

Université 8 mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Construction Mécanique

Présenté par : BENNACER Mohamed

=====
**Simulation d'une gamme d'usinage d'un croisillon
d'arbre de transmission sur une MOCNC**
=====

Sous la Direction de :

Dr. Frioui Nadia

Dr. Bouchelaghem Hadjira

Année universitaire 2024/2025

Dédicace

*Tout d'abord, je rends grâce à Allah Le Tout-Puissant,
Qui m'a accordé la **force**, la **patience** et la **volonté** d'achever ce travail.*

Sans Sa miséricorde, rien n'aurait été possible.

*Je dédie ce modeste mémoire à ceux qui occupent une place profonde dans
mon cœur :*

À ma douce maman Meriem

*Pour son amour inconditionnel, ses prières silencieuses, sa tendresse
infinie et sa présence rassurante à chaque étape de ma vie.*

À mon cher père Wahab

*Modèle de sagesse et de persévérance, pour sa confiance, ses sacrifices et
son soutien discret mais indéfectible.*

À mes sœurs Roumaïssa et Amani

Mes complices, mes repères, mes sources de sourire au quotidien.

À mon frère Iyad

*Petit par l'âge, mais grand dans mon cœur. Que ce travail soit pour toi un
exemple d'effort et de persévérance.*

À mes meilleurs amis

*Pour leur présence, leurs encouragements, leurs mots justes au bon
moment. Merci pour votre bienveillance.*

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Merci d'avoir cru en moi, même quand je doutais.

Remerciements

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Madame Frioui Nadia** et **Madame Bouchlaghem Hadjira** pour la qualité de leur encadrement, leur disponibilité, ainsi que leurs conseils précieux tout au long de ce travail. Leur accompagnement attentif et leur engagement dans la relecture ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.*

*Je remercie chaleureusement l'ensemble des **enseignants du département de Génie Mécanique** de l'Université 8 Mai 1945 - Guelma, pour leur encadrement, leurs enseignements et leur soutien constant durant mon parcours académique.*

*Mes remerciements s'adressent également au **groupe Ferroviail**, et tout particulièrement aux deux ingénieurs **Madame Bouzidi Manel** et **Monsieur Amamria Hamza**, pour leur accueil, leur disponibilité et l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.*

*Je n'oublie pas de remercier sincèrement **mes collègues** et camarades, avec qui j'ai partagé de précieux moments d'échange, d'entraide et de motivation.*

Je remercie enfin toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, par leur soutien moral, leurs conseils ou leur assistance technique.

*Pour conclure, j'adresse ma reconnaissance à **Monsieur le Président du jury**, ainsi qu'à **l'ensemble des membres du jury**, pour l'honneur qu'ils me font d'examiner ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère considération.*

Résumé

Dans un contexte industriel fortement marqué par la recherche d'efficacité, de réduction des coûts et de maîtrise des délais, les technologies d'usinage assisté par ordinateur, telles que les machines-outils à commande numérique (CNC), se positionnent aujourd'hui comme un levier majeur de performance. L'étude présentée s'inscrit dans cette dynamique en explorant l'intégration d'une machine CNC 3 axes au sein de l'entreprise Ferroviaire pour la fabrication d'une pièce appelée croisillon. Jusqu'à récemment, cette pièce était achetée auprès de fournisseurs externes, ce qui entraînait des coûts supplémentaires et une dépendance vis-à-vis des délais d'approvisionnement. La décision de produire cette pièce en interne à l'aide d'une fraiseuse CNC vise à optimiser la production, à maîtriser la qualité et à réduire les charges financières.

La réalisation de la pièce nécessite une méthodologie de travail, qui commence par une description générale des machines à commande numérique, leurs applications en passant par le développement qu'ont connu à travers des décennies. Puis a été montré la démarche de la réalisation de la pièce croisillon, en citant les logiciels utilisés pour la modélisation et la fabrication (CFAO). Enfin il a présenté la simulation des étapes de la fabrication partant du brut jusqu'à la dernière opération.

Abstract

In an industrial context strongly marked by the search for efficiency, cost reduction and deadline control, computer-assisted machining technologies, such as numerically controlled (CNC) machine tools, are now positioned as a major performance lever.

The study presented here is part of this dynamic, exploring the integration of a 3-axis CNC machine within the Ferrovia Company for the manufacture of a part known as a crosspiece. Until recently, this part was purchased from external suppliers, resulting in additional costs and dependence on supply lead times. The decision to produce this part in-house using a CNC milling machine is designed to optimize production, control quality and reduce financial costs.

Producing the part requires a working methodology, which begins with a general description of CNC machines, their applications and the development they have undergone over the decades. This was followed by a description of the process used to produce the part, citing the software used for modelling and manufacturing (CAD/CAM), and finally a simulation of the manufacturing stages, from the raw part through to the final operation.

ملخص

في سياق صناعي يتسم بقوة بالبحث عن الكفاءة وخفض التكلفة والتحكم في الموعد النهائي، فإن تقنيات التصنيع الآلي بمساعدة الحاسوب، مثل أدوات الماكينات ذات التحكم الرقمي (CNC) ، أصبحت الآن بمثابة رافعة أداء رئيسية.

الدراسة المقدمة هنا هي جزء من هذه الديناميكية، حيث تستكشف دمج ماكينة بنظام التحكم الرقمي ثلاثي المحاور داخل شركة Ferrovial لتصنيع جزء يُعرف باسم القطعة المتقاطعة. حتى وقت قريب، كان يتم شراء هذا الجزء من موردين خارجيين، مما أدى إلى تكاليف إضافية والاعتماد على المهل الزمنية. وقد تم اتخاذ قرار إنتاج هذا الجزء داخليًا باستخدام ماكينة تفريز بنظام التحكم الرقمي بهدف تحسين الإنتاج والتحكم في الجودة وتقليل التكاليف المالية.

يتطلب إنتاج القطعة منهجية عمل تبدأ بوصف عام لماكينات التحكم الرقمي باستخدام الحاسوب وتطبيقاتها والتطور الذي شهدته على مدار عقود. وبلي ذلك وصف للعملية المستخدمة لإنتاج الجزء المتقاطع الرأس، مع ذكر البرمجيات المستخدمة في النمذجة والتصنيع (CAD/CAM) ، وأخيرًا محاكاة لمراحل التصنيع، بدءًا من الجزء الخام وحتى العملية النهائية.

Liste des figures

Chapitre I : Généralités bibliographique

Figure I.1 : Machine a commandé numérique	3
Figure I.2: Les deux parties principale d MOCN.....	3
Figure I.3 : fonctionnement en boucle ouvert.....	5
Figure I.4 : commande adaptative.....	5
Figure I.5: Commande en boucle fermée.....	6
Figure I.6: Commande Numérique point à point.....	7
Figure I.7 : Commande par axiale	7
Figure I.8: Commande numérique de contournage.....	7
Figure I.9: Représentation des origines.	8
Figure I.10: Point de référence dans le volume d’usinage don le cas fraisage	9
Figure I.11: Point de référence dans le volume d’usinage don le cas tournage	9
Figure I.12: Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dons le tournage et fraisage	10
Figure I.13: Longueur d’une fraise	10
Figure I.14: Type de l’outil (cas de fraisage).....	11
Figure I.15: Position du bec des outils.....	11
Figure I.16: Systèmes d’axes.	12
Figure I.17: Fraisage à cinq axes.	15
Figure I.18: différentes opérations d'usinage	18
Figure I.19: les différentes opérations d'usinage pouvant être réalisées sur des machines-outils de type fraiseuse.	19
Figure I.20: Fraisage en roulant travail en opposition	19
Figure I.21: Fraisage en roulant travail en avalant.....	19
Figure I.22: Fraisage en bout travail en opposition	23
Figure I.23: Fraisage en bout travail en avalant.....	23
Figure I.24 : les différentes opération de perçage.....	24
Figure I.25 : les différentes opérations de rectification.....	25

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités bibliographique

Tableau I.1 : Origines utilisées dans des MOCN	8
Tableau I.2 : les adresses des MOCN	13
Tableau I.3 : Les fonctions préparatoires G	16
Tableau I.4 : Les Fonctions auxiliaires logiques M.....	14
Tableau I.5 : Les principales fonctions de rectification	22

Table des matières

Dédicace	II
Remerciements	III
Résumé	IV
Abstract	V
ملخص	VI
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Table des matières	IX
Introduction général	1

Chapitre I : Généralités bibliographique

I.1. Introduction	4
I.2. La commande numérique	4
I.2.1. Définition de la commande numérique	4
I.2.2. Définition d'une machine CNC.....	4
I.2.3. Architecture D'une MOCN	5
I.2.4. Domaine d'application	6
I.2.5. Les différents types de machines CNC	6
I.2.6. Classification des MOCN.....	7
I.2.6.1. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement.....	7
I.2.6.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axe.....	9
I.2.6.3. Classification des MOCN selon le mode d'usinage	9
I.2.7. Les différentes origines des MOCN	11
I.2.8. Décalage et géométrie d'outil.....	12
I.2.8.1. Décalage de l'origine machine	12
I.2.8.2. Géométrie des outils.....	13
□ Type de l'outil :	14
□ Type de l'outil	14
I.2.8.3. Systèmes d'axes	15
I.2.9. Programmation Des MOCN	16
I.2.9.1. Syntaxe	16
I.2.9.2. Différentes fonctions des adresses.....	16

I.2.9.3. Les principales fonctions.....	16
I.2.10 Comparaison de la MO commande numérique avec les machines classiques.....	18
I.2.11 Avantages des machines CNC	19
I.2.12 Inconvénients des machines CNC.....	19
I.3 Les principales opérations d'usinage.....	20
I.3.1 Les principales opérations de tournage	20
I.3.2 Les principales opérations de fraisage	21
I.3.3 Les principales opérations de perçage.....	23
I.3.4 Les principales opérations de rectification	24
I.4 Conclusion.....	26

Chapitre II: Etude de la démarche de la fabrication de la pièce

II.1 Introduction	28
II.2 Rôle de la pièce finie et son fonctionnement (croisillon).....	28
II.3 Matériau de la pièce à usiner	28
II.4 Matériels utilisés.....	30
II.4.1 Machine-outil	30
II.4.2 Outil de coupe utilisé	31
II.4.3 Porte des outils de coupe.....	33
II.5 Description du logiciel de modélisation « SOLIDWORKS ».....	34
II.6 Conception de la pièce à usiner sur SolidWorks.....	34
10. Vérification finale.....	36
II.7 Description du logiciel fabrication de la pièce CAM « SOLIDWORKS ».....	36
II.8 Conclusion.....	37

Chapitre III : Simulation de la Fabrication du croisillon

III.1 Introduction	39
III.2 Etapes d'élaboration de la gamme de fabrication.....	39
III.2.1 Conception de la pièce sur SolidWork	39
III.2.2 Exécution de la fabrication de la pièce dans Camworks	44
III.3 Simulation de la fabrication dans Camworks.....	60
III.4 Conclusion.....	64

Introduction Générale

Un contexte industriel marqué par la recherche constante d'optimisation des coûts, de gain de temps et d'amélioration de la qualité, les technologies d'usinage assisté par ordinateur jouent un rôle central. Parmi ces technologies, les machines-outils à commande numérique (CNC) représentent une avancée significative dans le domaine de la fabrication mécanique moderne. Grâce à leur précision, leur flexibilité et leur capacité à automatiser des tâches complexes, ces machines permettent aujourd'hui de produire des pièces mécaniques avec un haut degré de fiabilité, tout en réduisant les délais de production et les coûts.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'utilisation de ces technologies avancées au sein de l'entreprise Ferrovia, et se focalise particulièrement sur le cas de la pièce nommée "croisillon". Historiquement, cette pièce était achetée auprès de fournisseurs extérieurs, engendrant des coûts supplémentaires et des délais d'approvisionnement parfois importants. Cependant, avec l'acquisition récente d'une machine CNC (fraiseuse 3 axes), l'entreprise a désormais la capacité de fabriquer cette pièce en interne. Ce changement stratégique vise non seulement à réduire les coûts de production, **mais aussi à maîtriser les délais et la qualité.**

Ainsi, la problématique à laquelle cette étude tente de répondre est la suivante : Comment la fabrication de la pièce "croisillon" en interne, à l'aide d'une machine CNC 3 axes, permet-elle à l'entreprise Ferrovia de réduire ses coûts et d'optimiser son processus de production ?

Pour répondre à cette question, cette mémoire est structurée en trois chapitres :

- Chapitre : Généralités sur les machines CNC , Ce chapitre présente les principes de base des machines à commande numérique, leur fonctionnement, les différents types existants, ainsi que leurs avantages et leurs limites dans l'industrie moderne.
- Chapitre 2 : Présentation de la machine utilisée, des outils, du matériau et des logiciels Ce chapitre est dédié à la description de la fraiseuse CNC 3 axes utilisée dans ce projet, du matériau employé pour la fabrication de la pièce *croisillon*, ainsi que des outils de coupe. Il traite également des logiciels SolidWorks pour la modélisation et CAMWorks pour la génération des parcours d'usinage.
- Chapitre 3 : Étapes d'élaboration de la gamme de fabrication avec CAMWorks, Ce dernier chapitre détaille les différentes étapes de conception et d'usinage de la pièce

Introduction générale

croisillon, en mettant l'accent sur l'élaboration de la gamme de fabrication à l'aide du logiciel CAMWorks. Il illustre concrètement comment l'intégration de la technologie CNC a permis de maîtriser le processus de fabrication de cette pièce.

À travers cette étude, nous mettrons en évidence l'impact positif de l'intégration des technologies CNC sur la performance industrielle de l'entreprise, en prenant le cas réel de la pièce *croisillon* comme fil conducteur de notre analyse.

Chapitre I

Généralités bibliographique

I.1. Introduction

L'usinage est une étape de fabrication d'une pièce par enlèvement de matière. C'est une opération de base dans la fabrication de produits pour l'industrie mécanique. Le moyen de production associé à ces opérations d'usinage est une machine-outil ou un centre d'usinage. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Les machines-outils spécifiques (tour, fraiseuse, aléuseuse, rectifieuse, centre d'usinage...) sont utilisées pour donner une forme à la matière. Ces machines dédiées à la fabrication de pièces mécaniques ont chacune une fonction particulière. Certaines attaquent la matière à cœur avec des outils de coupe résistants aux efforts les plus intenses. D'autres s'occupent des étapes de finition avec un degré de précision de l'ordre du micron. Cette précision est nécessaire pour limiter les jeux et les risques de casse lors de l'assemblage.

I.2. La commande numérique

I.2.1. Définition de la commande numérique

Ces dernières années la commande numérique CN impose sa technologie dans le monde de l'usinage. Conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention directe de l'opérateur pendant son exécution, elle a dans un premier temps, permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles comme les fraiseuses, perceuses, aléuseuses...etc. Elles sont ainsi devenues capables d'assurer en qualité et en quantité une production à peine imaginable auparavant.

Aujourd'hui, le progrès des machines à commande numérique est étroitement associé aux progrès de la microélectronique et de l'informatique. Ainsi, la CN voit ses performances augmenter régulièrement tandis que, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer. Cette diminution des prix, permet à la CN de pénétrer dans les petites entreprises et devient accessible à tous. Les CN actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur plusieurs axes en même temps. [1]

I.2.2. Définition d'une machine CNC

La machine-outil à commande numérique CNC (Computer Numerical Control en anglais) est une machine-outil dotée d'une commande numérique assurée par un ordinateur. C'est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont

communiqués

Grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel. Le premier rôle d'une machine CNC est de générer des mouvements, elle recevra des valeurs de positionnement de vitesse et d'accélération et générera suite à un traitement des consignes numériques en sortie. [2]



Figure I.1 : Machine à commandé numérique

I.2.3. Architecture D'une MOCN

Une machine-outil à commande numérique est composée de deux principales parties [3] :

- Partie commande
- Partie opérative

La partie commande est composée d'un calculateur ou d'un ordinateur et d'éléments électroniques capables de piloter les moteurs, cette partie permet de piloter la partie opérative.

La partie opérative comporte des axes de déplacement, la tête de l'outil et les actionneurs (les moteurs).

Des ordres sont générés vers la commande par le biais d'un code machine ou par action Manuelle de L'opérateur. La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir les déplacements voulus par le biais des moteurs d'axes. Des contrôles de vitesse et de position seront alors effectués de manière continue par la machine [4]



Figure I.2 : Les deux parties principale d MOCN. [2]

I.2.4. Domaine d'application

Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois, Textile). Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Électroérosion, Jet d'eau). Les principaux procédés de fabrication concernés[5] :

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

I.2.5. Les différents types de machines CNC

On distingue plusieurs types demachines :

Les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes, 3 axes, les centres d'usinage ,3 à 5axes, les rectifieuses, les affuteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse. [6]

- Les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- Les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau
- Les presses : métal, injection plastique.
- Les machines à bois : à portique ou col de cygne.
- Les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement

(pour l'agroalimentaire)...

I.2.6. Classification des MOCN

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant [7]:

- Le mode de fonctionnement de la machine
- Le nombre d'axes de la machine
- Le mode d'usinage

I.2.6.1. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement

a. Fonctionnement en boucle ouvert :

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure.1.3, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas [8].

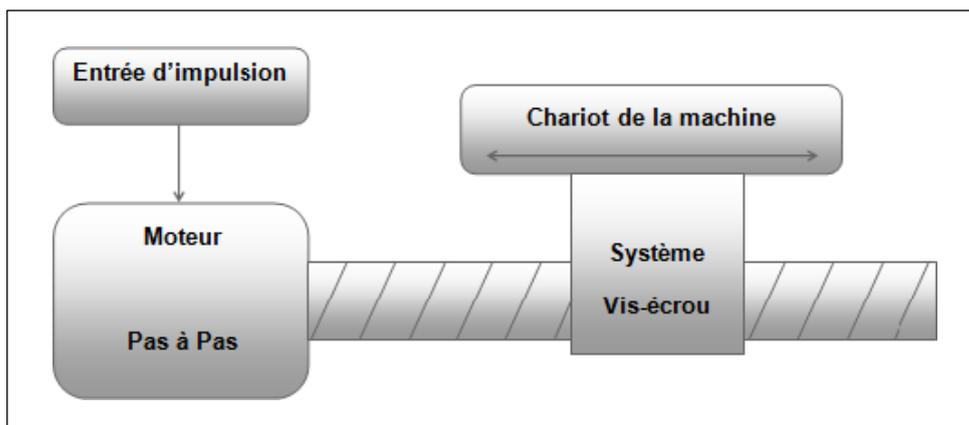


Figure I.3 : Fonctionnement en boucle ouverte. [8]

b. Fonctionnement avec commande adaptative

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

La figure.4 illustre le fonctionnement de la commande adaptative

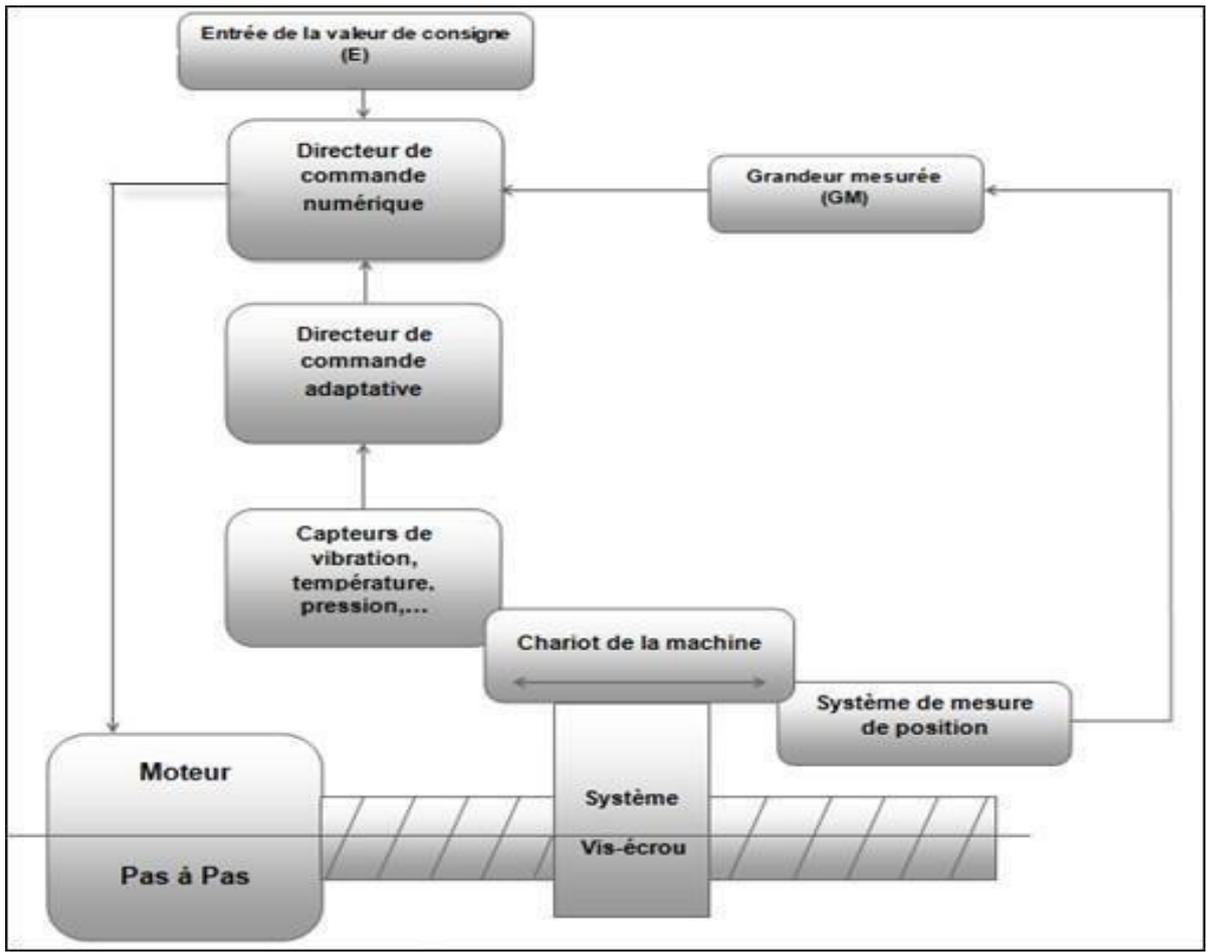
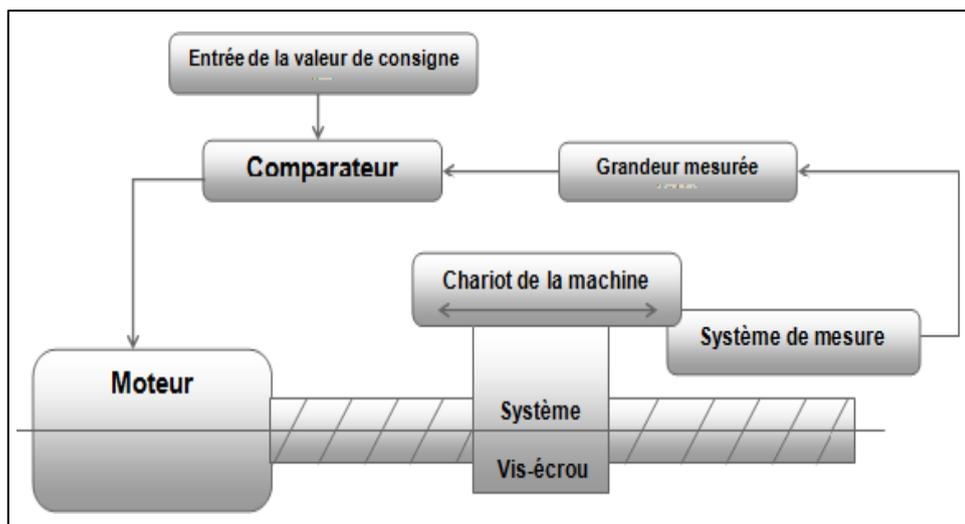


Figure I.4 : Commande adaptative. [8]

c. Fonctionnement en boucle fermé

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des



grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm).comme illustre la figure.5

Figure I.5: Commande en boucle fermée. [8]

I.2.6.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axe

Les possibilités de travail des MOCN s'expriment en nombre d'axes de travail.

Un axe définit toute direction principale suivant laquelle le mouvement relatif de l'outil et de la pièce a lieu lorsqu'un seul des moteurs de déplacement fonctionne avec contrôle numérique continue.

Un demi-axe définit la direction dans laquelle l'avance n'est pas contrôlable numériquement mais contrôle par pistes, cames ou plateaux diviseurs.

I.2.6.3. Classification des MOCN selon le mode d'usinage

Selon le mode d'usinage on peut classer les MOCN en trois catégories :

- ✓ Commande numérique point à point
- ✓ Commande numérique paraxiale
- ✓ Commande numérique de contournage

- **Commande numérique *point à point***

C'est la mise position de l'outil ou de la pièce Par déplacements non synchronisés. Le Mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement. Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

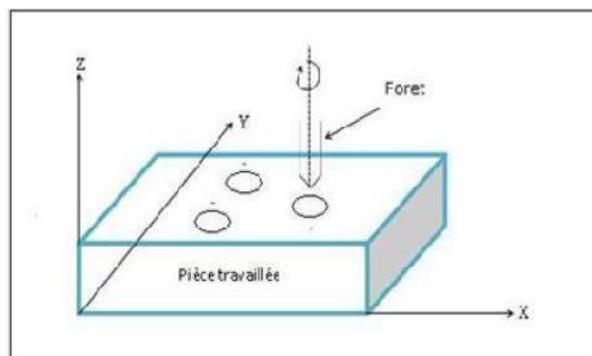


Figure I.6: Commande Numérique point à point. [8]

- **Commande numérique paraxiale**

Ce sont des déplacements parallèles aux axes avec les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir un usinage

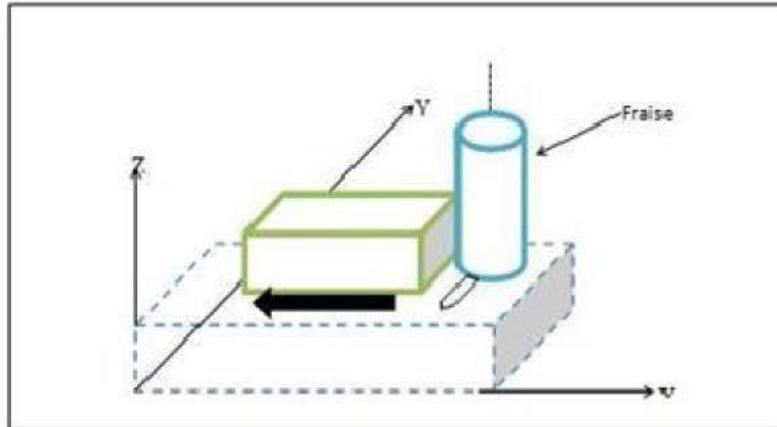
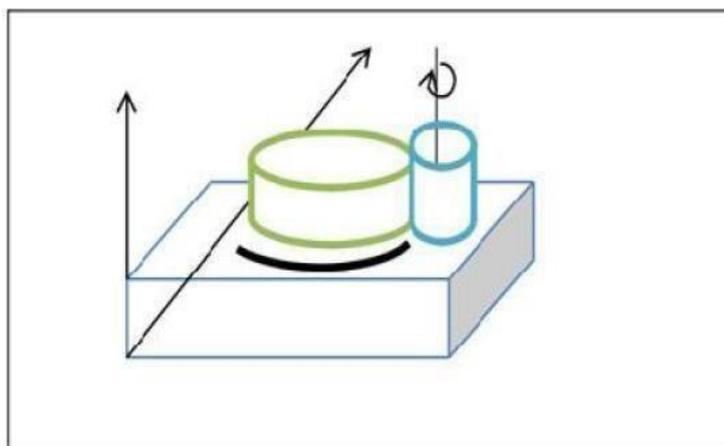


Figure I.7 : Commande par axiale. [8]

- **Commande numérique de contournage**

Ce sont des déplacements synchronisés des divers axes avec la vitesse d'avance programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans.

