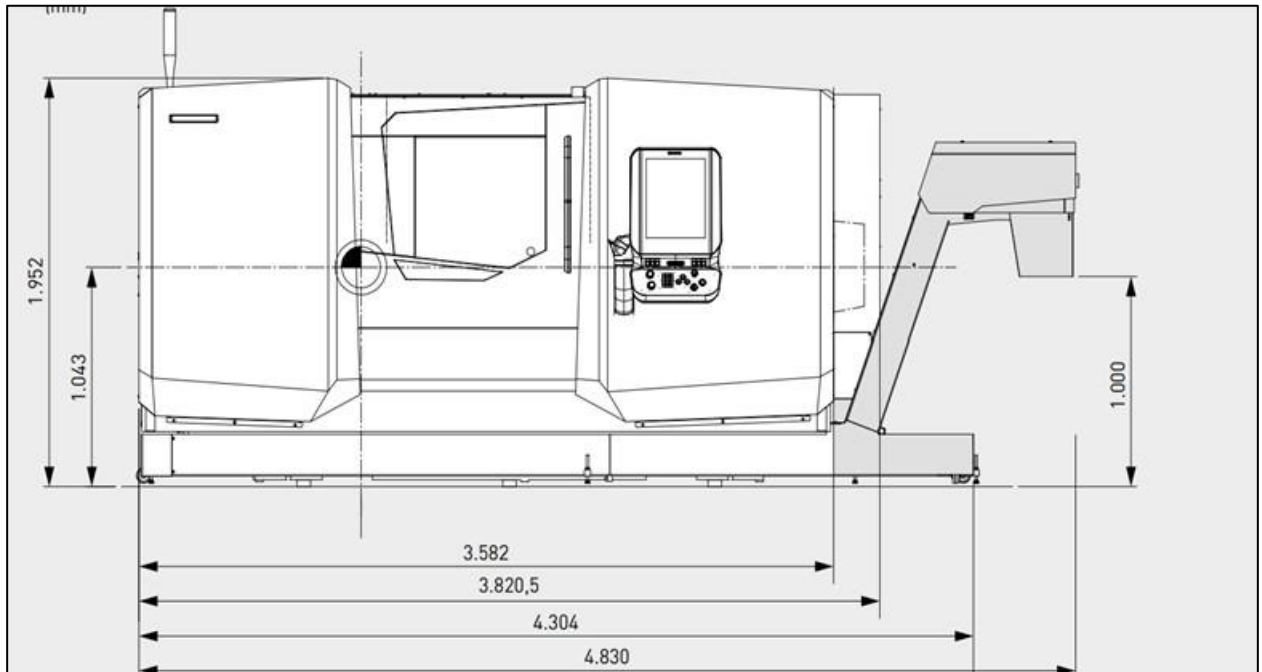


Fig. 59: l'installation de la machine (vue de face)

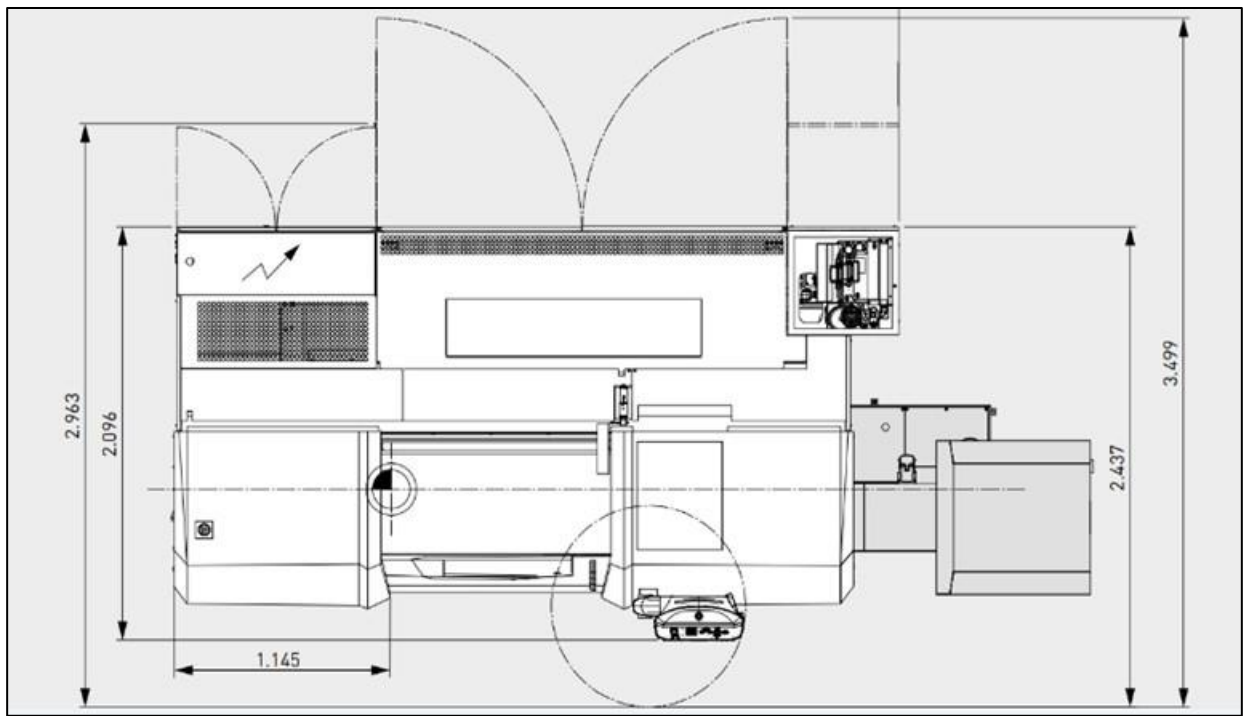


Fig. 60 : : l'installation de la machine (vue de dessus)

## 6. Créer un programme « ShopTurn »

Pour chaque nouvelle pièce à usiner, On crée un programme spécifique. Ce programme contiendra les différentes opérations d'usinage à effectuer pour réaliser la pièce. Lorsque On crée un nouveau programme, un en-tête et une fin de programme sont définies automatiquement. [10] Les programmes « ShopTurn » peuvent être créés dans une nouvelle pièce ou dans le dossier “Programme pièce”.

### 6.1. SINUMERIK 840D SL

- Réalisation de la pièce sous le SINUMERIK 840D SL

### 6.2. Gestion et création de programmes

Après la mise sous tension de la commande, on retrouve dans l'écran de base

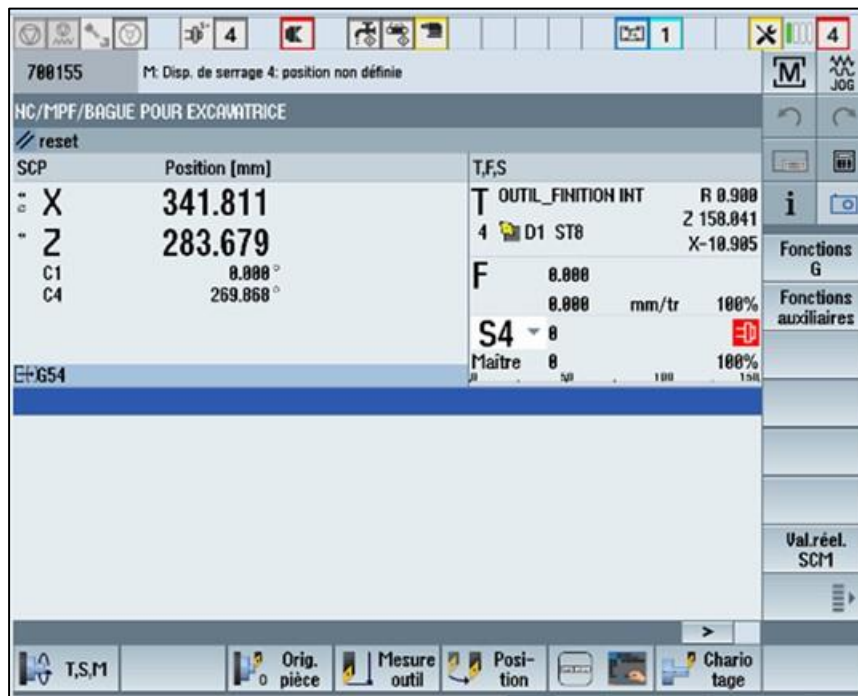


Fig.61: Image de base.



Ouvrir le menu principal avec MENU SELECT. A partir du menu principal, et appeler les différents groupes fonctionnels de ShopTurn.

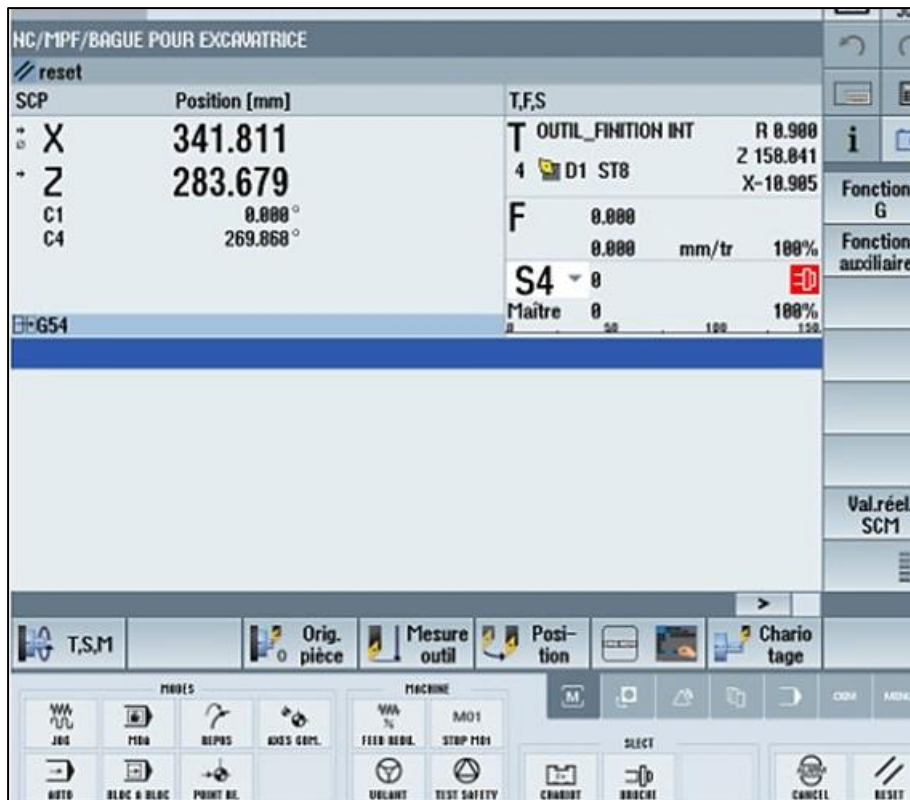


Fig. 62: Menu principal



Appuyez sur la touche logicielle Gestionnaire de programmes. 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...).

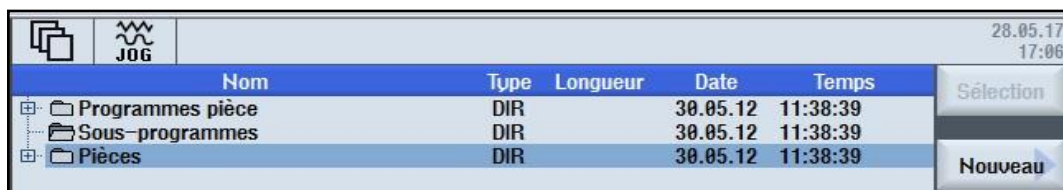


Fig. 63. : Gestionnaire de programmes



Le gestionnaire de programmes affiche la liste des répertoires existants. Au moyen des touches de curseur, sélectionnez le répertoire "Pièces".



Ouvrir le répertoire Pièces.



Saisir le nom 'EXEMPLE' pour la pièce.



Fig. 64: Création de pièce.

Confirmer la saisie. La boîte de dialogue suivante s'ouvre ensuite :

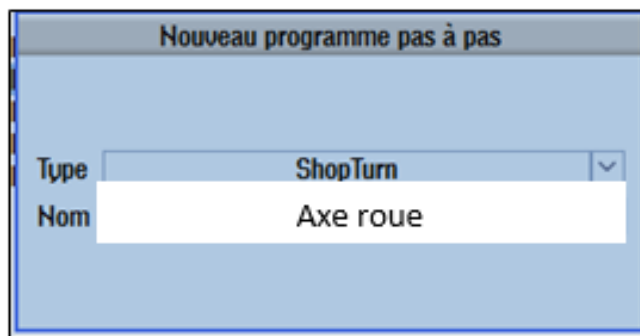


Fig. 65: Créer un programme d'usinage.



Avec les touches logicielles ShopTurn et program GUIDE code G, on peut sélectionner le format de saisie et définir le type de programme

Saisir le nom de la gamme d'usinage, en l'occurrence 'AXE ROUE'.



Valider la saisie.

