



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM-
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master
En
Génie Mécanique

Option

Ingénierie des systèmes mécaniques productives

Présenté par

BEKKAYE Ismail

THÈME

**Etude comparative des stratégies d'usinage CN :
application au logo IS2M**

Soutenu en Septembre 2013

Devant le jury :

Président	Mr. HAMOU Saïd	professeur	UABB Tlemcen
Encadreur	Mr. CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	UABB Tlemcen
Examineur	Mr. RAHOU Mohamed	Maitre de conférence	EPST Tlemcen
Examineur	Mme. CHEIKH Nassima	Maitre assistante	UABB Tlemcen

Année universitaire 2012-2013

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A ma très chère mère qui a été toujours là pour moi

A mes frères pour leur soutien moral

A toutes la famille BEKKAYE

A toutes la famille KEBBATI

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

BEKKAYE Ismail

Remerciements

Tout d'abord, je remercie le Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.

Je tiens à adresser mes remerciements à mon encadreur monsieur CHEIKH Abdelmadjid professeur au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen) d'avoir accepté de diriger ce travail ainsi que pour son entière disponibilité et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi à madame CHEIKH Nassima maitresse assistante au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen).

Mes vifs remerciements vont aussi à monsieur HAMOU Saïd professeur au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen).

Je remercie également monsieur SEBAA Fathi maitre de conférence au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen), monsieur HADJOUI Fethi maitre-assistant au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen).

Mes remerciements vont aussi à tous mes amis de master.

Enfin, mes remerciements s'adresser à tous les professeurs de notre cursus universitaire. Comme je remercie sans toutefois les citer, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

BEKKAYE Ismail

SOMMAIRE

Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE 1

Généralités sur les MOCN, la CAO et la FAO

1.1. Introduction	2
1.2. Définition des (MOCN)	2
1.3. La classification des MOCN	2
1.3.1. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement	2
1.3.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axe	3
1.3.3. Classification des MOCN selon le mode d'usinage	3
1.4. La programmation des MOCN.....	4
1.4.1. Nature des instructions programmées.....	4
1.4.2. Principaux modes de la programmation	4
1.5. Conception Assistée par Ordinateur (CAO).....	5
1.5.1. Définition de la CAO.....	5
1.5.2. Développement de La CAO du 2D à 3D	5
1.6. Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)	5
1.6.1. Définition de la FAO	5
1.6.2. Système FAO.....	5
1.6.3. Etapes pour l'utilisation d'un système FAO.....	7
1.6.4. Intégration entre la CAO et la FAO.....	8
1.7. Conclusion.....	8

CHAPITRE 2

Notions de stratégies d'usinage : application à quelques Systèmes FAO et CFAO

2.1. Introduction	9
2.2. RhinoCAM.....	9
2.2.1. Création de parcours d'outil de RhinoCAM par différentes stratégies.....	9

2.3. Master CAM.....	11
2.3.1. Création de parcours d'outils de MasterCAM par différentes stratégies	11
2.4. CAMWorks	13
2.4.1. Création de parcours d'outils de CAMWorks par différentes stratégies.....	13
2.5. DelCAM.....	14
2.6. Conclusion.....	15

CHAPITRE 3

CAO/FAO du logo

3.1. Introduction	16
3.2. Image 2D du logo IS2M.....	16
3.3. CAO du logo	17
3.4. FAO du logo.....	21
3.4.1. Stratégie UNE (Ebauche horizontale)	21
3.4.2. Stratégie DEUX (Ebauche en plongeon)	31
3.4.3. Stratégie TROIS (Usinage Radial).....	36
3.4.4. Stratégie QUATRE (Usinage spiral)	40
3.5. Conclusion.....	44

CHAPITRE 4

Etude comparative des différentes stratégies appliquées à la simulation d'usinage du logo

4.1. Introduction	45
4.2. Comparaison des différentes stratégies du point de vue temps d'usinage	45
4.3. Comparaison des différentes stratégies du point de vue qualité d'usinage.....	47
4.4. Choix de la stratégie optimale.....	48
4.4.1. La passe de finition de la stratégie d'usinage Spirale.....	48
4.4.2. Comparaison entre les deux stratégies d'usinage (Radial et Spiral plus une passe de finition).....	50
4.5. Conclusion.....	51
CONCLUSION GENERALE	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53

INTRODUCTION GENERALE

La commande numérique impose actuellement sa technologie sur le monde d'usinage. Elle est conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme. Face à l'évolution rapide de la technologie et son effet sur les machines-outils à commandes numériques plusieurs constructeurs des directeurs de commandes numériques sont apparus et chacun d'eux essaient d'introduire de nouvelles instructions pour piloter les mouvements de ces machines en tenant compte de leurs performances, ce qui provoque l'apparition de plusieurs commandes de programmation CN.

En raison de l'augmentation de la demande sur les produits de plus en plus complexes et le besoin de ces produits dans une courte période, le choix de la stratégie d'usinage reste la clé pour satisfaire le besoin des demandeurs.

Ce travail a pour but d'utiliser le système CFAO intégré Rhinoceros/RhinoCAM pour faire une étude comparative des différentes stratégies d'usinage avec application au logo de laboratoire de recherche intitulé *Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux (IS2M)* et de dédie au choix d'une stratégie optimal.

Cette étude comprend quatre chapitres :

Le premier chapitre, est consacré à l'état de l'art sur la programmation des MOCN, les systèmes CAO et FAO. Dans ce chapitre on a présenté un aperçu général sur la technologie des MOCN citant leurs classifications, programmation. On a donné aussi une vue générale sur la CAO, les composants d'un système FAO et les différentes étapes suivies pour générer le programme CN à partir des systèmes FAO et CFAO.

Le second chapitre, est consacré à l'état de l'art sur les différentes stratégies d'usinage qu'est existe dans les systèmes RhinoCAM, MasterCAM, CAMWorks et DelCAM.

Dans le troisième chapitre, on a présenté avec détail les différentes étapes de la conception et modéliser les motifs principaux pour le logo IS2M, sans le texte gravure parce qu'il n'influe pas dans le choix des stratégies d'usinage de système CFAO intégré (Rhinoceros/RhinoCAM). Les quatre stratégies présentes sont appliquées pour générer le programme et exécuté la simulation.

Quant au quatrième chapitre, on a fait une comparaison entre les quatre stratégies d'ébauche de système CFAO intégré Rhinoceros/RhinoCAM (Ebauche horizontal, Ebauche en plongeon, Usinage radial et Usinage spiral) de point de vue temps de fabrication et qualité d'usinage.

Enfin une conclusion générale est donnée.

CHAPITRE 1

Généralités sur les MOCN, la CAO et la FAO

1.1. Introduction

On dit une machine à commande numérique (MOCN), si elle est capable de travailler suivant les instructions d'un programme CN. Ce programme soit construit manuellement soit généré par un système FAO à partir d'un fichier CAO.

Dans ce chapitre on va présenter un aperçu général sur la technologie de ces machines, citant leur classification et programmation, et les systèmes CAO et FAO.

1.2. Définition des (MOCN)

La commande numérique (CN) est une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvement et la vitesse des déplacements sont donnés à partir d'informations numériques, de plus l'automatisation permet de situer un outil sur une position prédéterminée à l'aide d'informations numériques traduites et interprétées par la CN.

1.3. La classification des MOCN

Les MOCN sont classées suivant le mode de fonctionnement de la machine, le nombre d'axe, le mode d'usinage, le mode de fonctionnement de système de mesure et selon le mode d'entrée des informations [7].

1.3.1. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement

➤ **Fonctionnement en boucle ouverte**

En boucle ouverte le système assure le déplacement de chariot mais ne la contrôle pas.

➤ **Fonctionnement en boucle fermée**

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

➤ **Fonctionnement avec commande adaptative**

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe. Des capteurs relève 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.

1.3.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axe

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

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 continu.

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

Chaque mouvement de translation ou de rotation est donc représenté par un axe défini par une lettre affectée du signe (+) ou (-). Le tableau-1.1- présente les différents mouvements qui peuvent les posséder une MOCN.

Tableau-1.1- Axes des différents mouvements possibles [7]

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

1.3.3. Classification des MOCN selon le mode d'usage

Selon le mode d'usage on peut classer les MOCN ont trois catégories :

➤ **Commande numérique point à point**

C'est la mise en position de l'outil ou de la pièce par déplacement non synchronisés. Le mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement est fini.

➤ **Commande numérique paraxiale**

Ce sont des déplacements parallèles aux axes avec la vitesse programmée. Le mouvement de coupe et d'avance sont synchronisés de façon à avoir un usinage selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement.

➤ **Commande numérique de contournage**

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

L'organe mobile est contrôlé en tout instant pour obtenir la trajectoire voulue. Un grand nombre de points intermédiaires et très rapprochés sont calculés pour définir les déplacements. Le calcul de coordonnées de ces points appelés interpolation est confié au directeur de commande ou au calculateur.

1.4. La programmation des MOCN

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

1.4.1. Nature des instructions programmées

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

- *Les données géométriques*, elles indiquent la forme et les dimensions de la pièce à usiner et permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue. Certaines instructions viennent compléter les données géométriques en indiquant la nature du traitement numérique qu'elles doivent subir : le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage le choix de l'outil, etc.
- *Les Données technologiques*, elles précisent compte tenu des caractéristiques et des performances de la machine (puissance des moteurs d'entraînement, performances de la broche et des organes mobiles), les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage [1].

1.4.2. Principaux modes de la programmation

Il existe plusieurs modes de programmation mais les modes les plus utilisés sont la programmation manuelle et la programmation automatique [1].

- La programmation manuelle consiste à écrire, ligne par ligne, les étapes successives nécessaires à l'élaboration d'une pièce donnée. Ce mode de programmation requiert une profonde connaissance du langage de programmation, des mathématiques (en particulier la géométrie et la trigonométrie) et des techniques d'usinage (limitations machine, outils, matières, etc.).
- La programmation automatique ou assistée fait appel à un langage de programmation spécialisé généré à partir d'un système informatique extérieur à la machine. Ce langage comporte généralement deux phases de traitement des programmes. La première phase, appelée programme processeur, permet de générer un fichier appelé

CL File (Cutter Location File), indépendant de la machine et de la CN. Une seconde phase, dite programme post-processeur, qui permet de traduire le CL File en langage machine.

1.5. Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

1.5.1. Définition de la CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels (SolidWorks, SolidEdge, Codekey,...) et techniques de modélisation géométrique qui permettent de concevoir et de tester à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique un produit et de faire des modifications éventuelles [3].

1.5.2. Développement de La CAO du 2D à 3D

Les systèmes de CAO des années soixante supportaient le dessin bidimensionnel (2D), ensuite, l'extension des systèmes 2D aux systèmes tridimensionnels (3D) a abouti au développement du modèle filaire. Cependant, ce modèle ne peut représenter des géométries de niveau plus haut tel que les surfaces. Et ce n'est qu'au début des années soixante-dix que les modèles surfaciques sont apparus. C'est une représentation de niveau plus élevé que le filaire mais pas assez pour représenter les volumes ou les solides. Le besoin des modèles solides a été ressenti avec l'évolution de la commande numérique et de la méthode des éléments finis. Au début des années soixante-dix la modélisation solide a commencé à se répandre. Maintenant, les systèmes CFAO supportent l'ensemble des trois modèles (filaire, surfacique et solide) et intègrent plusieurs fonctionnalités (multi-utilisateur, gestion des accès, gestion des versions...). Parmi les systèmes existants on peut citer CATIA (de Dassault System), Euclid (de Matra data vision), Ideas (de SDRC), Proengineer (de Parametric technology) [4].

1.6. Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

1.6.1. Définition de la FAO

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

1.6.2. Système FAO

Généralement un système FAO se compose de trois modules le préprocesseur, le processeur et le post processeur [4].

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

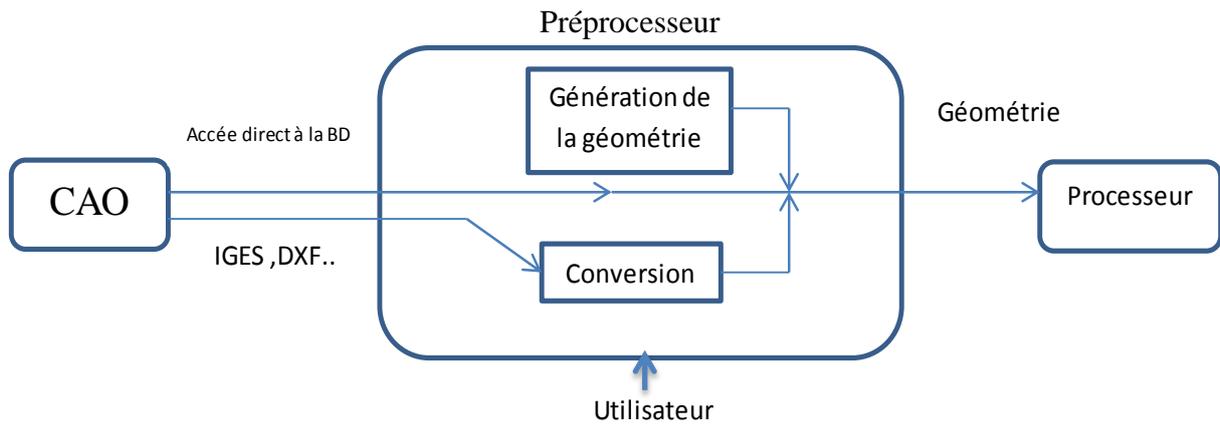


Figure-1.1- Rôle du Préprocesseur dans un système FAO [5]

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

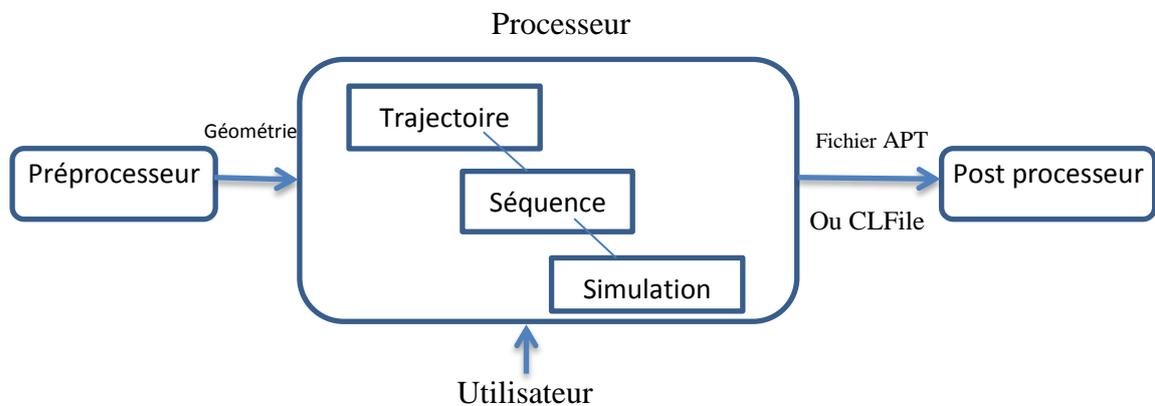


Figure-1.2- Rôle du processeur dans un système FAO [5]

Le rôle du post processeur consiste à traduire, en fonction du type du contrôleur de la machine-outil à commande numérique, le CLfile ou le programme APT pour générer le programme CN. Ce programme est ensuite téléchargé dans la mémoire de la DCN ou de la CNC de la machine-outil. Dans un atelier équipé de plusieurs machines-outils à commande numérique, il n'est pas rare d'avoir des contrôleurs de MOCN différents. Pour cela un système FAO doit disposer d'autant de post processeurs que de contrôleurs différents. La figure -1.3- présente le rôle de post processeur dans les systèmes FAO.