Exemples d'opération d'usinage : toute opération possible sur un centre de tournage ou Centre d'usinage.



I.2.7. Les différentes origines des MOCN

Le tableau ci-dessous résume les différentes origines des MOCN. Origines utilisées dans des MOCN. [4]

Tableau 1 : Origines utilisées dans des MOCN.

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

La figure suivante représente la répartition des origines en tournage et en fraisage.

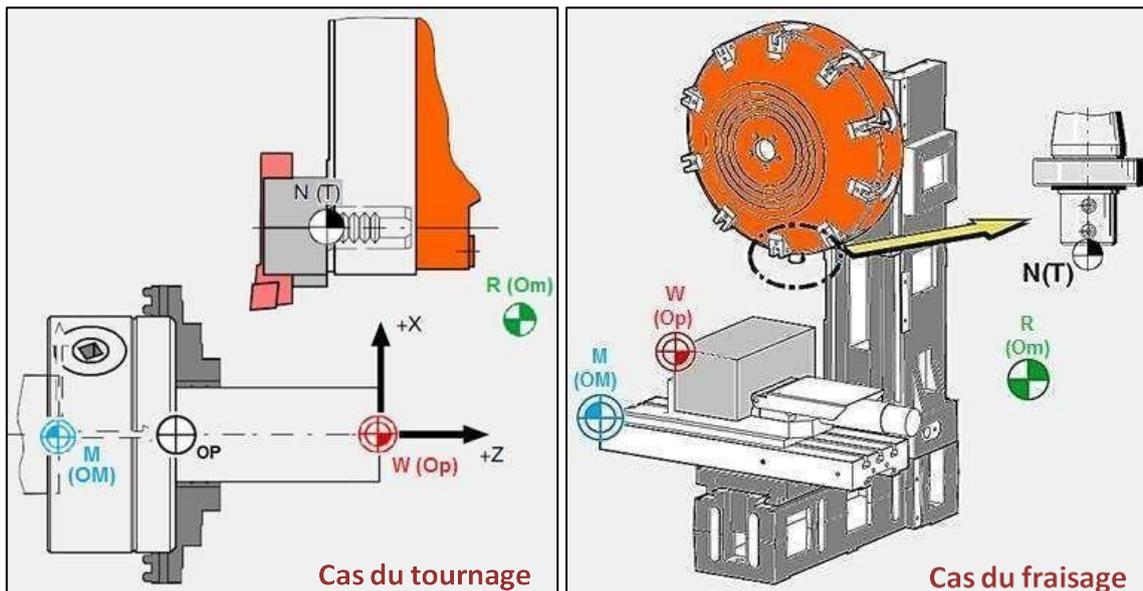


Figure I.9 : Représentation des origines. [4]

I.2.8. Décalage et géométrie d'outil

Dans l'espace de travail d'une MOCN. Sont définis différents points de référence. Ces points sont nécessaires pour le pré réglage et la programmation de la machine. Nous présenterons les différents points ainsi que leur positionnement dans l'espace de travail D'une MOCN. [9]

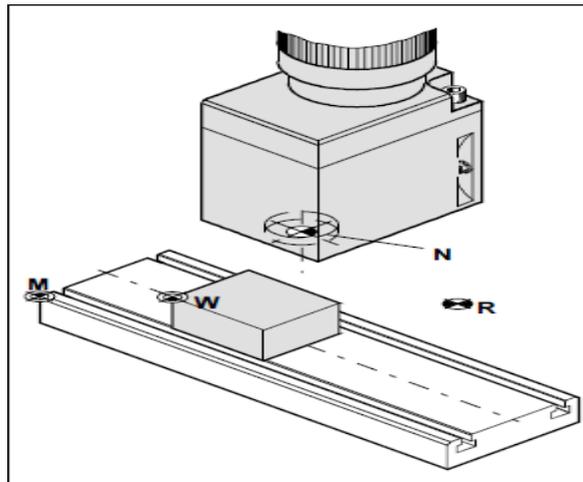


Figure I.10 : Point de référence dans le volume d'usinage don le cas fraisage. [9]

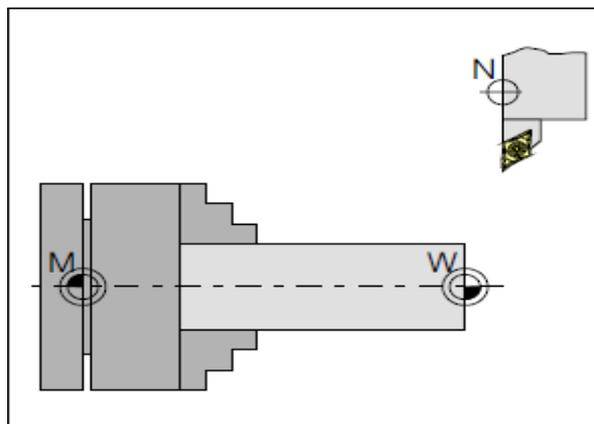


Figure I.11 : Point de référence dans le volume d'usinage don le cas tournage. [9]

I.2.8.1. 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.

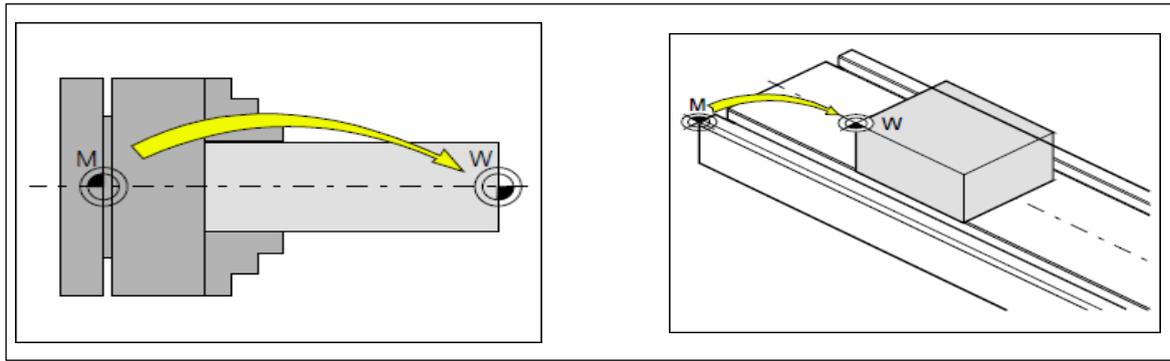


Figure I.12 : Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et fraisage. [9]

I.2.8.2. 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 (figure.). 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.

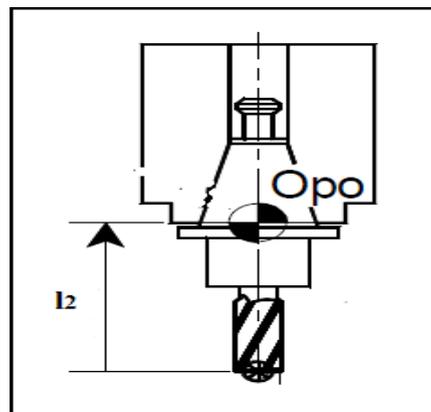


Figure I.13 : Longueur d'une fraise. [3]

➤ 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..

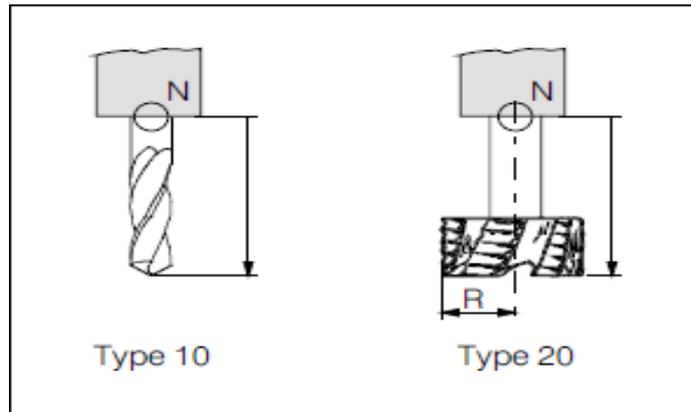


Figure I.14: Type de l'outil (cas de fraisage). [4]

➤ **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.15

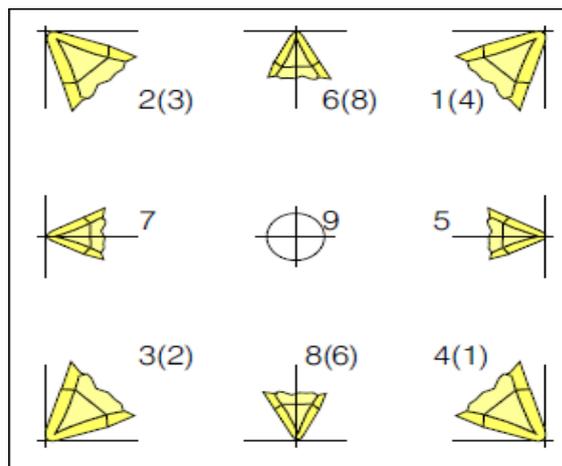


Figure I.15 : Position du bec des outils. [4]

I.2.8.3. Systèmes d'axes

Les déplacements de l'outil ou du porte-pièce s'effectuent par combinaisons de translations et/ou de rotation.

Chaque mouvement élémentaire (axe) est repéré par une lettre affectée du signe + ou - indiquant le sens du déplacement. [3]

- **Les translations primaires** s'effectuent suivant les axes **X, Y, Z** formant ainsi le trièdre de référence.
- **Les rotations primaires** sont les trois rotations **A, B, C** autour de ces trois axes.

L'axe Z : est celui de la broche.

- **Les translations primaires (U, V, W)** sont parallèles à X, Y et Z

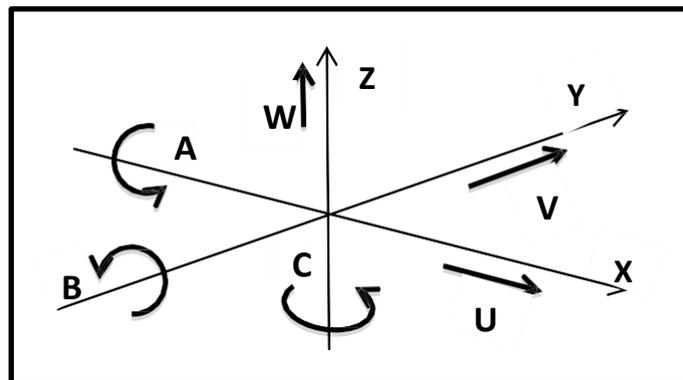


Figure I.16 : Systèmes d'axes. [4]

La figure ci-dessous montre un exemple d'un centre d'usinage à cinq axes.

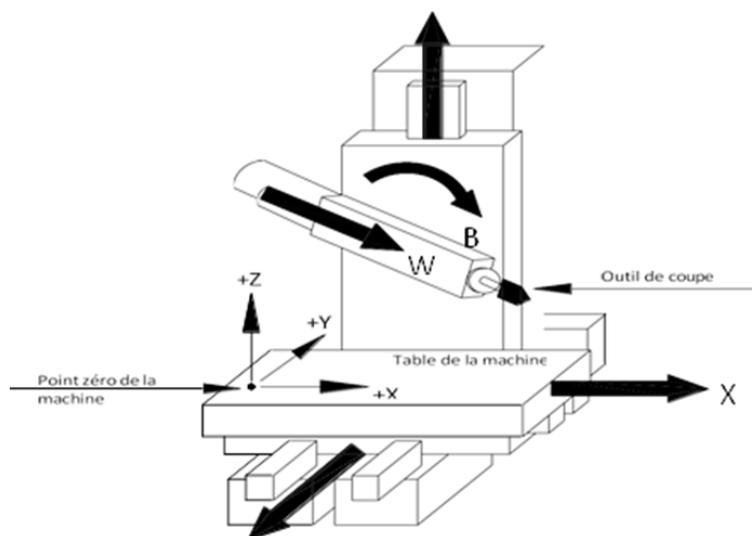


Figure I.17 : Fraisage à cinq axes. [4]

I.2.9. Programmation Des MOCN

I.2.9.1. Syntaxe

Un programme est constitué de lignes appelées **blocs**. Un bloc correspond aux instructions relatives à une séquence d'usinage.

Chaque bloc est composé d'une suite de **mots**. Un mot est un ensemble de caractères alphanumériques. [3]

I.2.9.2. Différentes fonctions des adresses

Le tableau ci-dessous regroupe les adresses des MOCN utilisées : Adresses utilisées. [4]

Tableau 2 : les adresses des MOCN

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

I.2.9.3. Les principales fonctions

Tableau 3 : Les fonctions préparatoires G

COMMAND	Description
G00	Avance rapide en coordonnées cartésiennes (la vitesse rapide est programmée par le constructeur).
G01	Interpolation linéaire en coordonnées cartésiennes.
G02	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées cartésiennes.

G03	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire (trigonométrique) en coordonnées cartésiennes.
G04	Temporisation.
G09	Arrêt précis.
G10	Avance rapide en coordonnées polaires.
G11	Interpolation linéaire en coordonnées polaires
G12	Interpolation circulaire dans le sens horaire en coordonnées polaires.
G13	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire en coordonnées polaires.
G16	Sélection du plan.
G17	Sélection du plan.
G18	Sélection du plan.
G33	Filetage.
G40	Suppression compensation du rayon d'outil (plaquette en tournage).
G 41	Compensation du rayon d'outil à gauche
G 42	Compensation du rayon d'outil à droite.
G 48	Retrait du contour de la manière dont s'est opérée l'approche.
G 50	Suppression modification de l'échelle.
G 51	Sélection modification de l'échelle.
G 53	Suppression du décalage d'origine.
G 54 à G 57	Décalage d'origine.
G 58 et G59	Décalage d'origines additives, programmables.
G 60	Mode d'arrêt précis.
G 62,63	Suppression du mode d'arrêt précis.
G71	Indication de cotes en millimètre.
G90	Programmation en cotes absolues.
G 91	Programmation en cotes relatives.
G 92	Limitation de vitesse pour G96.
G 94	Avance par minute, vitesse d'avance A en mm/mn.
G 95	Avance par tour (f) en mm/tr.
G 96	Vitesse de coupe (m/mn).
G 97	Vitesse constante.
G 147	Accostage linéaire en douceur du contour.
G 247	Accostage en douceur du contour selon un quart de cercle.
G 347	Accostage en douceur du contour selon un demi-cercle.
G 148	Retrait linéaire en douceur.

Tableau 4 : Les Fonctions auxiliaires logiques M

M00	Arrêt programmé.
M01	Arrêt optionnel.
M02	Fin de programme pièce.
M03	Rotation de broche sens anti-trigonométrique.

M04	Rotation de broche sens trigonométrique.
M05*	Arrêt de broche.
M06	Changement d'outil.
M07	Arrosage n°2.
M08	Arrosage n° 1.
M09*	Arrêt des arrosages.
M10	Blocage d'axe.
M11	Débloccage d'axe.
M19	Indexation broche.

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

I.2.10 Comparaison de la MO commande numérique avec les machines classiques.

Afin de comparer les MO à commande numérique avec celles classiques, on doit fixer des critères :

I.2.10.1 Par rapport à la structure et les caractéristiques

- Les fonctions remplies sont les mêmes qu'une MO conventionnelle ;
- Positionner et maintenir la pièce ;
- Positionner et maintenir l'outil ;
- Assurer les mouvements relatifs entre l'outil et la pièce.
- La qualité mécanique générale de ces machines est de beaucoup supérieure aux MO conventionnelles ;
- Motorisation plus puissante ;
- Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue, capable

d'encaisser des accélérations et des décélérations importantes ;

- Commande des chariots par vis à billes avec rattrapage automatique du jeu ;
- Glissières sans frottements utilisant des galets, des billes, lubrification hydrostatique et des garnitures rapportées ;
- Bâtis largement dimensionnés, très rigides avec un excellent amortissement.

I.2.10.2 Par rapport aux caractéristiques principales

- Puissance et vitesse élevées ;
- Robuste et bonne résistance à l'usure ;
- Déplacement rapide, précis, accélérations et décélérations très élevées ;
- Spécifications métrologiques très serrées ;
- Frottements et jeux très faibles ;
- Peu de vibrations ;
- Faible échauffement.

I.2.10.3 Par rapport à la commande

- Commande souple : le calculateur a la possibilité de mémoriser les instructions de commande et les informations relatives à la pièce et de les réutiliser autant de fois. Par contre, la commande des machines conventionnelles est rigide. Elle est assurée par des mécanismes mécaniques tels que les baladeurs, les cames, les embrayages, etc.

I.2.11 Avantages des machines CNC

- Amélioration de la précision dimensionnelle.
- Amélioration de l'état de surface.
- Possibilité de produire un grand nombre de pièces identiques en un temps réduit.
- Usinage de forme quelconque.
- Changement de production plus facile.

I.2.12 Inconvénients des machines CNC

- Prix de la machine.
- Coût horaire plus élevé.

- Moins de tolérance aux erreurs.
- Environnement plus contrôlé à cause des systèmes électroniques et de la précision supérieure

I.3 Les principales opérations d'usinage

L'usinage par enlèvement de matière est réalisé toujours en regroupant les opérations par catégorie. On distingue 4 classes importantes en usinage traditionnel :

- Le tournage,
- Le fraisage,
- Le perçage-alésage-taraudage
- La rectification.

I.3.1 Les principales opérations de tournage

Lors du tournage, les outils ne possèdent qu'une seule arête tranchante, dont l'engagement dans la matière entraîne la coupe de celle-ci. Le mouvement de l'outil se fait selon une ou deux directions principales de travail, en fonction de l'angle de direction de l'arête de coupe K_r . Si cet angle est droit, seul un déplacement sera possible ; en revanche, lorsque l'angle est inférieur, l'outil peut être utilisé pour travailler dans les deux sens, longitudinal et transversal, selon les déplacements autorisés par la machine.

Le mouvement de coupe M_c est effectué par la pièce, qui est fixée dans un porte-pièce appelé mandrin. Des opérations de tournage extérieur et intérieur peuvent être réalisées.

La figure suivante illustre les différentes opérations d'usinage possibles sur des machines- outils de type tour.

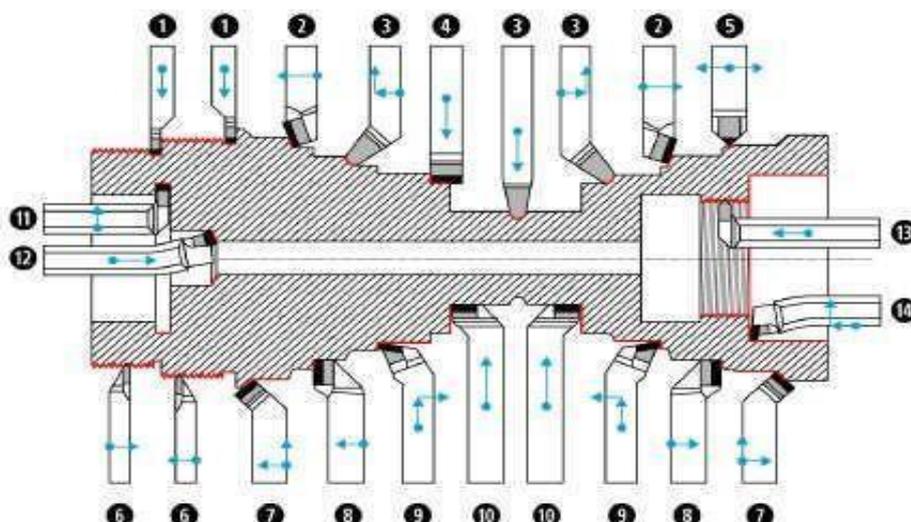


Figure I.18 : Différentes opérations d'usinage. [7]

I.3.2 Les principales opérations de fraisage

En fraisage, les outils possèdent plusieurs arêtes tranchantes. Contrairement au tournage, où le déplacement selon les axes principaux de la machine (trois directions de travail) est effectué par l'outil, en fraisage, c'est la pièce, fixée dans un porte-pièce appelé étau, qui se déplace. Le mouvement de coupe M_c est assuré par l'outil. La figure suivante présente les différentes opérations d'usinage pouvant être réalisées sur des machines-outils de type fraiseuse. [10]

No. outil	Désignation outil
1	Outil à saigner
2	Outil à charioter droit
3	Outil à retoucher
4	Outil pelle
5	Outil à retoucher
6	Outil à fileter (extérieur)
7	Outil à charioter coudé
8	Outil coupeau
9	Outil à dresser d'angle
10	Outil à dresser les faces
11	Outil à chambrer
12	Outil à aléser
13	Outil à fileter (intérieur)
14	Outil à aléser et dresser

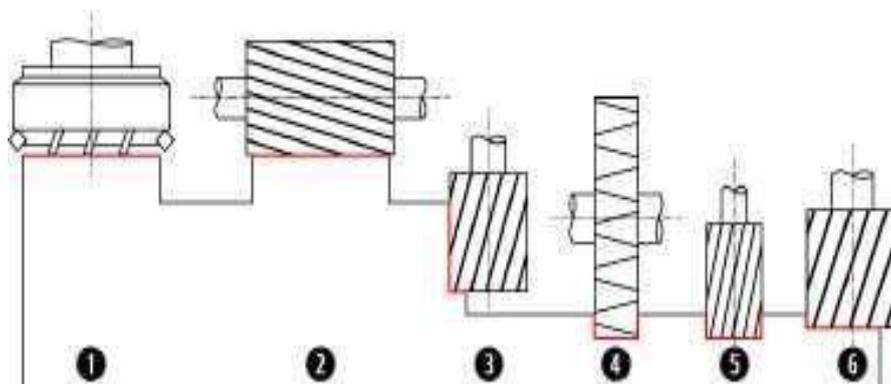


Figure I.19 : Les différentes opérations d'usinage pouvant être réalisées sur des machines-outils de type fraiseuse. [10]

No. outil	Désignation outil
1	Surfaçage de face
2	Surfaçage de profil
3	Surfaçage - dressage prédominant profil
4	Rainurage 3 tailles
5	Rainurage 2 tailles
6	Surfaçage - dressage prédominant face

Une fraise peut travailler respectivement :

- **En roulant**, on appelle cette catégorie d'opérations fraisage de profil, la surface à réaliser est parallèle à l'axe de la fraise. On travaille soit en opposition soit en avalant (concordance)

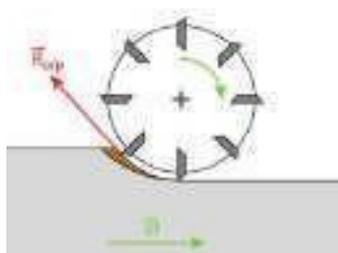


Figure I.20 : Fraisage en roulant travail en opposition. [7]

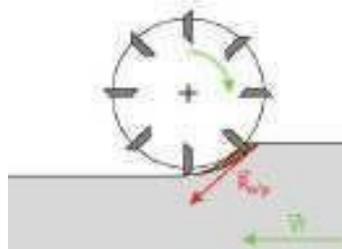


Figure I.21 : Fraisage en roulant travail en avalant.

- **En bout**, on appelle cette catégorie d'opérations fraisage de face. Pour ce type d'usinage la surface à réaliser est perpendiculaire à l'axe de la fraise. Comme pour le fraisage en roulant, le fraisage en bout peut être réalisé en opposition ou en avalant.

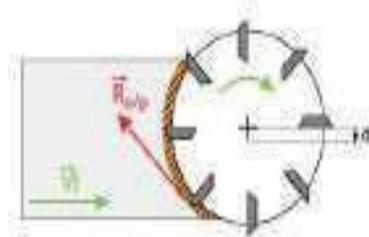


Figure I.22 : Fraisage en bout travail en opposition. [10]

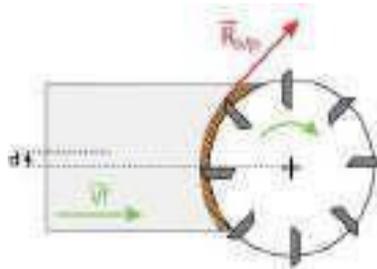


Figure I.23 : Fraisage en bout travail en avalant. [10]

I.3.3 Les principales opérations de perçage

Lors du perçage, l'outil appelé foret possède trois arêtes, dont les deux lèvres frontales génèrent la formation des copeaux. Le déplacement de l'outil se fait suivant l'axe longitudinal de la machine lorsqu'on travaille sur un tour, et suivant l'axe vertical lorsqu'on utilise une perceuse à colonne.

L'outil réalise respectivement un mouvement d'avance (tournage) et de coupe, M_c , dans le cadre classique du travail sur des machines spécifiques.

L'alésage consiste à calibrer un trou, qu'il soit brut ou déjà percé au foret. En plus des alésoirs traditionnels, on utilise aussi des grains d'alésage, qui ont l'avantage de permettre un réglage précis du diamètre de travail.

Le taraudage, quant à lui, est une opération d'usinage permettant de créer des filets à l'intérieur de surfaces cylindriques. Les tarauds fonctionnent soit par déformation, soit

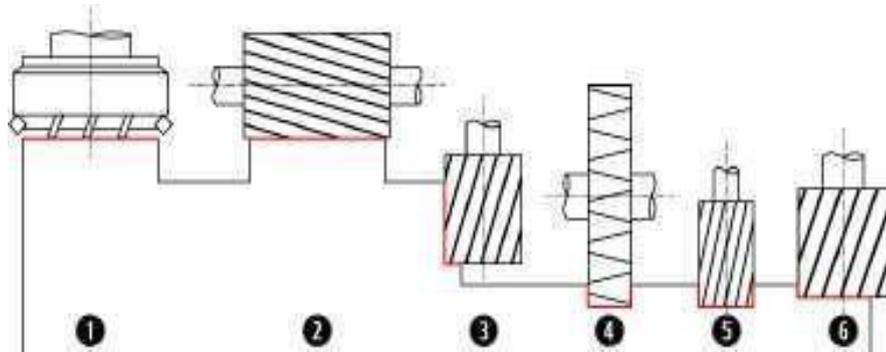


Figure I.24 : les différentes opérations de perçage. [10]

No. outil	Désignation outil
1	Perçage
2	Lamage
3	Chanfreinage
4	Centrage
5	Perçage étagé
6	Alésage
7	Taraudage

I.3.4 Les principales opérations de rectification

La rectification est un procédé d'usinage à grande vitesse, utilisant l'abrasion pour travailler les surfaces des pièces à l'aide de cristaux coupants. Il s'agit d'une opération de finition qui permet de générer des surfaces cylindriques et planes de deux manières :

- Par balayage de la surface avec la meule (travail d'enveloppe)
- Par plongée, soit à l'extérieur de la pièce ou dans la matière, soit directement dans la pièce (travail de forme).