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

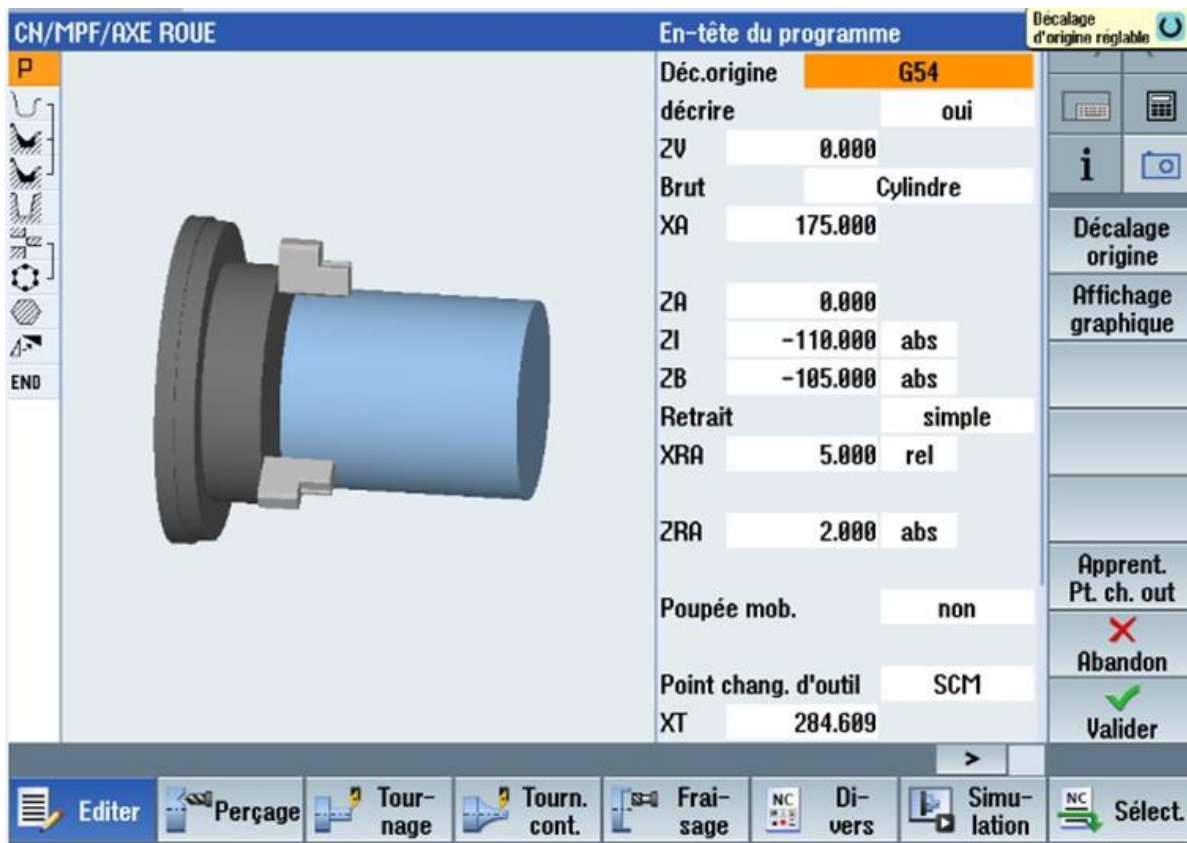


Fig. 66.: En-tête du programme - image d'aide.

Dans l'en-tête du programme, nous saisissons les paramètres de la pièce et les données générales du programme



Validez les valeurs saisies. Après validation, l'en-tête de programme s'affiche.

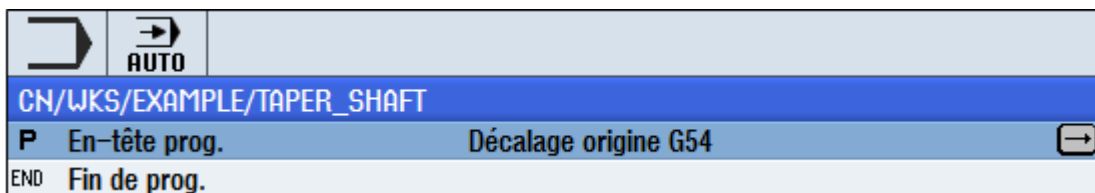


Fig. 67 : : En-tête de programme exemple - éditeur pas à pas.



Cette touche logicielle permet d'afficher le graphique en ligne de la pièce (voir l'illustration suivante).

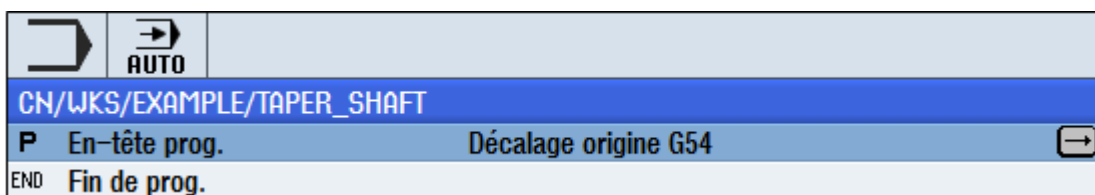


Fig. 68: En-tête de programme exemple - éditeur pas à pas.

**Affichage graphique**

Cette touche logicielle permet d'afficher le graphique en ligne de la pièce (voir l'illustration suivante).

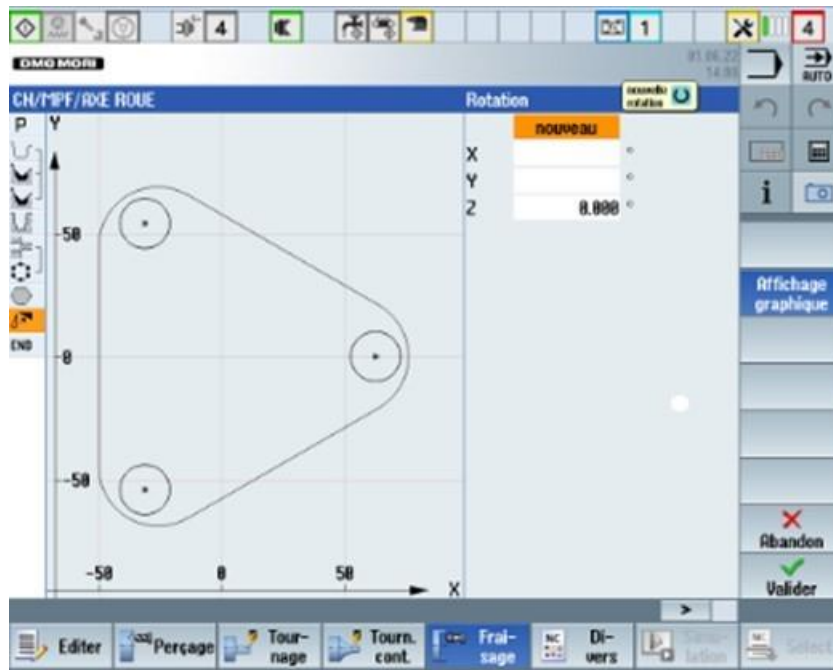


Fig. 69: Rotation - vue graphique

**Affichage graphique**

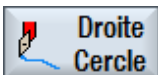
Cette touche logicielle permet de revenir à l'image d'aide

### 6.3. Appel d'un outil

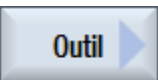
- Procédure



La procédure suivante en peut permet d'appeler l'outil que vous souhaitez utiliser :



Cette touche étend le menu horizontal de touches logicielles.



Sélectionnez la touche logicielle Droite Cercle.

Sélectionnez la touche logicielle Outil.



Ouvrez la liste des outils.



Sélection outil			TURRET_CH1_...						
Em-plac.	Emp MT	Type	Nom d'outil	ST	D	DL EC	Long. X	Long. Z	Rayon
1			OE-EXT	1	1		106.997	54.227	0.00
2			OUTIL_FINITION	5	1		101.752	53.902	0.00
3									
4			OUTIL_FINITION INT	8	1		-10.905	158.041	0.90
5			OUTIL A PLONGER	1	1		0.000	0.000	0.00
6			FRAISE	8	1		185.000	0.000	14.00
7									
8									
9									
10			FORETS	5	1		0.000	240.862	20.25
11			OUTIL_À_FILETER	4	1		0.000	0.000	0.00

Fig. 70: Liste des outils.



Au moyen des touches de curseur, sélectionnez l'outil OE-EXT.



Validez pour enregistrer l'outil dans le programme. Après avoir validé l'outil, saisissez les valeurs suivantes dans le masque de saisie (le cas échéant, modifiez l'unité au moyen de la touche SELECT).

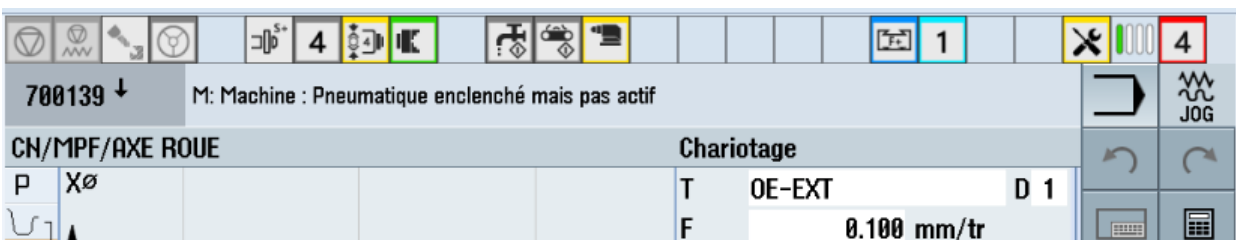


Fig. 71: Outil – saisie (exemple).



Validez la valeur saisie

- **Création de contours avec le calculateur de contours et usinage**

Pour réaliser des contours complexes, ShopTurn dispose d'un calculateur de contours permettant de saisir facilement tous les contours, même les plus compliqués.

Ce calculateur de contours graphique nous permet de saisir les contours plus aisément et plus rapidement qu'avec la programmation courante et ce, sans le moindre calcul mathématique

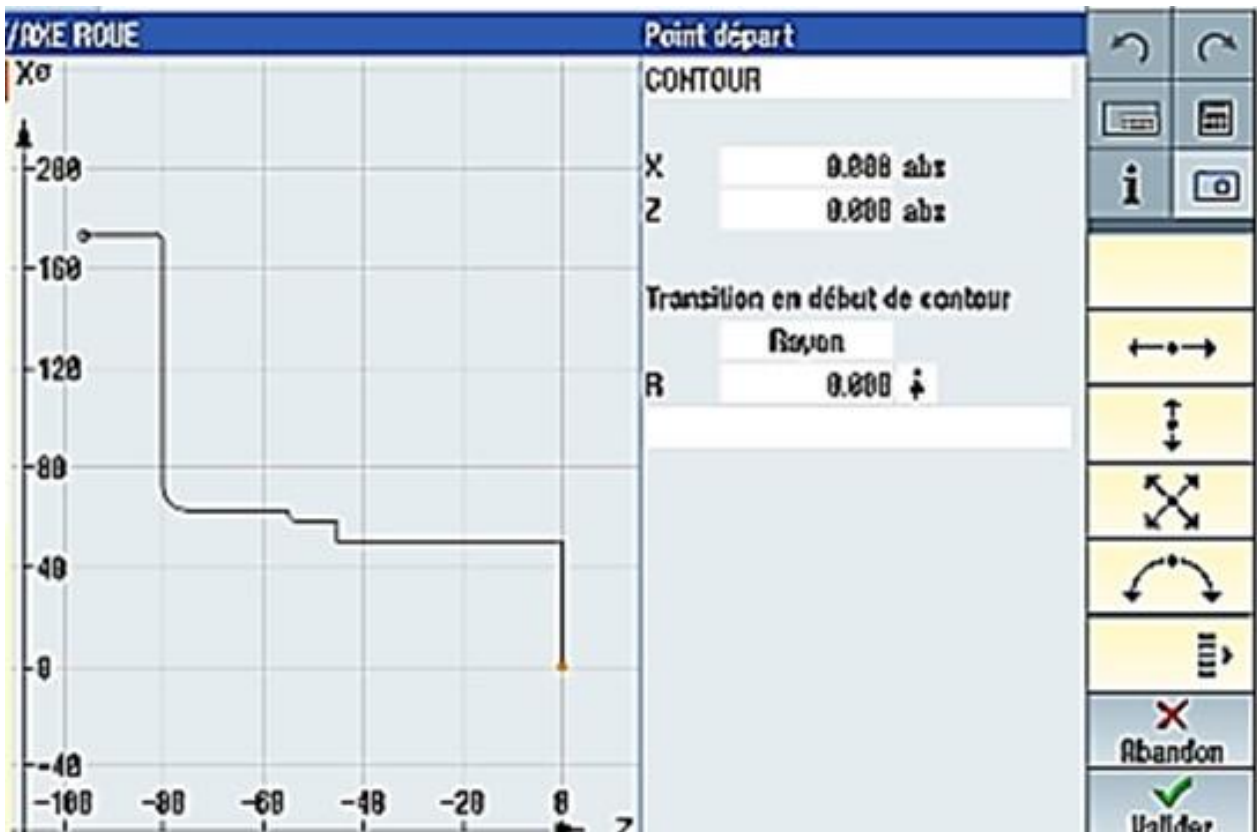


Fig..27 : le contour.

• Procédure

La procédure suivante nous permet de saisir le contour :



Sélectionner la touche logicielle Tournage contour.



Sélectionner la touche logicielle Nouveau contour.

Saisir COUNTOUR comme nom de contour.

Chaque contour doit avoir un nom différent afin d'améliorer la lisibilité du programme.



Fig. 72: Création du contour ' COUNTOUR '



Valider la saisie.

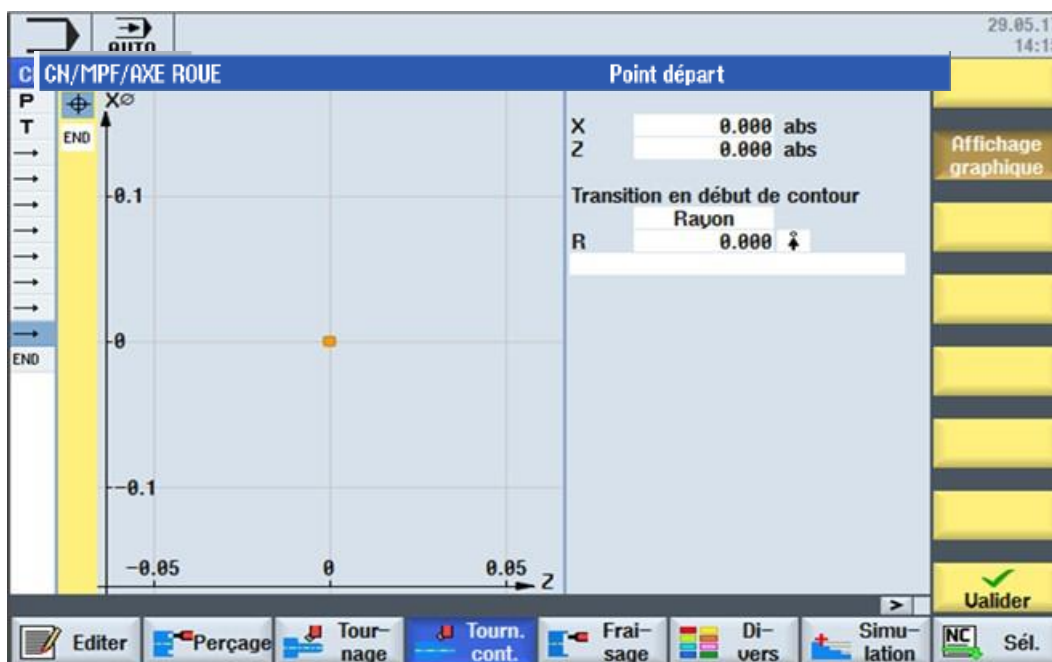


Fig 73: Saisie du point de départ.