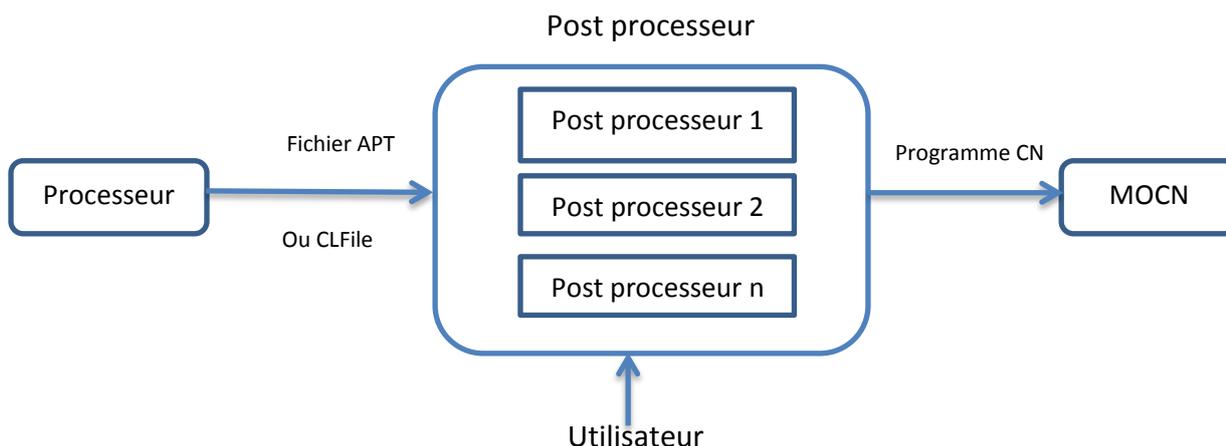


Figure-1.3- Rôle du post processeur dans un système FAO [5]

1.6.3. Etapes pour l'utilisation d'un système FAO

Pour utiliser un système FAO on passe par cinq étapes essentielles, qui sont les suivantes :

➤ ***Définition de la géométrie***

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

➤ ***Elaboration des parcours d'outil***

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

➤ ***Génération de programme CN***

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

➤ ***Simulation d'usinage***

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

➤ *Transfert vers la MOCN*

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

1.6.4. Intégration entre la CAO et la FAO

Du fait des avantages procurés par la réutilisation, dans les secteurs de production, des définitions établies au niveau du bureau d'études, on assiste à une intégration croissante des techniques de conception assistée par ordinateur et des techniques de fabrication assistée par ordinateur. L'ensemble étant regroupé sous le sigle CFAO [6], la liaison entre ces deux systèmes réside dans l'utilisation du modèle géométrique commun. Parfois on trouve le problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie dans la transmission de ce dernier de système CAO au système FAO dans le cas d'utilisation de deux systèmes CAO et FAO séparés, pour cela il est préférable d'utiliser un système CFAO parce qu'il nous permet de faire la conception et la génération de programme CN dans le même environnement.

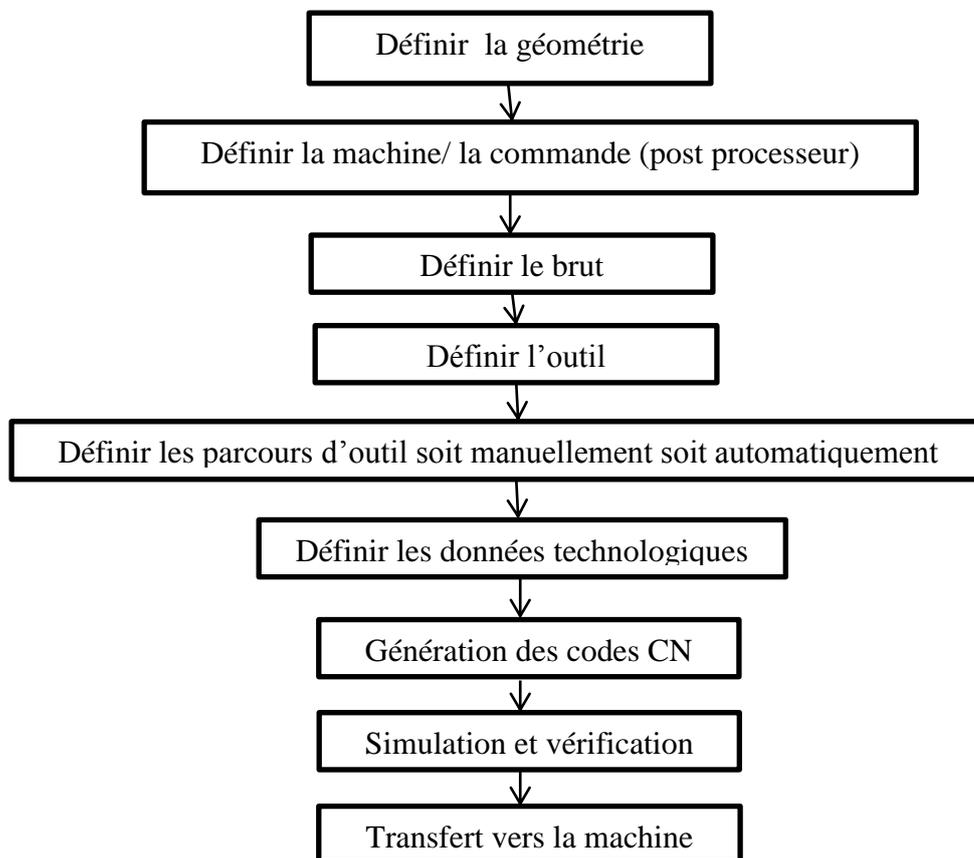


Figure-1.4- Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO [3].

1.7. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur la technologie des MOCN, citant leurs classifications, leur programmation et les systèmes CAO et FAO.

CHAPITRE 2

Notions de stratégies d'usinage : application à quelques systèmes FAO et CFAO

2.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter quelques notions de stratégies d'usinage appliquées aux systèmes RhinoCAM, MasterCAM, CAMWorks et DelCAM.

2.2. RhinoCAM

RhinoCAM est une application FAO intégré complètement dans Rhinocéros pour former un logiciel CFAO puissant qui aide les utilisateurs de faire la CAO et la FAO dans le même environnement sans sortir de système Rhino. Il est créé par Microsoft et basé sur VisuelMILL et il est non autonome. Il est capable de générer le parcours d'outils des opérations de fraisage 2 ½, 3, 4 et 5 axes, il possède aussi des centaines de post processeurs et notamment les plus utilisés (FANUC, NUM, SEMENS, FAGOR, HEIDENHAIN...), il possède aussi un générateur post processeur permet au programmeur de définir son propre post processeur [8], après la génération de parcours d'outil il nous donne toutes les informations liés à ce parcours d'outil (l'outil utilisé, la vitesse d'avance, la position dans le programme CN, et le temps d'exécution).

2.2.1. Création de parcours d'outil de RhinoCAM par différentes stratégies

➤ Ebauche horizontale

C'est la principale méthode de dégrossissage de RhinoCAM, soit aussi que la ligne de flottaison ou de coupe constante Z, dans lequel la matière est malmené en couches horizontales. Ce type d'usinage est très efficace pour enlever de grandes quantités de matière, et est généralement effectuée avec un gros outil. Ebauche est généralement suivie parcours semi-finition ou de finition [9].

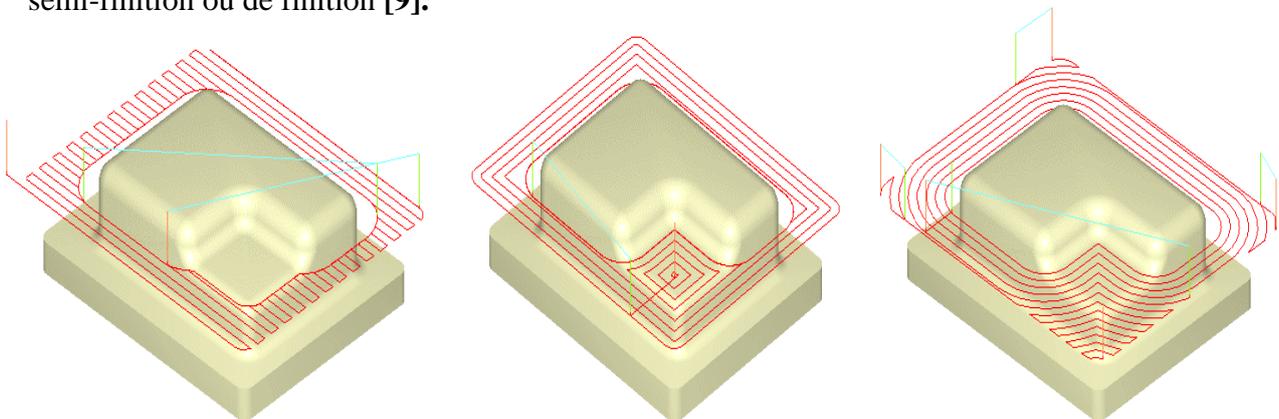


Figure-2.1- Ebauche horizontale [9].

➤ **Ebauche en plongeon**

Aussi appelé ébauche de forage, l'outil peut couper dans la direction Z, et non en X et Y. L'outil effectue une série de chevauchement plonge pour enlever les bouchons cylindriques de matériau [9].

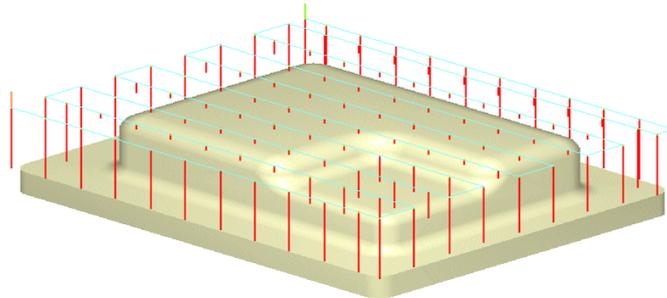


Figure-2.2- Ebauche de plongeon [9].

➤ **Usinage radial**

Cette méthode est utilisée pour les zones qui présentent des caractéristiques circulaires ou quasi-circulaire, comme les fonds de poche finition. Il faut spécifier une ou plusieurs zones d'usinage, l'outil se déplace dans un motif en spirale par rapport au centre de gravité de ces régions [9].

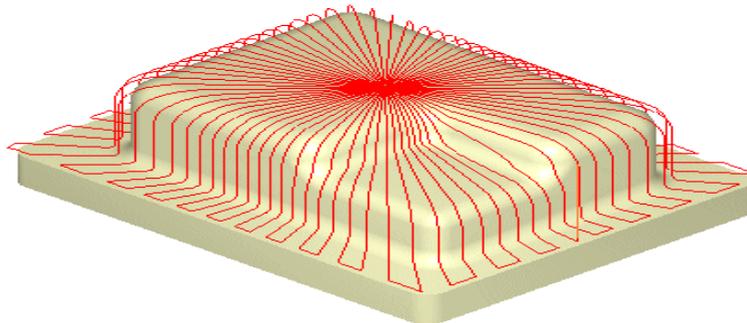


Figure-2.3- Usinage radial [9].

➤ **Usinage spirale**

Usinage en spirale est un procédé de génération d'une trajectoire d'outil en spirale. Il peut être utilisé efficacement pour les régions circulaires. Une / plusieurs régions doivent être sélectionnées et activées pour générer le parcours en spirale. Le parcours sera généré uniquement dans les régions activées [9].

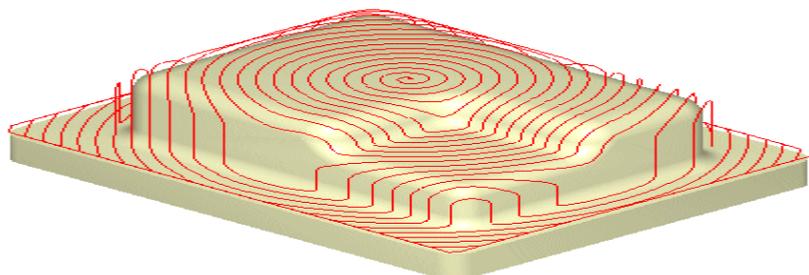


Figure-2.4- Usinage en spirale [9].

2.3. Master CAM

MasterCAM est un logiciel utilisé pour la programmation de machines-outils (CNC) servant à l'usinage. Sa compatibilité avec la majorité des équipements à commande numérique et des logiciels de dessin 3D fait de cette interface la plus populaire sur le marché. La FAO (fabrication assistée par ordinateur) est un incontournable pour les manufacturiers d'où une forte demande pour la main-d'œuvre qualifiée dans ce domaine [10].

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

2.3.1. Création de parcours d'outils de MasterCAM par différentes stratégies

➤ Ebauche par poches

L'Ebauche par poche enlève rapidement beaucoup de matière. L'avantage d'utiliser un usinage d'ébauche par poche sur cette pièce, c'est que le parcours d'outil attaquera en un point extérieur à la pièce pour éviter à l'outil de plonger dans la matière. Un usinage d'ébauche de poche crée des passes dans un plan, méthode préférable en ébauche. La géométrie pour cet exercice est illustrée ci-dessous [10].