La fixation et le maintien de la pièce se font à l'aide de moyens classiques tels que mandrins, étaux, pinces, etc., ou bien par des outillages spéciaux, voire par des tables (plateaux) magnétiques. [10]

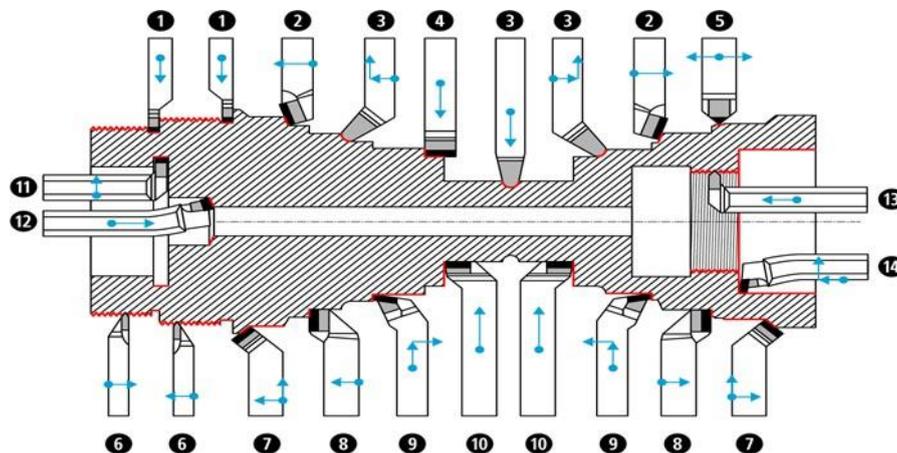


Figure I.25 : les différentes opérations de rectification. [10]

Tableau 5 : Les principales opérations de rectification

No. Opération	Désignation
1	Rectification cylindrique extérieure
2	Rectification conique extérieure
3	Rectification en plongée et épaulement droit
4	Rectification cylindrique intérieure
5	Rectification conique intérieure
6	Rectification de forme intérieure
7	Rectification d'angle par meule conique
8	Rectification extérieure sans centres
9	Rectification intérieure sans centres
10	Rectification plane par meule tangentielle
11	Rectification plane par meule boisseau
12	Rectification plane par meule boisseau
13	Rectification plane sur plateau rotatif
14	Rectification d'angle
15	Rectification de forme
16	Rectification plane extérieure
17	Rectification d'une rainure intérieure
18	Rectification sphérique
19	Rectification hélicoïdale

I.4 Conclusion

Ce chapitre présente les bases des machines-outils à commande numérique (MOCN). Il définit la commande numérique comme un système automatisé piloté par programme.

Les machines CNC sont décrites comme précises, rapides et adaptées aux tâches complexes. Leur architecture et leurs domaines d'application (aéronautique, médical, etc.) sont abordés. On y distingue plusieurs types de machines : fraiseuses, tours, centres d'usinage. La notion d'origine (machine, pièce, outil) est expliquée pour une programmation correcte. L'importance du langage G-code pour diriger les mouvements est mise en avant. Les avantages par rapport aux machines classiques sont soulignés (précision, productivité). Mais des limites existent, comme le coût et la complexité de la maintenance. Enfin, les principales opérations de tournage en CNC sont brièvement présentées.

Chapitre II

Etude de la démarche de la fabrication De la pièce

II.1 Introduction

Ce chapitre décrira successivement les caractéristiques de la machine CNC utilisée, les propriétés du XC38, les outils de coupe mis en œuvre, ainsi que les différentes étapes de fabrication de la pièce. Une description des logiciels utilisés SOLIDWORKS et CAMWORKS ont été présenté.

II.2 Rôle de la pièce finie et son fonctionnement (croisillon)

En mécanique, un croisillon (souvent appelé aussi croisillon de cardan ou croisillon de transmission) est une pièce en forme de croix qui permet de transmettre le couple et le mouvement entre deux arbres en rotation qui ne sont pas parfaitement alignés. La fonction principale d'un croisillon est d'absorber les déformations et de compenser les variations d'angle entre les deux arbres, assurant ainsi une transmission de puissance fluide et continue.



Figure II.1 : pièce finis

II.3 Matériau de la pièce à usiner

L'acier utilisé pour la simulation (selon la norme AFNOR XC38 également appelé C35E ou 1.1181 selon les normes européennes) est un acier non allié à teneur moyenne en carbone, , répond à des exigences spécifiques en termes de résistance mécanique, d'usinabilité et de capacité à subir des traitements thermiques. Il est largement utilisé dans la fabrication de pièces mécaniques sollicitées modérément (arbres, axes, engrenages, etc.) Il est aussi utilisé fréquent dans les pièces soumises à des efforts modérés et nécessitant une bonne tenue à l'usure, ce qui en fait un matériau pertinent pour la fabrication d'un croisillon.

✚ Les caractéristiques du matériau utilisé

a) Propriétés mécaniques et technologiques

Propriété	Valeur approximative	Propriété	Détail / Évaluation
Limite d'élasticité (Re)	250 à 300 MPa	Usinabilité	Bonne
Résistance à la traction (Rm)	500 à 700 MPa	Soudabilité	Moyenne (prévoir un préchauffage)
Allongement à la rupture (A%)	~ 16 à 20 %	Trempabilité	Faible à moyenne (traitement en surface possible)
Dureté (Brinell)	~ 140 à 190 HB	Forgeabilité	Bonne entre 850 et 1200°C
Résilience (à 20°C)	Moyenne (~ 30–40 J)	Traitements thermiques	Revenu, trempé, normalisation

b) Composition chimique (indicative)

Élément	Teneur (%)
Carbone (C)	~ 0,35–0,38
Manganèse (Mn)	~ 0,60–0,90
Phosphore (P)	≤ 0,035
Soufre (S)	≤ 0,035

c) Domaine d'utilisation :

- Pièces mécaniques peu sollicitées
- Arbres de transmission
- Axes, boulons, écrous, pièces forgées

d) Avantages et limites :

Avantages	Inconvénients
Bon compromis entre résistance et usinabilité	Mauvaise tenue à la corrosion (non inoxydable)
Coût faible	Faible trempabilité en profondeur
Facilement disponible	Sensible aux chocs violents (fragile à froid)

II.4 Matériels utilisés

II.4.1 Machine-outil

La DMC 1450V est un centre d'usinage vertical CNC (Commande Numérique par Calculateur) fabriqué par DMG MORI, destiné à l'usinage de pièces complexes avec une grande précision. Cette machine opère principalement sur 3 axes (X, Y, Z), permettant des opérations telles que le fraisage, le perçage, le taraudage et le surfaçage sur des pièces métalliques ou plastiques de grande dimension.

Elle est utilisée dans des secteurs tels que :

- L'automobile
- L'aéronautique
- La fabrication de moules et outillages
- La mécanique de précision

✓ Points forts :

- Précision élevée : grâce aux systèmes de mesure directe et au refroidissement actif des composants critiques.
- Grande capacité de charge : permet d'usiner des pièces lourdes jusqu'à 2 000 kg.
- Polyvalence : convient à une large gamme d'applications grâce à sa configuration robuste et à son large éventail d'options.
- Fiabilité : conçue pour offrir une grande stabilité thermique et mécanique, assurant une précision constante sur de longues périodes.



Figure II.2 : machine utilisée**II.4.2 Outil de coupe utilisé**

- **Outil à charioté**

La plaquette de coupe utilisée est amovible de forme triangulaire (figure II.2) à fixation par trou de centre.

**Figure II.3** : Outil à charioté

- **Outil à surfacer**

Fraise de surfacage a plaquette amovible de forme carrée (figure II.3) à fixation par trou de centre.

**Figure II.4** : Fraise de surfacage diamètre 50mm

- **Fraise d'alésage diamètre 8mm**



Figure II.5 : Fraise diamètre 8mm

- **Fraise hémisphérique diamètre 6mm**

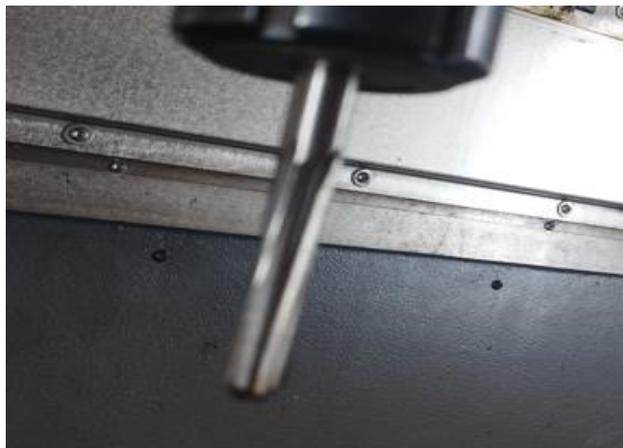


Figure II.6 : Fraise hémisphérique

- **Foret à center**



Figure II.7 : Foret à centrer

- Foret diamètre 10mm pour le perçage



Figure II.8 : foret diamètre 10mm

II.4.3 Porte des outils de coupe

- Centre d'usinage

Par la fixation des outils de coupe que nous avons utilisée pour l'usinage de la pièce on centre d'usinage.



Figure II.9 : Centre d'usinage

II.5 Description du logiciel de modélisation « SOLIDWORKS »

SOLIDWORKS est un modéleur 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.

II.6 Conception de la pièce à usiner sur SolidWorks

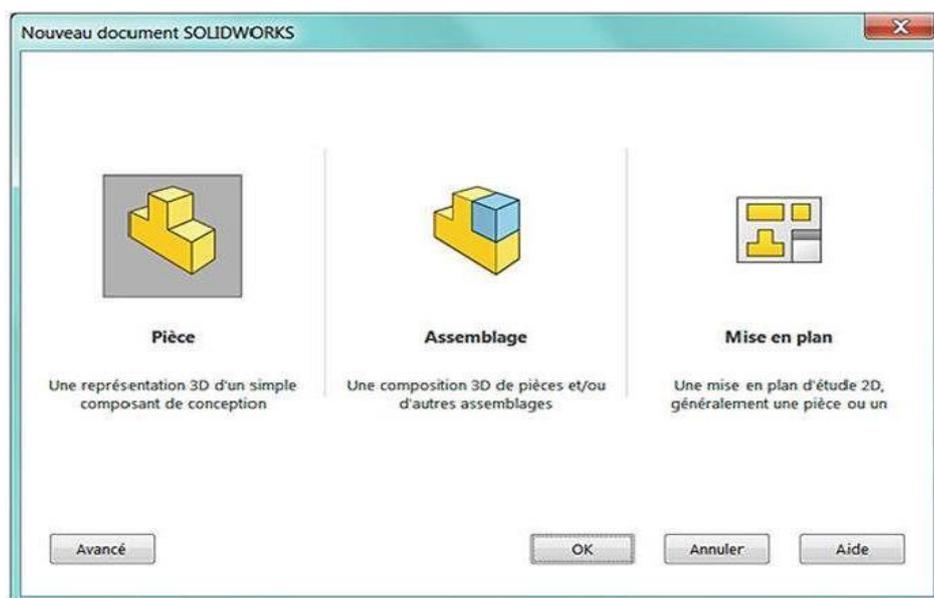
1. Définir le besoin et les contraintes

Avant de commencer SolidWorks :

- Comprendre la fonction de la pièce
- Identifier les contraintes (dimensions, matériaux, etc.)
- Avoir le dessin de définition d la pièce

2. Démarrer un nouveau fichier pièce

- Ouvrir SolidWorks → Fichier > Nouveau > Pièce
- Choisir l'unité de mesure (mm, inch...)



FigureII.10 : L'introduction à l'interface du logiciel SolidWorks

3. Créer une esquisse (Sketch)

- Sélectionner un plan de référence (Face avant, Dessus ou Droite)
- Outil : Esquisse > Esquisse
- Tracer la forme en 2D (ligne, cercle, rectangle, etc.)
- Coter les entités (outil : Cotation intelligente)
- Ajouter des relations géométriques si besoin (horizontal, vertical, égal...)

4. Fonctions 3D : extrusion, révolution, etc.

Une fois l'esquisse terminée :

- Utiliser Fonction > Extrusion Boss/Base pour créer du volume
- Ou Révolution, Balayage, Lissage selon la géométrie souhaitée

5. Ajouter ou retirer de la matière

- Extrusion enlevée, Perçage, Rainure, etc.
- Chaque nouvelle fonction s'appuie sur une nouvelle esquisse
- Ne pas oublier les congés, chanfreins, évidements si nécessaire

6. Contraintes et dimensions

- Vérifier que tout est bien coté (ne pas laisser d'esquisses "sous-définies")
- Utiliser Outils > Vérification pour détecter les conflits ou sur-déterminations

7. Préparer l'assemblage (si besoin)

- Ajouter des plans ou des points de repères pour un futur assemblage
- Définir des axes ou faces pour les contraintes d'assemblage

8. Enregistrer la pièce

- Fichier > Enregistrer sous (.SLDPRT)
- Enregistrer régulièrement pour éviter toute perte

9. Mise en plan (facultatif mais courant)

- Fichier > Nouveau > Mise en plan
- Générer des vues : face, dessus, isométrique, coupe...
- Ajouter cotations, tolérances, matériaux, titre

10. Vérification finale

- Vérifier la pièce dans l'arbre de création
- Analyser avec l'outil Simulation si besoin
- Vérifier l'interférence si en assemblage

II.7 Description du logiciel fabrication de la pièce CAM « SOLIDWORKS »

CAMWorks (Computer Aided Manufacturing Works) est un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO) intégré à SolidWorks (ou Solid Edge), qui permet de générer et simuler des parcours d'outils pour l'usinage CNC (commande numérique par ordinateur).

Étapes principales :

Reconnaissance des entités usinables :

- CAMWorks peut reconnaître automatiquement les entités géométriques comme les poches, les perçages, les surfaces à surfacer, etc.
- Il est aussi possible de définir manuellement les entités à usiner selon les besoins.

Définition du brut :

- Le brut représente le matériau de départ. Il peut être défini automatiquement ou personnalisé (forme, dimensions).
- Cette étape est cruciale pour simuler correctement l'enlèvement de matière.

Choix des opérations d'usinage :

- CAMWorks propose des opérations standards : surfacage, ébauche, finition, perçage, taraudage, etc.
- Chaque opération peut être associée à un outil spécifique (fraise, foret, taraud...).

Sélection des outils de coupe :

- L'utilisateur choisit les outils en fonction du matériau, des dimensions, et des exigences de précision.
- Il peut utiliser une bibliothèque d'outils ou les créer sur mesure.

Définition des conditions de coupe :

- Vitesse de rotation (tr/min), avance, profondeur de passe, etc.
- Ces paramètres influencent fortement la qualité d'usinage et le temps de cycle.

✚ Génération du parcours d'outil :

- CAMWorks génère automatiquement le chemin que suivra l'outil.
- Ce parcours peut être visualisé en simulation 3D pour détecter d'éventuelles collisions ou erreurs.

✚ Simulation de l'usinage :

- Permet de visualiser en temps réel le processus d'usinage sur le brut.
- Elle est utile pour vérifier la conformité de la pièce et la sécurité du programme.

✚ Post-traitement (G-code) :

- Une fois validé, le parcours est converti en code ISO (G-code) compatible avec la machine CNC, ici la **DMC 1450V**.
- Ce fichier est ensuite transféré à la machine pour l'usinage réel.

II.8 Conclusion

Ce chapitre décrit la manière optimale pour produire le croisillon cadran. d'abord on présente le rôle de la pièce dans l'ensemble, la matière dont elle est constitué la planification des opérations, les outils de coupe mis en œuvre, les caractéristiques de la machine CNC utilisée. Une description des logiciels utilisés SOLIDWORKS et CAMWORKS ont été présenté

Chapitre III

Simulation de la Fabrication du croisillon

III.1 Introduction

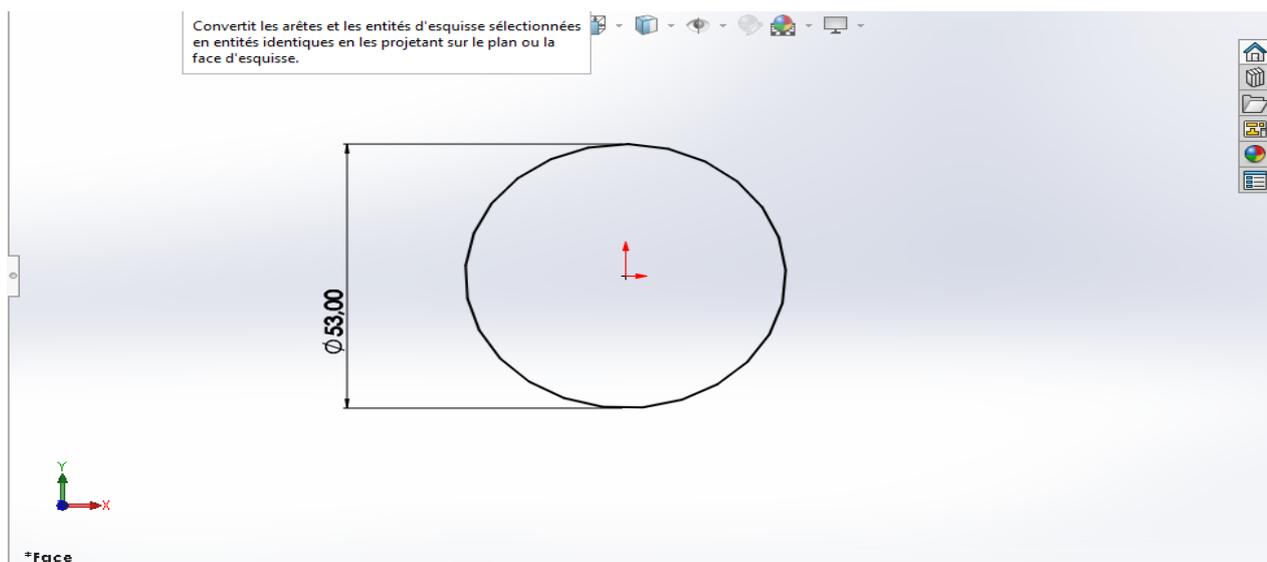
Dans le cadre de la conception et de la fabrication assistées par ordinateur, l'élaboration d'une gamme de fabrication constitue une étape cruciale pour assurer une production efficace et conforme aux exigences techniques de la pièce. Ce chapitre présente les différentes étapes de création de la gamme de fabrication, en s'appuyant sur l'exemple d'un croisillon, une pièce mécanique comportant des formes complexes nécessitant une planification rigoureuse des opérations.

La modélisation initiale est réalisée dans SolidWorks, avant d'être transférée vers CAMWorks, qui permet la définition des opérations d'usinage adaptées. L'objectif est de montrer la transition entre la conception géométrique et la préparation à la fabrication, en mettant en évidence les choix technologiques et les paramétrages nécessaires à chaque étape.

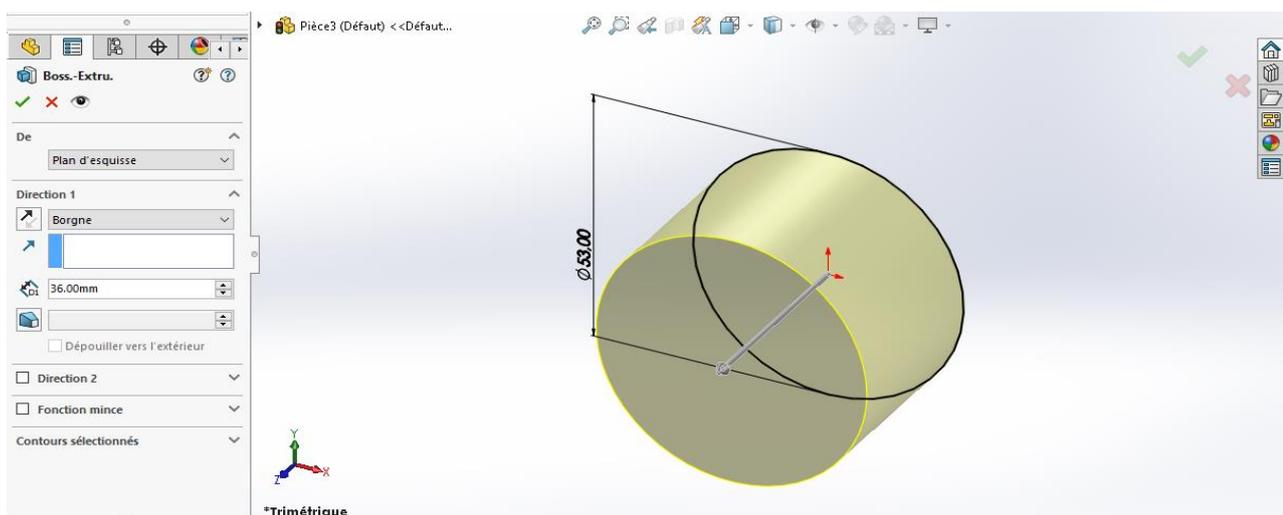
III.2 Etapes d'élaboration de la gamme de fabrication

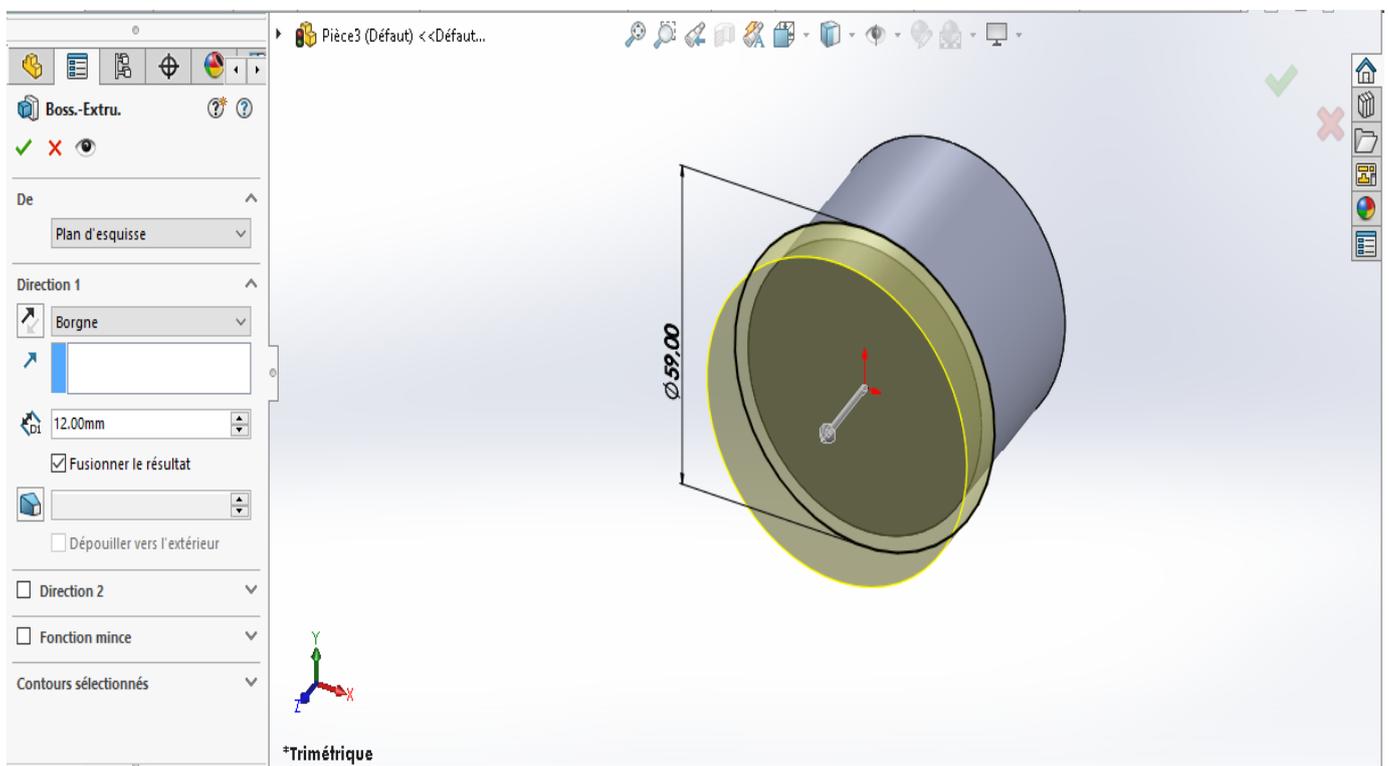
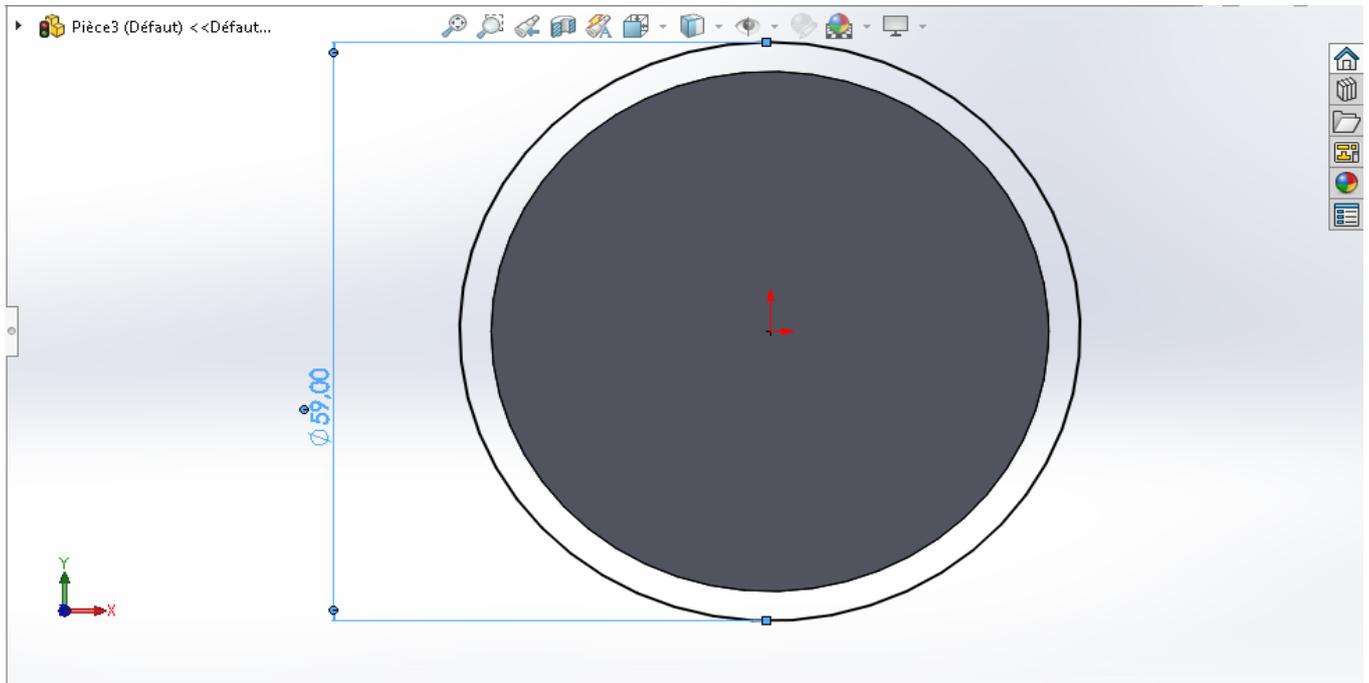
III.2.1 Conception de la pièce sur SolidWork