Valider la saisie.



Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour le segment vertical :

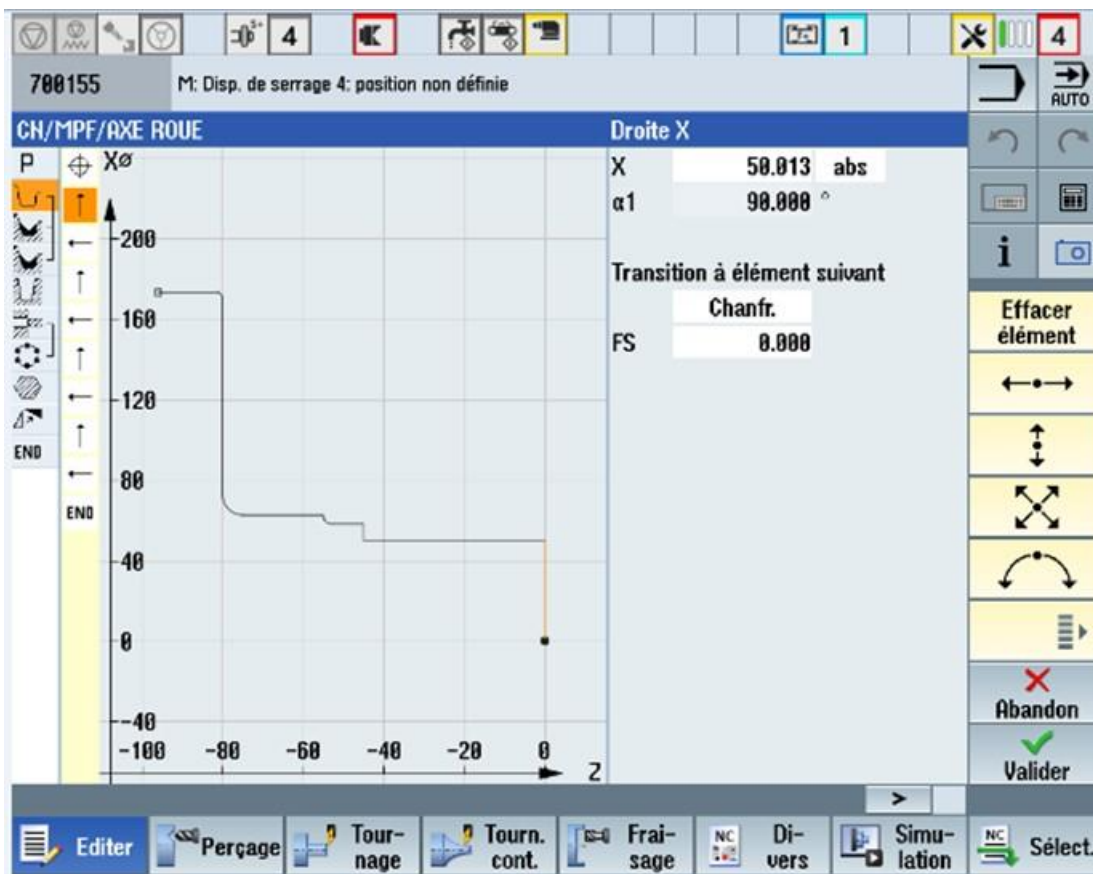
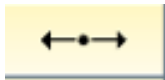


Fig.74: Saisie du segment de contour vertical.



Valider les valeurs saisies



Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour la droite horizontale

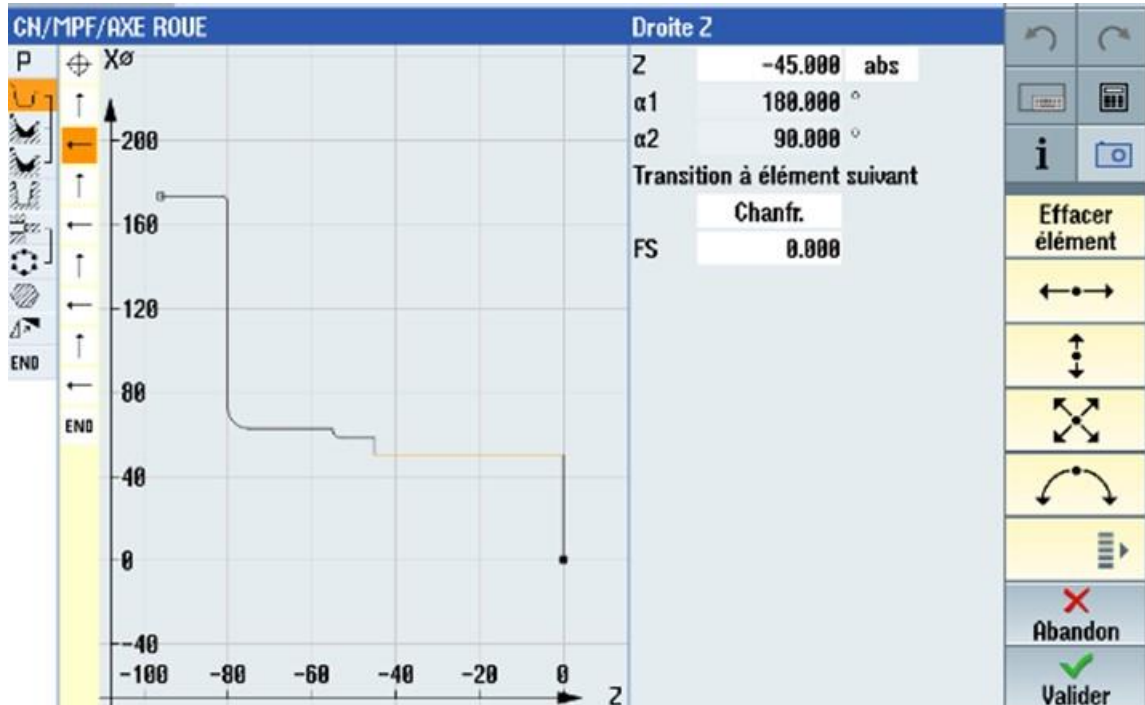


Fig. 75: Saisie du segment de contour horizontal.



Valider les valeurs saisies.



Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour le segment vertical

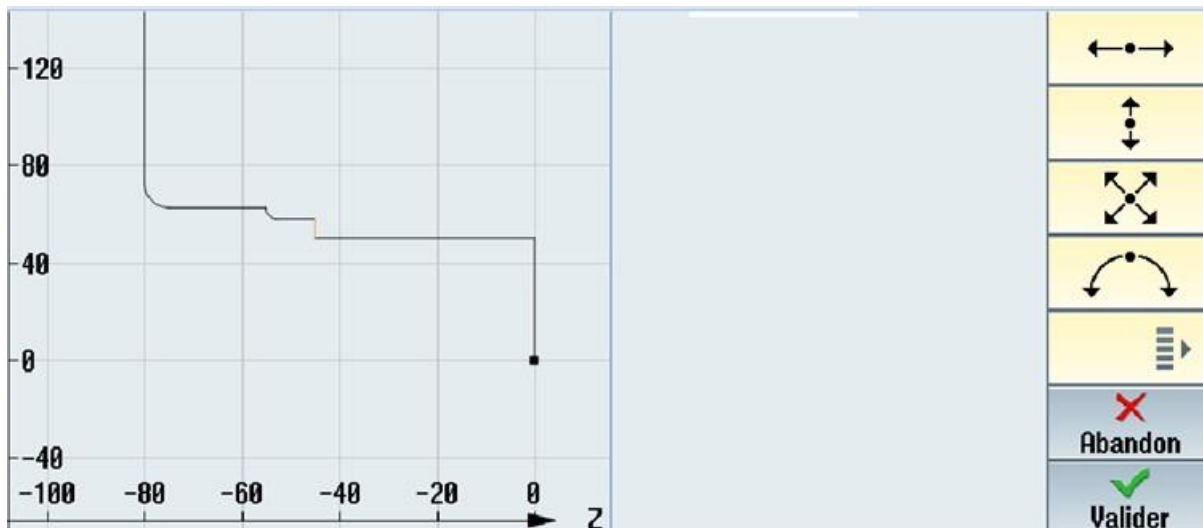
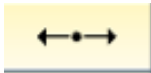


Fig. 76: Saisie du segment de contour vertical.



Valider les valeurs saisies



Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour la droite horizontale

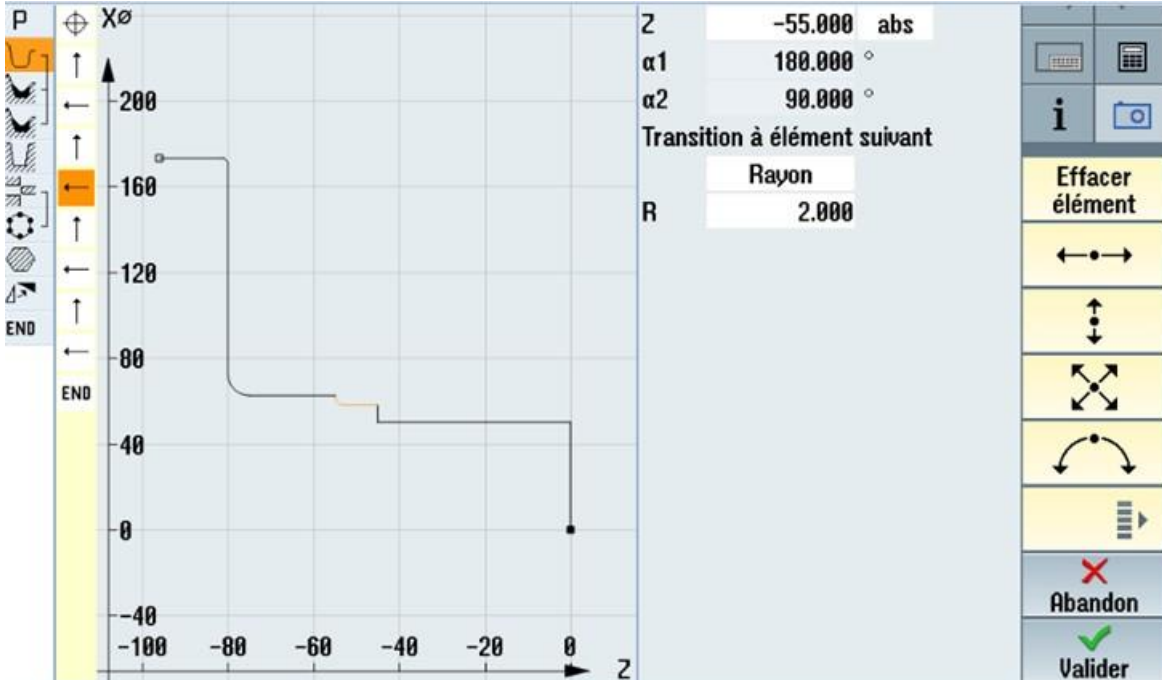


Fig.77: Saisie du segment de contour horizontal



Valider les valeurs saisies.



Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour la droite horizontale

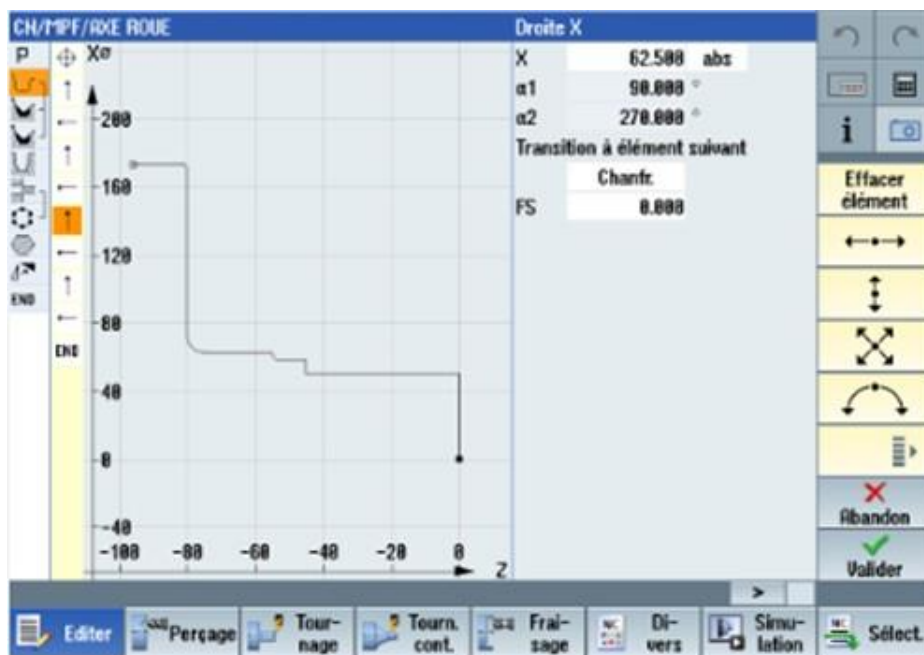
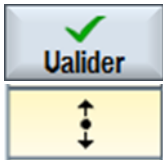


Fig. 78: Saisie du segment de contour horizontale.



Valider les valeurs saisies.

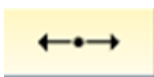
Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour le segment vertical



Fig. 79: Saisie du segment de contour vertical



Valider les valeurs saisies.



Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour la droite horizontale

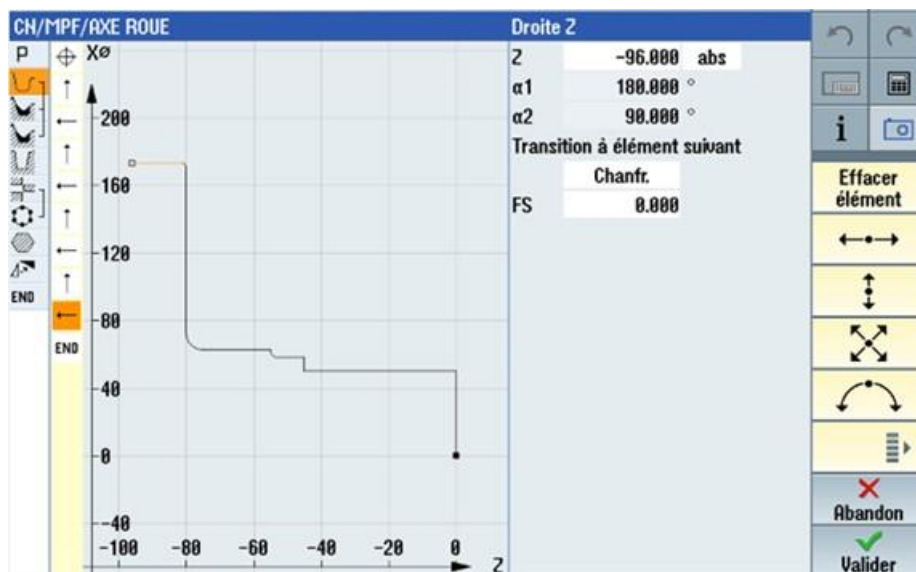


Fig. 80: Saisie du segment de contour horizontale.