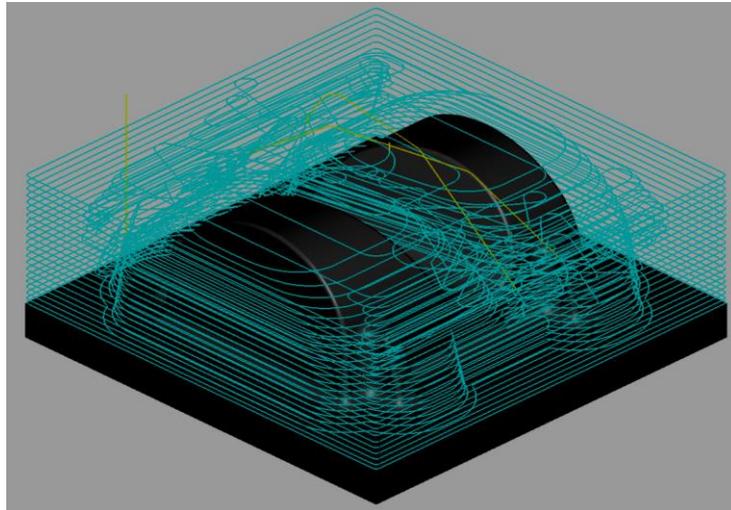


Figure-2.5- Ebauche par poches [10].

➤ Ebauche par plongées

Le tréflage (ébauche par plongées) usine une pièce par mouvements de perçage. Les ateliers qui utilisent ces usinages investissent dans des outils à base plane qui peuvent enlever rapidement le brut, mais qui doivent être refroidis par le centre d'outil. Le tréflage convient bien aux usinages de cavités profondes. La géométrie et l'usinage d'ébauche pour cette stratégie sont illustrés ci-dessous [10]. .

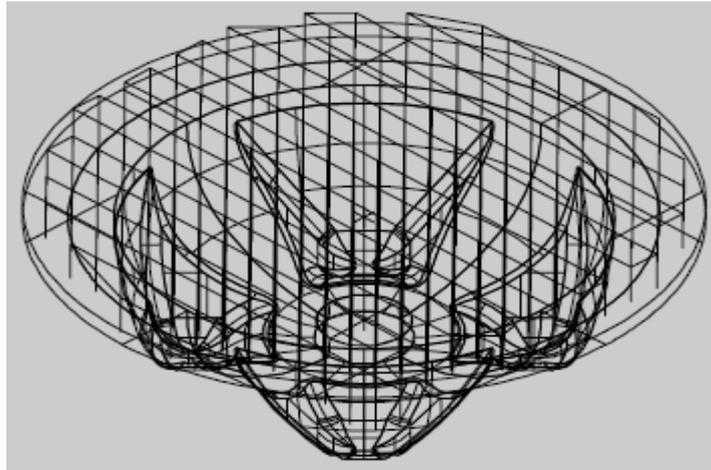


Figure-2.6- Ebauche par plongées [10].

➤ **Reprise d'ébauche**

Une reprise d'ébauche est le seul usinage de résiduels par des déplacements d'outil dans un plan. Contrairement à un usinage de reprise de finition qui s'appuie directement sur la pièce et exécute des déplacements 3D, la reprise d'ébauche identifie la matière résiduelle et l'enlève au moyen de passes Z [10]. .

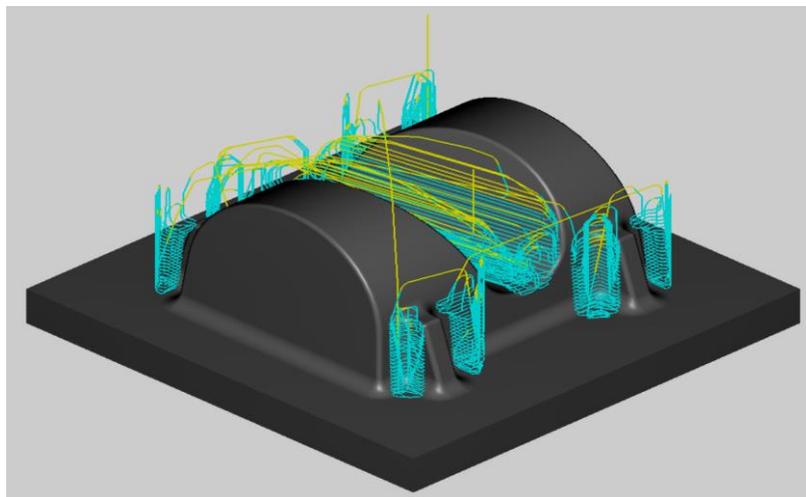


Figure-2.7- Reprise d'ébauche [10].

➤ **Usinage d'ébauche par poche à grande vitesse (UGV)**

L'usinage à grande vitesse s'effectue au moyen de trajectoires d'outil continues dans lesquelles les arcs et les lignes sont connectées sans angles vifs. Il faut aussi éviter les mouvements d'enfouissement de l'outil dans la matière [10]. .

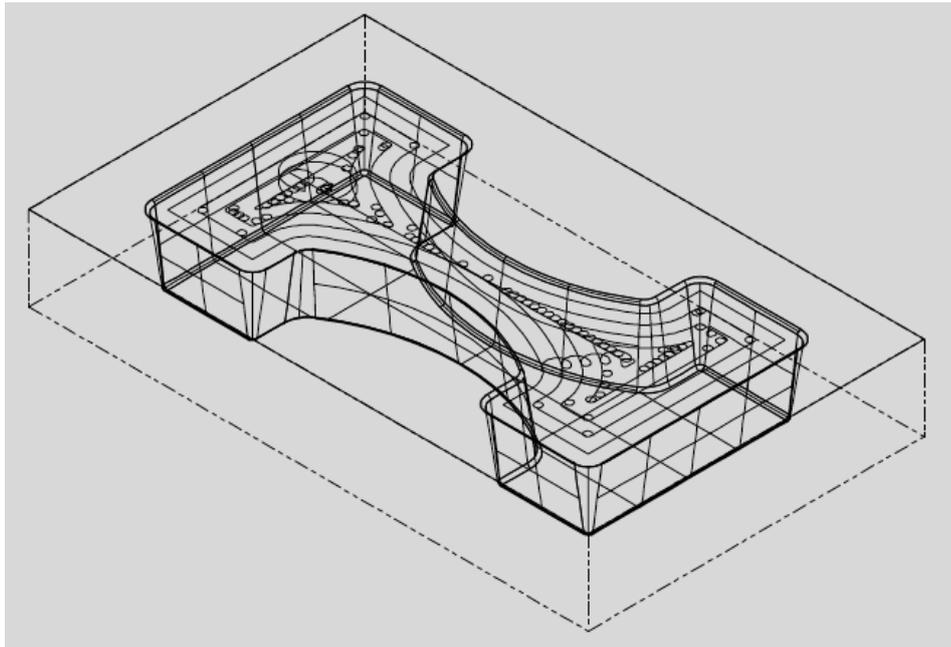


Figure-2.8- Usinage d'ébauche par poche à grande vitesse (UGV) [10].

2.4. CAMWorks

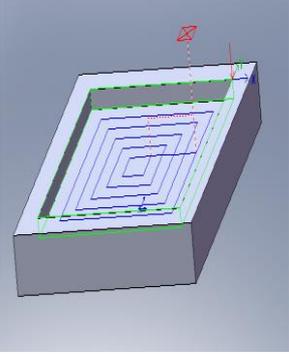
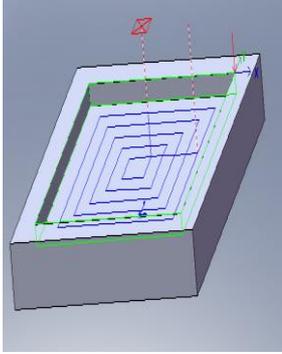
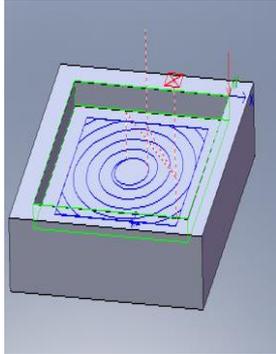
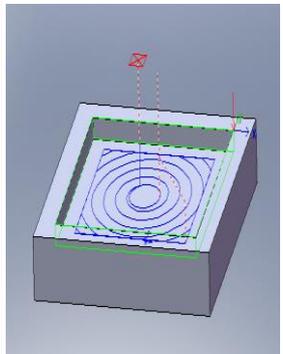
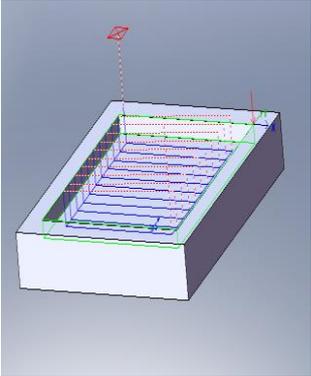
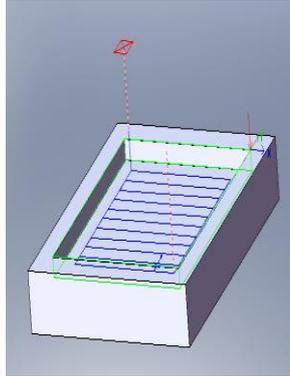
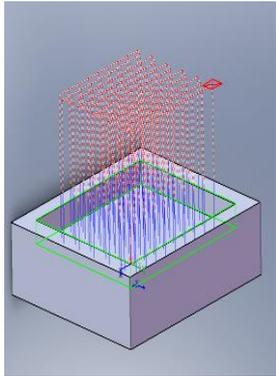
CAMWorks est une solution FAO intelligente et intuitive qui élimine le côté fastidieux et les contraintes de la programmation CN traditionnelle. La production industrielle se doit d'être rentable tout en respectant des délais toujours plus courts et des budgets contraignants. Pour atteindre ces objectifs CAMWorks propose la programmation intelligente basée sur l'automatisation.

2.4.1. Création de parcours d'outils de CAMWorks par différentes stratégies

Un axe opération enlève de la matière en suivant la forme du dispositif à usiner ou en effectuant des coupes parallèles à travers la fonction.

- ✓ Option pour générer supplémentaire Ebauche passe au-dessus des îles.
- ✓ Options pour générer à grande vitesse parcours sans angles vifs.
- ✓ Les couts paramètre zigzag, zig, poche in / out, spirale in / out, plongeon rude.

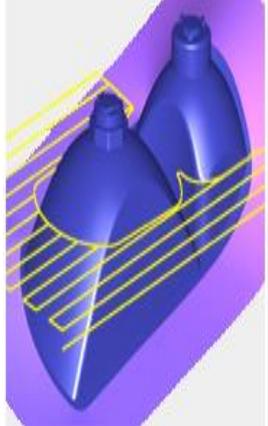
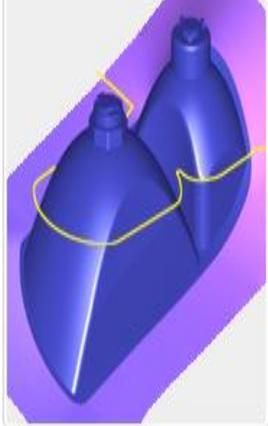
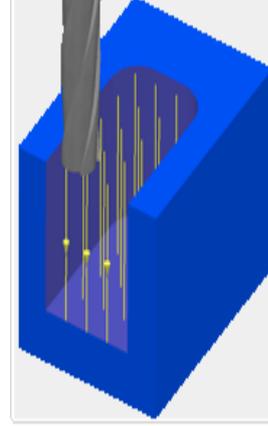
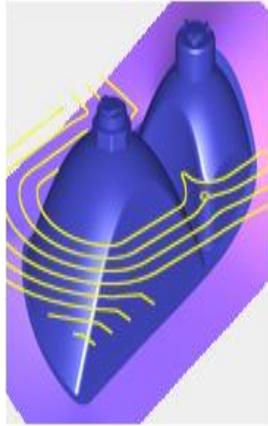
Tableau-2.1- les parcours d'outils de CAMWorks

Usinage Poche entrée	Usinage Poche sortie	Usinage Spiral entrée	Usinage Spiral sortie
			
ZIG	ZIG ZAG	Ebauche en plongeon	
			

2.5. DelCAM

PowerMILL est un logiciel FAO de DelCAM produit des parcours d'outils de fraisage à CN efficace, sans collisions, à partir de modèles de CAO importé. Il est dédié pour la fabrication de formes complexes utilisées dans l'industrie de l'outillage, de l'automobile et de l'aéronautique. Les fonctions clé incluent un grand nombre de stratégies, y compris les stratégies d'ébauche les plus récentes, les finitions en UGV, fabrication électrode, les techniques d'usinage 3,4 et 5 axes [11]. Il nous permet de visualiser le parcours d'outil résultant à l'écran à l'aide d'outil ViewMILL avant d'être générer et exportés comme des fichiers CL. Il nous permet de générer le programme CN sous les langages normalisés les plus utilisés, on trouve essentiellement FAGOR, BOSTOM, FANUC, HEIDENHAIN, SIEMENS, NUM, ISO....

Tableau-2.2- Les parcours d'outils de DelCAM

Balayage 3 axes	Contournage 3 axes	Passe d'usinage	Décalage 3 axes
			

2.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté quelques notions de stratégies d'usinage appliquées aux systèmes RhinoCAM, MasterCAM, CAMWorks et DelCAM.

CHAPITRE 3

CAO/FAO du logo

3.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les différentes étapes de conception et de fabrication du logo par l'utilisation des différentes stratégies d'usinages présentent dans l'application Rhinocéros.

On a choisi l'application Rhinocéros parce qu'il est capable de réaliser les différentes formes de notre logo, surtout les splines (utilise des courbes à base de spline NURBS). En plus cette application possède plusieurs stratégies d'usinages ce qui permet d'arriver à notre objectif dans le choix de la stratégie optimale.

3.2. Image 2D du logo IS2M

L'image 2D du logo IS2M donné dans le cahier de charge est présentée dans la figure 3.1 Les dimensions de la géométrie 2D de base sont montrées dans la figure 3.2.