- **Modélisation du volume cylindrique de base de la pièce mécanique**

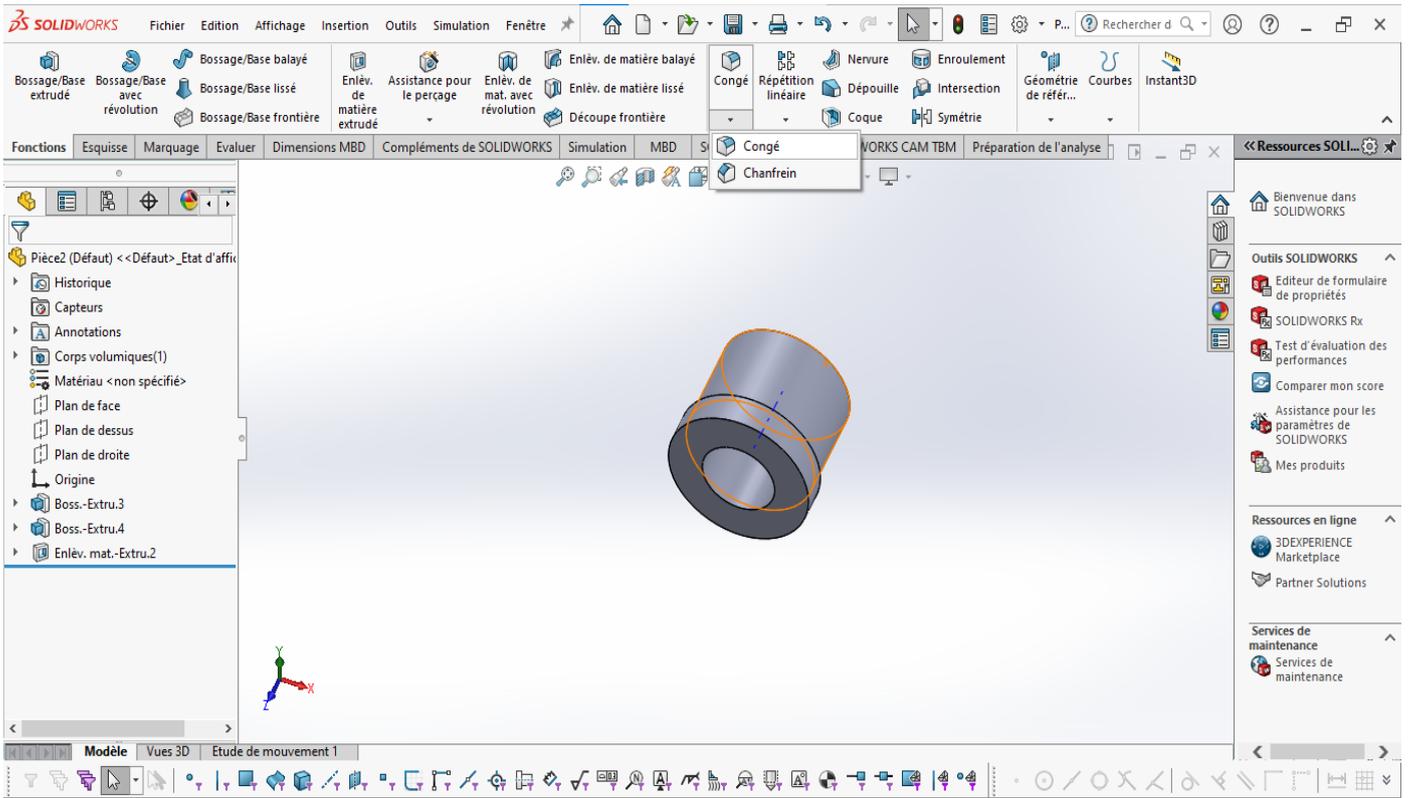


- **Créer le modèle volumique : « fonction » « Base/Bossage extrudé »**

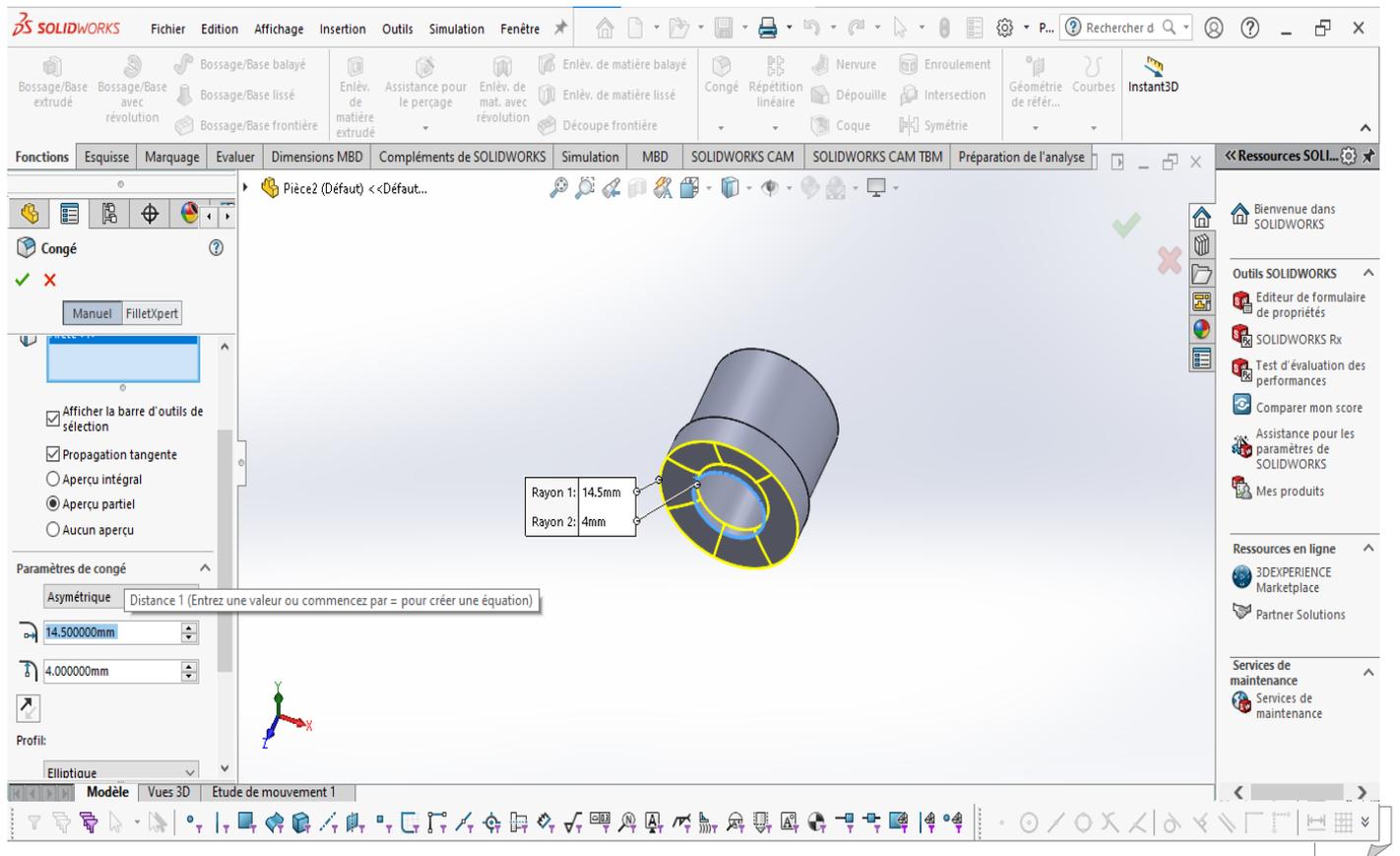


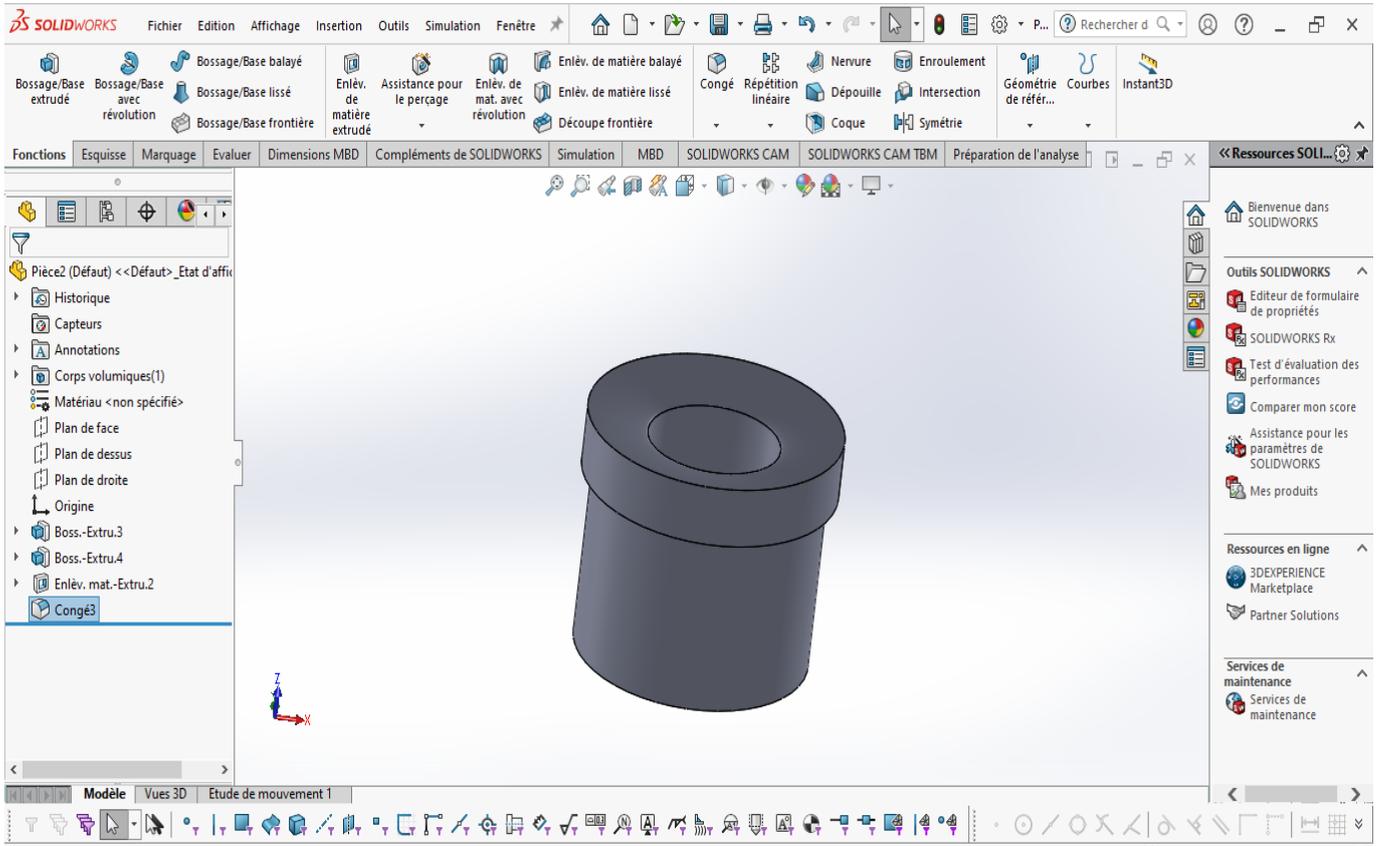


- Créer congé

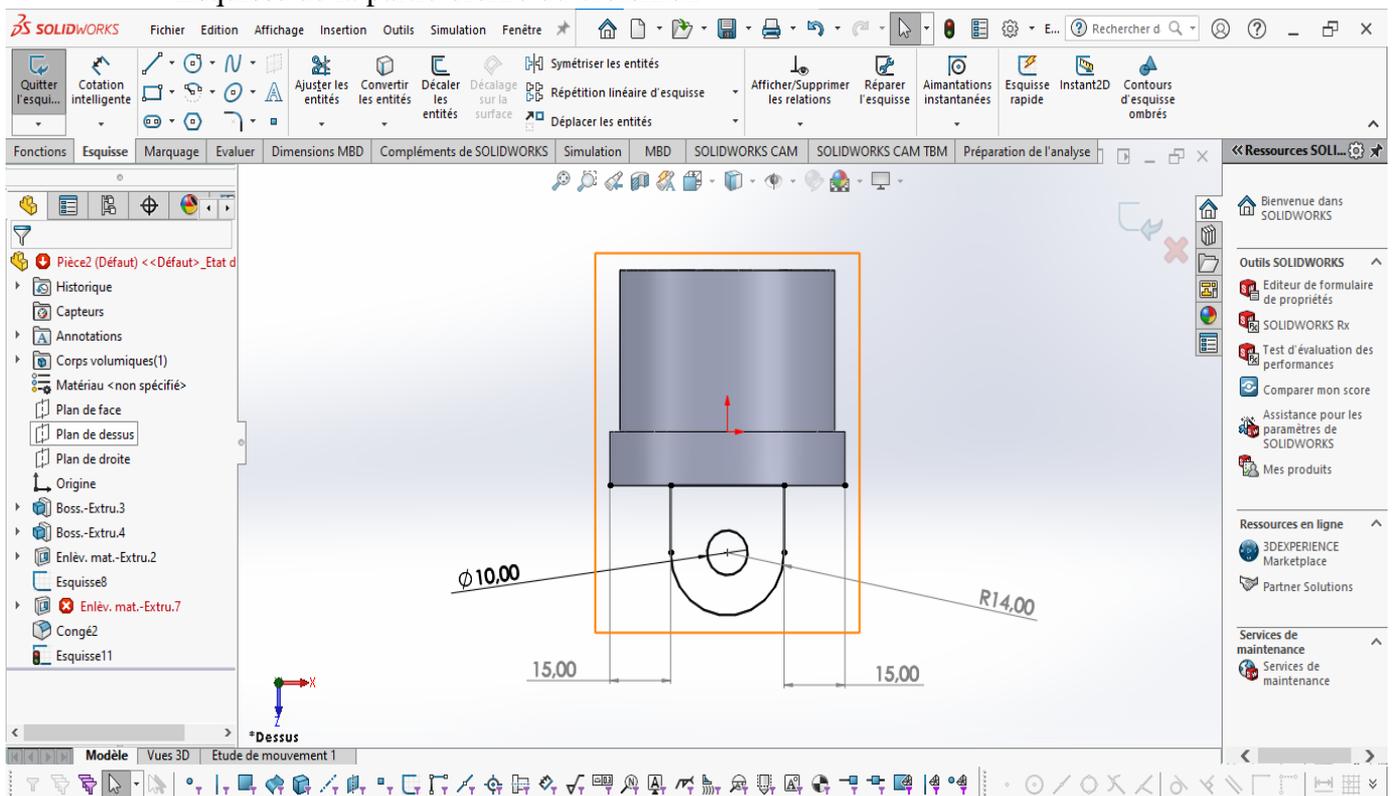


- Réalisation de la forme poche ; enlèvement de matière par extrusion

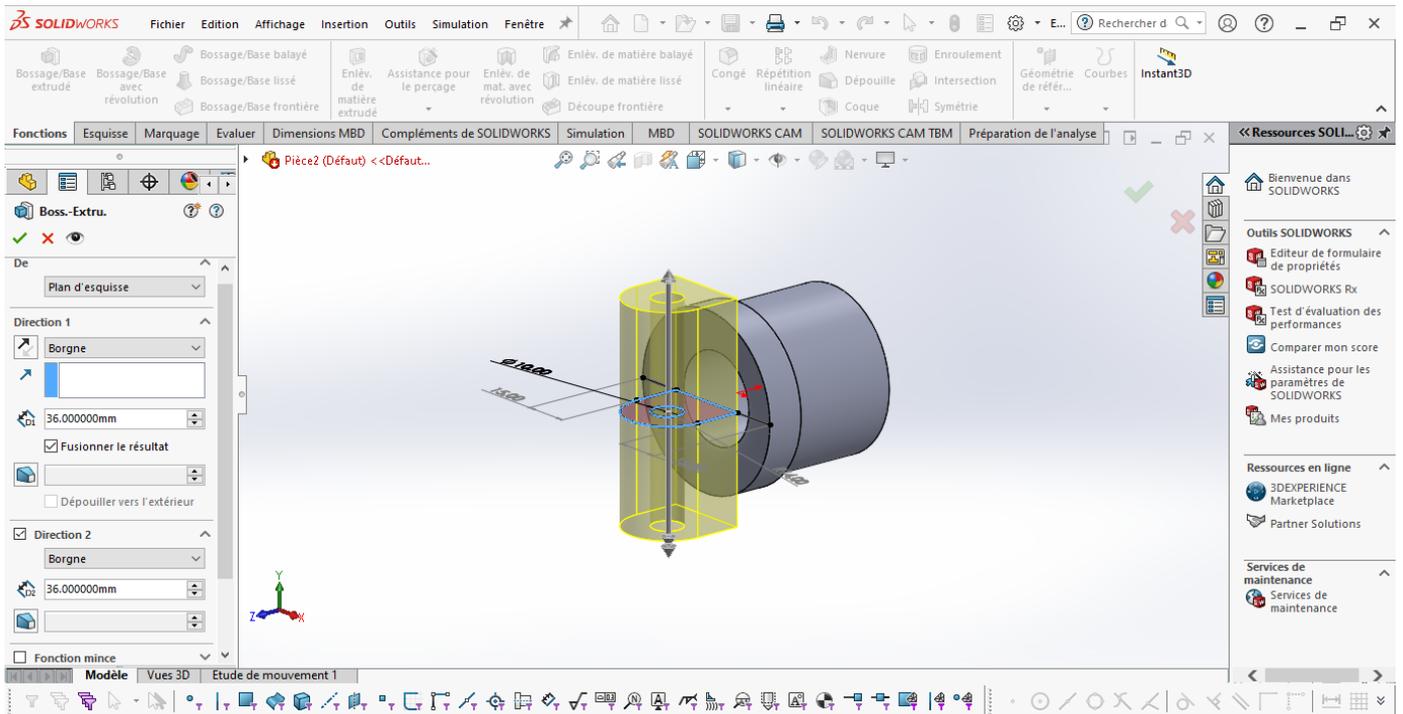




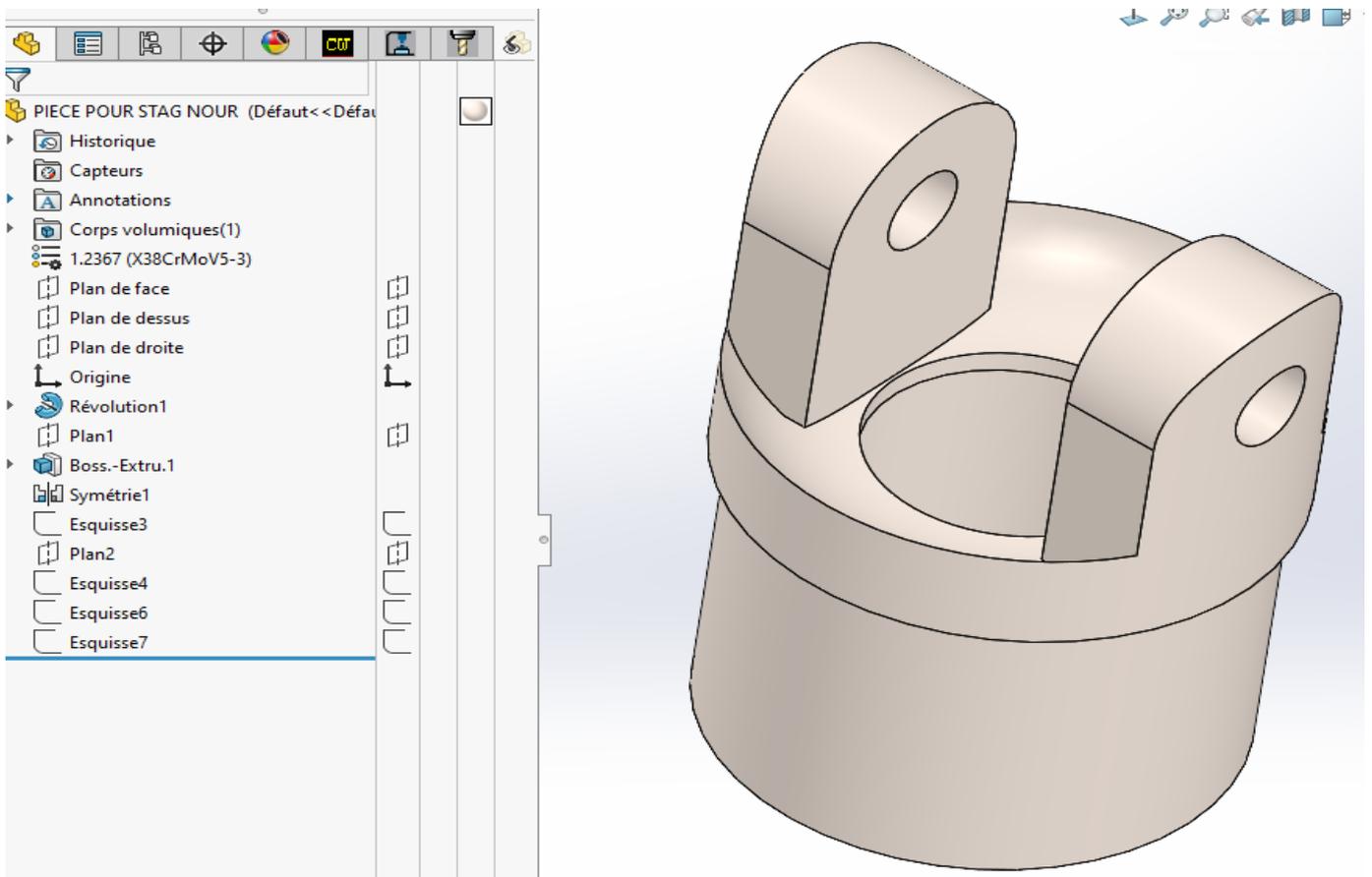
• Esquisse de la partie oreille du croisillon