Valider pour enregistrer le contour dans la gamme d'usinage



Fig. 81: Contour dans la gamme d'usinage.

- **Chariotage :**

Pour usiner le contour défini, nous devons créer les opérations ci-après. Pour cela, procéder de la manière suivante :



Sélectionner la touche logicielle Chariotage



Ouvrir la liste d'outils et sélectionnez OE-EXT.



Valider pour enregistrer l'outil dans le programme.

Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour l'ébauche :

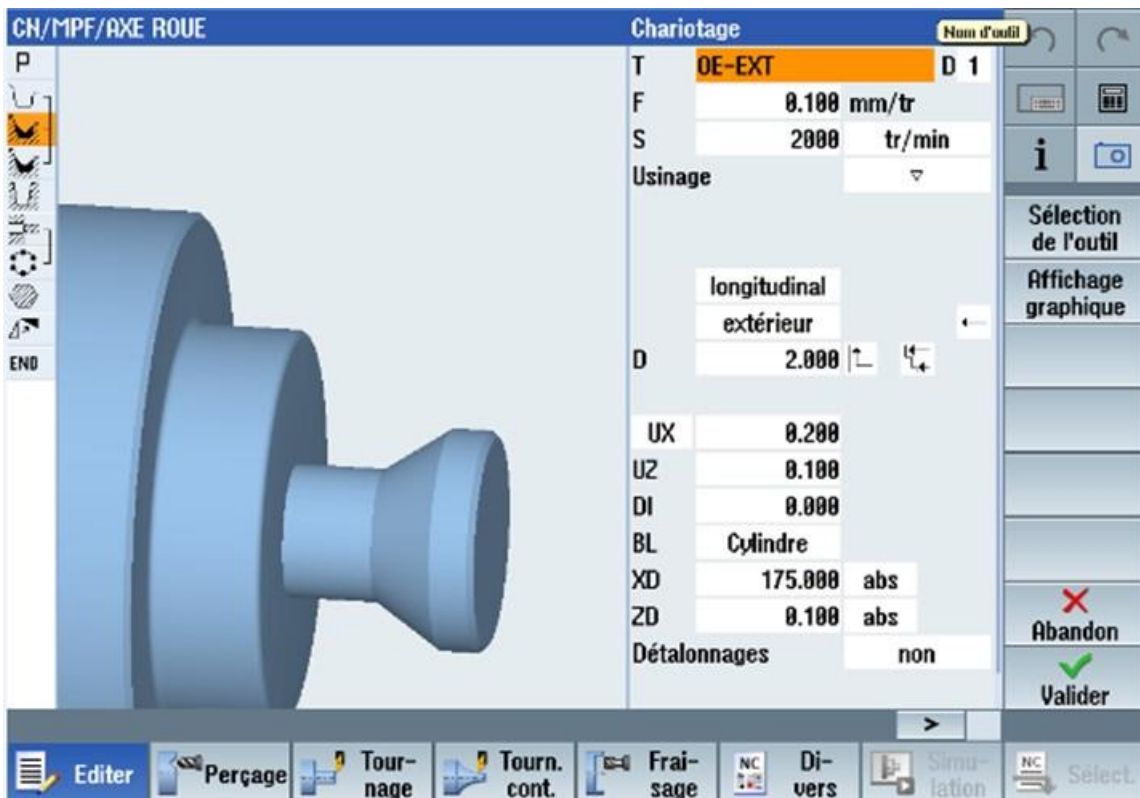


Fig. 82: Ebauche du contour.

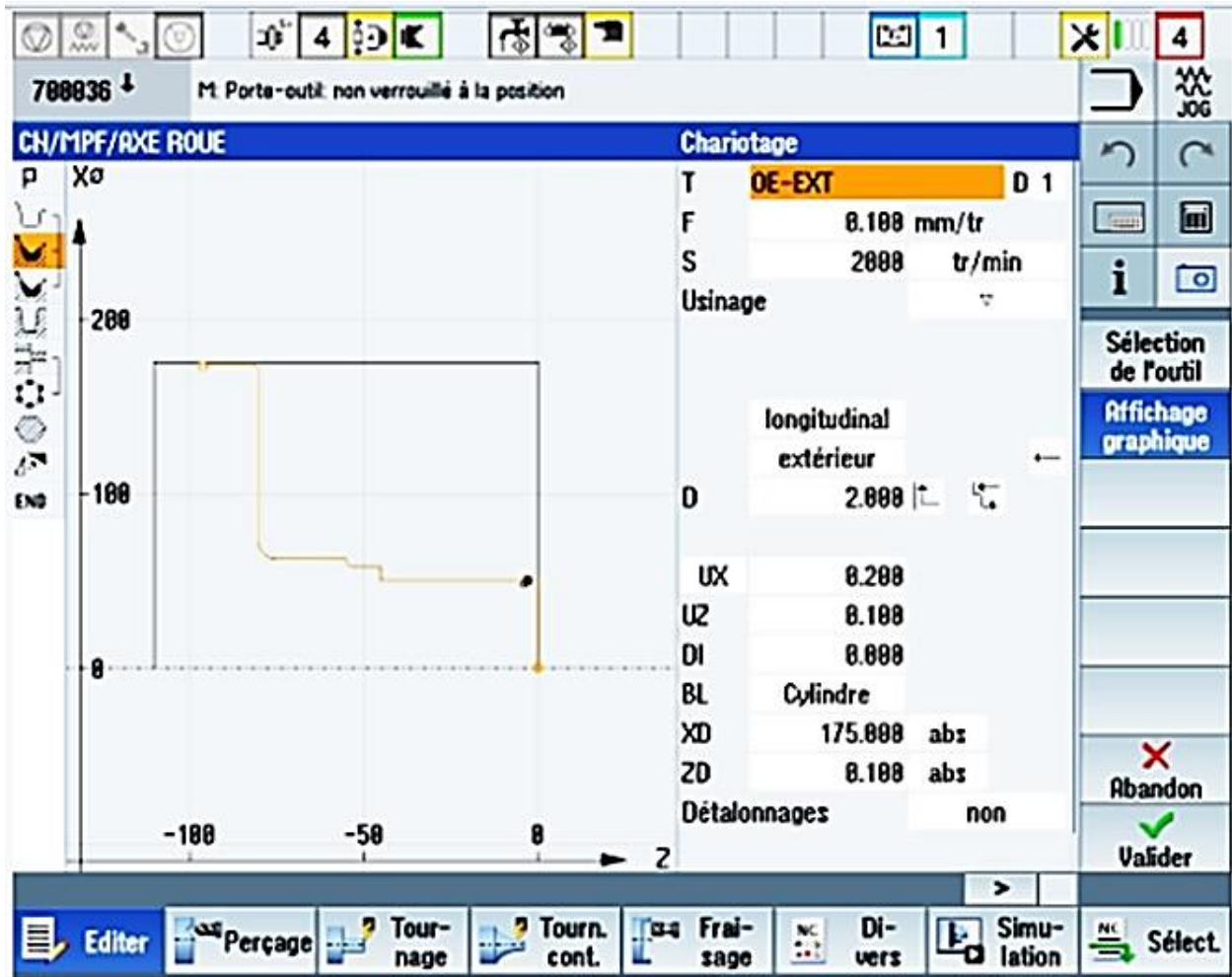


Fig. 83: chariotage - vue graphique



Valider les valeurs saisies.



Sélectionner la touche logicielle Chariotage.



Ouvrir la liste d'outils et sélectionnez OUTIL\_FINITION.



Valider pour enregistrer l'outil dans le programme.

Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour la finition :



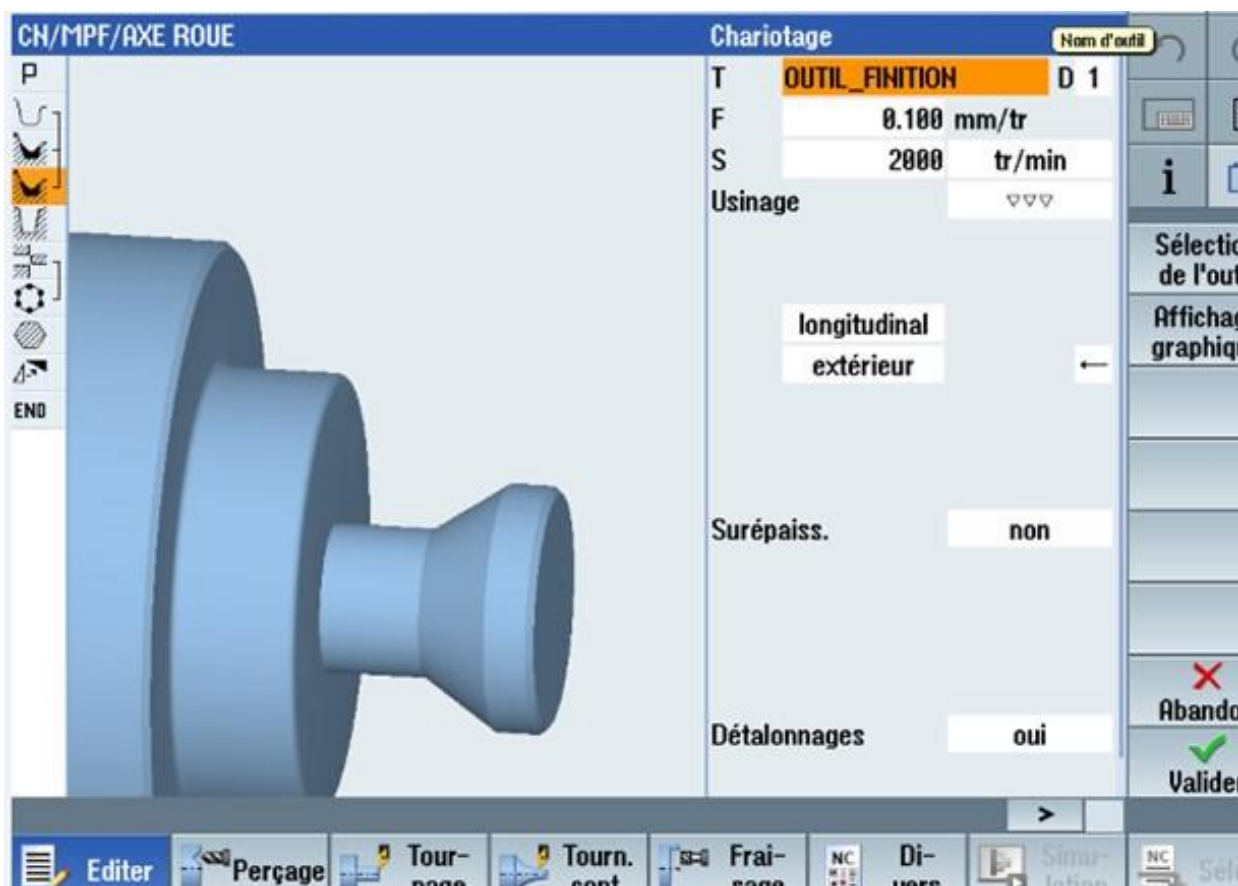


Fig. 84: Finition du contour.



Valider les valeurs saisies.

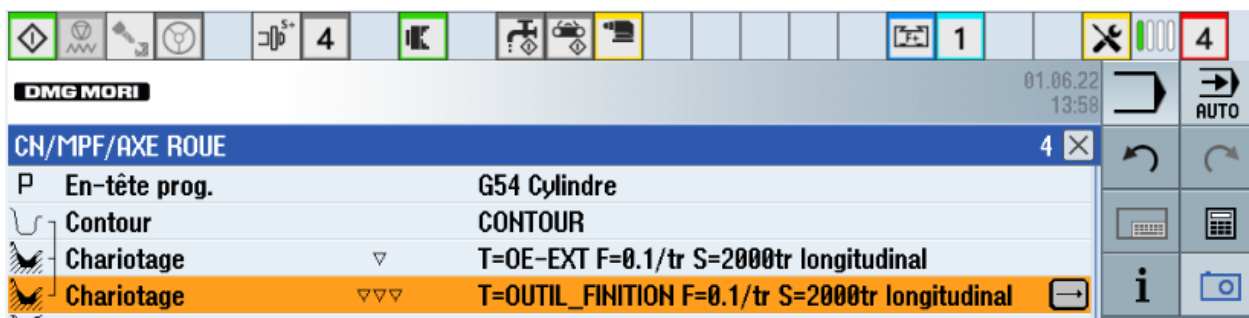


Fig. 85: Concaténation des opérations dans la gamme d'usinage.



Sélectionner la touche logicielle Simulation.

- Gorges

La procédure suivante nous permet de créer la gorge

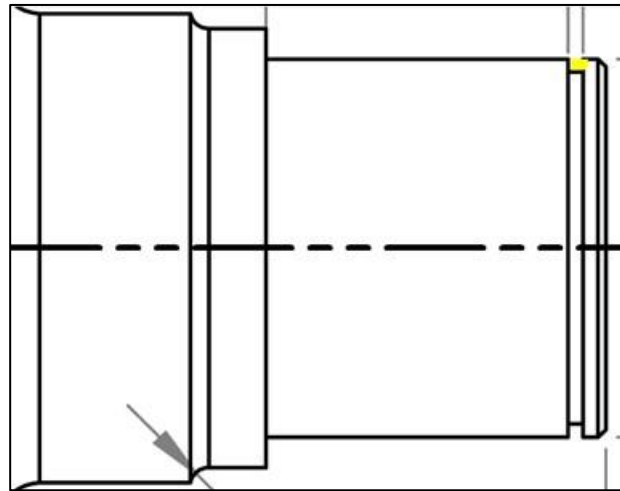


Fig. 86: Gorge.