Figure-3.1- Image 2D du logo IS2M

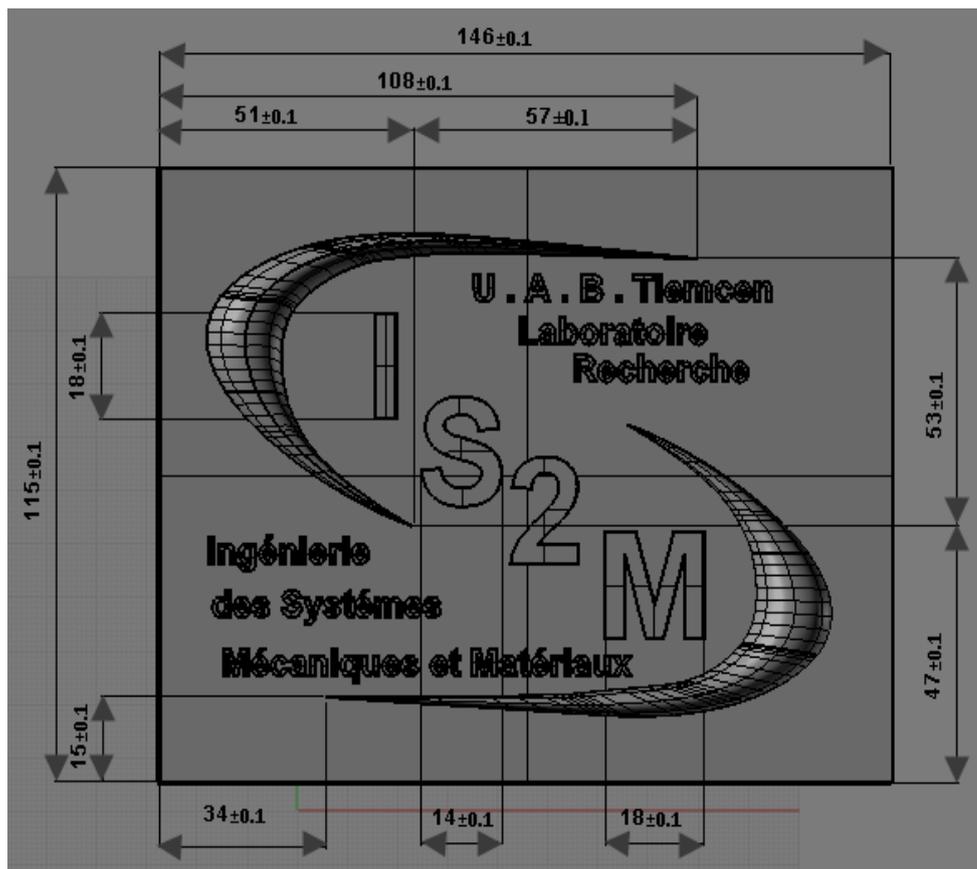


Figure-3.2- Dimensions de la géométrie 2D de base du logo

3.3. CAO du logo

Dans notre travail on va éliminer le texte du logo (la gravure) et on va garder les motifs principaux comme nous montre la figure suivante.

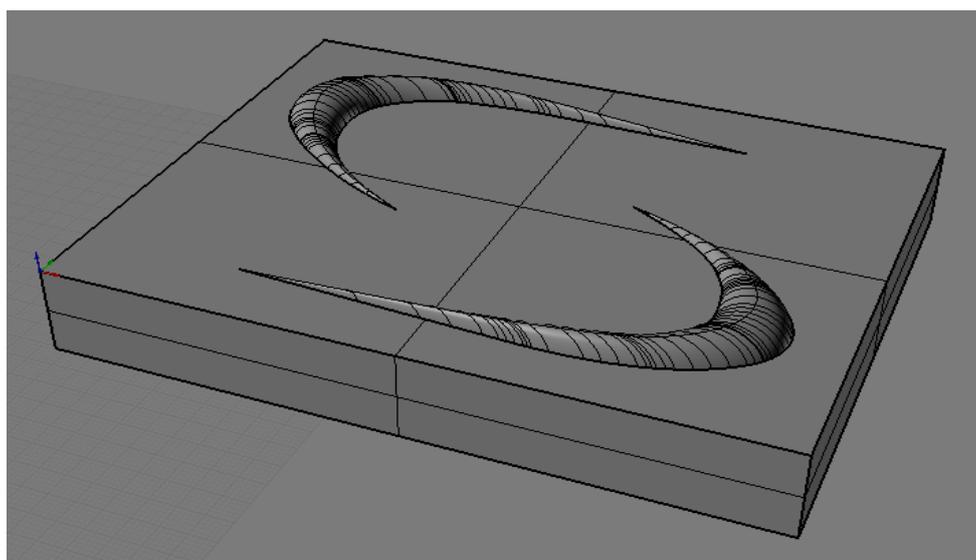


Figure-3.3- Présentation du logo

- La première étape, dans le plan face on esquisse un rectangle de premier sommet (0,0), deuxième sommet (146,115) comme le montre sur la figure 3.4.



Figure-3.4- Création de rectangle

- La deuxième étape, on utilise l'option de Rhinocéros 4.0 extruder une courbe plane droit, pour extruder le rectangle le long d'une distance de 20 mm comme le montre dans la figure 3.5.

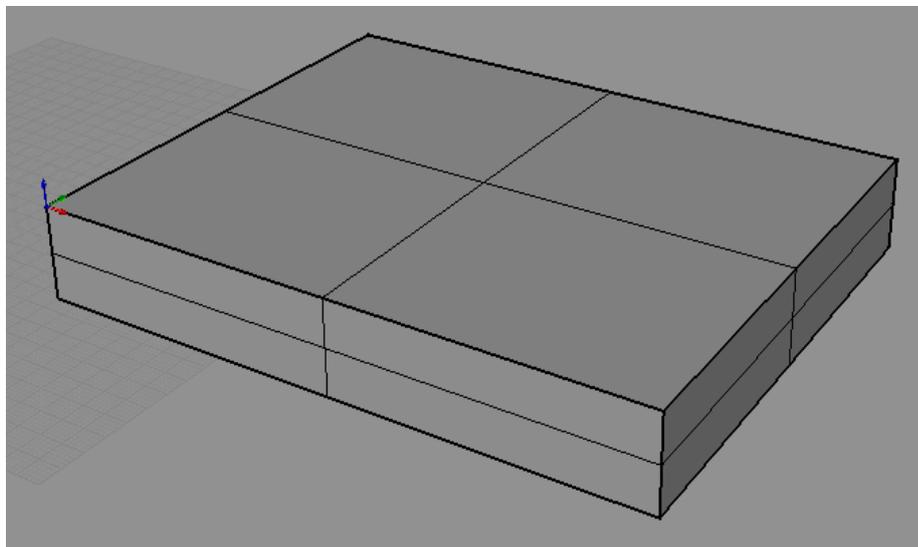


Figure-3.5- Extrusion de rectangle

- La troisième étape, toujours dans le plan de face on esquisse les entités spline à l'aide des commandes ellipse, courbe de point de contrôle et limiter un courbe. La figure 3.6 présente plus de détail sur les dimensions des entités splines.

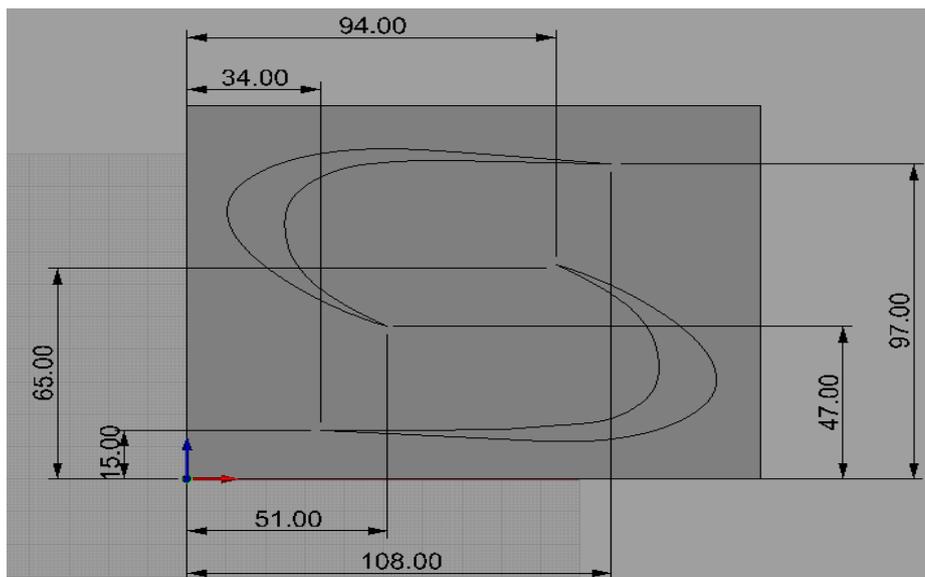


Figure-3.6- Création des courbes spline

- La quatrième étape, dans cette étape on crée l'entité à extrudé, au plan de dessous on crée un arc de point de départ (4,0), de centre (8,5, 0) et de point d'arrivée (12,5, 0) comme présenté sur la partie dessous de la figure 3.7 Puis on fait glisser ce dernier dans le plan de face jusqu'à l'arrivée à l'entité spline comme illustré sur la partie dessus de la même figure.

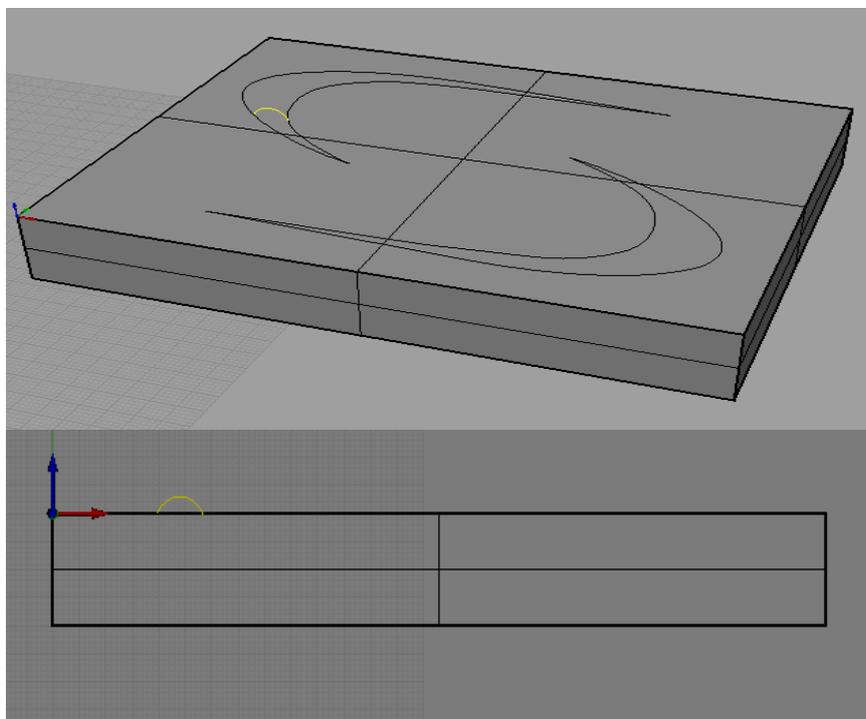


Figure-3.7- Création de l'entité à extrudé

- La cinquième étape, dans cette étape on utilise l'option balayage sur deux rails pour extruder l'arc créait le long de l'entité spline, comme présente la figure 3.8.

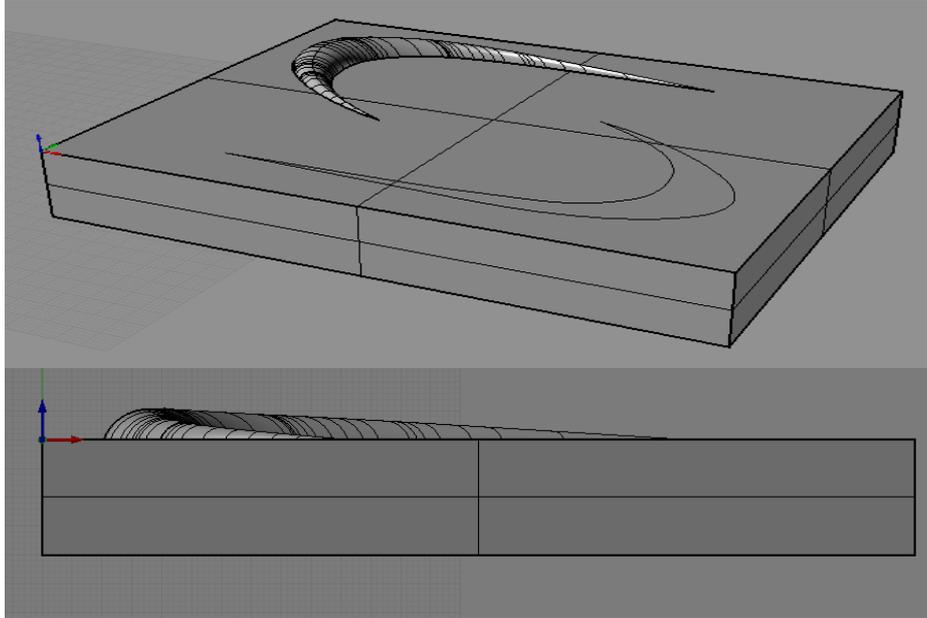


Figure-3.8- Extrusion de l'arc selon l'entité 1

- La sixième étape, on fait glisser l'entité créée dans la quatrième étape dans le plan de face jusqu'à l'arrivée à la deuxième entité spline, comme présenté sur la partie dessous de la figure 3.9. Puis on répète l'étape cinq pour obtenir la géométrie présentée dans la partie dessus de la même figure.

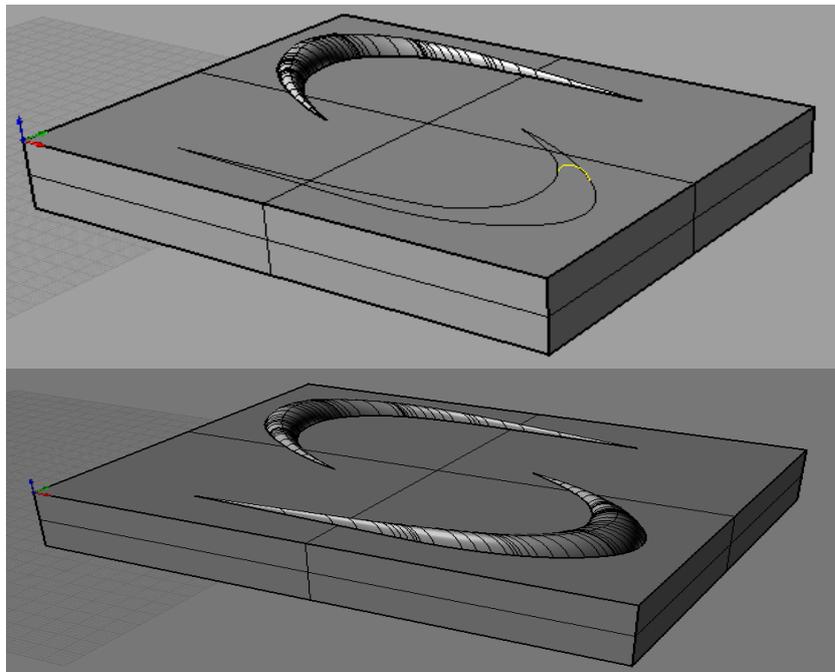


Figure-3.9- Extrusion de l'arc selon l'entité 2

3.4. FAO du logo

3.4.1. Stratégie UNE (Ebauche horizontale)

Ce type d'usinage est très efficace pour enlever de grandes quantités de matière, et est généralement effectuée avec un gros outil.