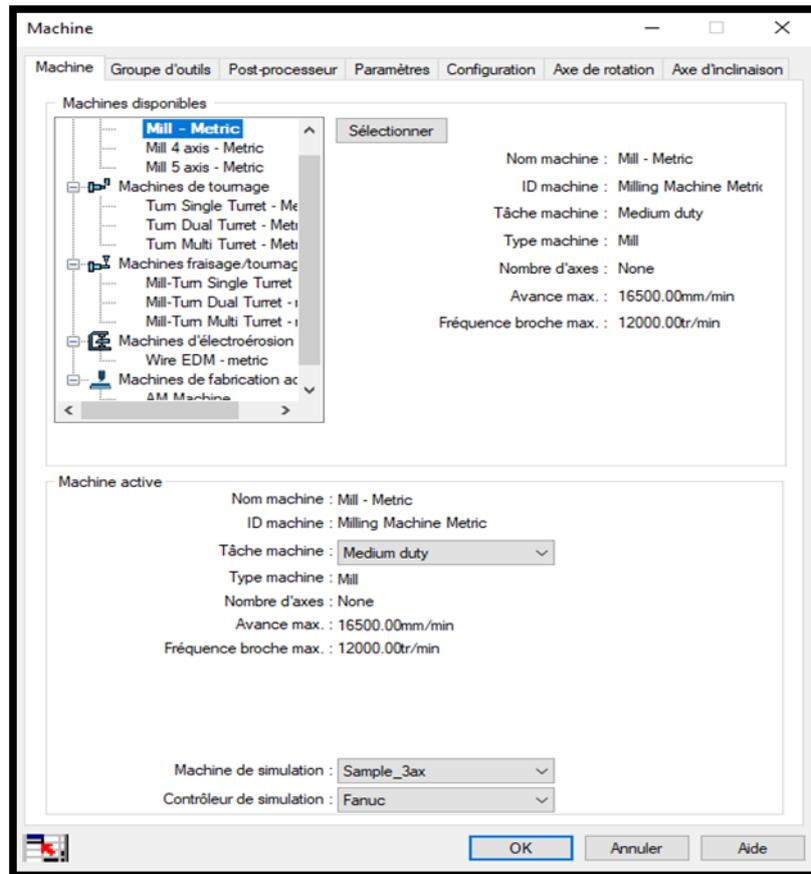
• Bossage extrudé



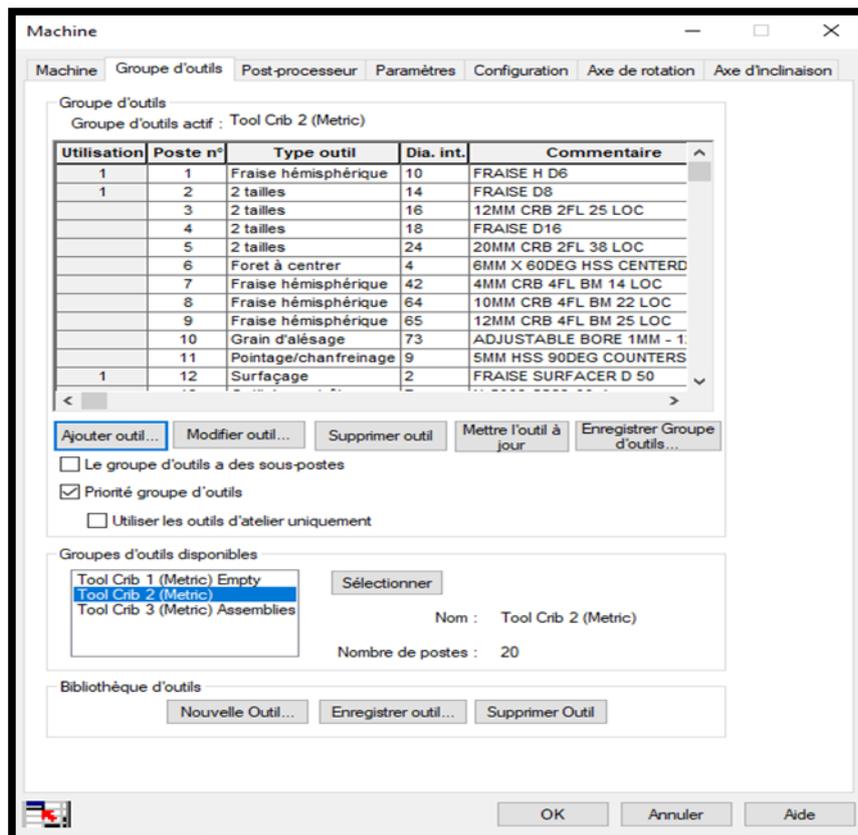
• Croisillon en 3D



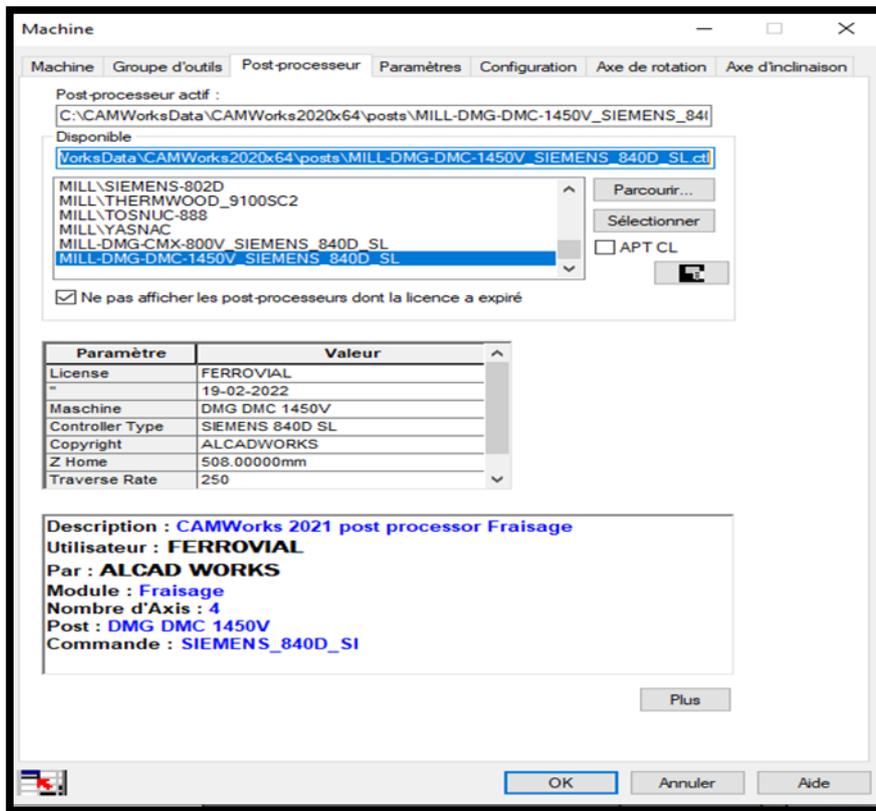
- Création d'une machine



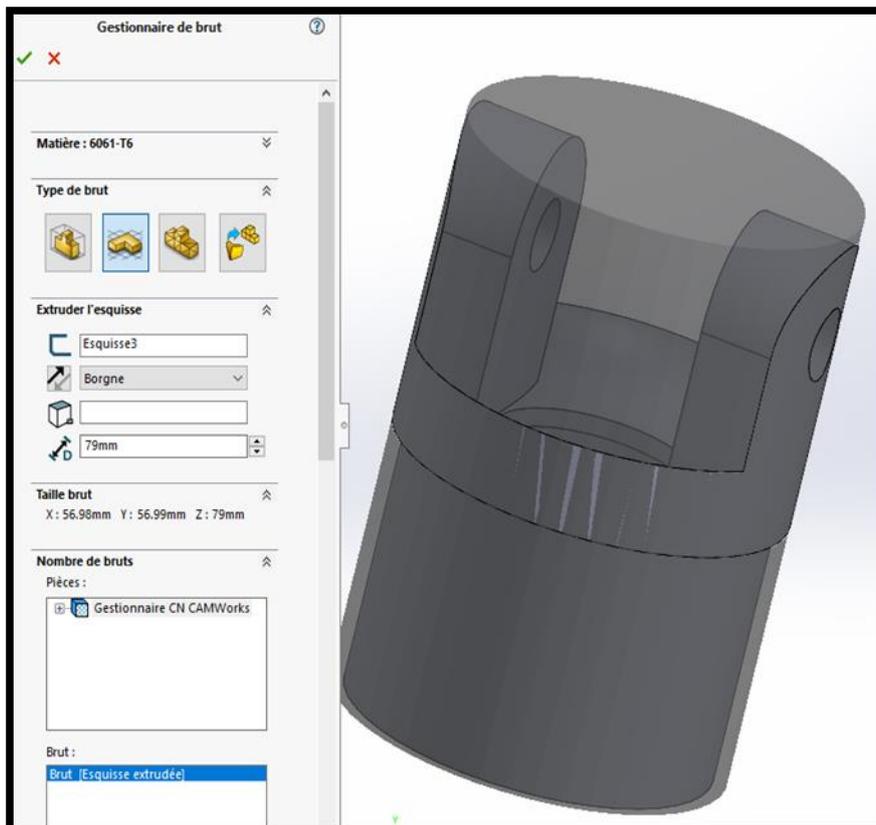
- Création d'un groupe d'outils :



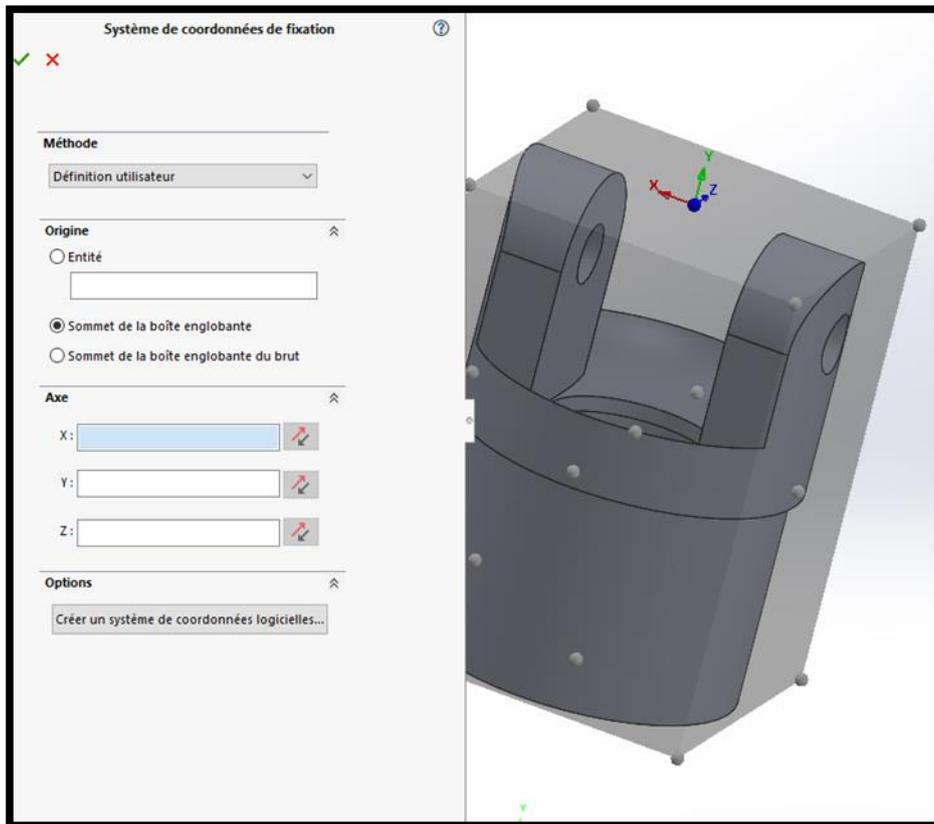
- **Création de post-processeur :**
Traduit le parcours d'outil en code G spécifique à la machine CNC.



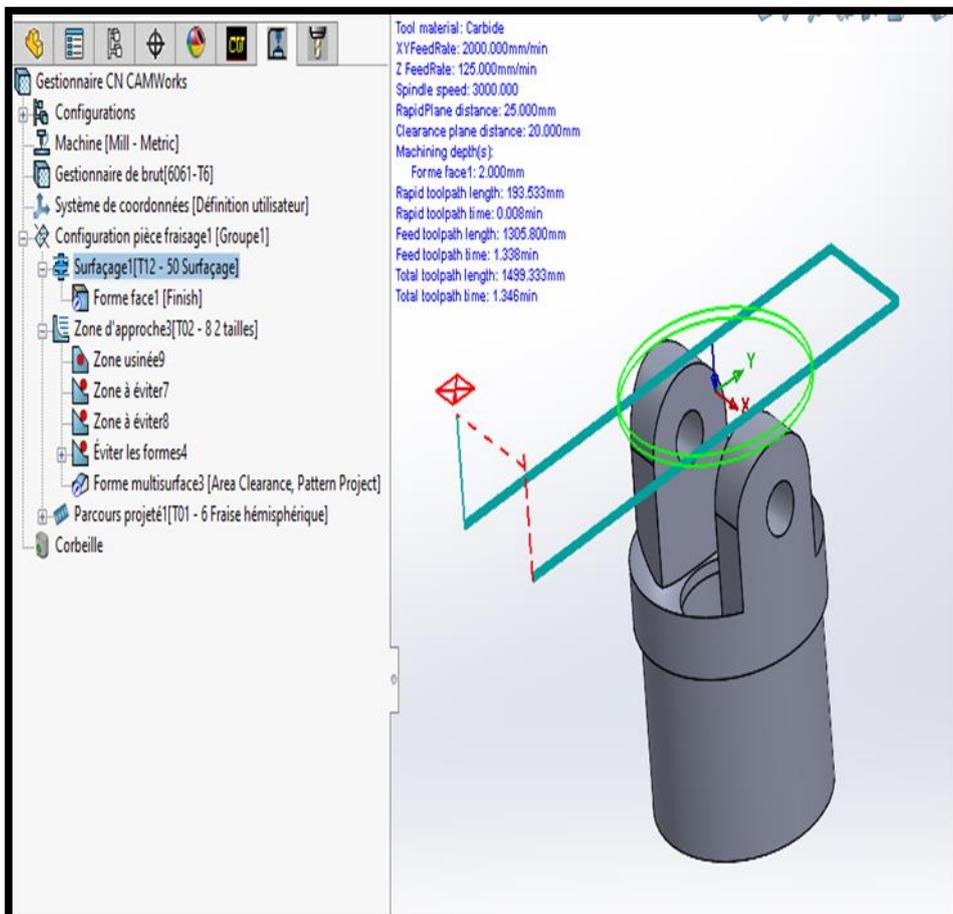
•
Création de brut



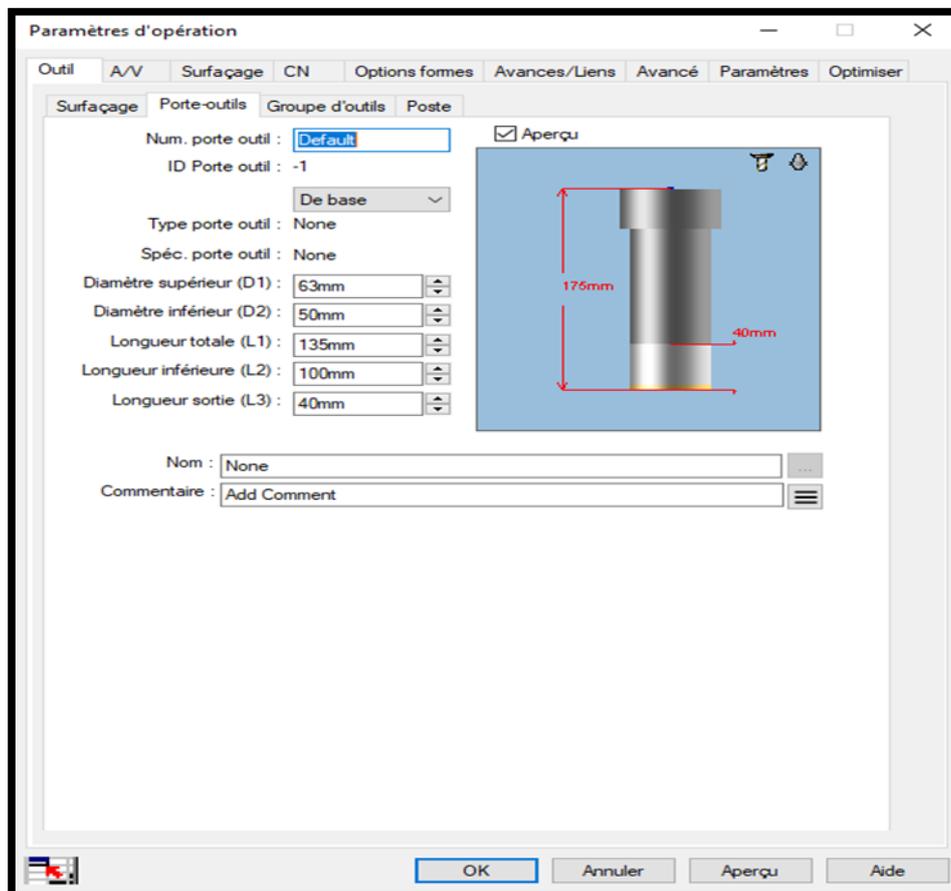
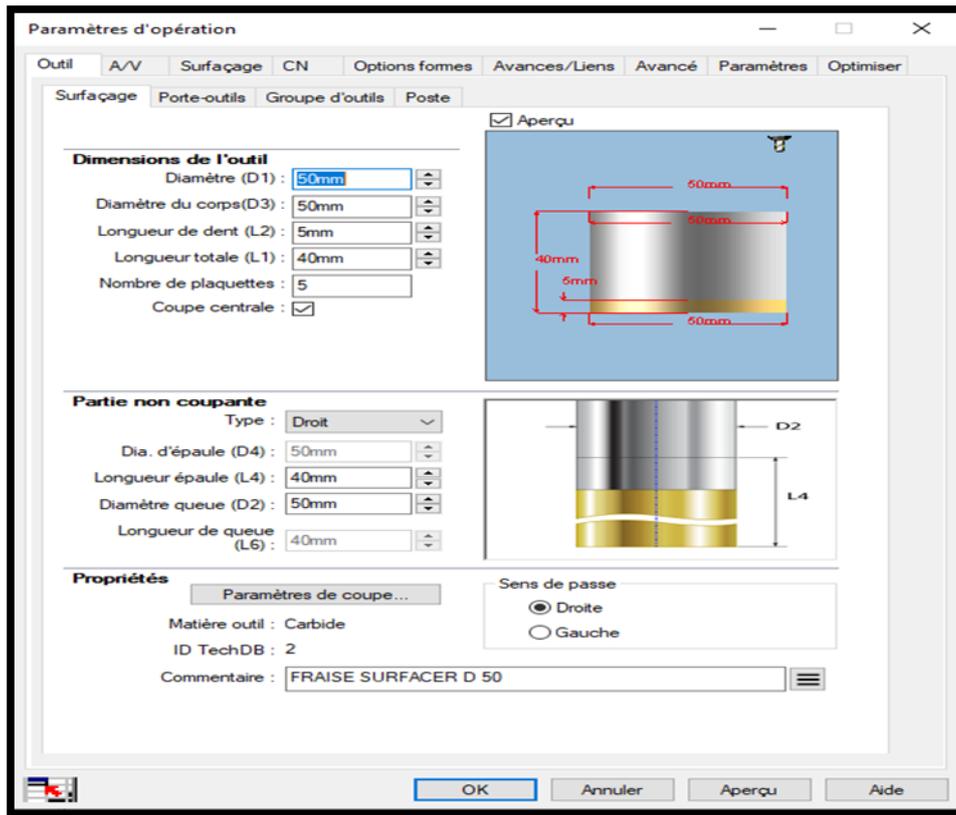
- Création système de coordonnées :



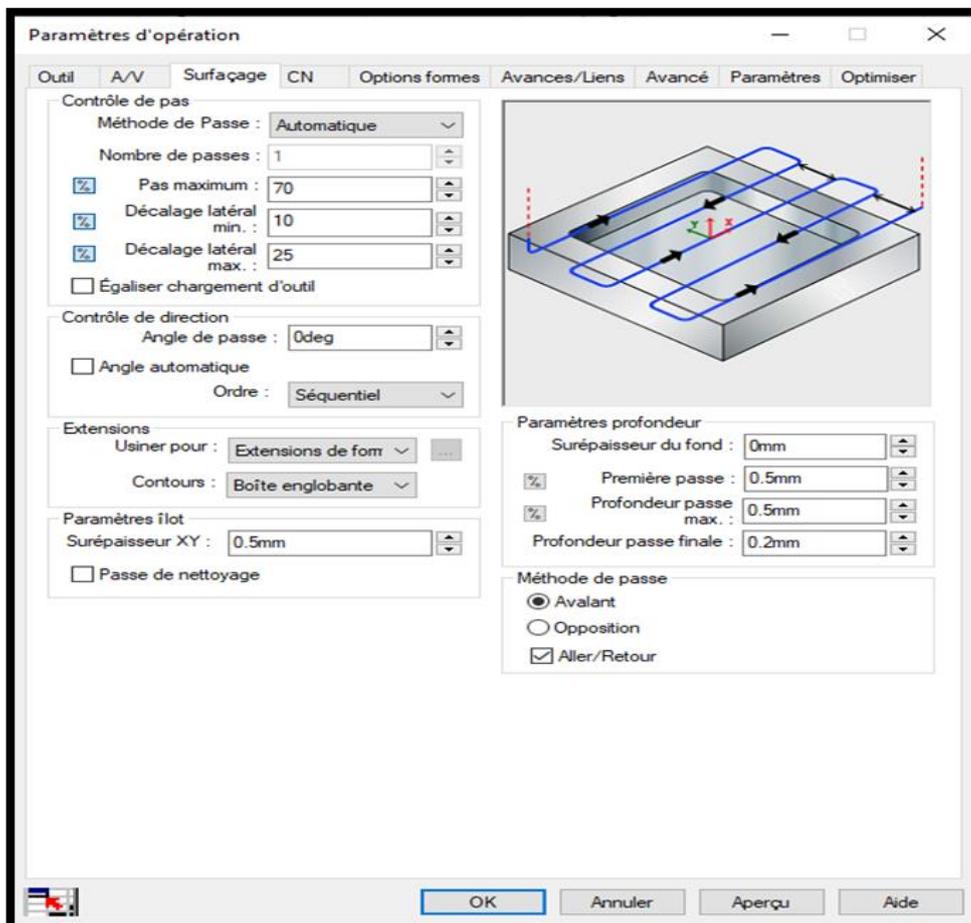
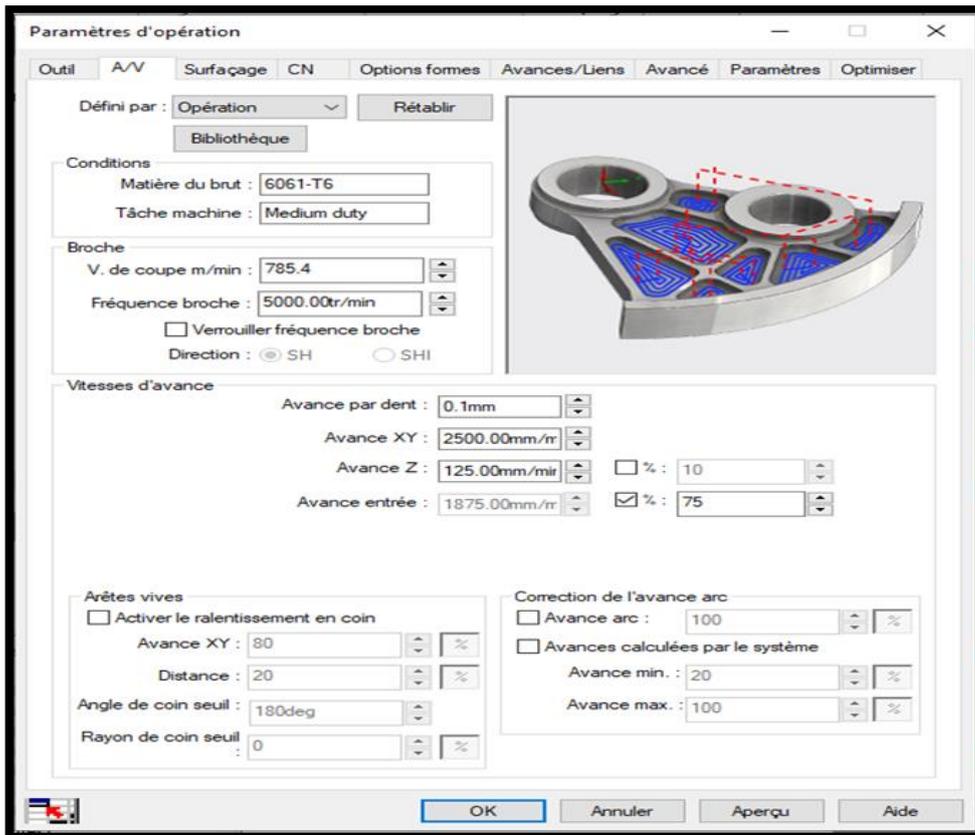
a. Opération 01 : Surfaçage



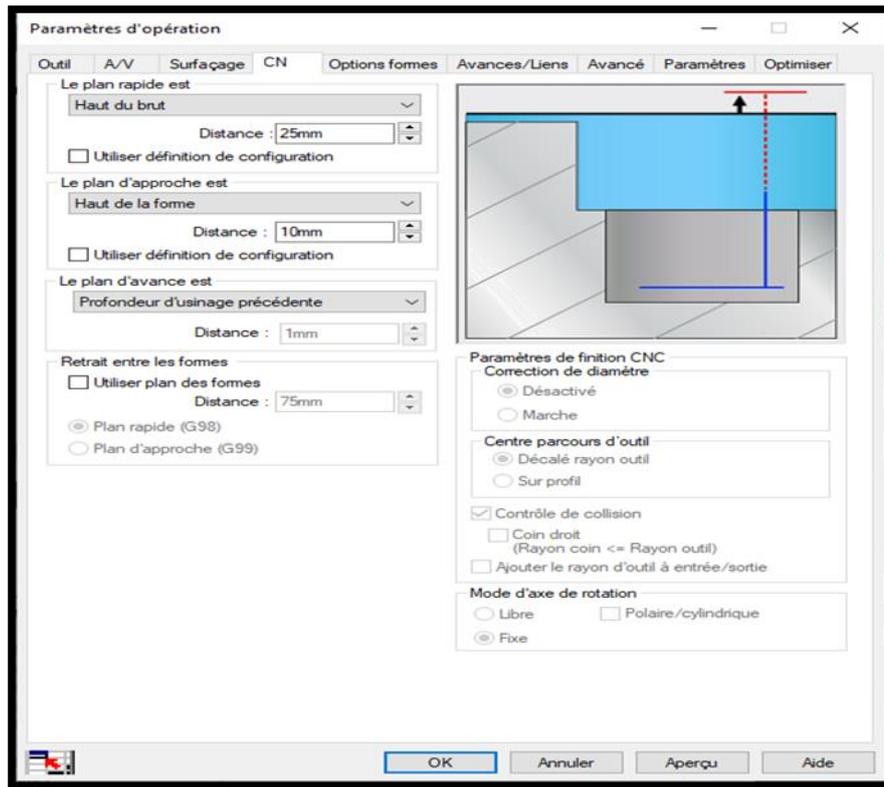
• Choix des paramètres des opérations d'outil



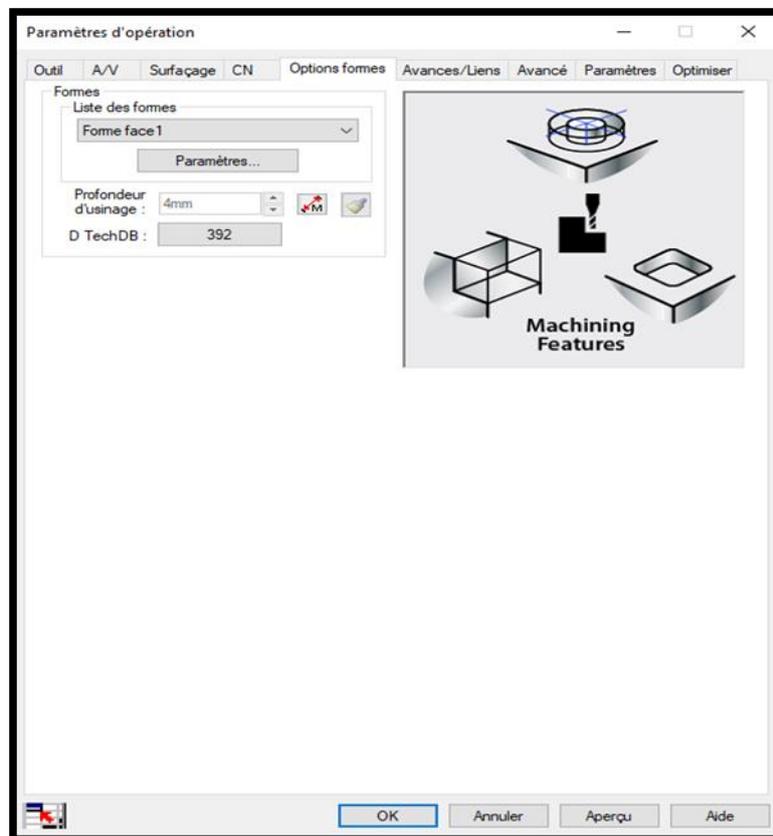
- Choix des avances et des vitesses



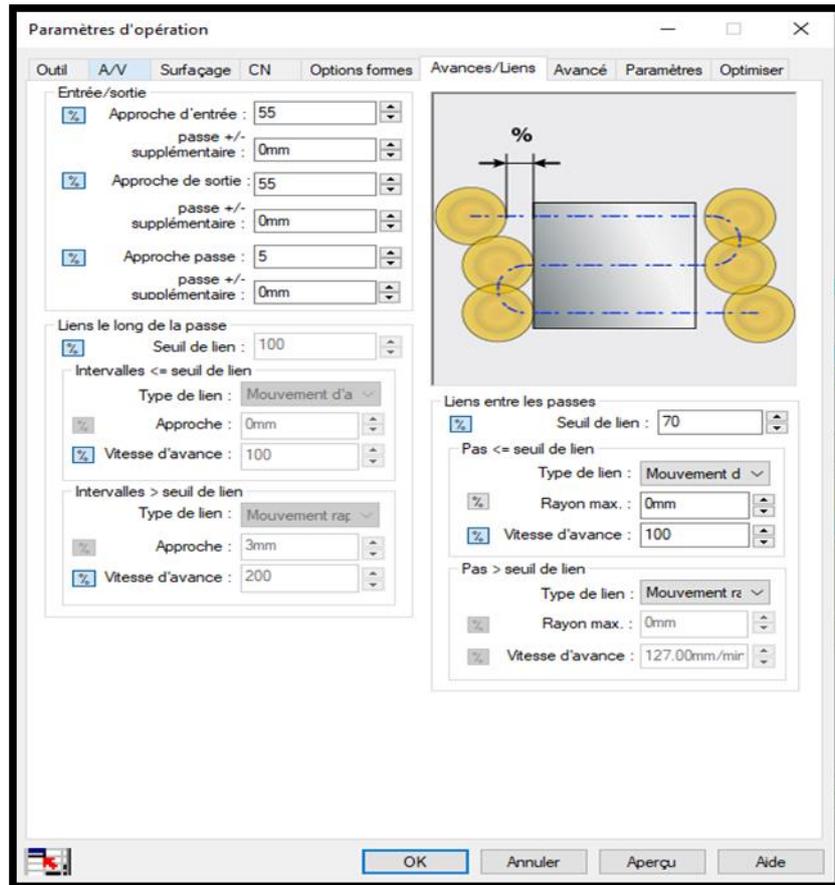
- Choix la distance de sécurité entre l'outil et la pièce :