Sélectionner la touche logicielle Gorge.



Sélectionner la touche logicielle Gorge.



Ouvrir la liste d'outils et sélectionnez l'outil OT-XTR.



Valider pour enregistrer l'outil dans le programme.

Saisir les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour les gorges :

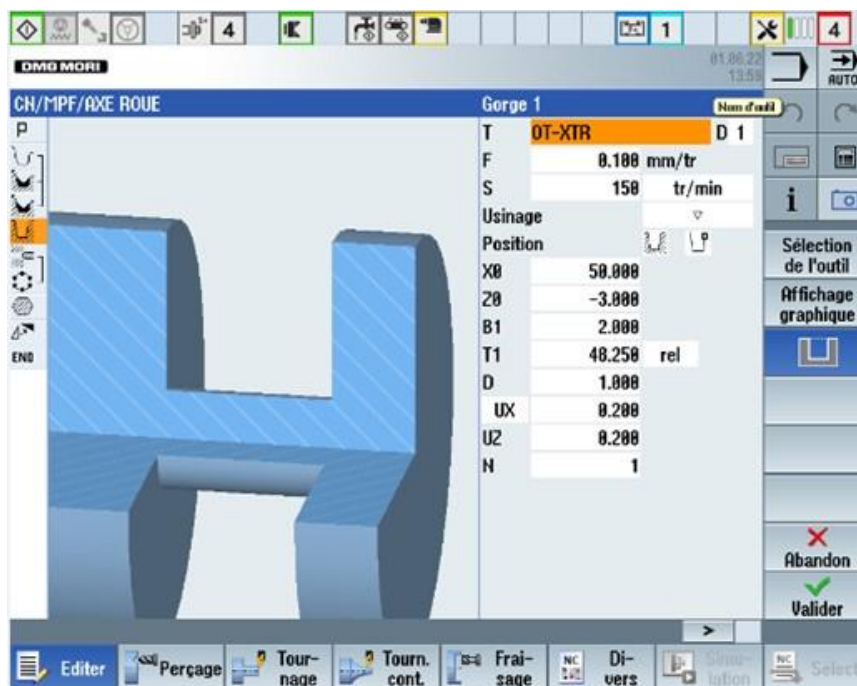


Fig. 87: Simulation De GORGE

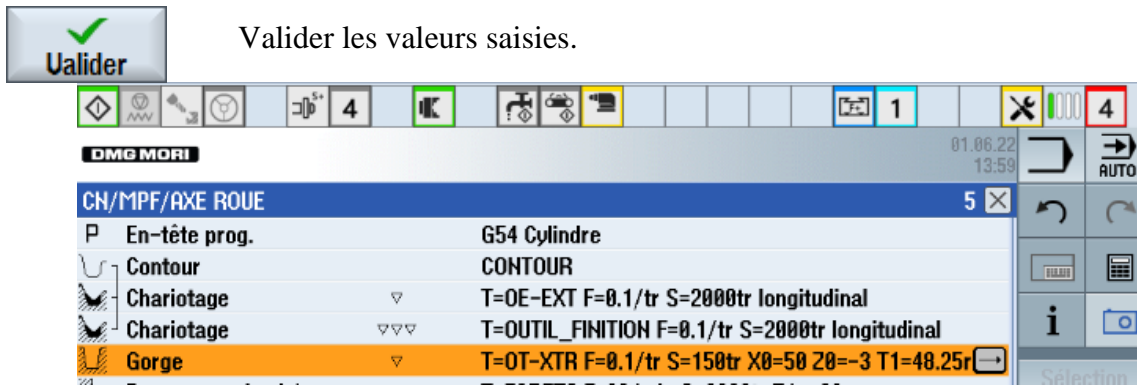


Fig. 88: Gamme d'usinage avec les gorges.

- **Perçage Profond :**

La procédure suivante nous permet de créer Perçage Profond 1



Sélectionner la touche logicielle perçage profond 1

Ouvrir la liste d'outils et sélectionnez l'outil ' FORET'

Valider pour enregistrer l'outil dans le programme.

Saisisse les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour le perçage profond :

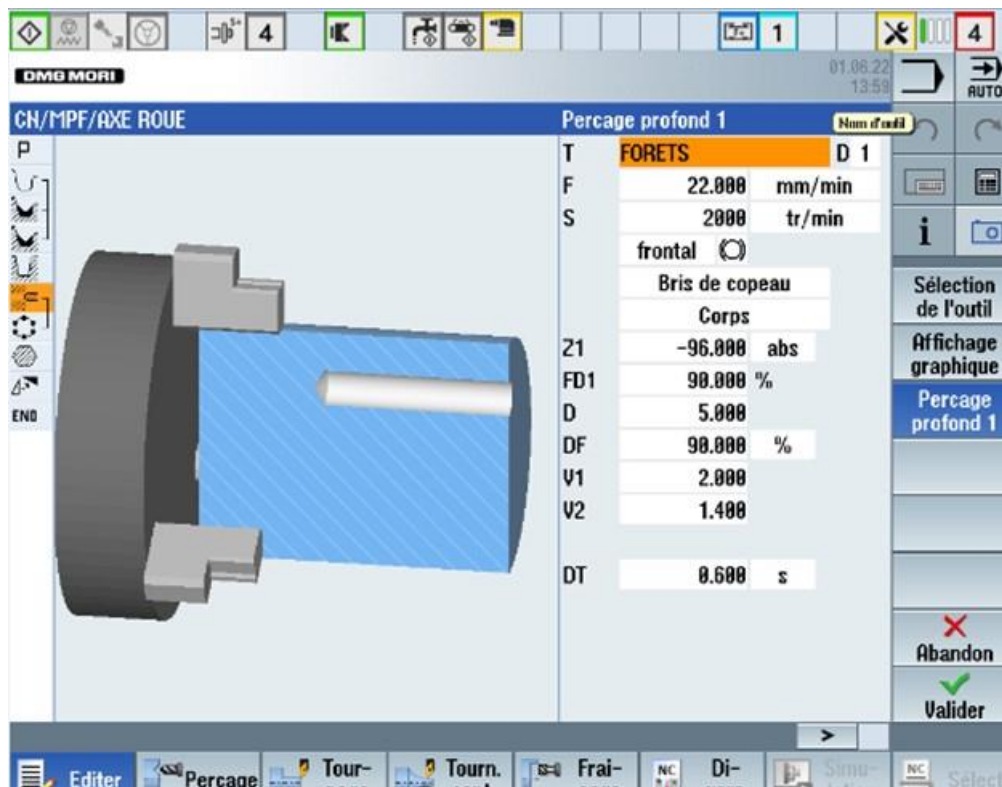


Fig. 89: Simulation De perçage profond



Valider les valeurs saisies.

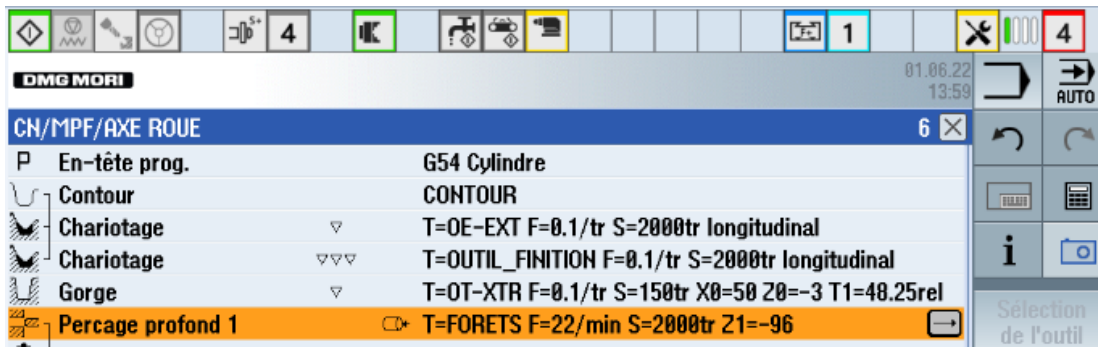


Fig. 90: Gamme d'usinage avec le perçage profond.

- **Cercle de position**

La procédure suivante nous permet de créer Cercle de position



Sélectionner la touche logicielle position



Valider pour enregistrer l'outil dans le programme.

Saisisse les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour Cercle de position :

(Nombre de position N = 3)

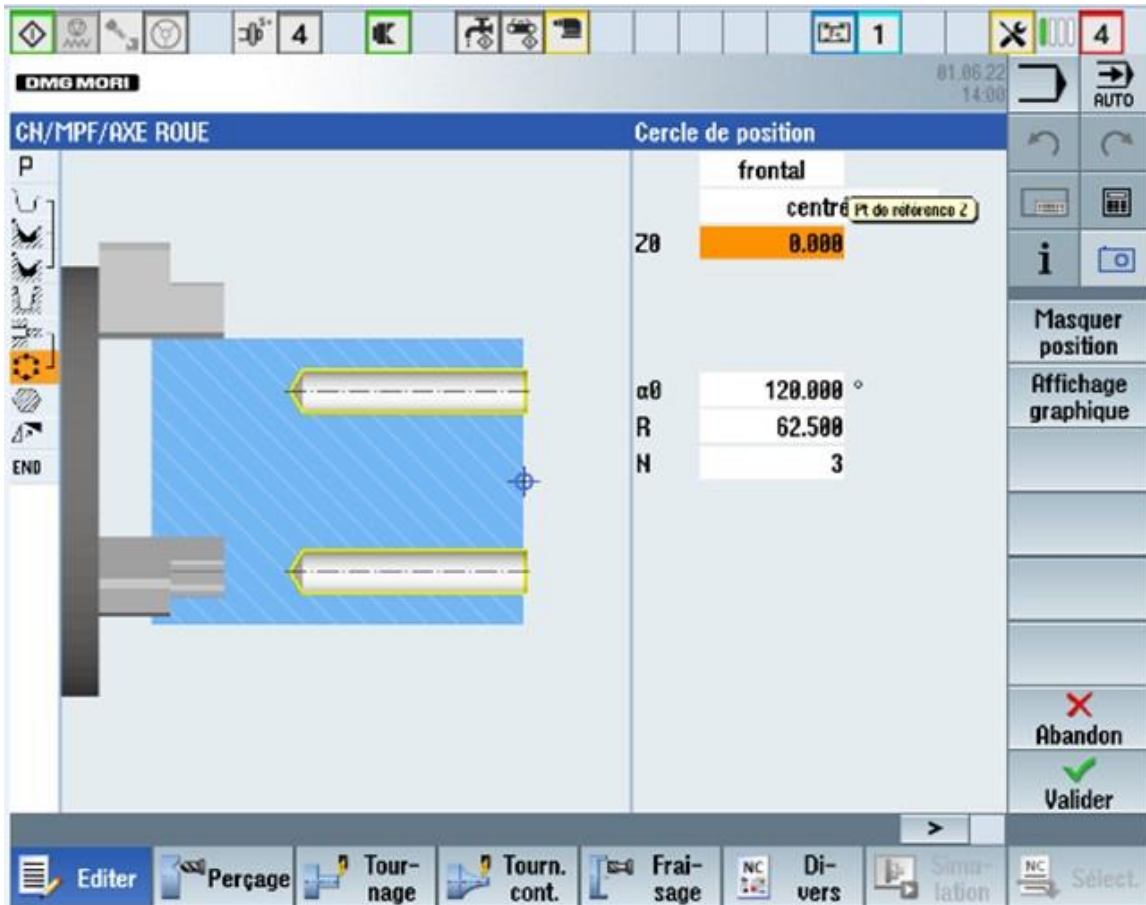


Fig. 91: Simulation - cercle de position

- Polyèdre :

La procédure suivante nous permet de créer Polyèdre

- Polyèdre** Sélectionner la touche logicielle Polyèdre
- Sélection de l'outil** Ouvrir la liste d'outils et sélectionnez l'outil 'FRAISE'
- Dans le programme** Valider pour enregistrer l'outil dans le programme.

Saisissez les valeurs suivantes dans le masque de saisie pour l'opération Polyèdre ( toujours le Nombre de position N = 3 ):