➤ Sélection de la machine

On définit la machine selon le nombre d'axe qui possède la machine disponible. Dans notre travail on va choisir une machine à 3 axes comme présenté dans la figure 3.10.

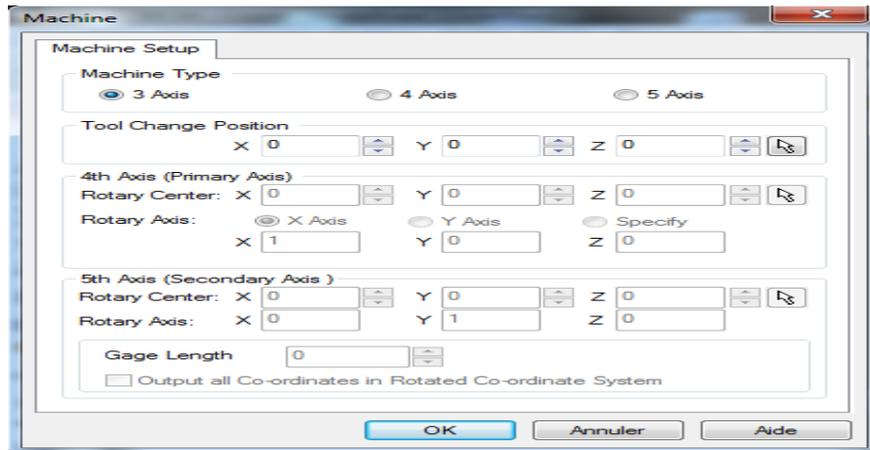


Figure-3.10- Définition de la machine

➤ Définition de la commande machine de génération de programme

On selecte la commande machine de génération de programme comme présenté sur la figure 3.11. Dans notre travail on va choisir la commande Siemens ISO.

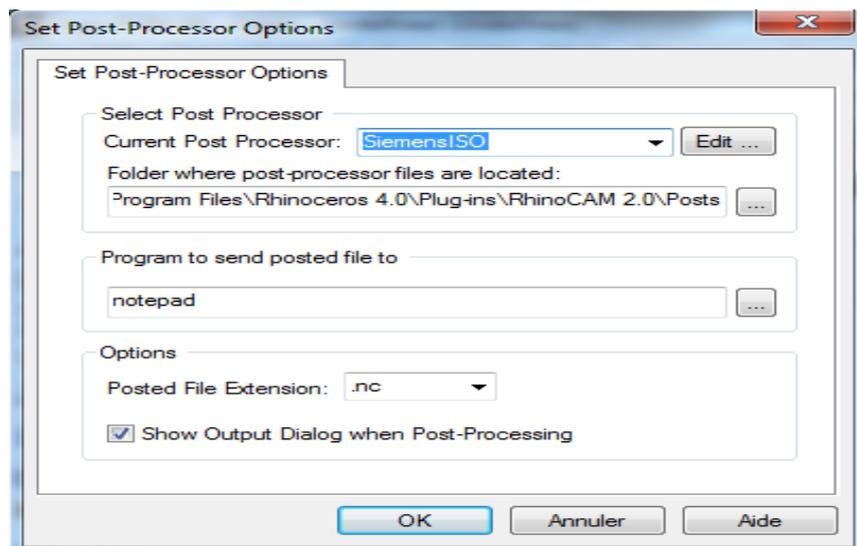


Figure-3.11- Définition de la commande

➤ Orientation géométrique

Cette option nous permet d'orienter notre géométrie en fonction de système d'axe, lors de création de la géométrie on a travaillé dans le plan de face (plan XZ) mais pour la génération de programme on a besoin de rendre la grande face de la géométrie au plan XY, pour cela on utilise cette option comme illustre la figure 3.12.

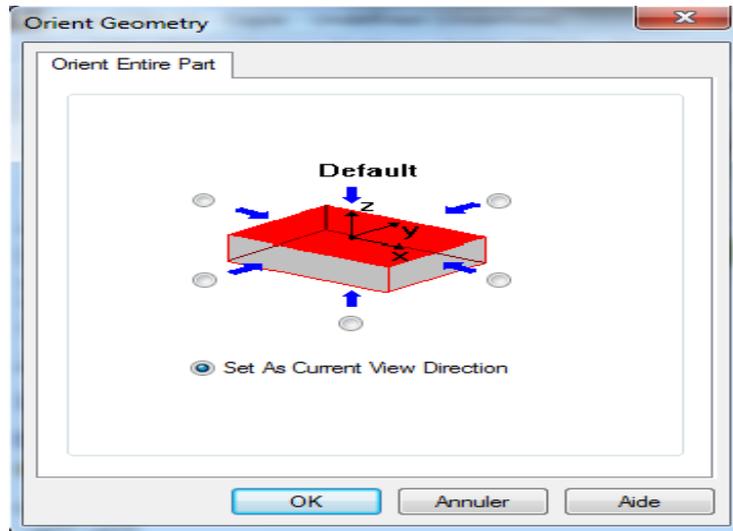


Figure-3.12- Orientation de la géométrie

➤ Définition du brut

Le brut dans notre cas c'est un bloc de longueur 146 mm, de largeur 115 mm et d'hauteur 30 mm.

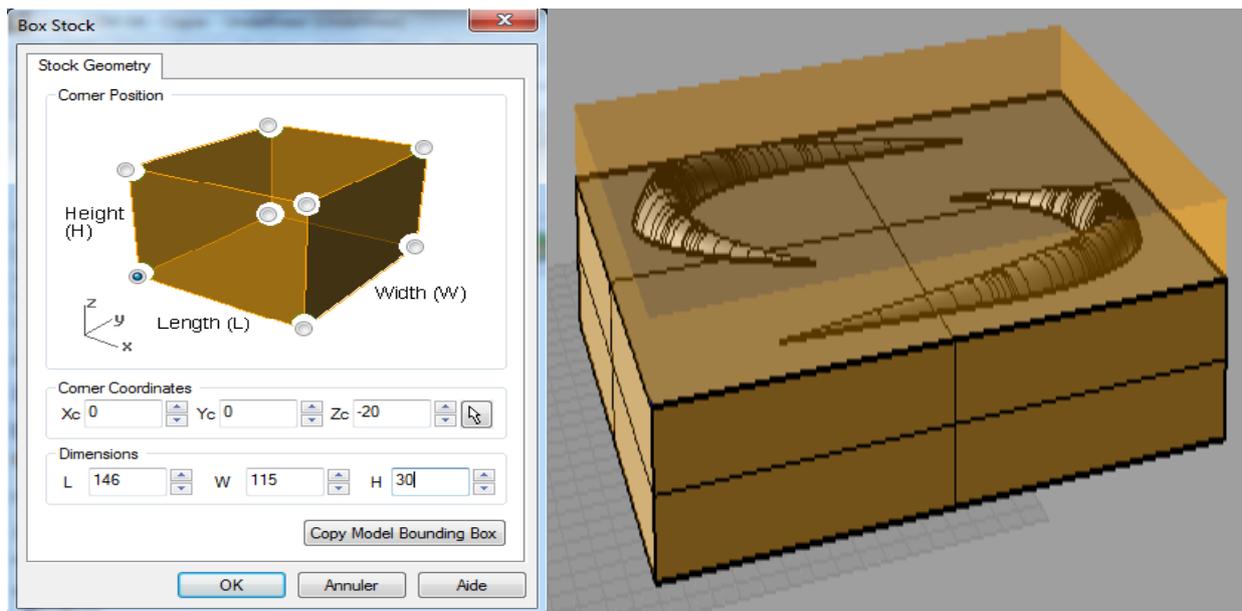


Figure-3.13- Définition du brut

➤ **Définition d'origine programme**

Cette commande nous permet de définir l'emplacement d'origine programme, dans notre cas on le met au coin gauche de brut, comme présenté sur la figure 3.14.

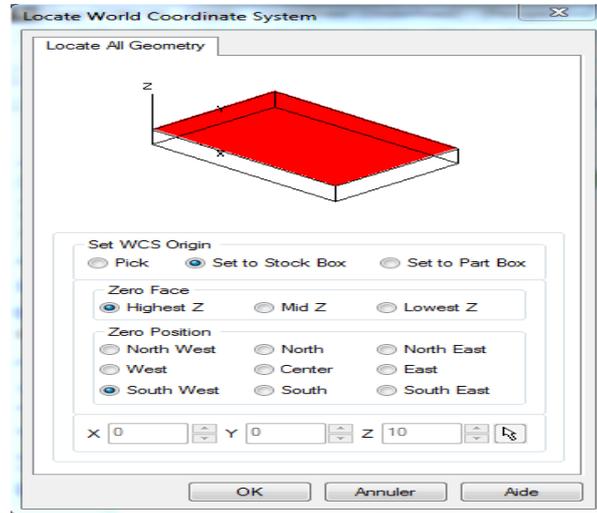


Figure-3.14- Définition d'origine programme

➤ **Alignement pièce brut**

Cette commande permet de définir la position de la pièce par rapport au brut. Dans notre cas on met la pièce au bas de brut suivant l'axe Z et au milieu dans le plan XY comme illustre-la figure 3.15.

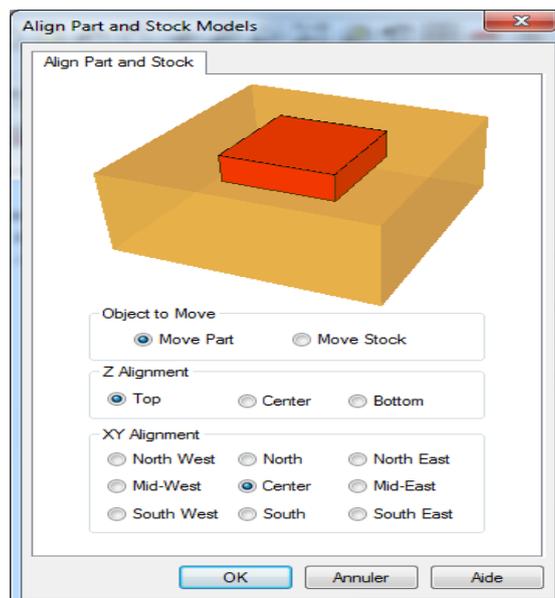


Figure-3.15- Position pièce/brut

➤ **Définition des outils**

Dans cette fenêtre de dialogue on peut sélectionner l'outil qu'on a besoin. Pour tous les stratégies d'usinage on utilise un outil de type Flat Mill de diamètre 6 mm, de longueur 20 mm comme présenté dans la figure 3.16.

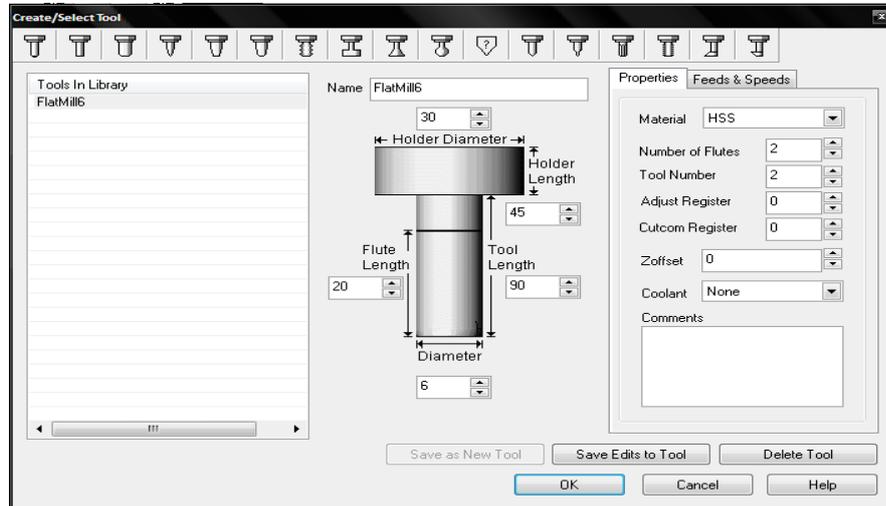


Figure-3.16- Définition d'outil (Flat Mill)

➤ **Définition de parcours d'outil**

Pour cette stratégie on utilise le parcours d'outil Ebauche horizontale (Horizontal Roughing) comme présenté dans la figure 3.17.

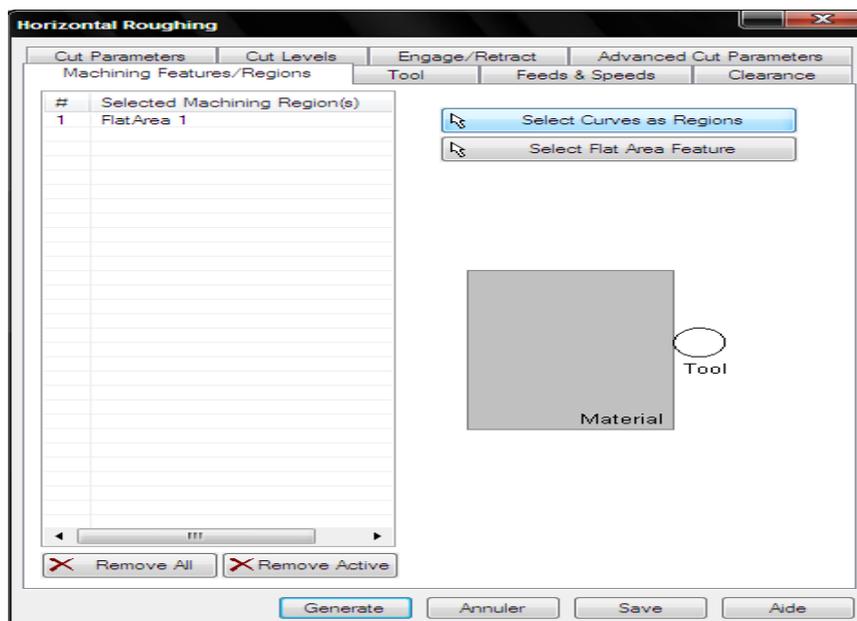


Figure-3.17- Fenêtre de dialogue Ebauche horizontale

Dans cette fenêtre de dialogue on peut sélectionner la zone de parcours d'outil, l'outil qui on va travailler avec lui, la vitesse d'avance (20 mm/ min), la vitesse de rotation de la broche (500 tr/min) (figure 3.18), le plan de sécurité (20mm) (figure 3.19), la profondeur de passe 20% de diamètre de la fraise (figure 3.20). La figure 3.21 permet de définir le type de modèle de coupe.