- Sélectionné la forme de la face :

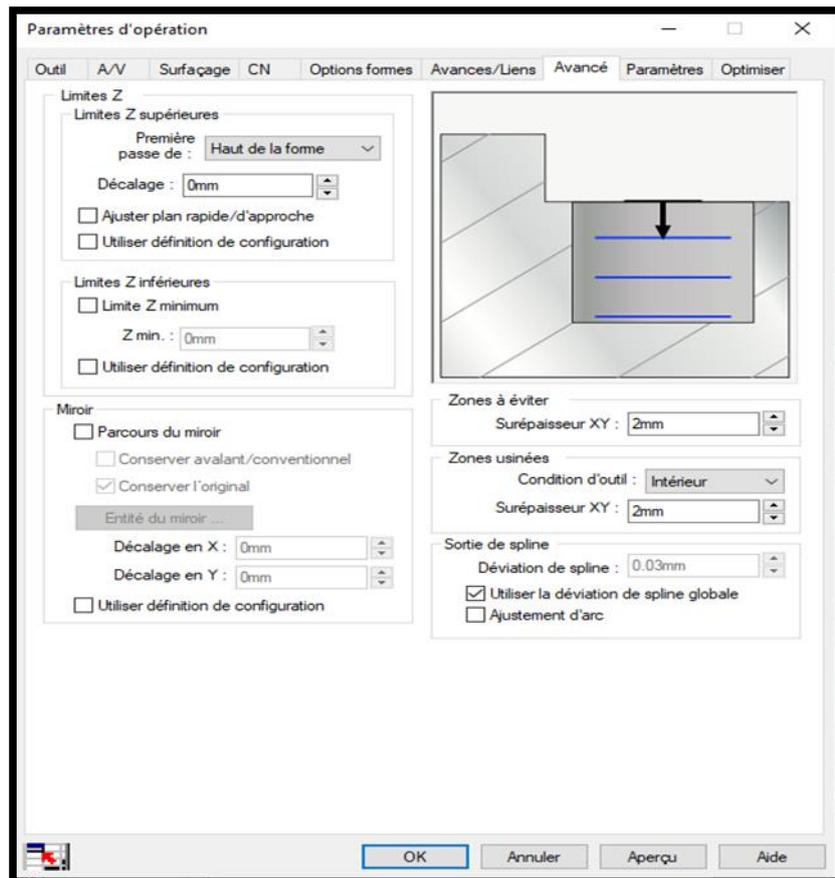


• Choix le lien d'outil :

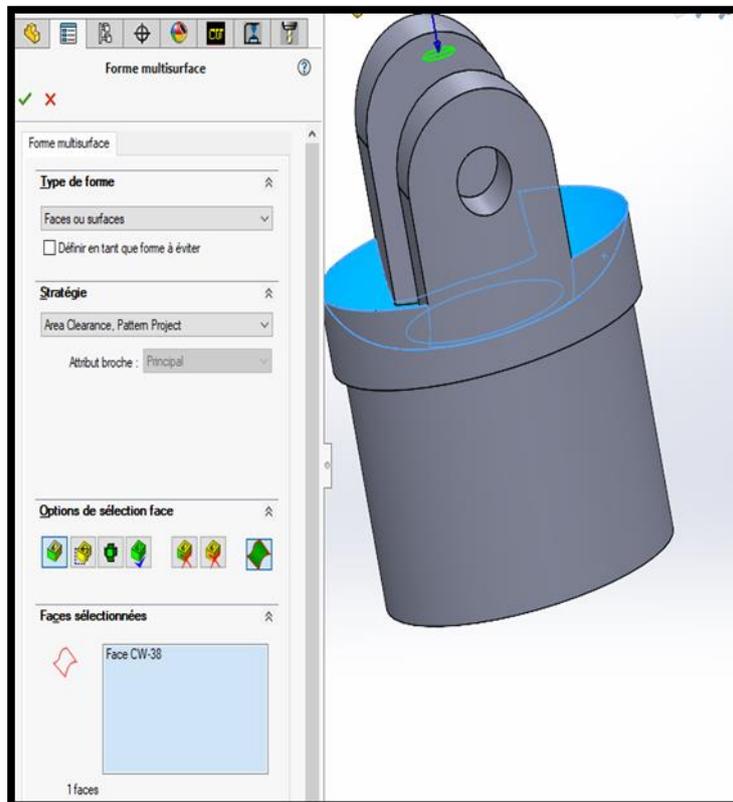
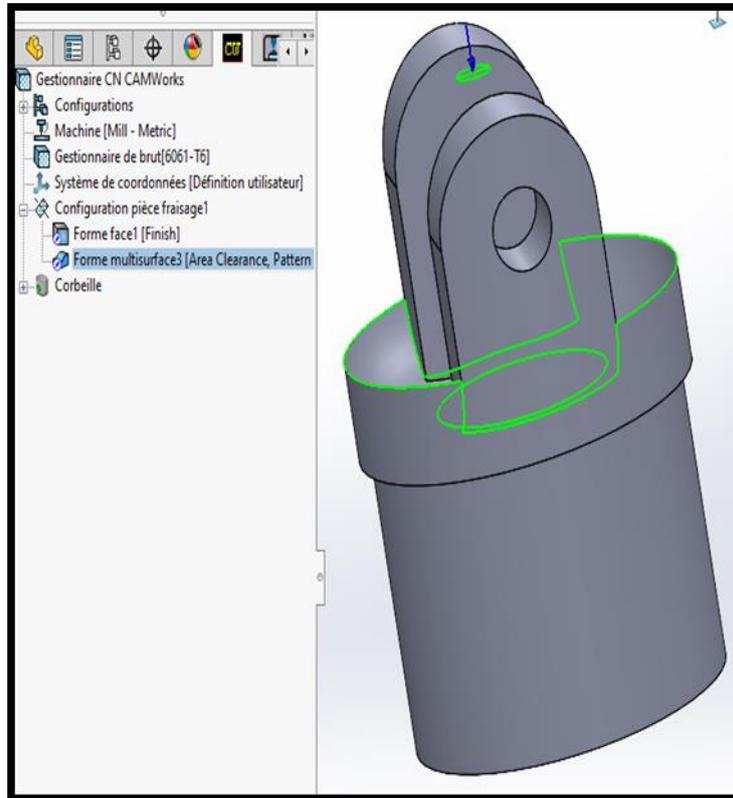


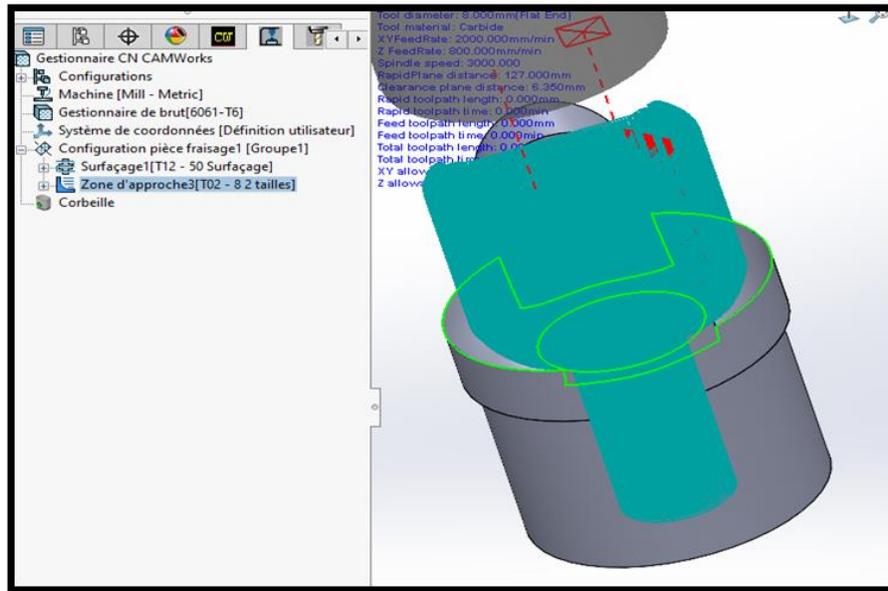
• Avancé :

C'est la surépaisseur par rapport la forme.

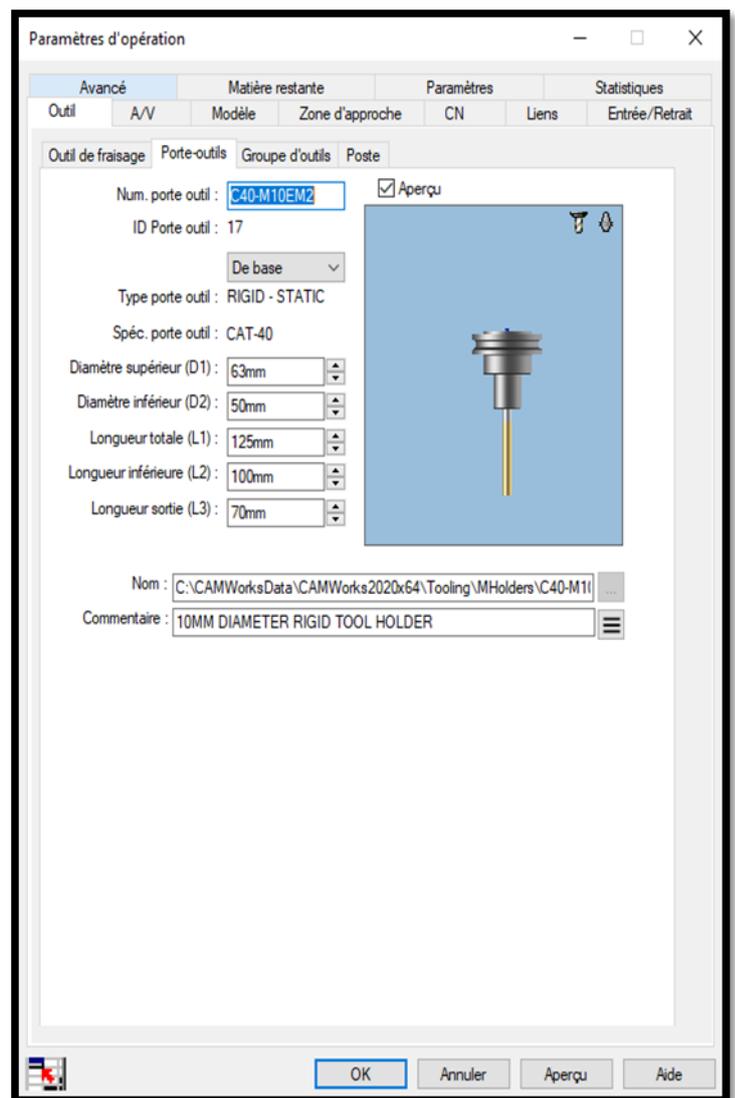
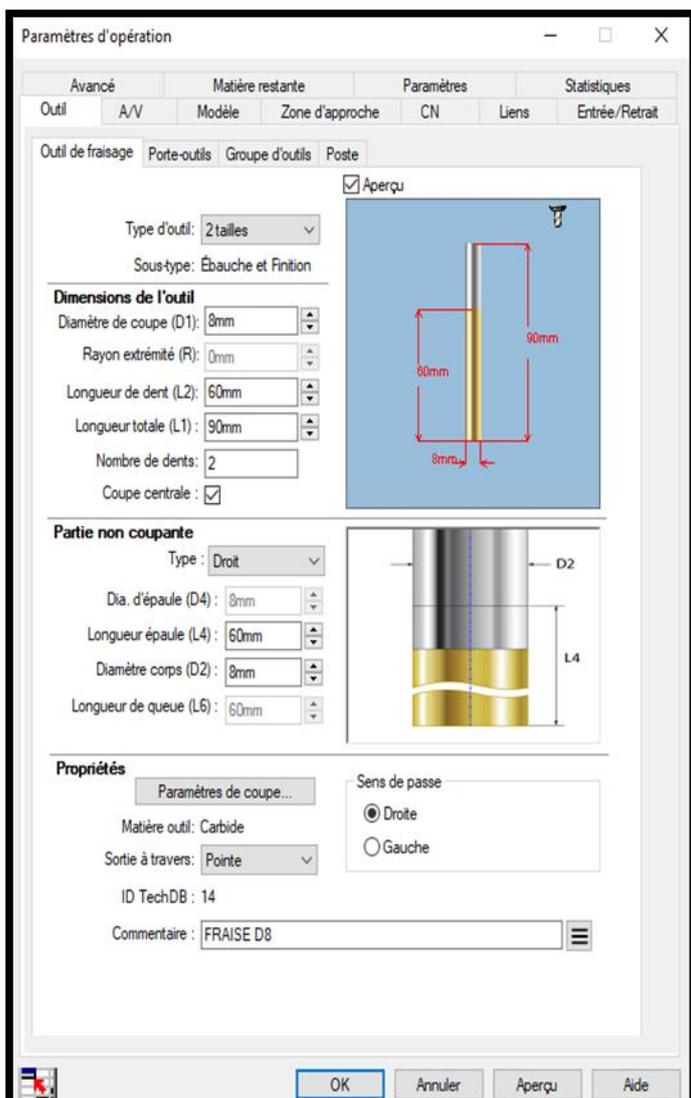


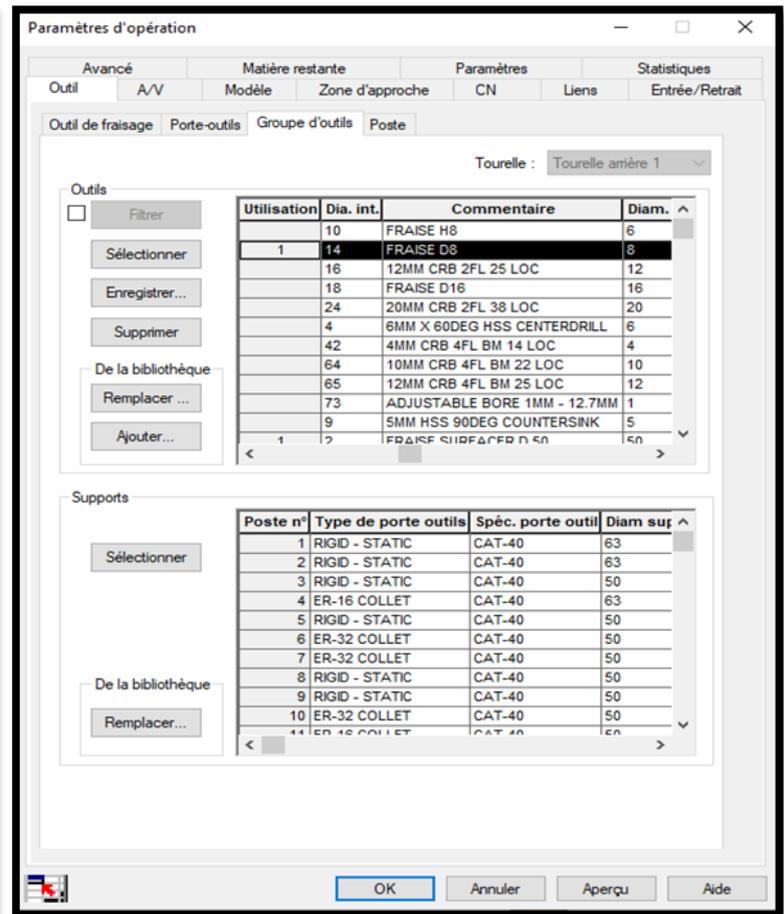
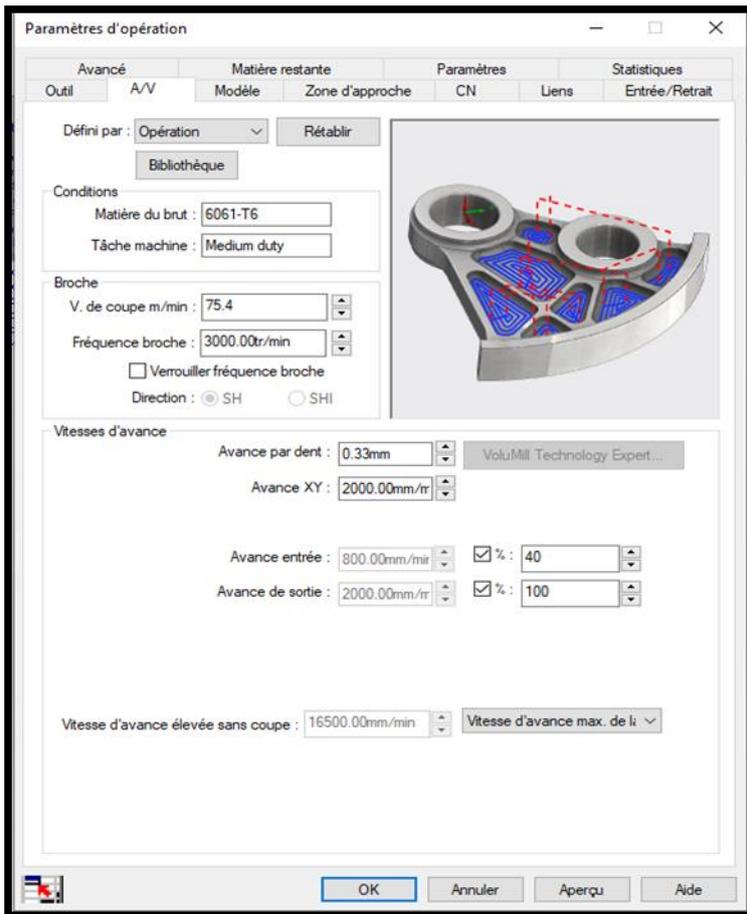
Opération 02 : réalisation de la forme poche
Zone d'approche :





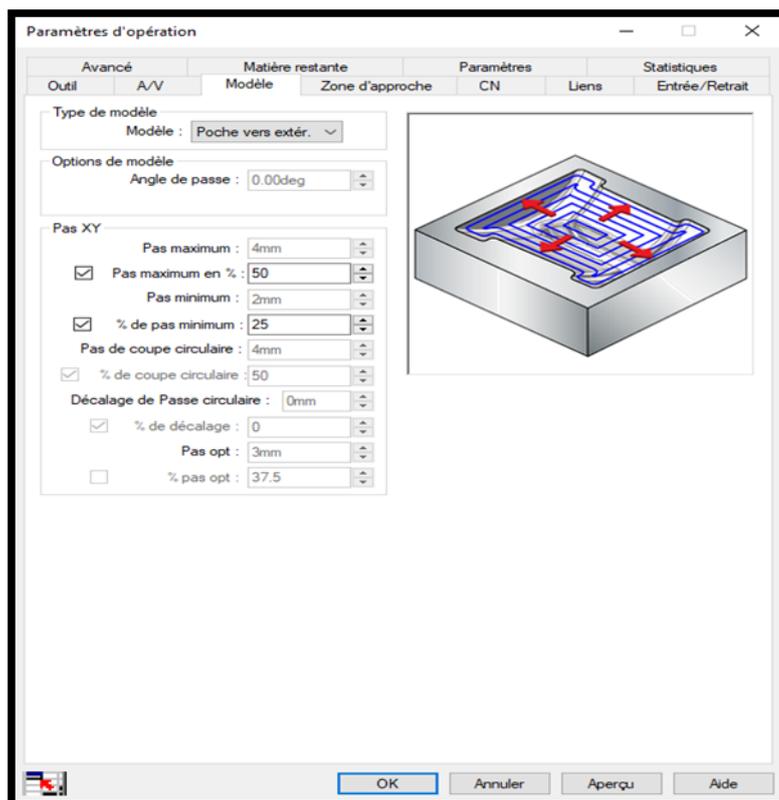
• Réglage des paramètres d'opération :

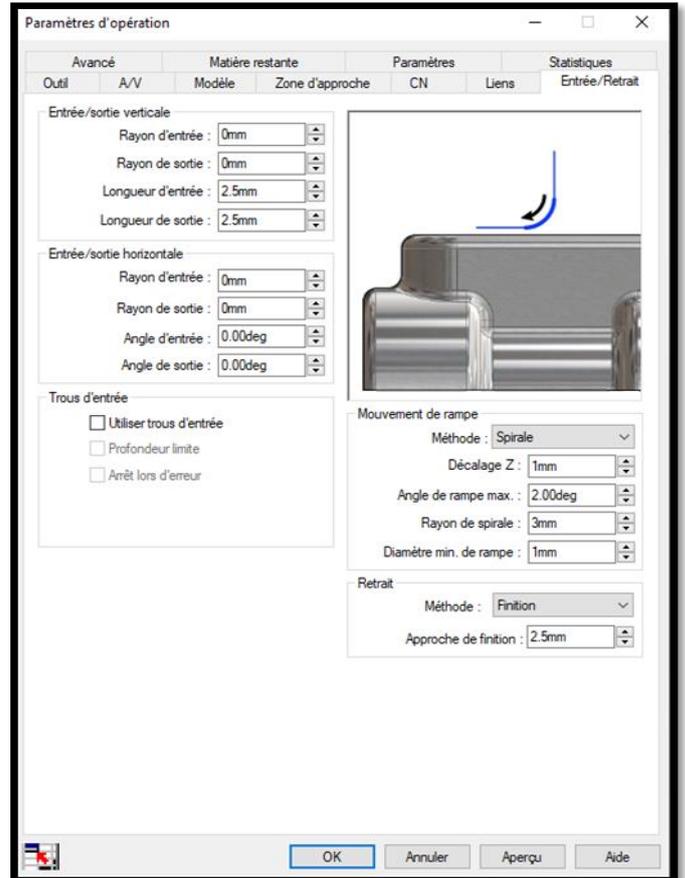
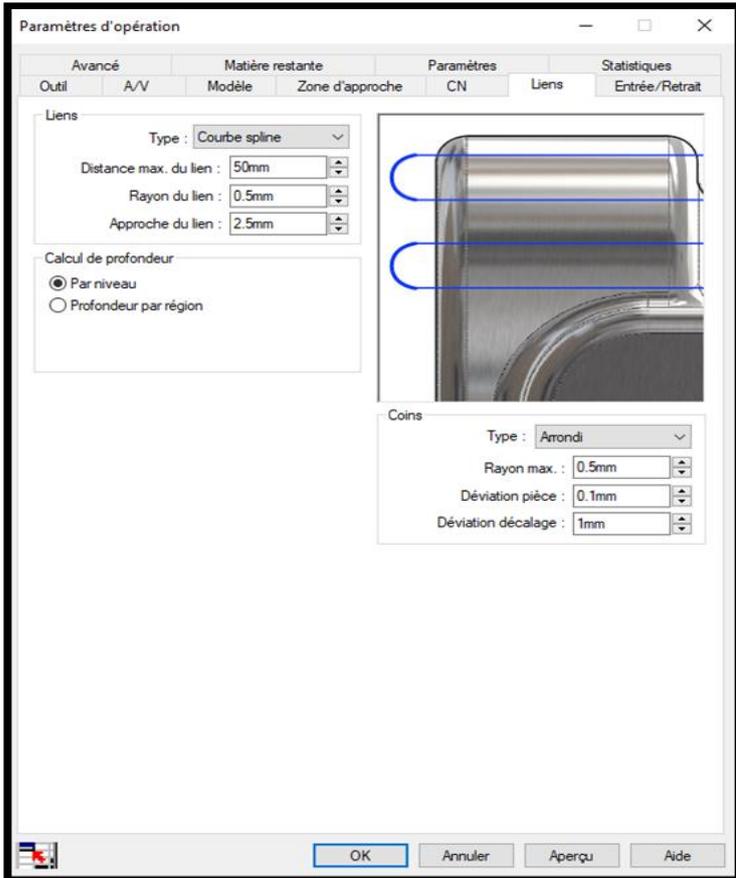
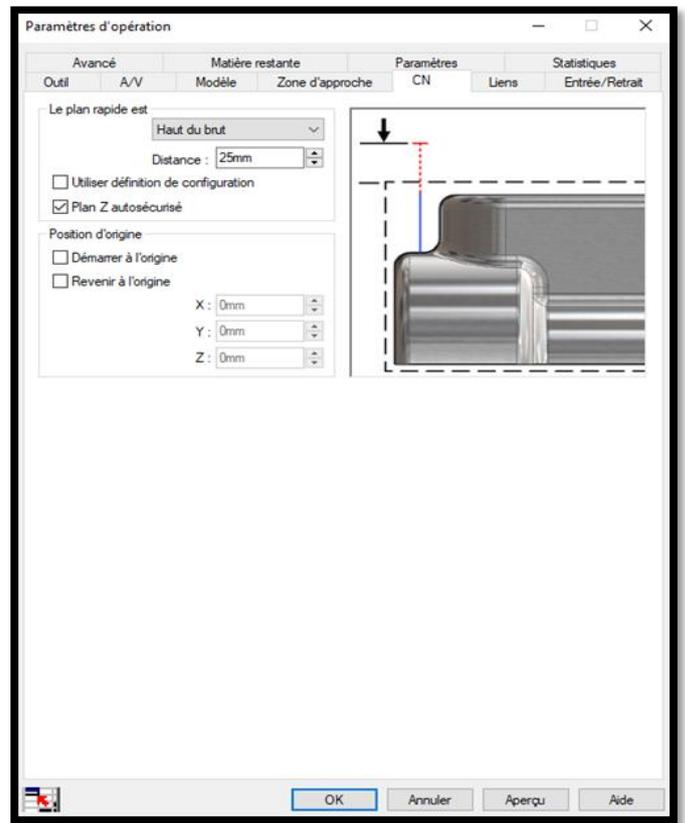
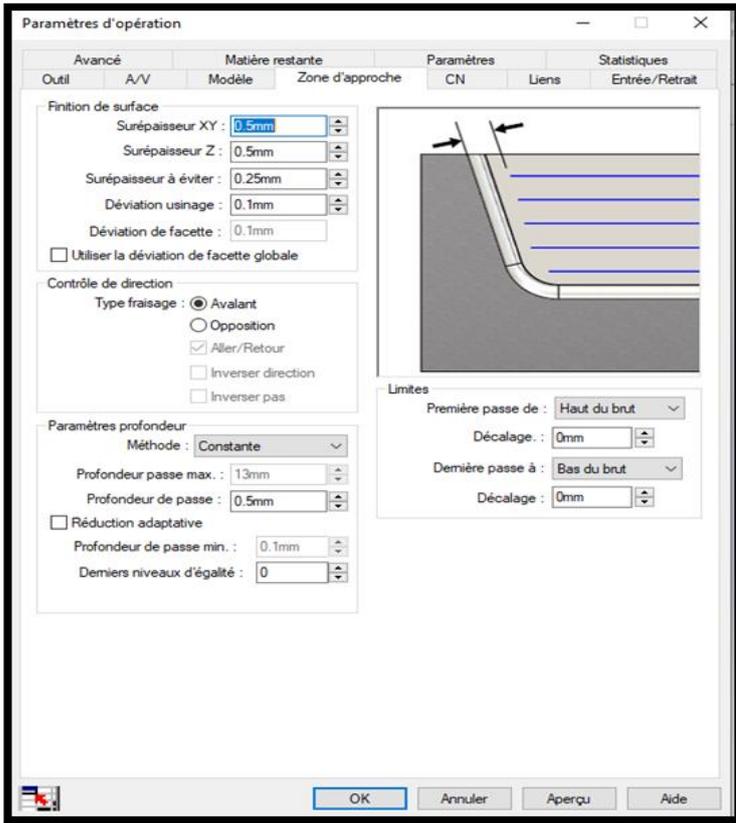