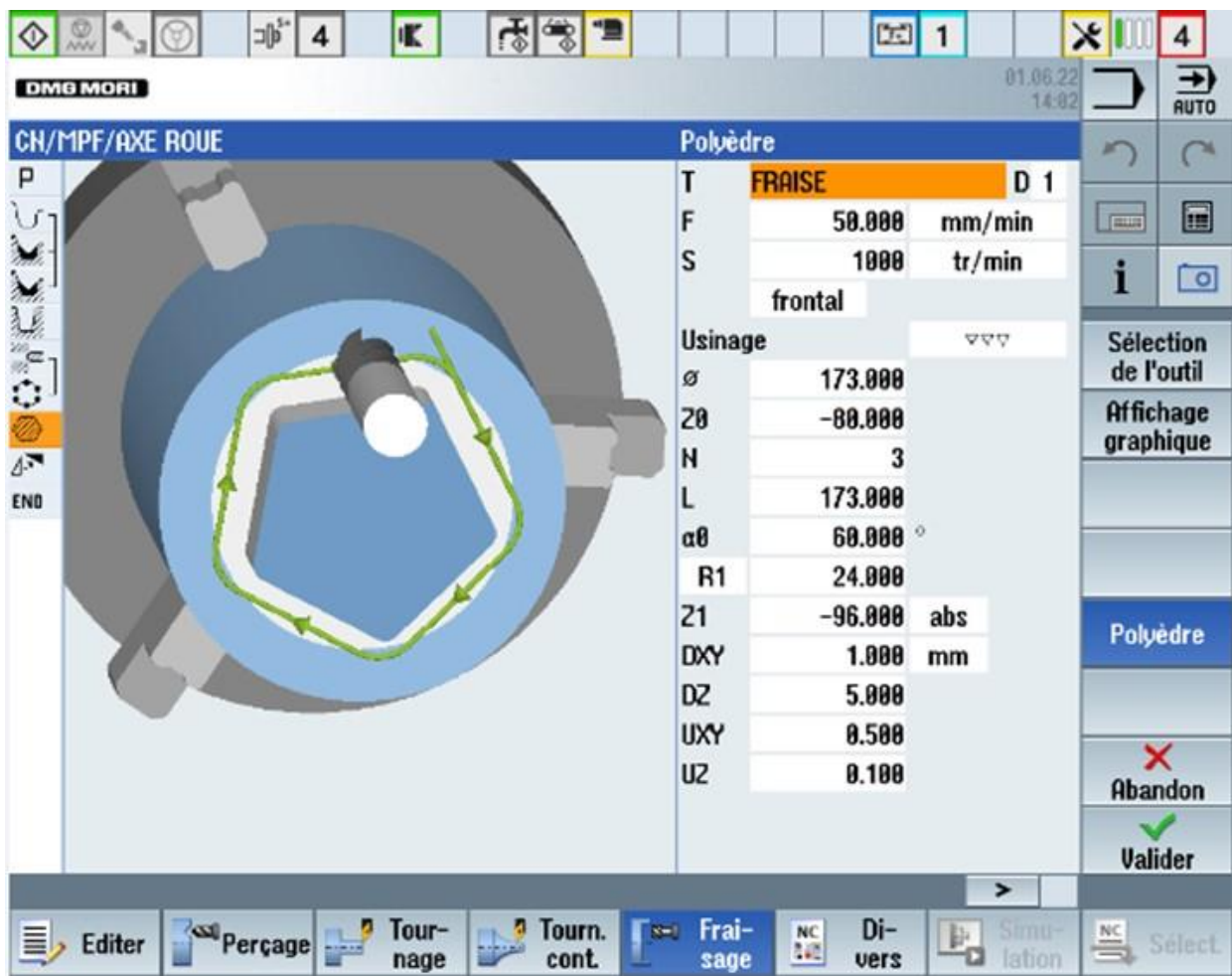


Fig.92: Simulation de Polyèdre

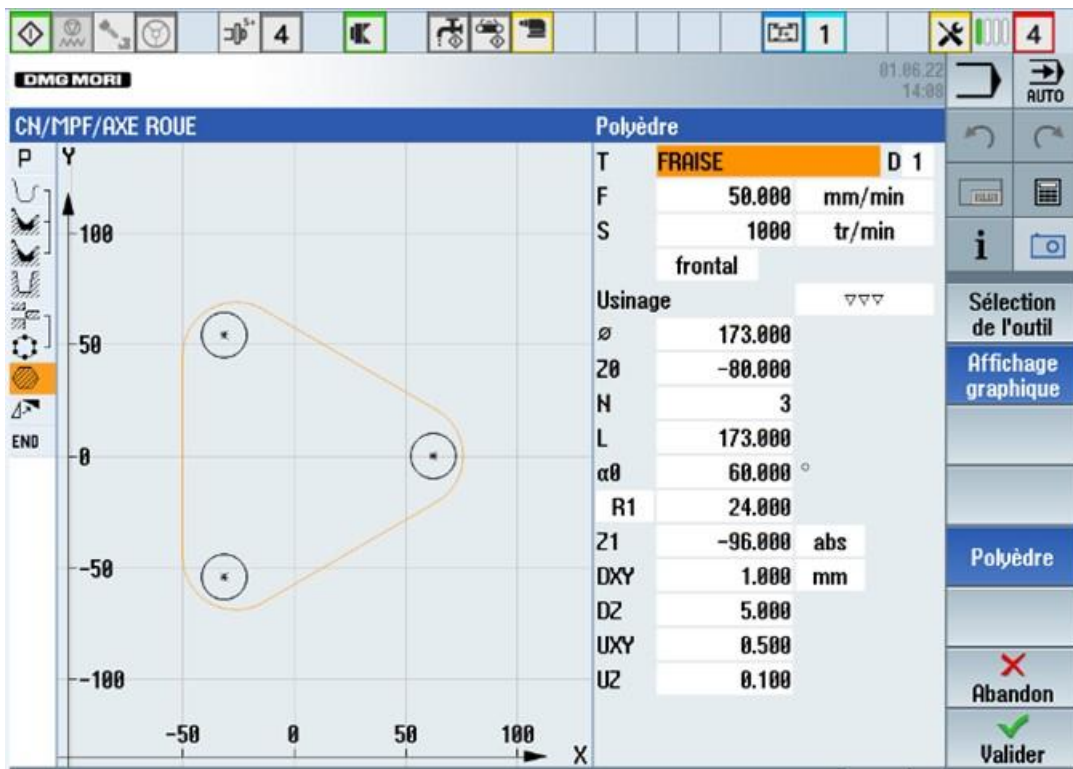


Fig. 93: Polyèdre - vue graphique

- Rotation :

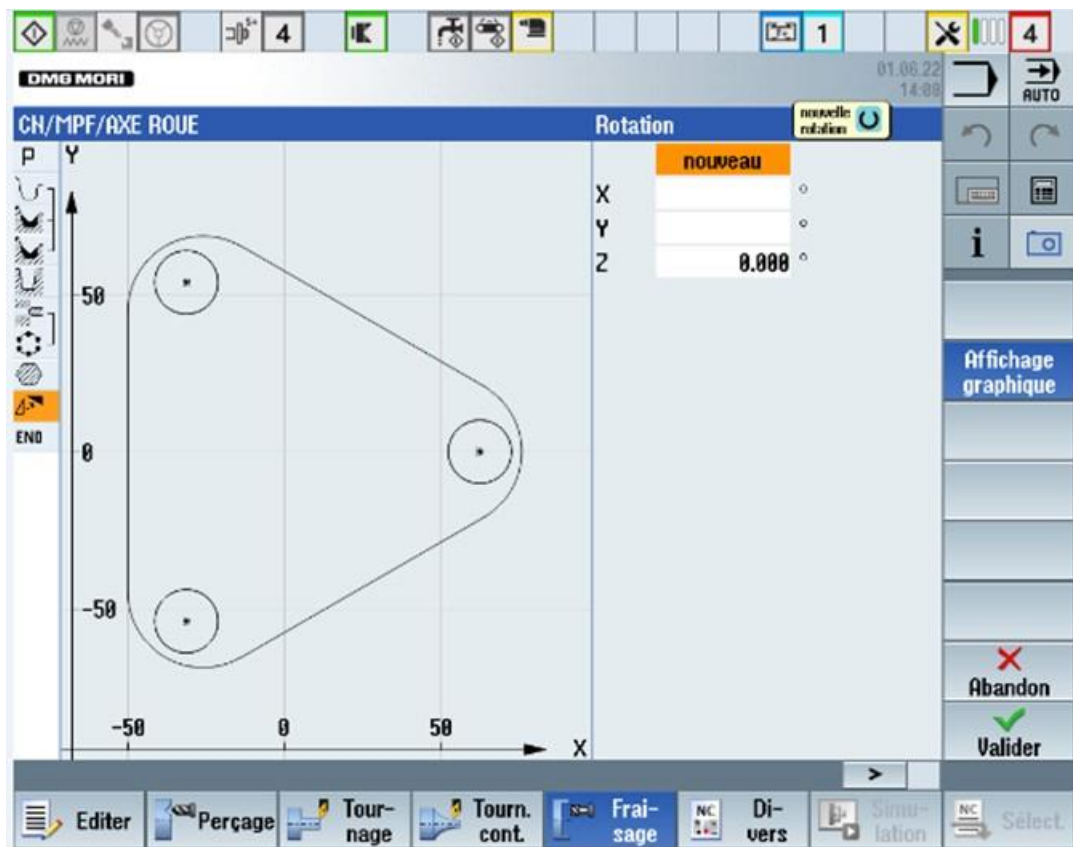


Fig. 94: Rotation - vue graphique.



Démarrer la simulation



Sélectionner la touche logicielle demi-coupe

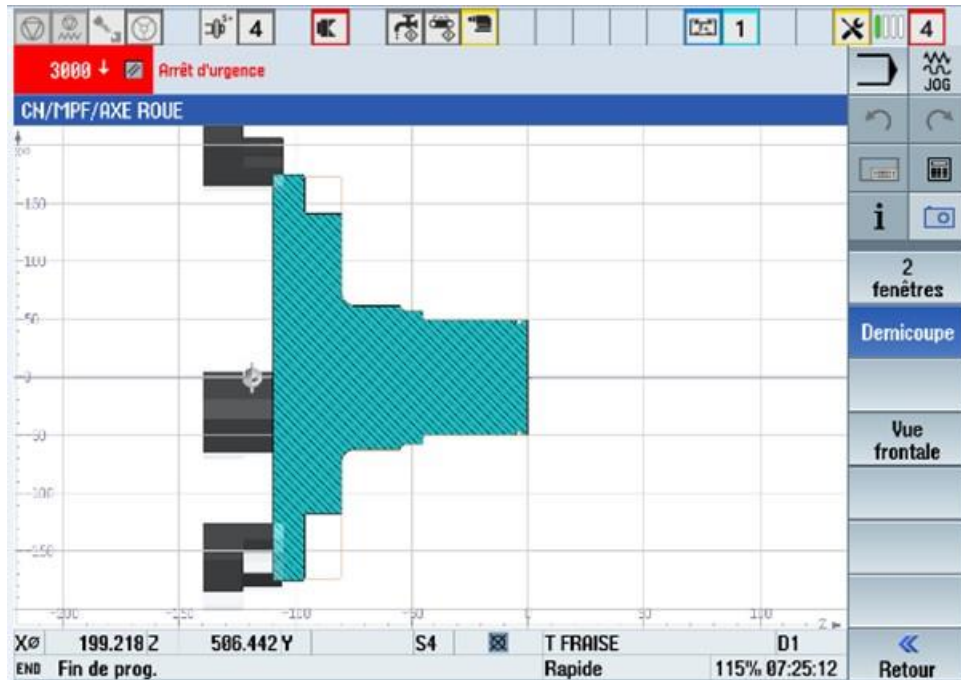


Fig. 95: Simulation de la vue de côté.



Sélectionner la touche logicielle Autres vues.



Sélectionner la touche logicielle 2 fenêtres.

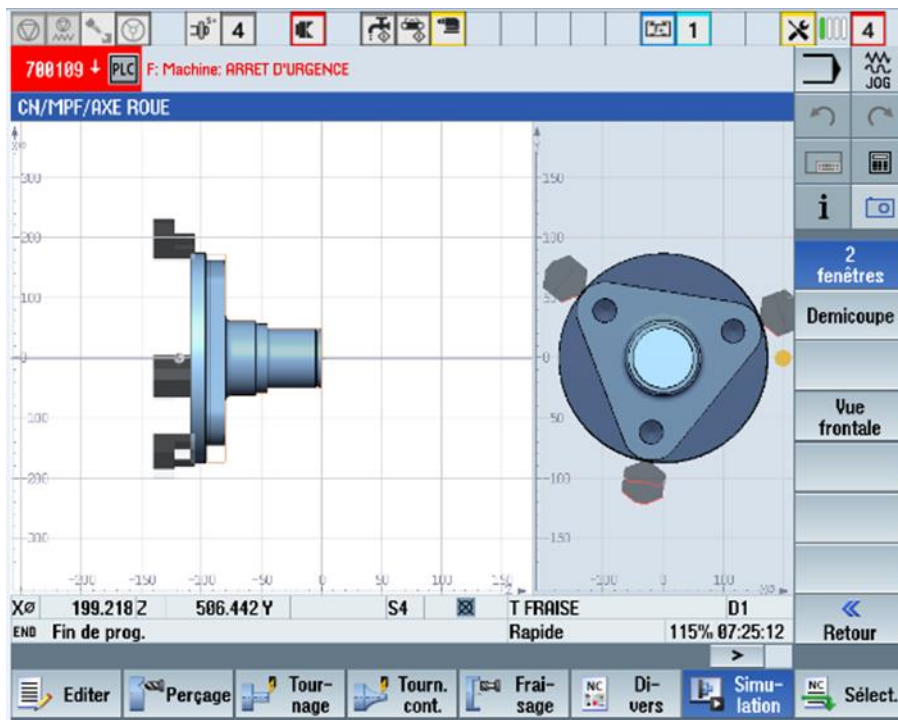


Fig. 96: Simulation de la vue à 2 fenêtres

## 7. Conclusion

ShopTurn et SolidWorks nous ont permis d'élaborer les programmes CN directement à partir du dessin de l'AXE DE ROUE. La programmation et les modifications sont particulièrement rapide en raison de la structure claire des programmes et grâce aux fonctions intégrées très performantes de création de trajectoires, ShopTurn et SolidWorks permettent aussi de réaliser facilement les contours des pièces les plus complexes et de comparer le temps d'usinage.

Cette simulation nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la commande numérique. Un poster décrivant les différentes étapes de la simulation sous le logiciel Shopturn a été Prop



*Chapitre 3 :*  
*Simulation de la fabrication de la pièce sur logiciel*  
*industriel*

## 1. Introduction :

L'étude de la fabrication d'une pièce avant sa réalisation dans les ateliers peut être envisagée aujourd'hui sans recourir aux procédés classiques, grâce aux puissants outils de calcul et de simulation. La simulation numérique, permet actuellement de visualiser virtuellement la conception et la fabrication de la pièce en présentant des modèles en fonction de plusieurs paramètres. Le développement de ces méthodes a favorisé l'utilisation de logiciels industriels permettant la simulation de la fabrication. Ces méthodes nous épargnent la mise au point de prototypes, et nous permettent une prise de décision facile, d'où un gain de temps et de coût. Comme la plupart des pièces sont produites tenant compte des conditions idéales correspondant à l'état idéal des machines dans lesquelles sont réalisées les pièces, la simulation d'une opération de fabrication permet la prise en compte de tous les paramètres entrant en jeu dans la réalisation de pièce finie.

Ainsi, le troisième chapitre est consacré à la présentation de l'intérêt de recourir dans certains cas à la simulation en virtuel de la fabrication d'une pièce avant même de décider de la réaliser sur machine. Cette démarche, faisant appel à des logiciels industriels de simulation, nous permet de prévoir plusieurs façons pour réaliser la pièce et de là, opter pour le scénario qui nous permet de choisir les moyens les plus rentables, et gagner du temps et de l'argent.

## 2. L'aspect technique de la simulation :

L'industrie utilise de plus en plus la simulation numérique, pour raccourcir le cycle de développement de ses nouveaux produits. Les simulations numériques reposent sur la mise en œuvre de modèles théoriques. Elles sont donc une adaptation aux moyens numériques de la modélisation mathématique, et servent à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système modélisé. Contrairement à la modélisation analytique, concevoir un type de modèle de fabrication représentatif de la fabrication réelle sur machine en reproduisant les conditions réelles de conception et de fabrication, permet de choisir entre plusieurs scénarios en faisant varier les paramètres d'usinage

## 3. Caractéristiques du logiciel utilisé :

Le logiciel ABAQUS utilisé ici, a été développé par Hibbit, Karlsson & Sorensen (HKS) depuis le début de la théorie des éléments finis et a été amélioré au fur et à mesure pour intégrer toutes les nouveautés de la théorie et des besoins de la recherche.