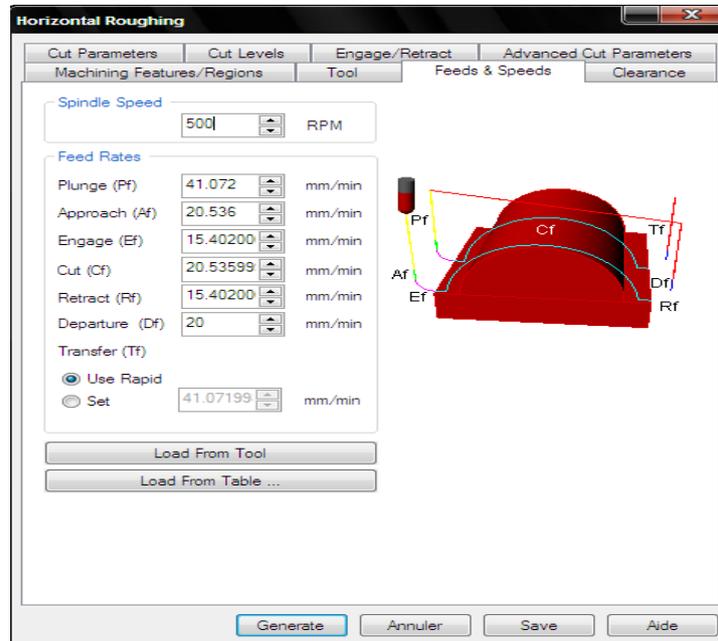


Figure-3.18- Définition de la vitesse d'avance et de coupe

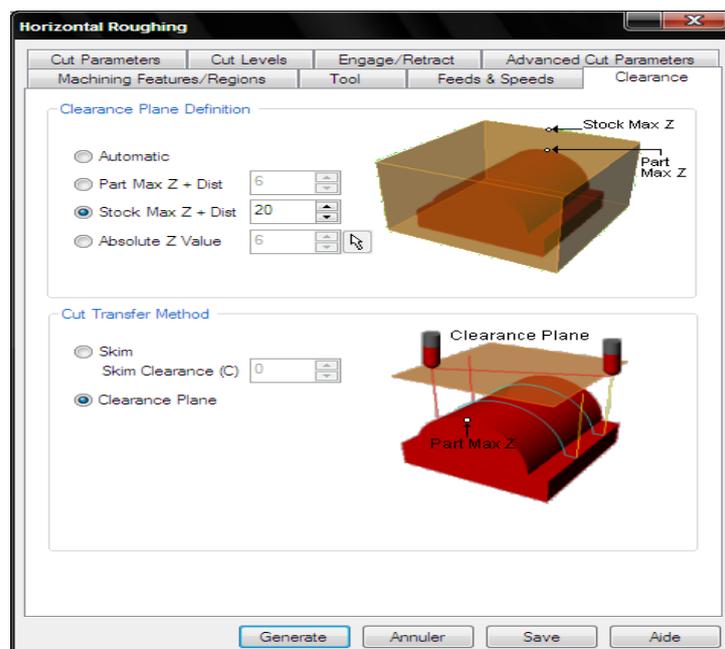


Figure-3.19- Définition de plan de sécurité

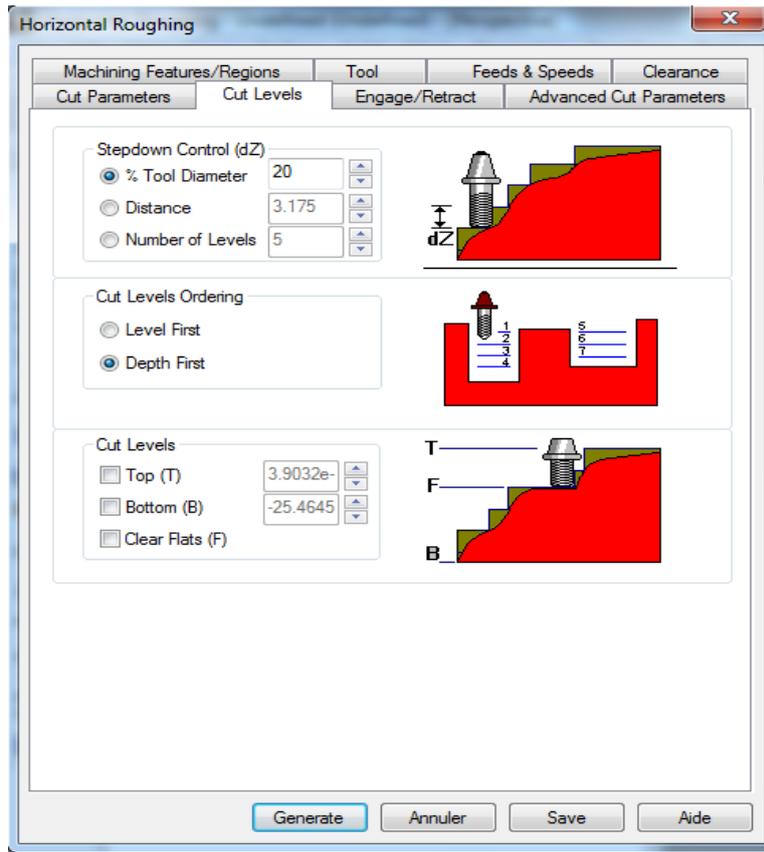


Figure-3.20- Définition de la profondeur de passe

➤ Paramètre de coupe

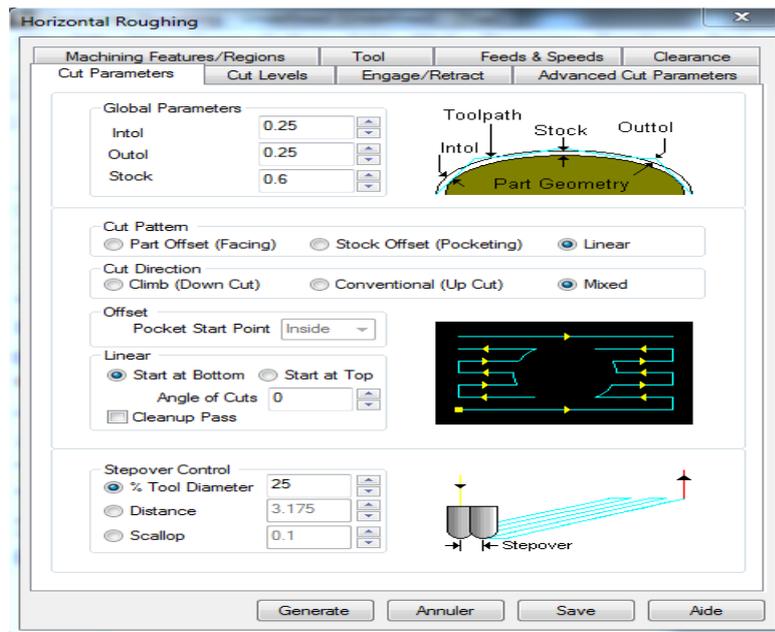
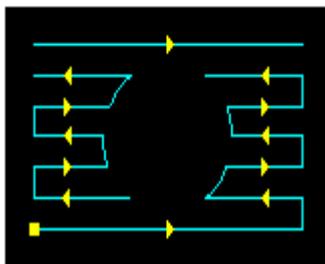
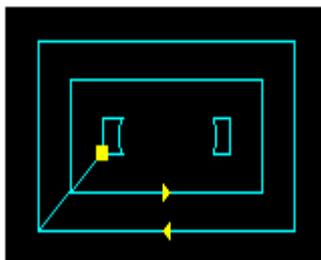


Figure-3.21- Définition de type de modèle de coupe.

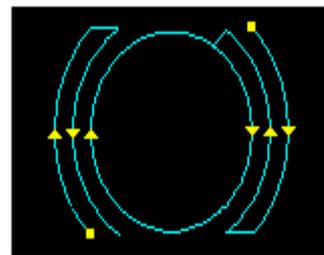
Cette fenêtre permet de choisir entre trois parcours d'outil qui sont comme suit :



Linéaire



Stock Offset



Partie Offset

➤ Stratégie UNE A (Linéaire)

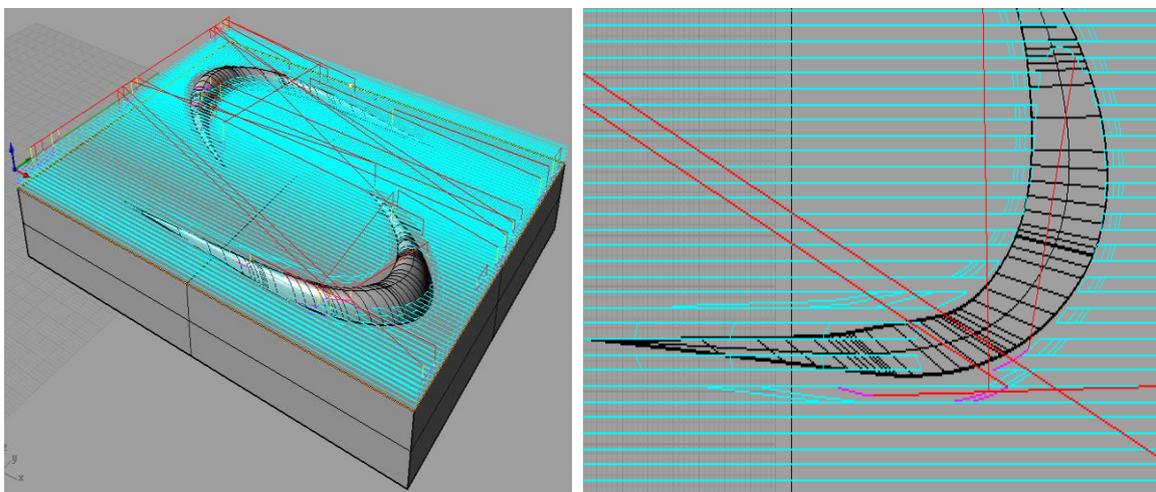


Figure-3.22- Parcours d'outil Linéaire

Le résultat de simulation de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.23.

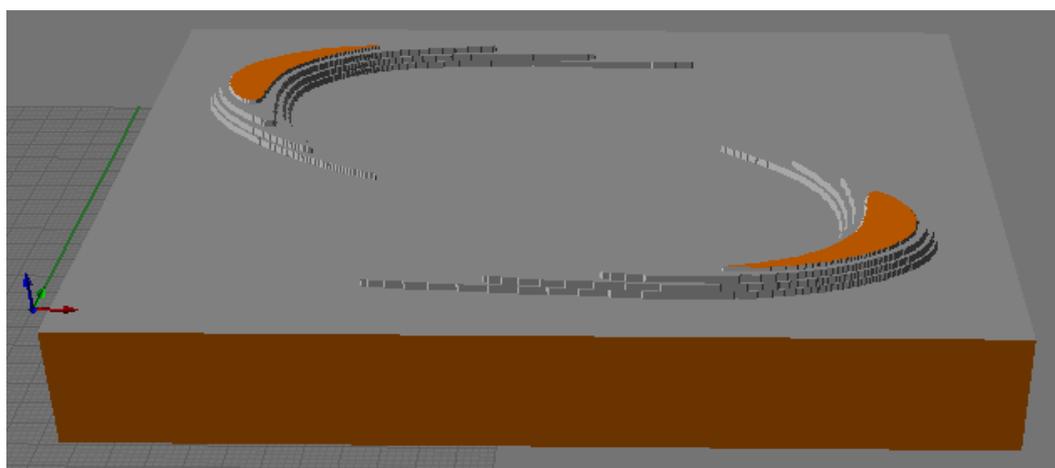
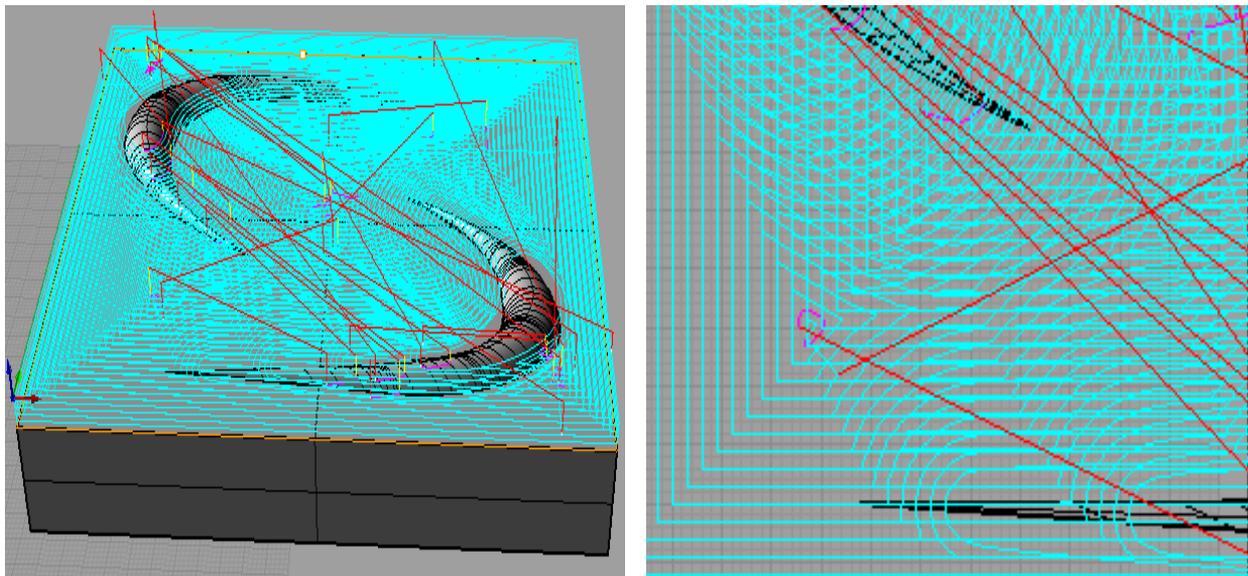
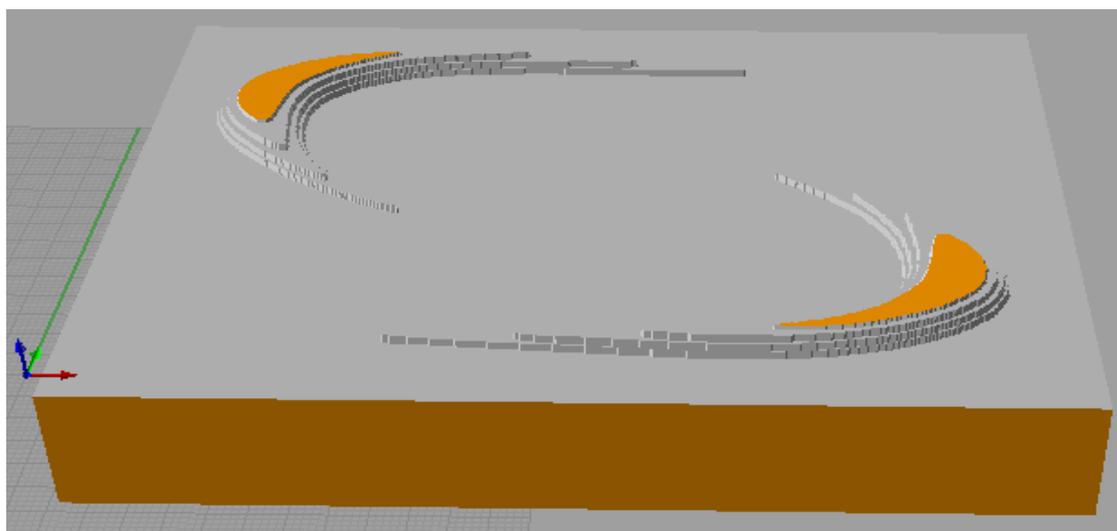


Figure-3.23- Résultat de simulation de parcours d'outil Linéaire

Stratégie UNE C (partie Offset).**Figure-3.28- Parcours d'outil Partie Offset**

Le résultat de simulation de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.29.