Le modèle :

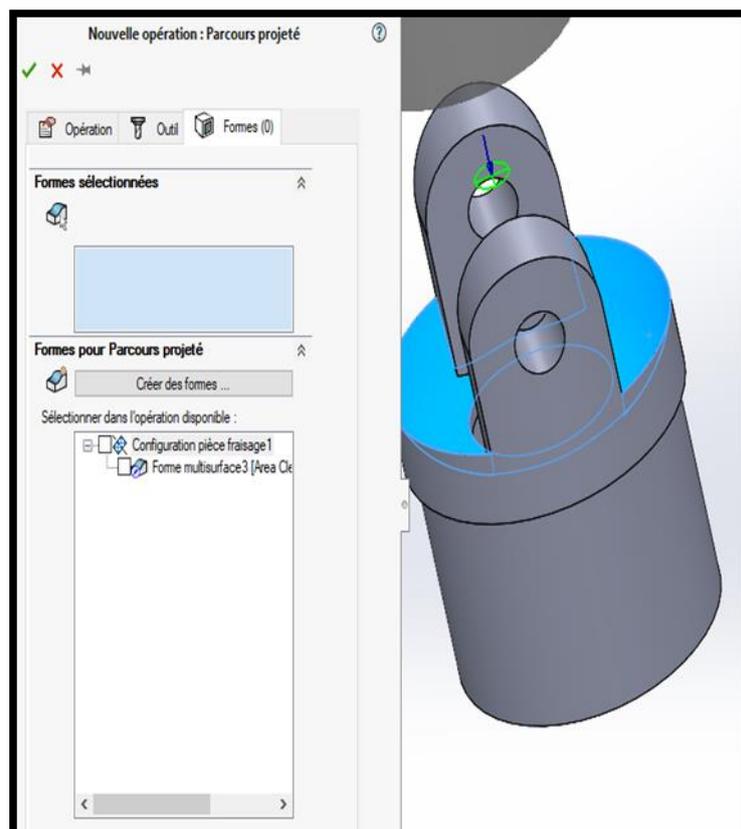
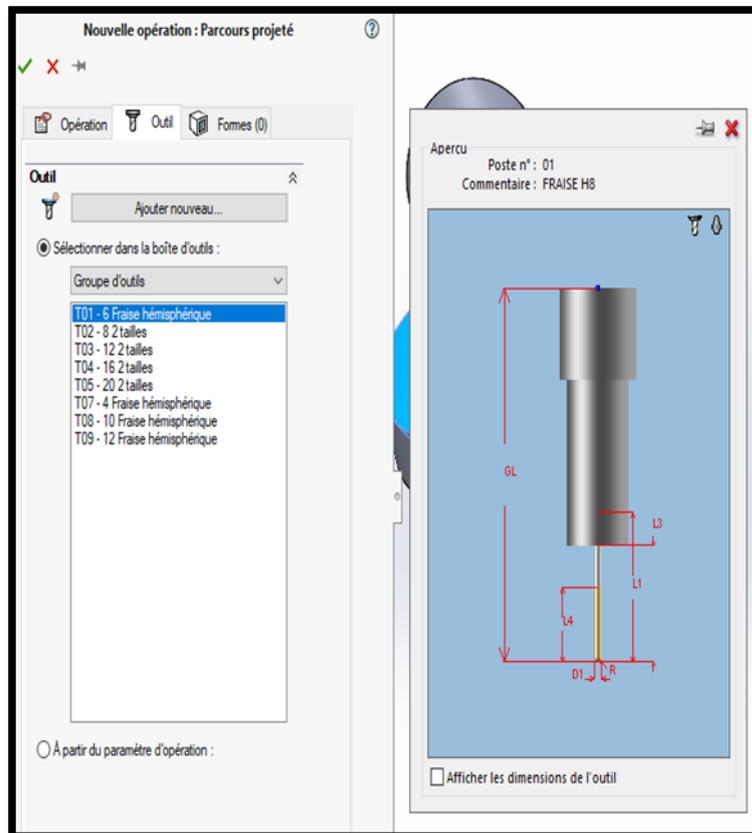
Représente les stratégies d'usinage.

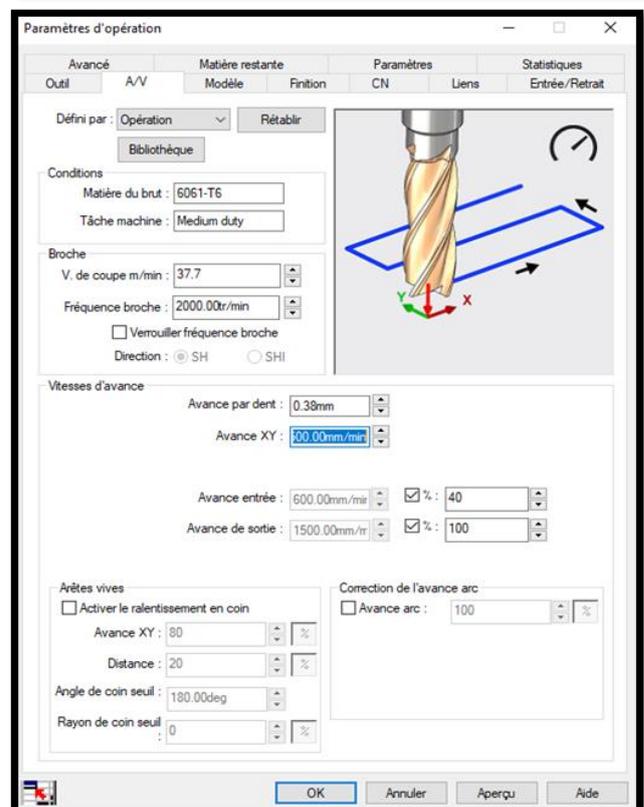
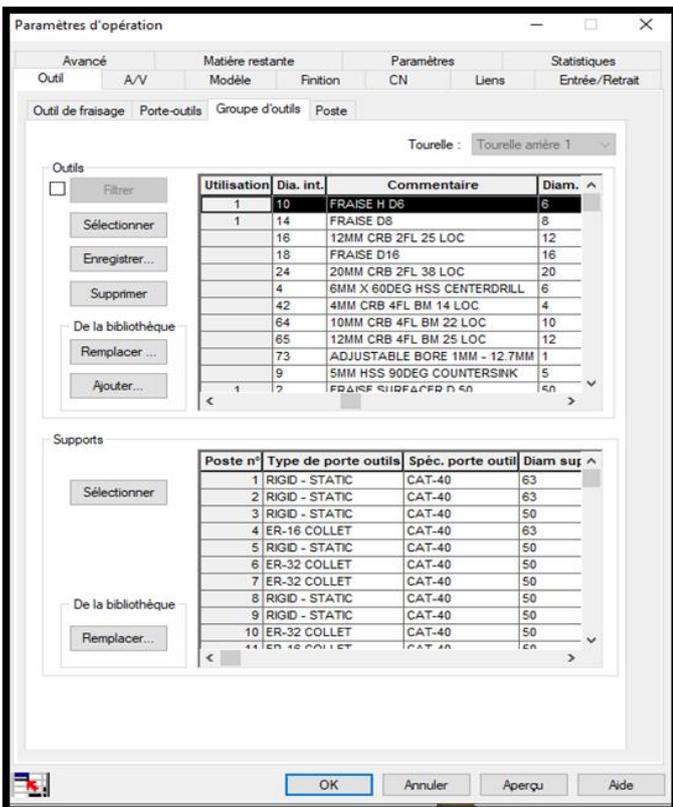
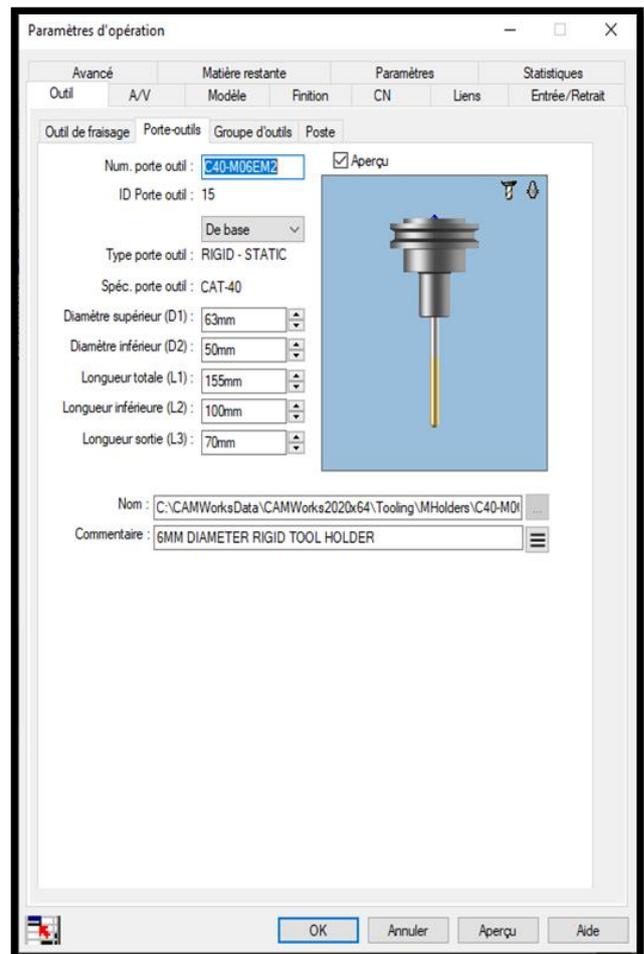
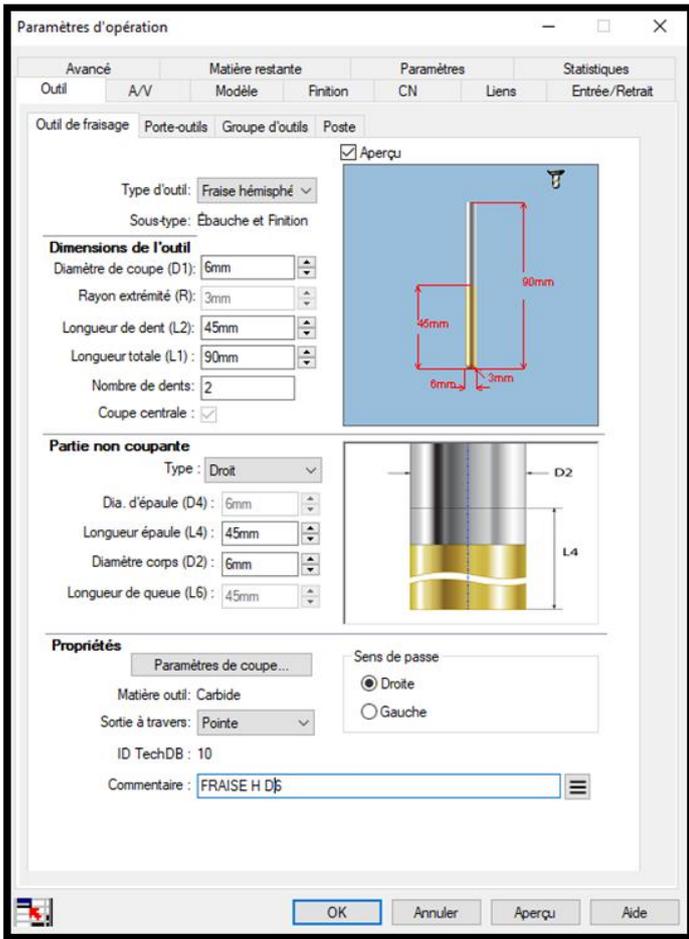


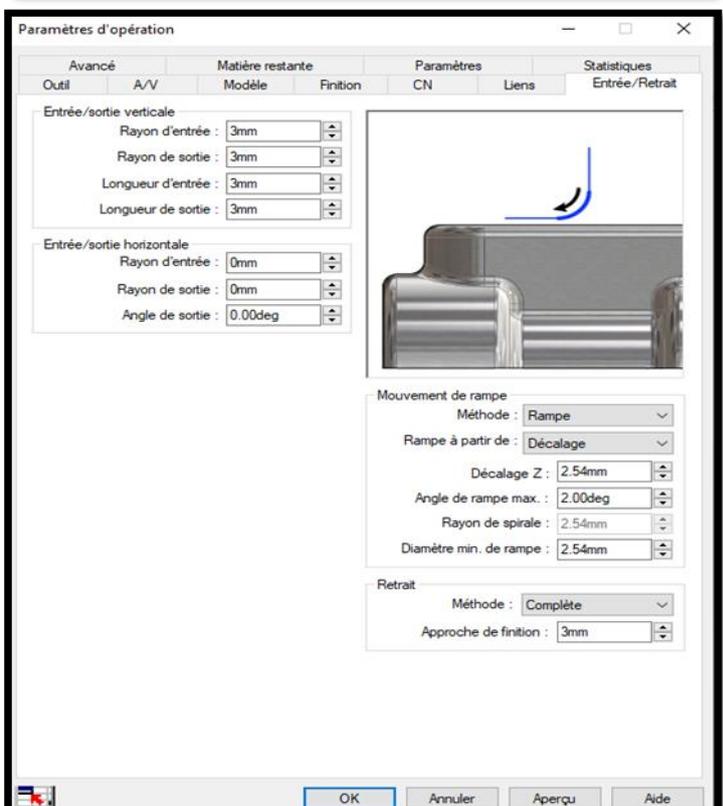
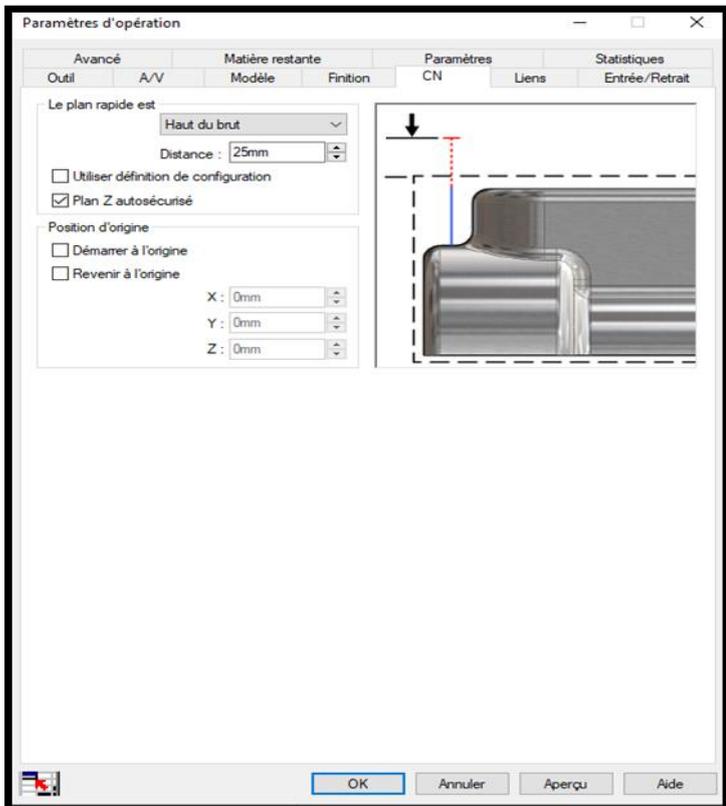
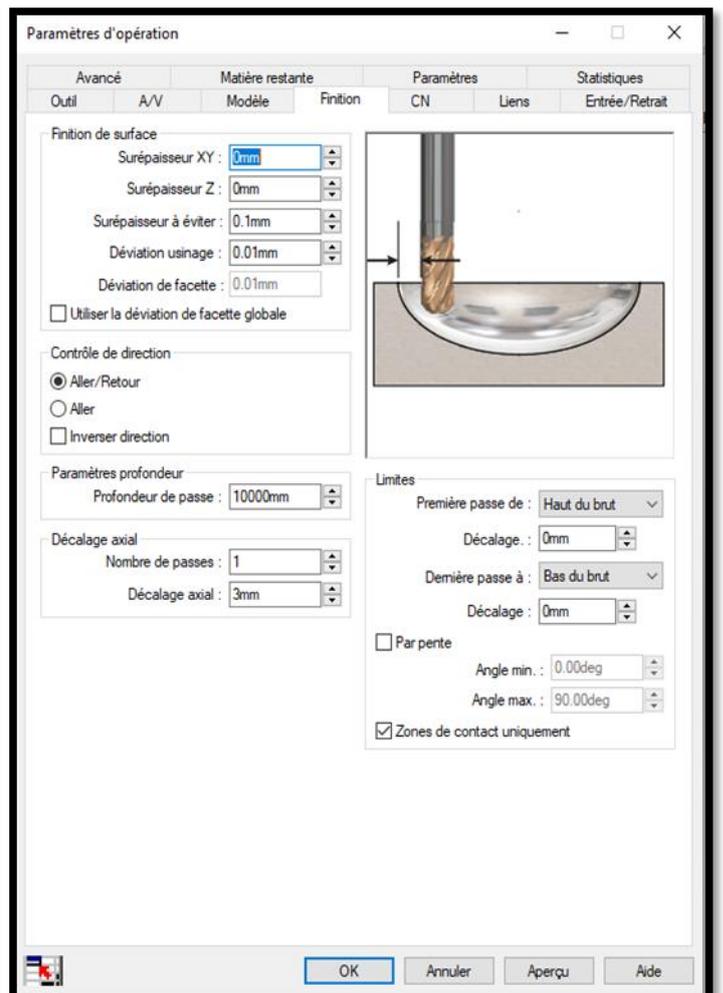
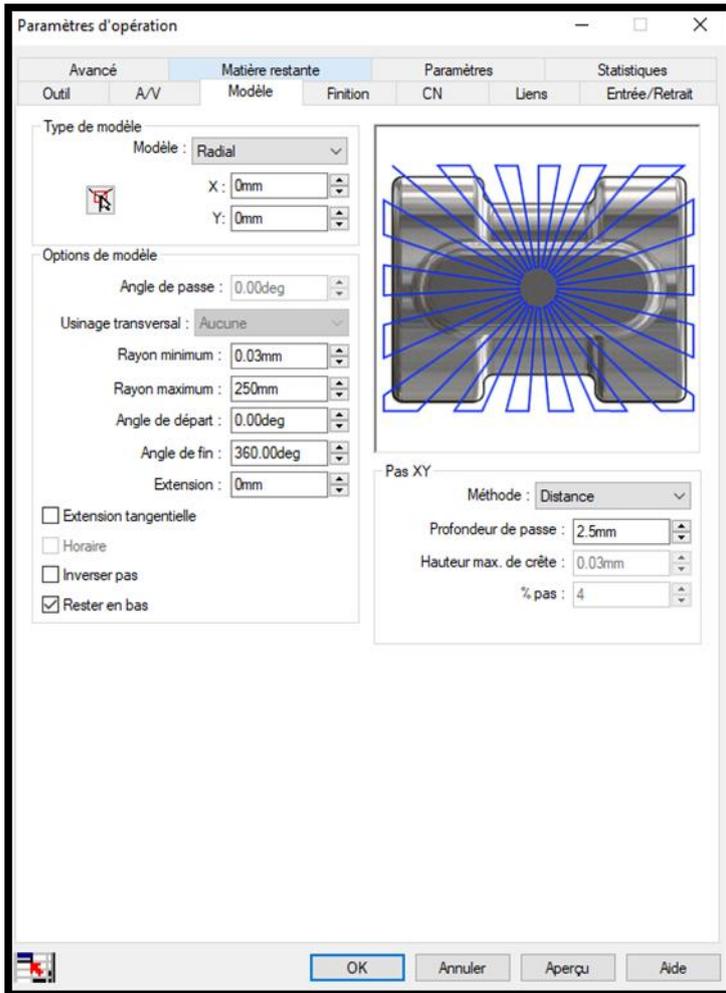


✓ **Parcours projeté**

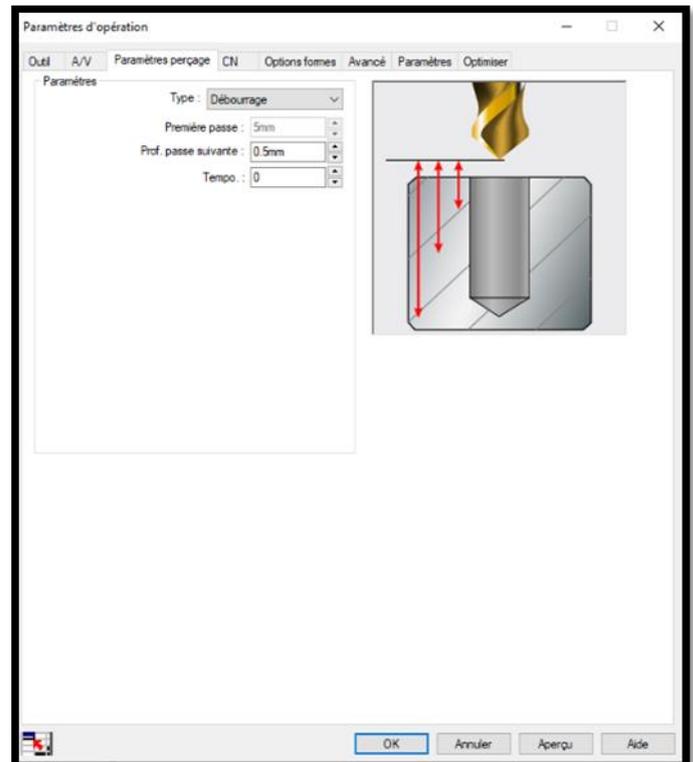
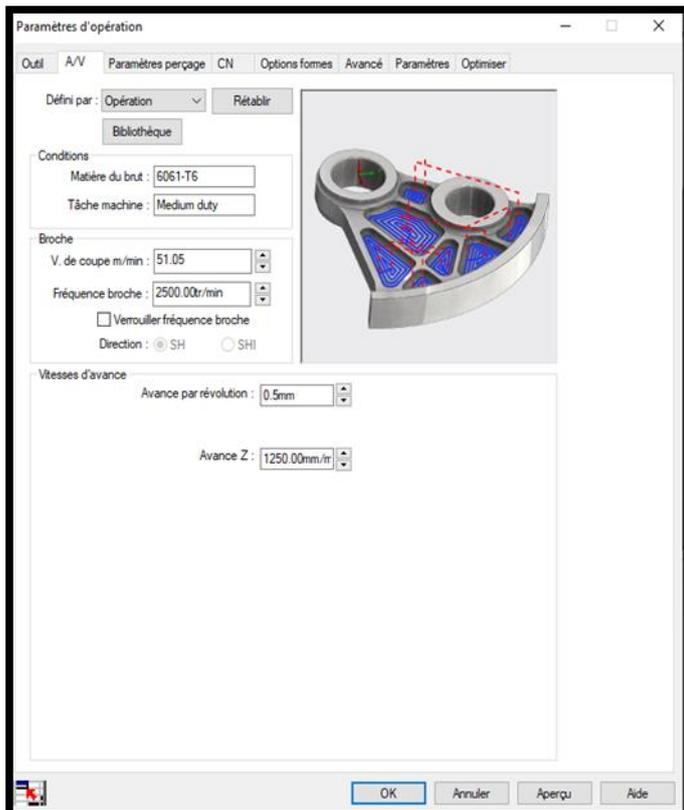
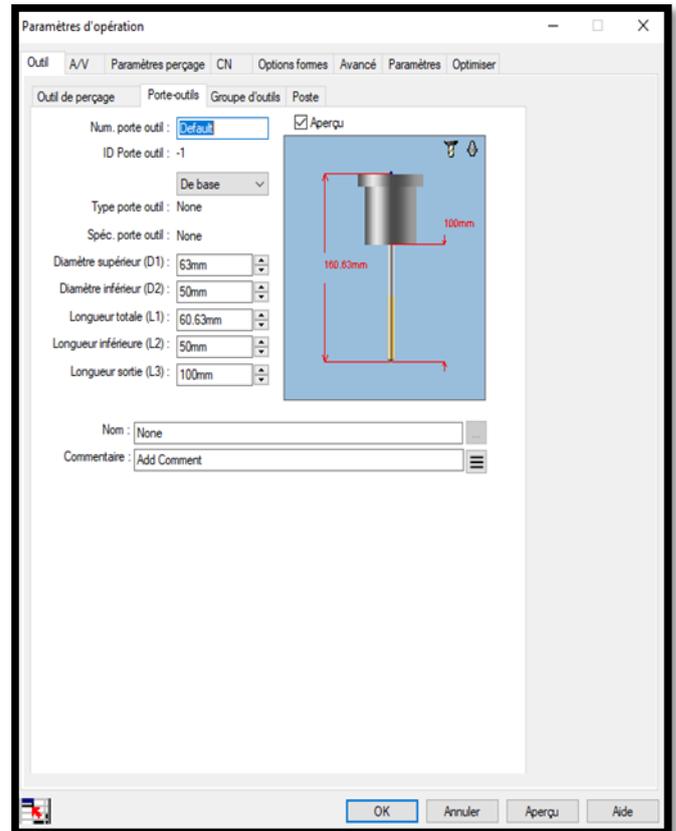
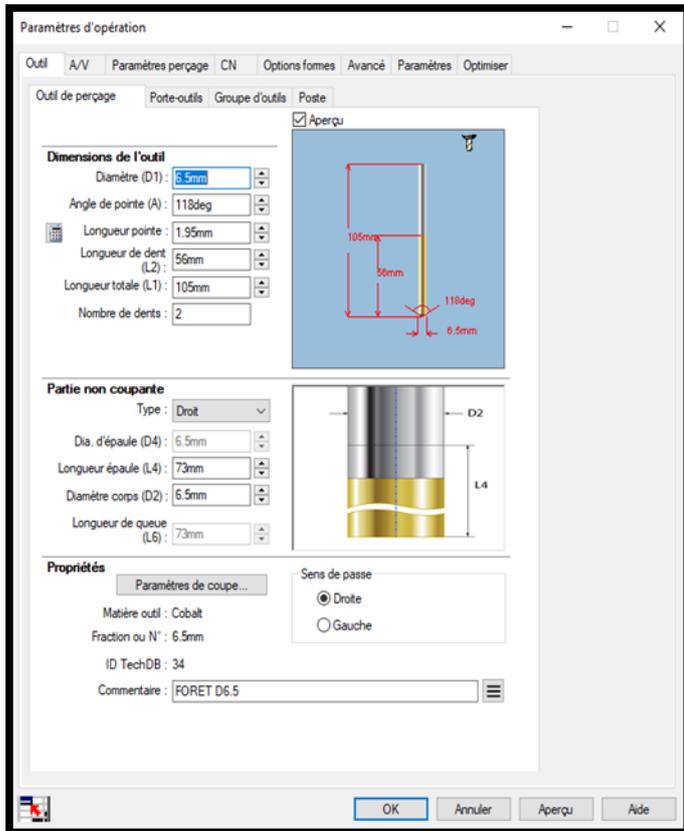
- **Opération 03_**: Fraisage multi surface 3axe (forme sphérique)