ABAQUS est très largement utilisé dans les industries automobiles et aéronautiques. En raison du large spectre de ses capacités d'analyse et de sa bonne ergonomie, il est également très populaire dans les milieux universitaires, pour la recherche et l'éducation. ABAQUS fut d'abord

conçu pour analyser les comportements mécaniques des problèmes très variés en mécanique. A partir d'un fichier de données, qui décrit l'ensemble du problème mécanique, le logiciel analyse les données, effectue les simulations demandées et fournit les résultats. Deux tâches restent à accomplir : générer le fichier de données et exploiter les résultats contenus dans le fichier. odb. La structure du fichier de données peut se révéler rapidement complexe : elle doit contenir toutes les définitions géométriques, les propriétés du matériau, les conditions aux limites, et les paramètres d'exécution, etc.... ABAQUS propose le module ABAQUS CAE, interface graphique qui permet de gérer l'ensemble des opérations liées à la modélisation :

- La génération du fichier de données
- Le lancement du calcul proprement dit
- L'exploitation des résultats

#### 4. Etapes de la simulation de la gamme d'usinage de la pièce sur le logiciel

La simulation en virtuel de la fabrication de notre pièce avant de la réaliser sur machine. Nous permettons de prévoir plusieurs façons pour réaliser la pièce et de là, opter pour le scénario qui nous permet de choisir les moyens les plus rentables, et gagner du temps et de l'argent. Deux démarches sont proposées ici, l'une qui consiste à procéder en premier lieu à l'opération de fraisage puis l'opération de tournage ; l'autre, à procéder en premier lieu à l'opération de tournage ensuite l'opération de fraisage.

Deux tâches sont à accomplir : générer le fichier de données qui doit contenir toutes les définitions géométriques, les propriétés du matériau, les conditions aux limites, et les paramètres d'exécution ensuite exploiter les résultats contenus dans le fichier. odb.

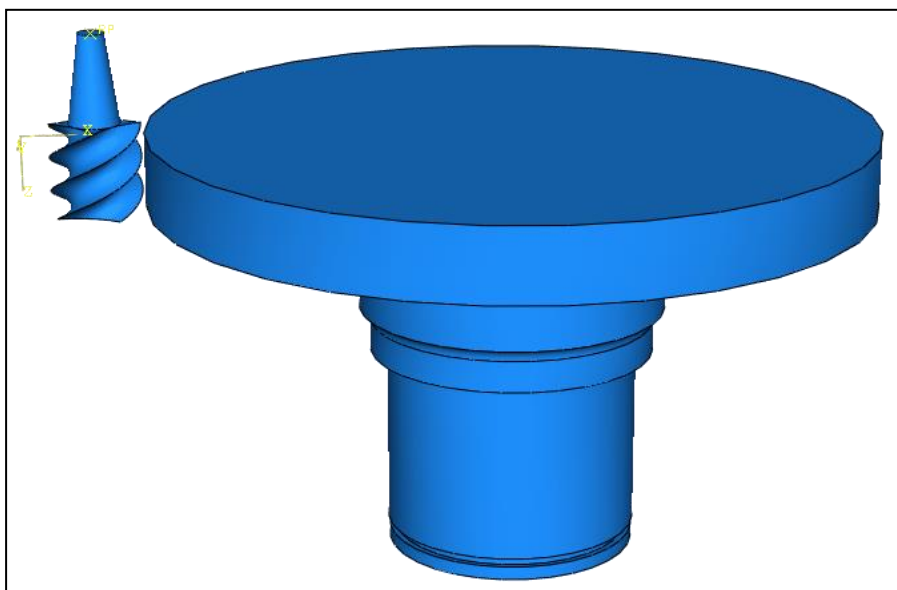


Fig.97: Disposition de l'outil et de la pièce dans l'opération de fraisage

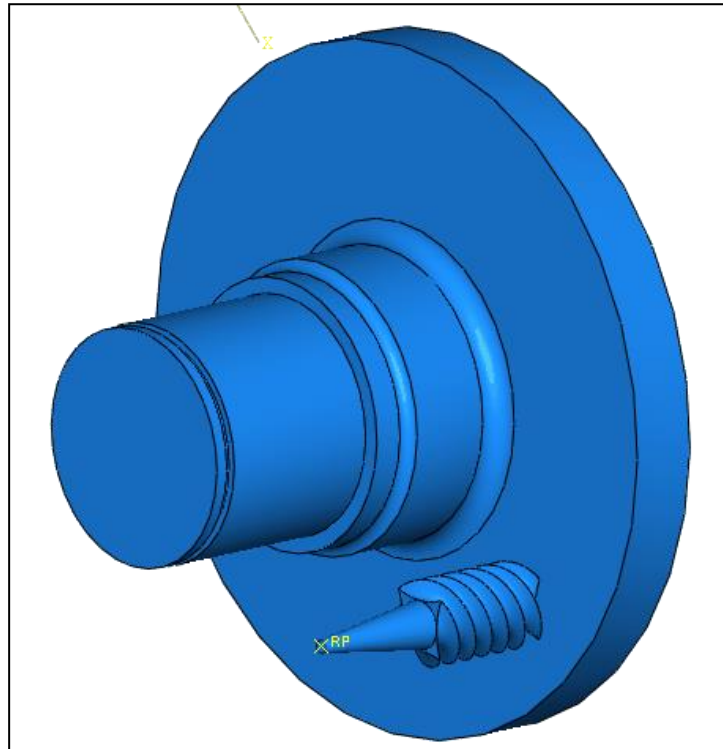


Fig. 98 : Disposition de l'outil et de la pièce dans l'opération de perçage

**4.1. Modélisation numérique 1 :**

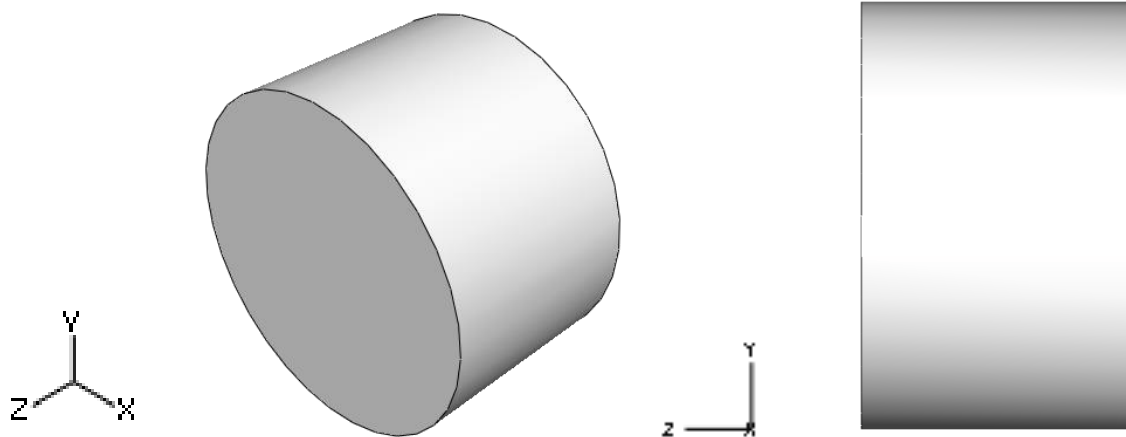


Fig. 99: Pièce brute aux dimensions extérieures

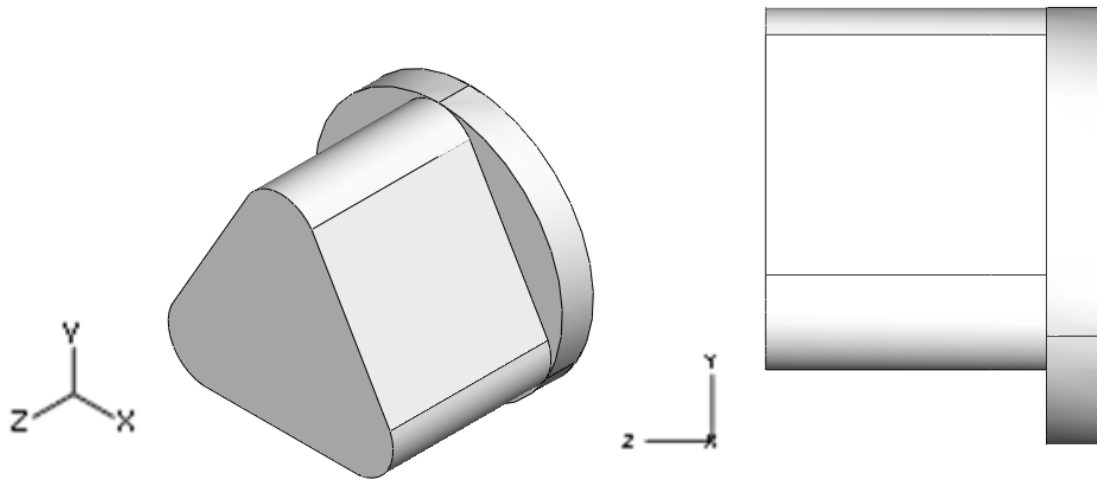


Fig. 100: Réalisation de la forme prismatique sur toute la longueur

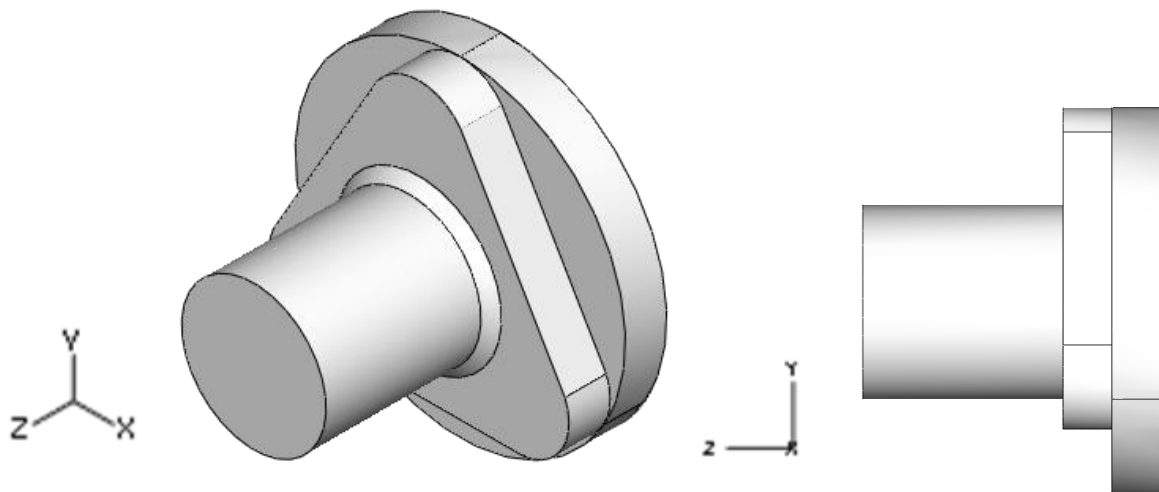


Fig. 101 : Chariotage et réalisation de Fraisage d'une forme prismatique sur la pièce