**Figure-3.29- Résultat de simulation de parcours d'outil Partie Offset****Information de parcours d'outil Partie Offset.**

La figure suivante présente les informations concernant ce parcours d'outil.

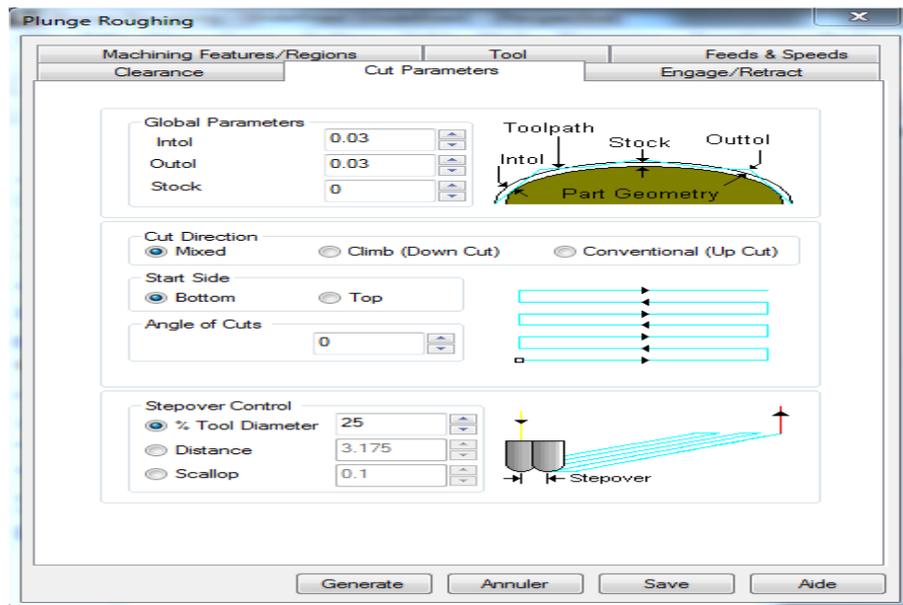
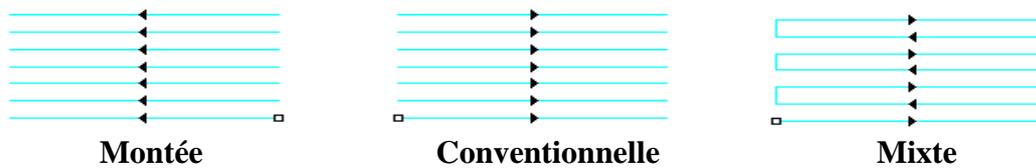


Figure-3.31- Fenêtre de dialogue Ebauche plongeon

Il existe trois types de parcours d'outil dans cette stratégie (Montée, Conventionnelle et Mixte).



Dans cette stratégie l'outil enlève la matière seulement suivant Z.

➤ **Stratégie DEUX A (Montée)**

Ce parcours d'outil permet d'usinée dans une seul direction et une sens (droite vers gauche).

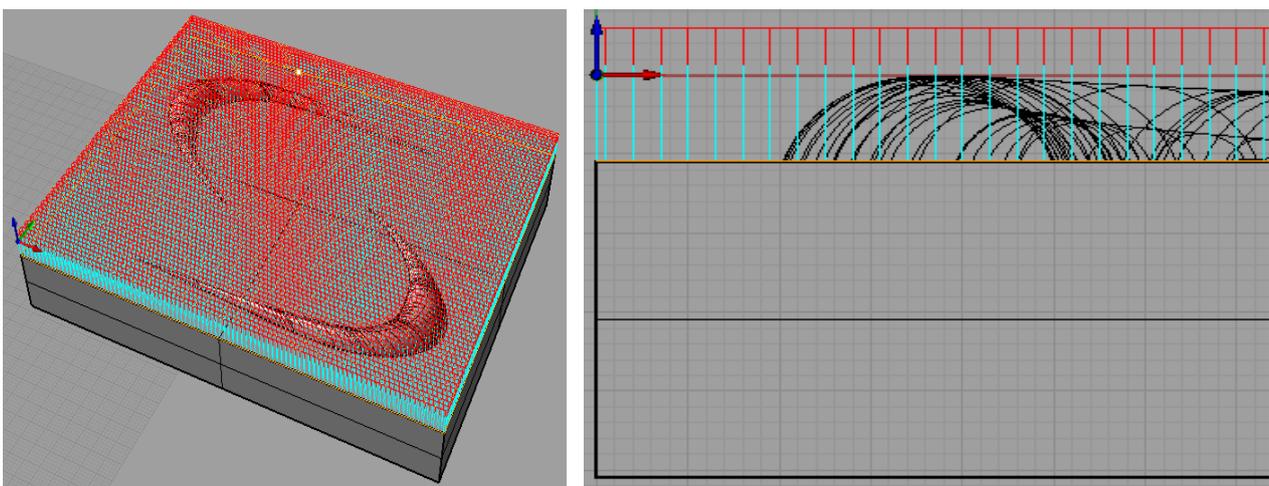


Figure-3.32- Parcours d'outil Montée

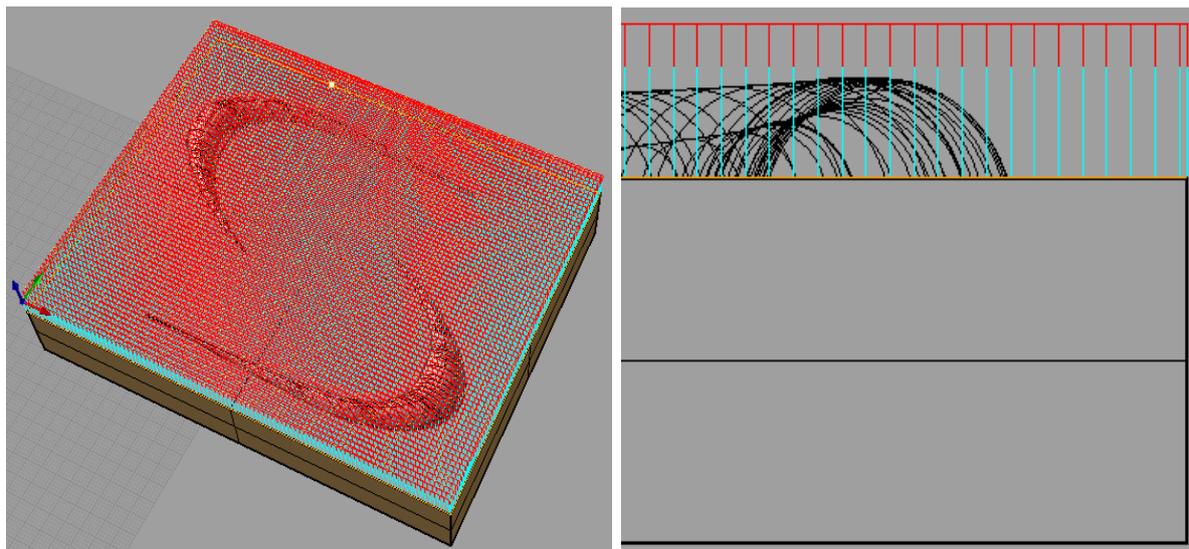


Figure-3.35- Parcours d'outil Conventionnelle

Le résultat de simulation de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.36.

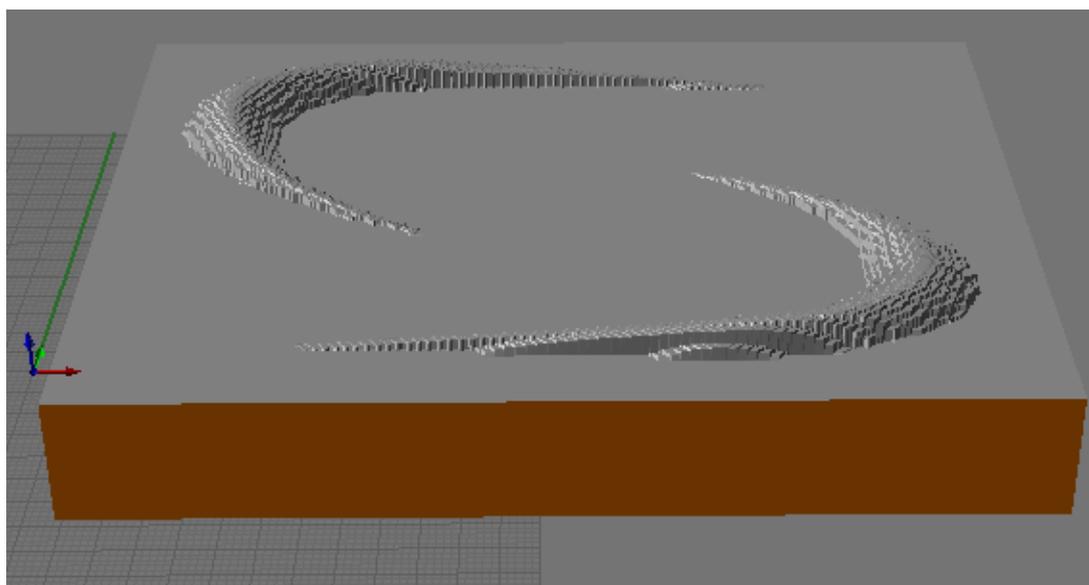


Figure-3.36- Résultat de simulation de parcours d'outil Conventionnelle

Information de parcours d'outil Conventionnelle.

La figure suivante présente les informations concernant ce parcours d'outil.

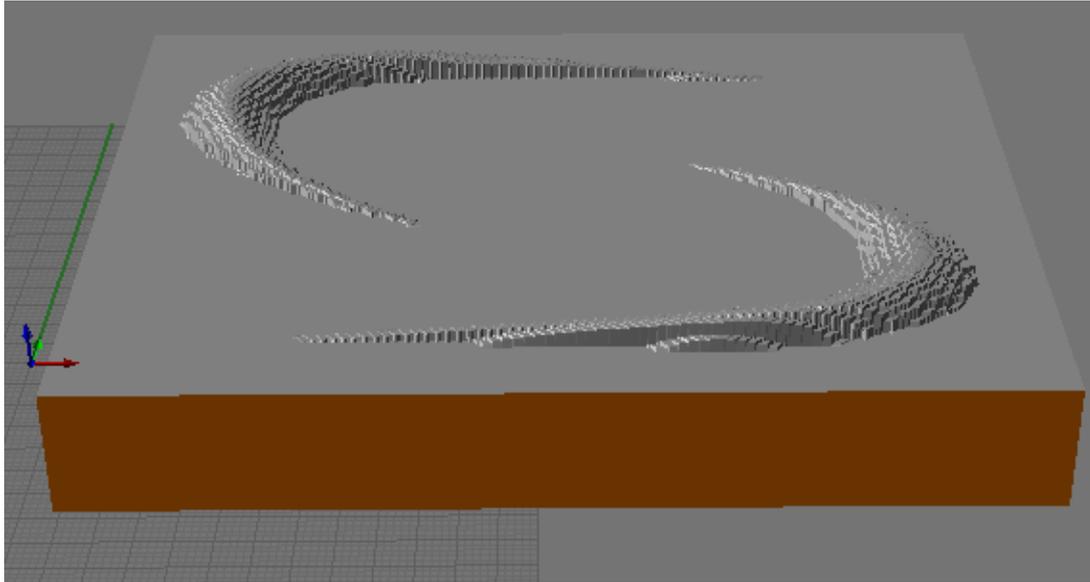


Figure-3.39- Résultat de simulation de parcours d'outil Mixte

Information de parcours d'outil Mixte.

La figure suivante présente les informations concernant ce parcours d'outil.

Name	Status	Tool	Cut Feed	# of GOTOs	Machine Time
Plunge Roughing	Clean	FlatMill 12	20.54 mm/min	46332	108 hr 12 min

Figure-3.40- Informations de parcours d'outil Mixte

Nous remarquons que les trois parcours d'outil donnent la même qualité d'usinage, mais le temps de fabrication différent.

On a choisi le type Mixte car il donne un temps d'usinage mieux que les autres.

3.4.3. Stratégie TROIS (Usinage Radial)

L'outil suivre un parcours spirale par rapport au centre de gravité de la surface usinée.

Pour la sélection de la machine, la sélection de la commande de génération de programme, la définition du brut, l'orientation géométrique, l'alignement pièce brut définition d'outil et la sélection d'origine programme on suit les mêmes étapes

Pour cette stratégie on utilise le parcours d'outil d'usinage Radial (Radial Machining) comme nous montre la figure 3.41.