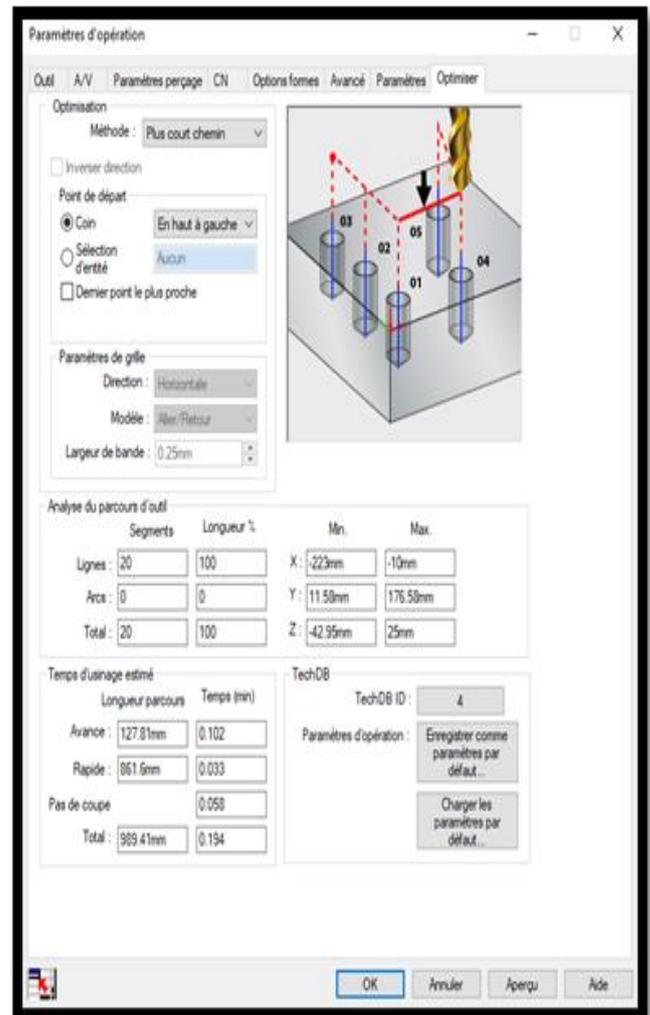
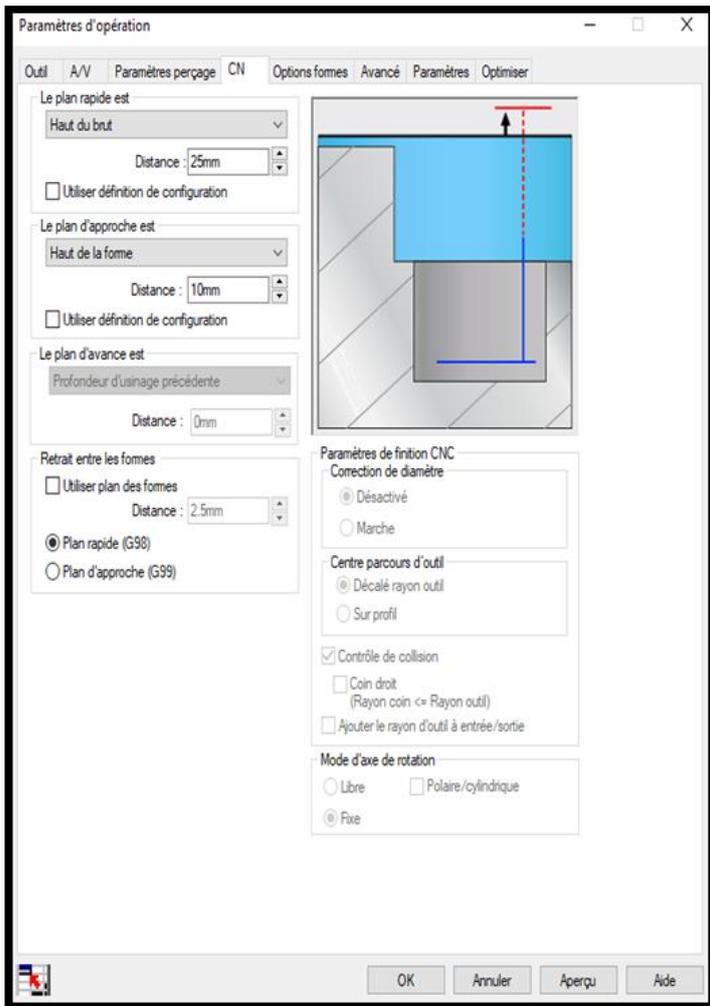




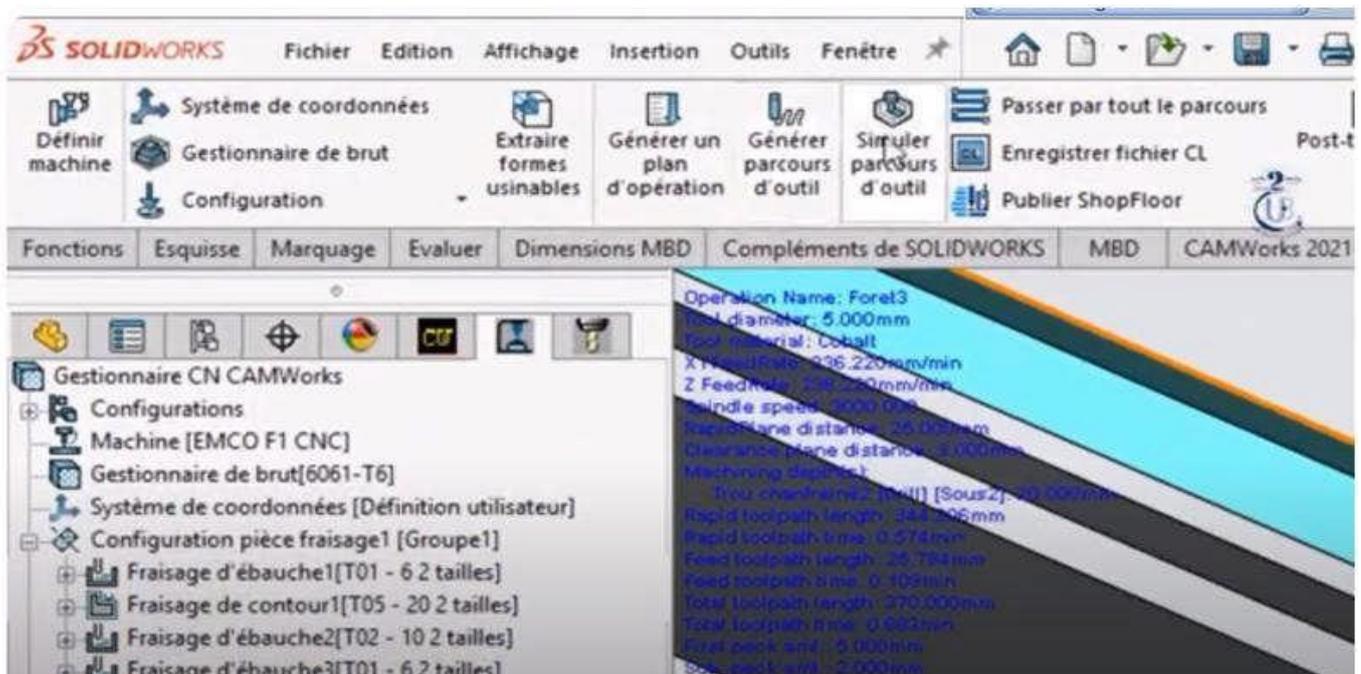


• **Opération 04 : Perçage**

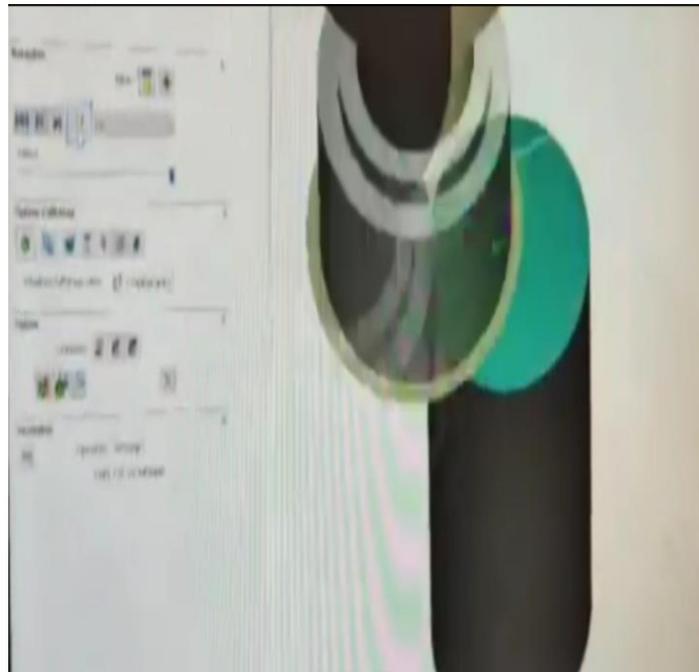




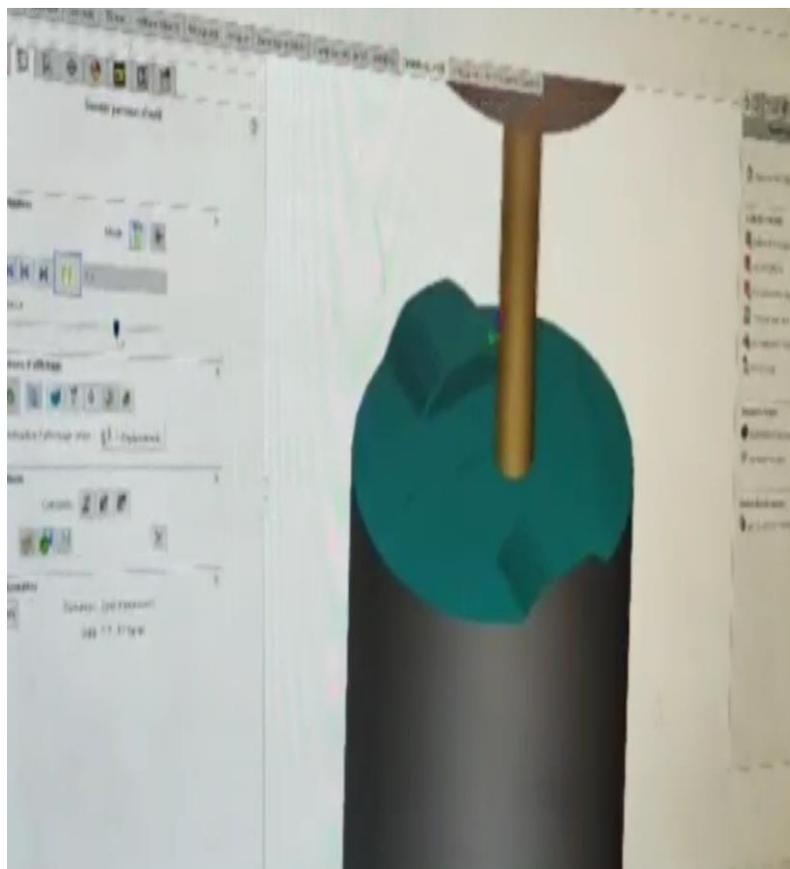
III.3 Simulation de la fabrication dans Camworks



- Surfaçage



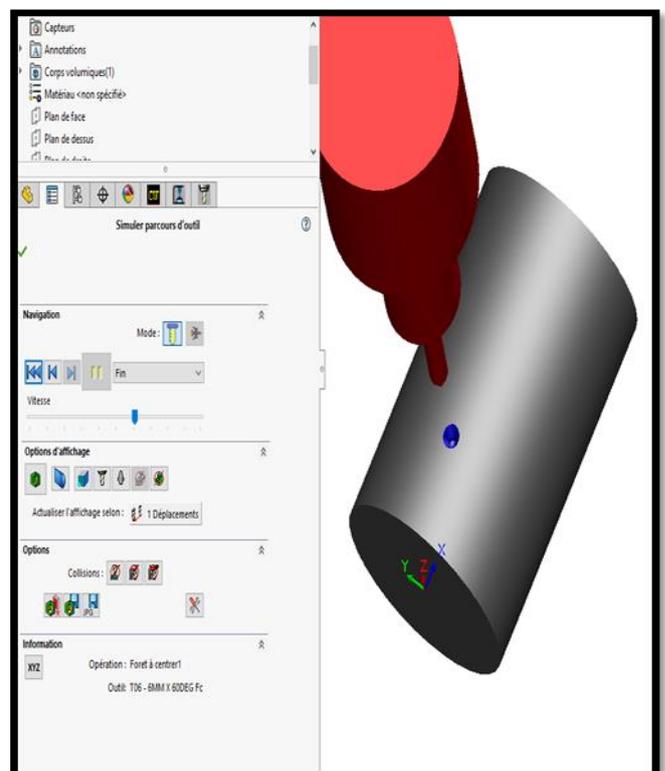
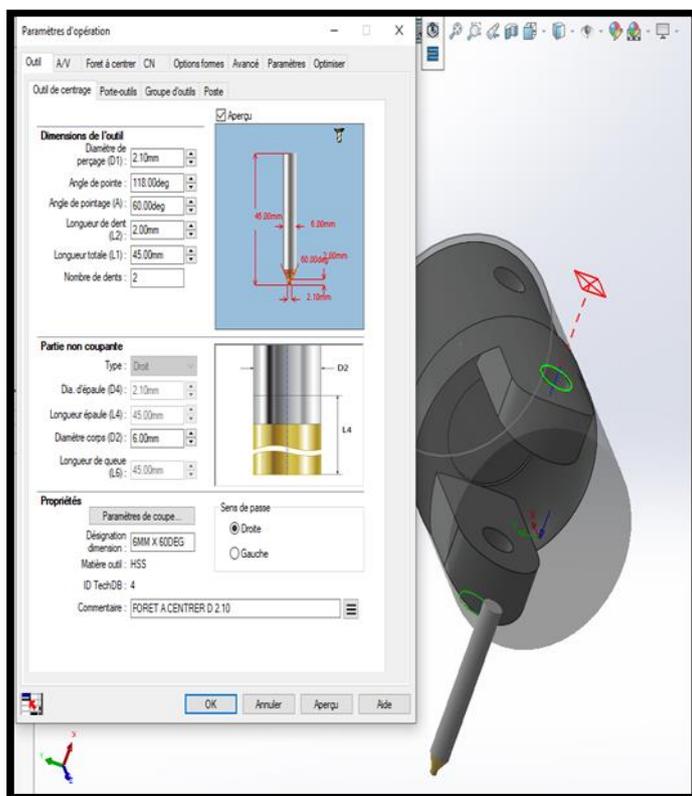
- Poche



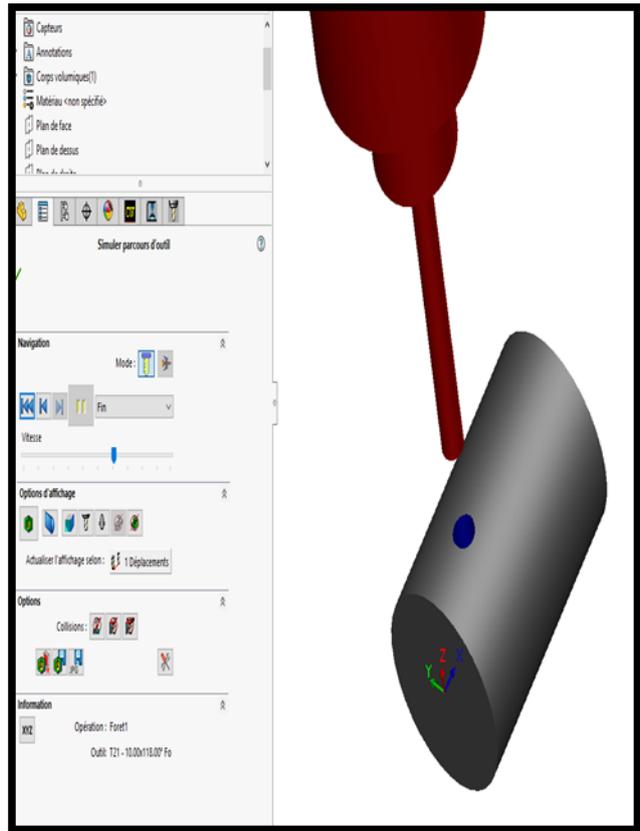
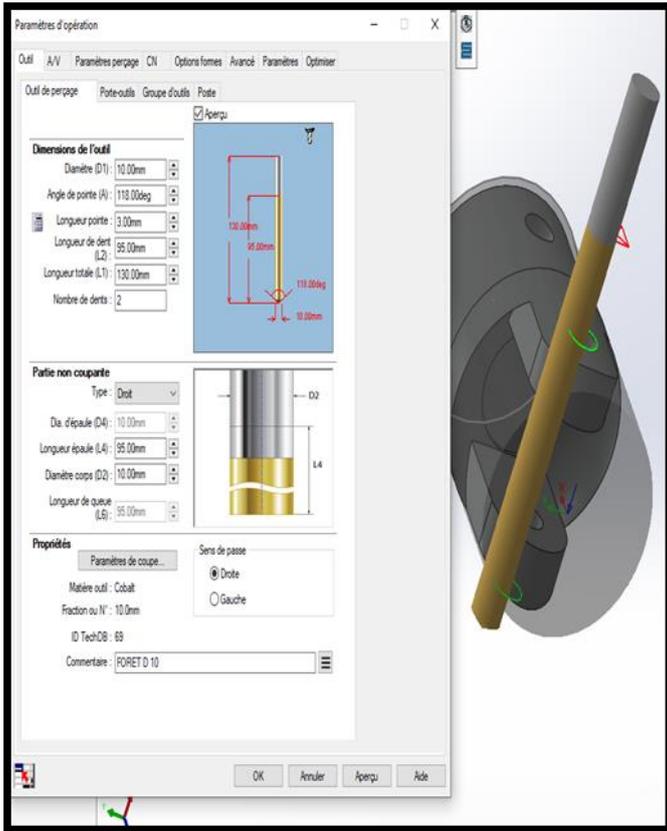
• **Forme sphérique**



• **Centrage**



• Perçage



• Le code G

```
croision - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
;-----
; DESIGNATION :
; IDENT :
; PLAN :
; MATIERE :
; OPERATION :
; MACHINE : DMG DMC 1450V
; PROGRAMMEUR :

; SOCIETE : FERROVIAL
; DATE : 18/5/2025
;----- (www.AlcadWorks.com) -----

N10 G17 G90 G40 G64
N20 MSG("63MM 6FL FACE MILL")
N30 T="63MM 6FL FACE MILL" M6
N40 OFFN=-31.5
N50 M1
N60 G0 G17 G90 G54 S3500 M3
N70 M8
N80 X-12.738 Y-94.644 Z25.
N90 Z3.
N100 G1 Z-5 F125
<
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

III.4 Conclusion

L'élaboration de la gamme de fabrication du croisillon, depuis sa modélisation dans SolidWorks jusqu'à la définition des opérations d'usinage dans CAMWorks, illustre de manière concrète l'intégration entre la conception et la fabrication assistée par ordinateur. Cette démarche permet non seulement de simuler le processus de production, mais aussi d'optimiser les choix technologiques en fonction des spécificités de la pièce. Ainsi, l'ensemble des étapes présentées garantit une fabrication précise, cohérente et conforme aux exigences du cahier des charges.

Conclusion générale

L'évolution constante du secteur industriel impose aux entreprises d'adopter des technologies innovantes pour rester compétitives. L'étude menée dans le cadre de ce mémoire a permis de démontrer les bénéfices tangibles qu'offre l'intégration d'une machine CNC 3 axes au sein de l'entreprise Ferrovial, en particulier pour la fabrication de la pièce croisillon. La décision stratégique de produire cette pièce en interne s'est révélée judicieuse à plusieurs niveaux. Elle a permis: une réduction significative des coûts de production, une meilleure maîtrise des délais de fabrication, un contrôle qualité renforcé, et une autonomie accrue face aux contraintes externes du marché.

L'utilisation combinée de la modélisation 3D via SolidWorks et de la programmation d'usinage avec CAMWorks a montré que les technologies numériques ne sont pas seulement un moyen d'automatiser, mais aussi un outil d'optimisation globale de la chaîne de production. Cette intégration technologique a ainsi renforcé la capacité de l'entreprise à répondre rapidement et efficacement aux besoins de ses clients, tout en améliorant sa productivité et sa rentabilité.

La période de stage m'a offert une expérience pratique dans la fabrication moderne. Elle m'a permis d'affranchir le monde industriel et de suivre le processus d'usinage (fraisage, tournage) de la pièce dès la création de programmes CNC, la définition de séquences opérations, jusqu'à l'obtention du produit fini.

Références bibliographiques

[1]	Delhomme, J. (2015). <i>Commande numérique : Théorie et mise en œuvre</i> . Éditions Cépaduès.
[2]	Guerrouabi, C., & Ait Rahmane, R. (2018). <i>Étude et conception d'une machine CNC découpeuse laser</i> (Mémoire de Master). Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
[3]	Youssef, A., & Ahmadi, A. (2010, juin). <i>Conception et réalisation d'une commande numérique d'une machine de découpe laser</i> (Mémoire d'ingénieur). École nationale de Gabès.
[4]	[Information manquante] Veuillez fournir l'auteur, le titre et l'année du document local : file:///C:/Users/infotec/Desktop/downacademia.com_cours-mocn-epst-rahou.pdf.
[5]	INRS. (s.d.). <i>Les machines-outils à commande numérique : sécurité et fonctionnement</i> . Disponible sur : https://www.inrs.fr
[6]	Festo Didactic. (s.d.). <i>Technologie des machines CNC – Typologie et applications</i> . Disponible sur : https://www.festo-didactic.com
[7]	Cheikh, A., & Cheikh, N. (2011). <i>Cours de CFAOI</i> . Université de Tlemcen, Algérie.
[8]	Gelin, D., & Vincent, M. (1995, mars). <i>Éléments des fabrications</i> . Éditions Marketing.
[9]	Duret, D. (1981). Simulation de gamme d'usinage. <i>Revue de l'ingénieur et du technicien de l'enseignement technique</i> , (229), 34–37.
[10]	Université de Lille. (s.d.). <i>Les usinages</i> . https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/res/F2_Les_usinages.pdf

ANNEXE

N10 G17 G90 G40 G64 N20 MSG("63MM 6FL FACE MILL") N30 T="63MM 6FL FACE MILL" M6 N40 OFFN=-31.5 N50 M1 N60 G0 G17 G90 G54 S3500 M3 N70 M8 N80 X-12.738 Y- 94.644 Z25. N90 Z3. N100 G1 Z-.5 F125. N110 Y-28.494 F1875. N120 Y28.494 F2500. N130 Y63.144 N140 X12.738 F1250. N150 Y28.494 F2500. N160 Y-28.494 N170 Y-94.644 F1875. N180 G0 Z3. N190 X-12.738 N200 Z2.5 N210 G1 Z-1. F125. N220 Y-28.494 F1875. N230 Y28.494 F2500. N240 Y63.144	N250 X12.738 F1250. N260 Y28.494 F2500. N270 Y-28.494 N280 Y-94.644 F1875. N290 G0 Z3. N300 X-12.738 N310 Z2. N320 G1 Z-1.5 F125. N330 Y-28.494 F1875. N340 Y28.494 F2500. N350 Y63.144 N360 X12.738 F1250. N370 Y28.494 F2500. N380 Y-28.494 N390 Y-94.644 F1875. N400 G0 Z3. N410 X-12.738 N420 Z1.5 N430 G1 Z-2. F125. N440 Y-28.494 F1875. N450 Y28.494 F2500. N460 Y63.144 N470 X12.738 F1250. N480 Y28.494 F2500	N490 Y-28.494 N500 Y-94.644 F1875. N510 G0 Z3. N520 X-12.738 N530 Z1. N540 G1 Z-2.5 F125. N550 Y-28.494 F1875. N560 Y28.494 F2500. N570 Y63.144 N580 X12.738 F1250. N590 Y28.494 F2500. N600 Y-28.494 N610 Y-94.644 F1875. N620 G0 Z3. N630 X-12.738 N640 Z.5 N650 G1 Z-3. F125. N660 Y-28.494 F1875. N670 Y28.494 F2500. N680 Y63.144 N690 X12.738 F1250. N700 Y28.494 F2500. N710 Y-28.494 N720 Y-94.644 F1875. N730 G0 Z3. N740 X-12.738
--	--	---

<p>N750 Z0 N760 G1 Z-3.5 F125. N770 Y-28.494 F1875. N780 Y28.494 F2500. N790 Y63.144 N800 X12.738 F1250. N810 Y28.494 F2500. N820 Y-28.494 N830 Y-94.644 F1875. N840 G0 Z3. N850 X-12.738 N860 Z-.5 N870 G1 Z-4. F125. N880 Y-28.494 F1875. N890 Y28.494 F2500. N900 Y63.144 N910 X12.738 F1250. N920 Y28.494 F2500. N930 Y-28.494 N940 Y-94.644 F1875. N950 G0 Z3.</p>	<p>N960 X-12.738 N970 Z-1. N980 G1 Z-4.5 F125. N990 Y-28.494 F1875. N1000 Y28.494 F2500. N1010 Y63.144 N1020 X12.738 F1250. N1030 Y28.494 F2500. N1040 Y-28.494 N1050 Y-94.644 F1875. N1060 G0 Z3. N1070 X-12.738 N1080 Z-1.5 N1090 G1 Z-5. F125. N1100 Y-28.494 F1875. N1110 Y28.494 F2500. N1120 Y63.144 N1130 X12.738 F125 N1140 Y28.494 F2500. N1150 Y-28.494 N1160 Y-94.644 F1875.</p>	<p>N1170 G0 Z3. N1180 X-12.738 N1190 Z-2. N1200 G1 Z-5.5 F125. N1210 Y-28.494 F1875. N1220 Y28.494 F2500. N1230 Y63.144 N1240 X12.738 F1250. N1250 Y28.494 F2500. N1260 Y-28.494 N1270 Y-94.644 F1875. N1280 G0 Z3. N1290 X-12.738 N1300 Z-2.5 N1310 G1 Z-6. F125. N1320 Y-28.494 F1875. N1330 Y28.494 F2500. N1340 Y63.144 N1350 X12.738 F1250. N1360 Y28.494 F2500. N1370 Y-28.494</p>