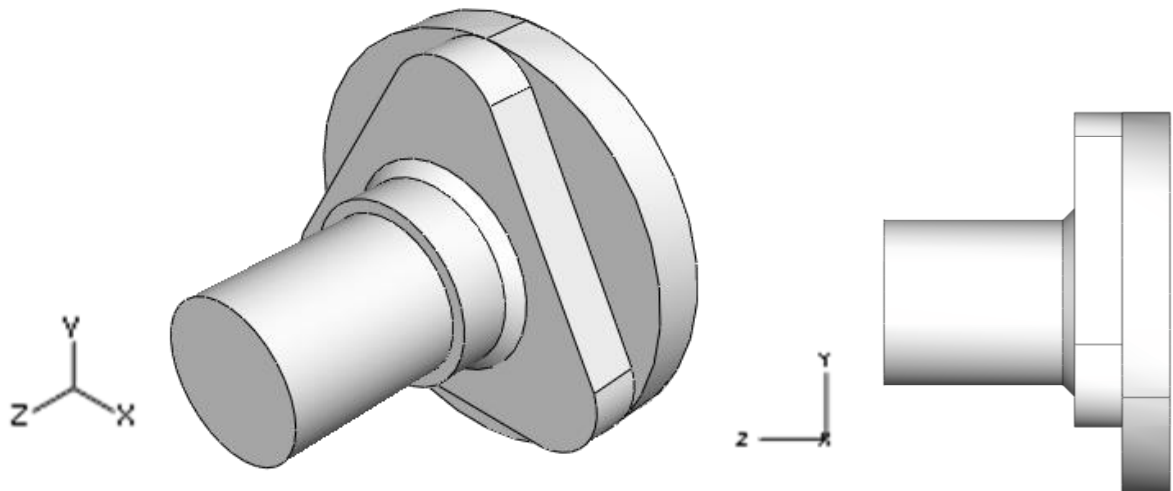


Fig.102: Réalisation des congés sur la pièce

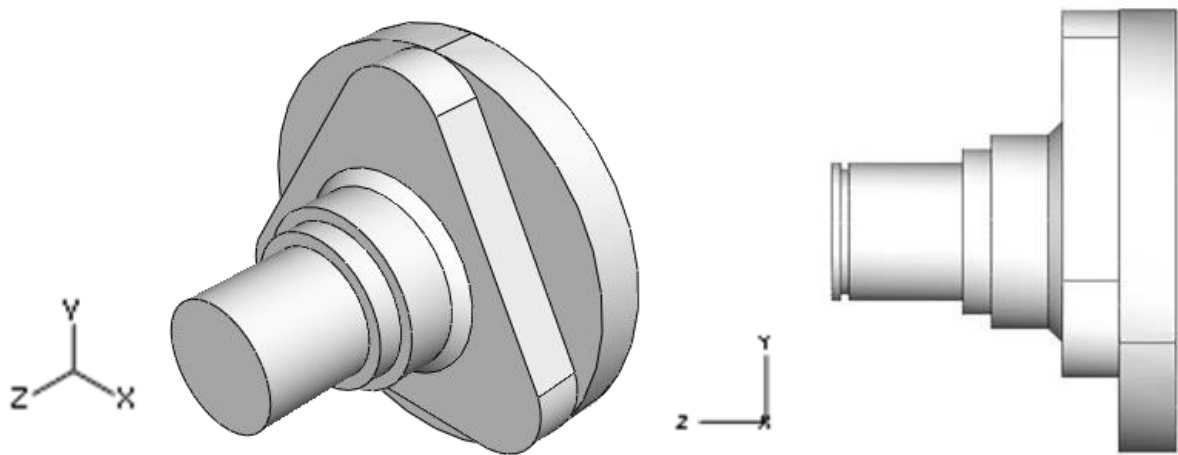


Fig.103: Réalisation LA GORGE

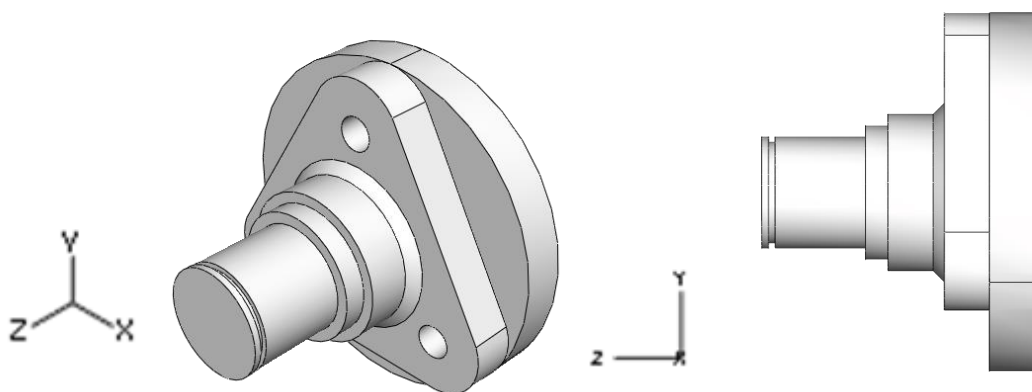


Fig. 104: Réalisation d pièce finie d'axe de roue

## 4.2. Modélisation numérique 2 :

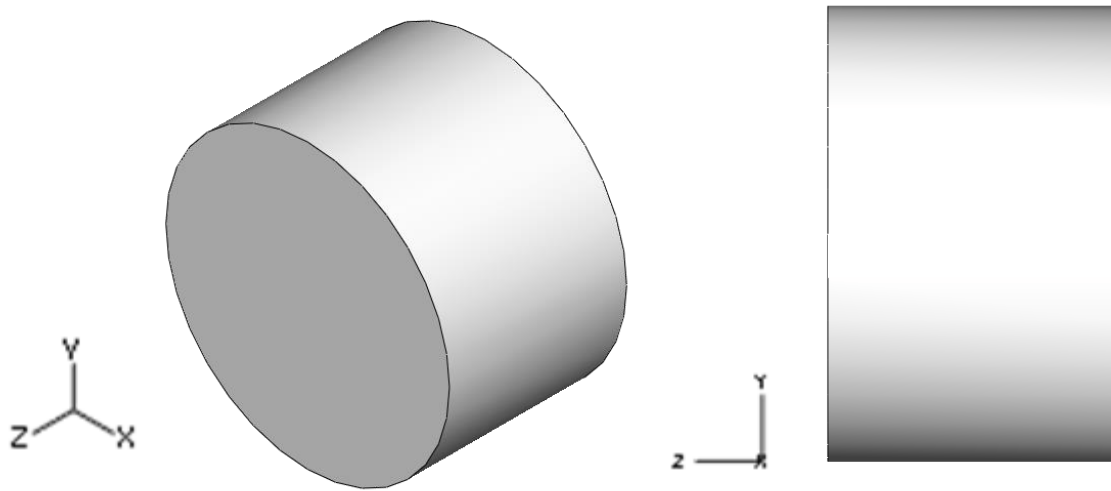


Fig.105 : Présentation de La pièce brut

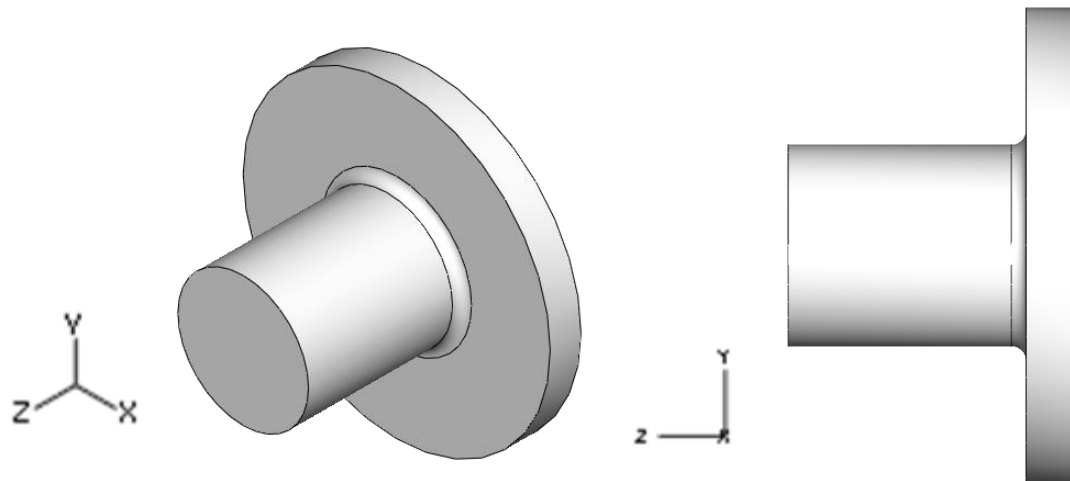


Fig.106: Réalisation de chariotage d'une forme prismatique sur la pièce

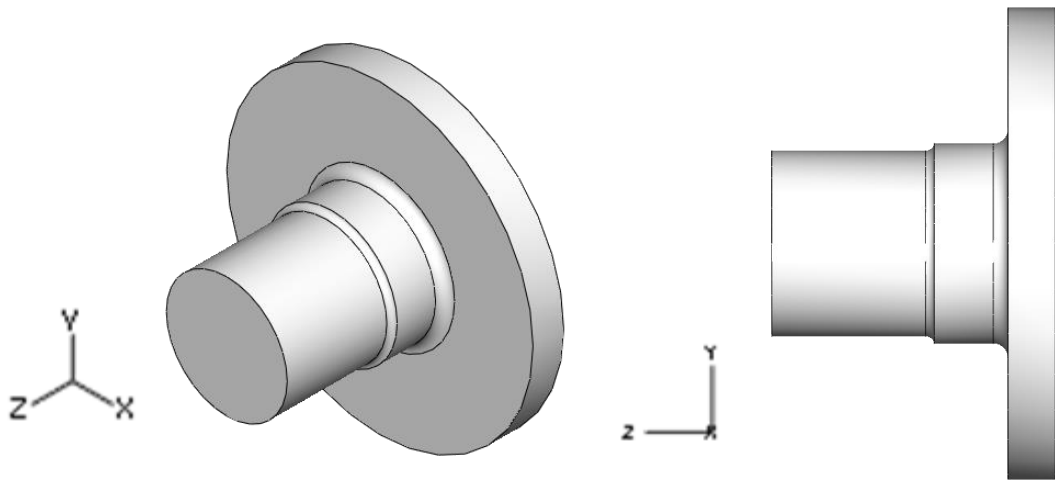


Fig. 107: Réalisation de corps de la pièce en chariotage

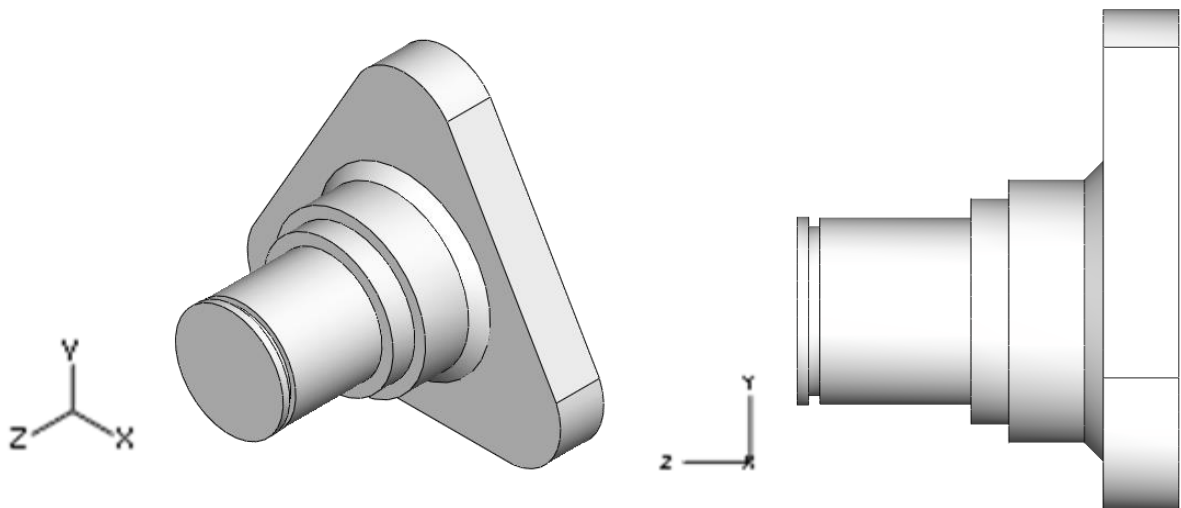


Fig. 108: réalisation de Fraisage d'une forme prismatique sur la pièce

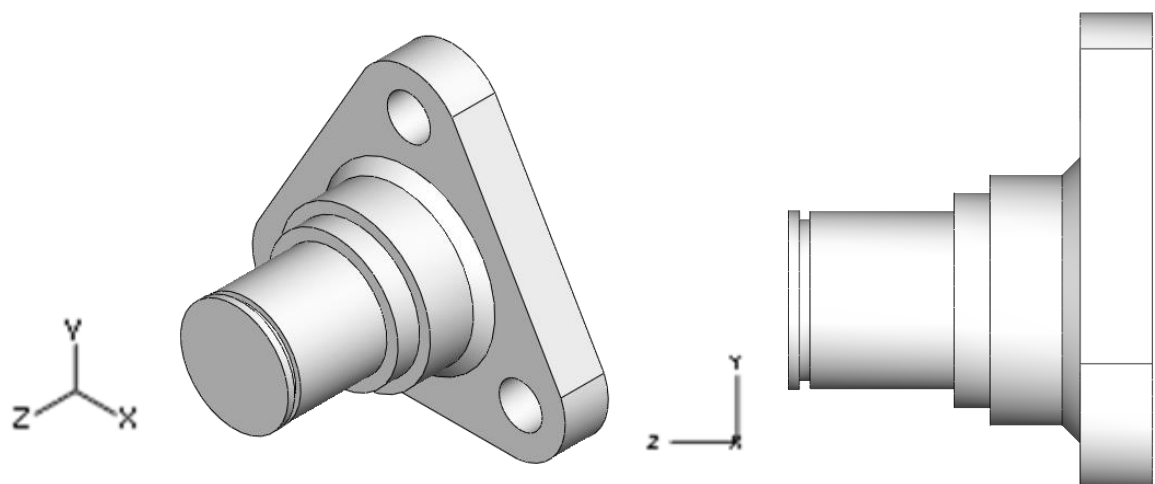


Fig 109: Réalisation de pièce finie d'axe de roue



**5. CONCLUSION :**

La simulation de la fabrication de la pièce sur le logiciel industriel nous permet de présenter plusieurs façons de procéder à l'usinage de la pièce, et choisir la priorité des opérations et l'ordre des phases en vue de dégager la gamme qui convient techniquement et économiquement le mieux à notre fabrication

## **CONCLUSION :**

La principale contribution de ce travail est l'application de la commande numérique à la fabrication d'une pièce complexe de géométrie multiforme appelée axe de roue, dont la conception a été réalisée sur SolidWorks et dont la gamme d'usinage ainsi que la fabrication ont été réalisées sur une machine pilotée par le logiciel SINUMERIK 840D ShopTurn. Aussi, une application de la simulation à l'élaboration virtuellement de la fabrication de la même pièce, nous permet de prévoir plus d'un scénario pour réaliser la pièce et choisir la priorité des opérations et l'ordre des phases en vue de dégager la gamme qui convient techniquement et économiquement le mieux à notre fabrication

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] André chevalier, Technologie de fabrication mécanique, numéro 10, 1999.
- [2] René pazot, Formulaire du technicien en fabrications mécaniques, éditions : Casteila, 2006.
- [3] Claude Barlier, Memotech plus - Usinage des matériaux métalliques, éditeur : casteilla, collection : Memotech, 2010.
- [4] Jean-Pierre Cordebois, Michel Colombie, Fabrication par usinage (Mécanique et matériaux), Dunod, 2008.
- [5] Jean-pierre urso, Memo-formulaire : Fabrications mécaniques, éditions : el Éducative, 2002.
- [6] Souhir gara, Procédés d'usinage, tournage - fraisage - perçage rectification, Éditeur : ellipses, collection : technosup, 2014.
- [7] Louis rimbaud, Gerard Layes, Joseph Moulin, Guide pratique de l'usinage - Volume 1, éditeur : hachette, collection : guides pratiques industriels, 2006.
- [8] Georges paquet, Guide de l'usinage : fraisage - perçage - alésage - brochage - plasturgie - moulage – tournage, éditeur : Delagrave, collection : les guides Industriels, 2000.
- [9] Gilles. Prod'homme Commande numérique des machines-outils DOC B 7 130, Techniques De l'ingénieur, Génie mécanique, Usinage, B7 130, 1995.
- [10] Mr RAHOU MOHAMED Module : Atelier i et ii deuxième année EPST, Ecole préparatoire en sciences et techniques Tlemcen, 2013.
- [11] Farid ASMA 'Introduction à la commande numérique', Notes de cours, 2007/2008.
- [12] Hechmi CHERMITI ' Généralités sur les machines-outils à commande numérique', ISET Kairouan.
- [13] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Usinage>, 5 juin 2017.
- [14] BELLOUFI Abderrahim Machines-outils à commande numérique 2010 Chapitre IV : Types des MOCN Université Kasdi Merbah Ouargla
- [15] SINUMERIK 840D solution line Tournage avec ShopTurn