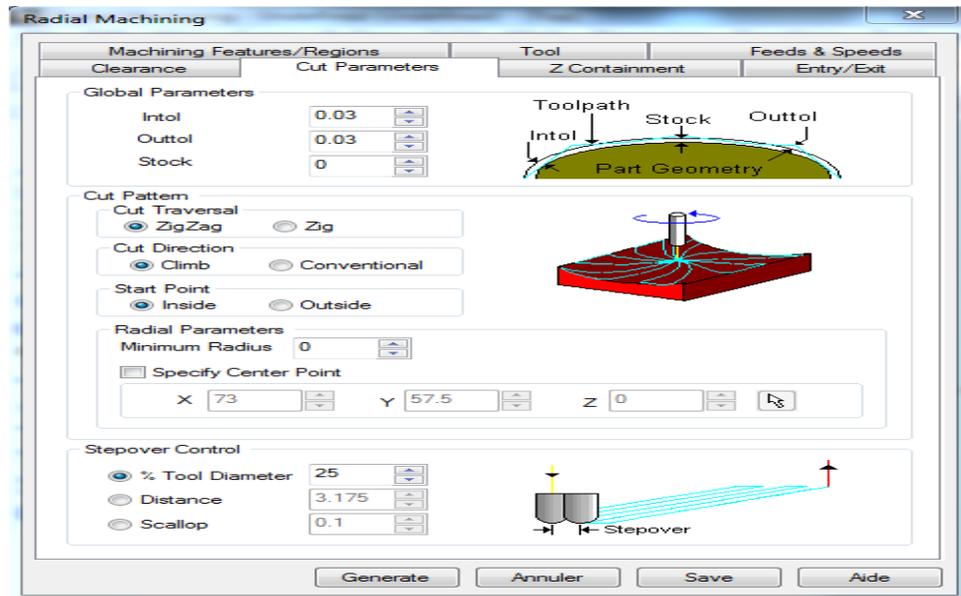
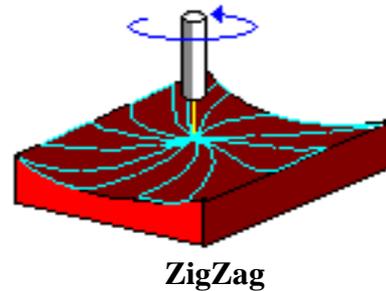
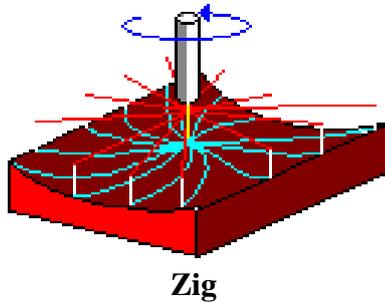


Figure-3.41- Fenêtre de dialogue d'usinage Radial

Cette stratégie possède deux types de parcours d'outil (Zig et ZigZag).



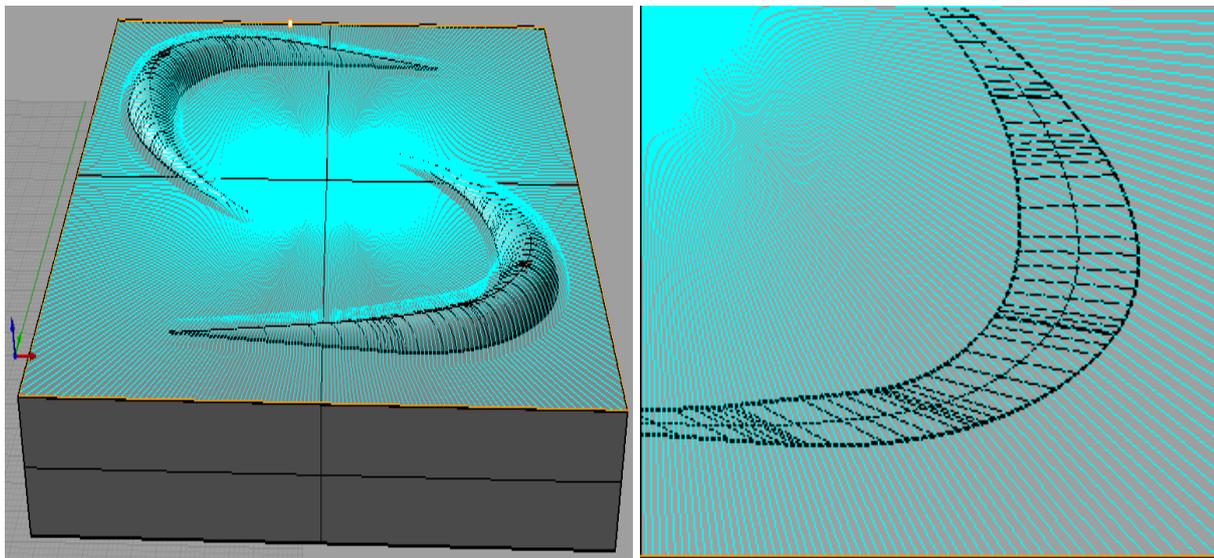
➤ **Stratégie TROIS A (Zig)**

Permet d'usinée dans une seul direction et une sens.

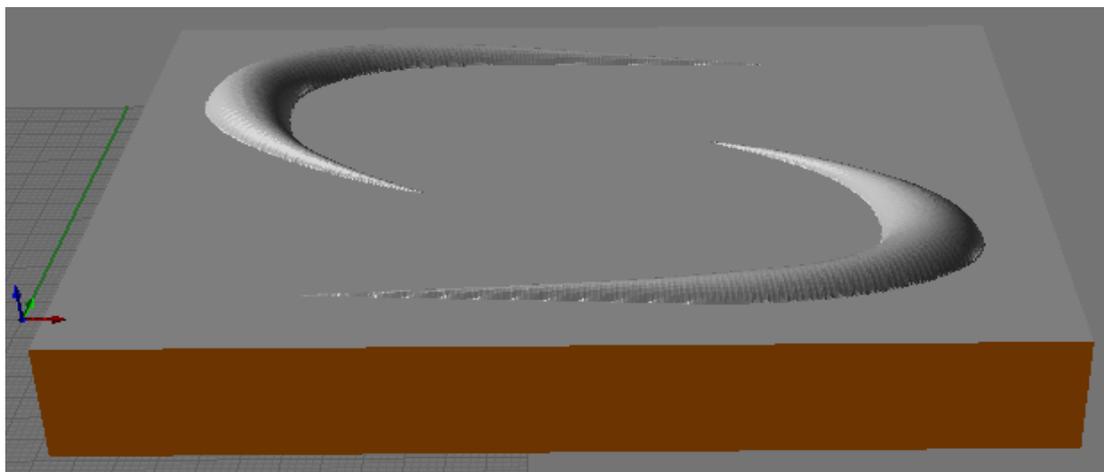
Figure-3.44- Informations de parcours d'outil Zig

➤ **Stratégie TROIS B (ZigZag)**

Permet d'usinée dans une seul direction et deux sens.

**Figure-3.45- Parcours d'outil ZigZag**

Le résultat de simulation de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.46.

**Figure-3.46- Résultat de simulation de parcours d'outil ZigZag**

Information de parcours d'outil ZigZag.

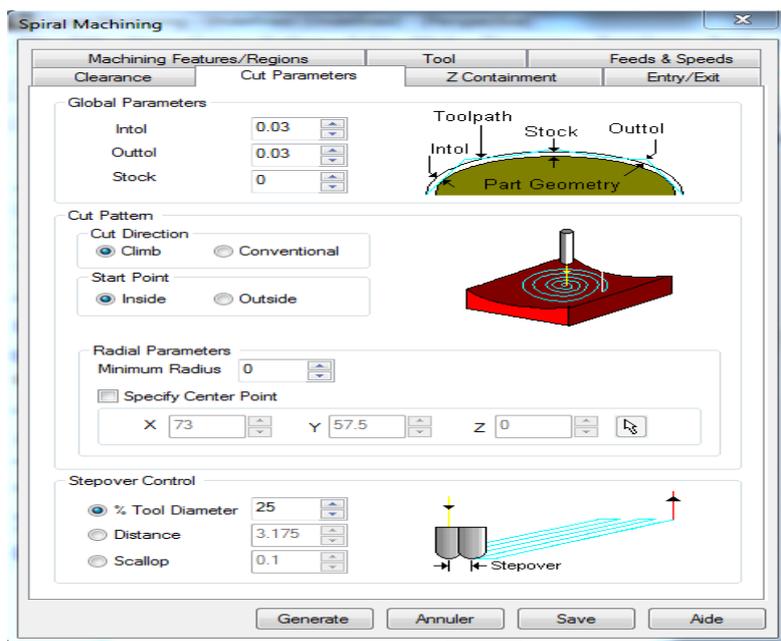
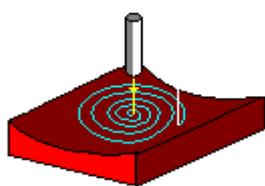
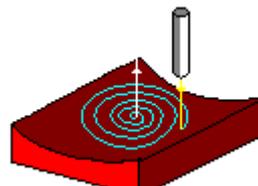


Figure-3.48- Fenêtre de dialogue d'usinage spiral

Cette stratégie possède deux types du parcours d'outil (Intérieur et Extérieur).



Intérieur



Extérieur

➤ Stratégie OATRE A (Intérieur).

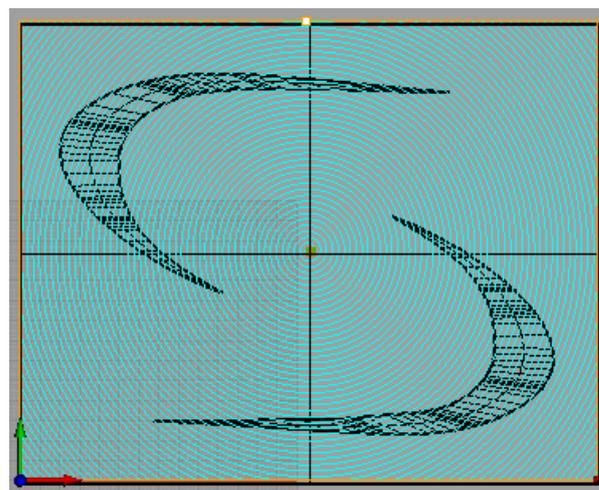
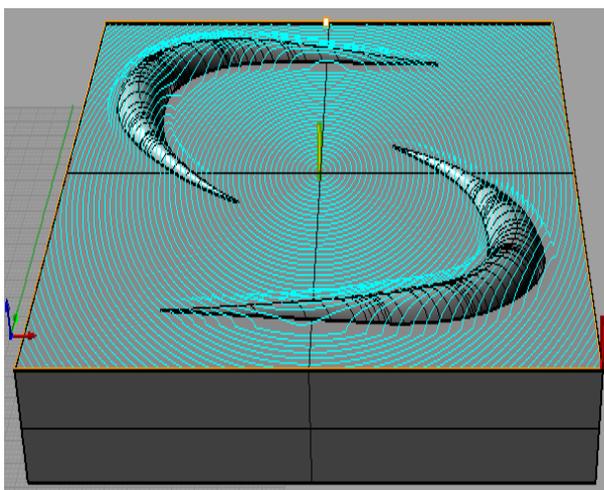


Figure-3.49- Parcours d'outil à l'Intérieur

Le résultat de simulation de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.50.

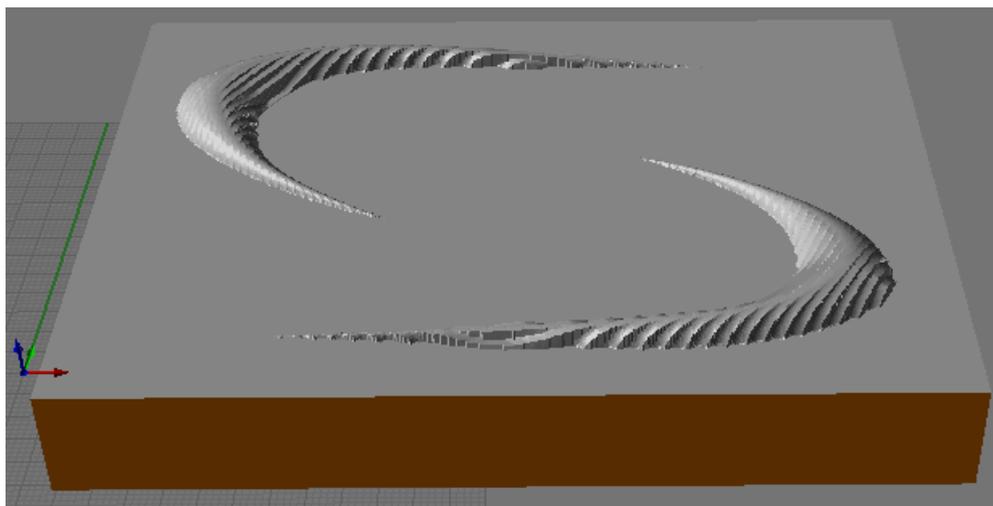


Figure-3.50- Résultat de simulation de parcours d'outil à l'Intérieur

Information de parcours d'outil à l'Intérieur.

La figure suivante présente les informations concernant ce parcours d'outil.

la partie conception, on a éliminé le texte du logo qui est usiné par gravure et donc son temps d'usinage est le même quelque soit la stratégie adoptée.

Dans la partie fabrication, on a généré le programme de fabrication des motifs principaux du logo par l'utilisation de plusieurs stratégies d'usinage (Ebauche horizontal, Ebauche en plongeon, Usinage Radial et Usinage Spiral).

Dans le chapitre suivant on va faire une étude comparative de résultat de simulation de différentes stratégies utilisées.

CHAPITRE 4

Etude comparative des différentes stratégies appliquées à la simulation d'usinage du logo

4.1. Introduction

Dans le chapitre précédent on a généré le programme de fabrication des motifs principaux du logo IS2M par l'application CFAO Rhinocéros/RhinoCAM. La génération du programme a été faite par l'utilisation des différentes stratégies d'usinage dans le but de choisir la stratégie optimale de point de vue temps de fabrication et qualité.

Dans ce chapitre on va comparer les temps de fabrication des différentes stratégies, ainsi que la qualité d'usinage et le coût de chacune d'elle.

4.2. Comparaison des différentes stratégies du point de vue temps d'usinage

Le tableau ci-dessous présente le temps de fabrication de chaque stratégie et le cout d'usinage en prenant par exemple le cout horaire de fabrication comme 500 DA.

Tableau-4.1- Temps de fabrication des différentes stratégies

N° Stratégies	Type de Parcours d'outil	Temps	couts
Stratégie UNE (Ebauche horizontal)	<i>Linéaire</i>	35h 34min (2134min)	17783.33
	<i>Stock Offset</i>	36h 34min (2194min)	18283.33
	<i>Partie Offset</i>	36h 30min (2190min)	18250
Stratégie DEUX (Ebauche en plongeon)	<i>Montée</i>	117h 14min (7034min)	58616.67
	<i>Conventionnelle</i>	117h 14min (7034min)	58616.67
	<i>Mixte</i>	108h 12min (6492min)	54100

Stratégie TROIS (Usinage Radial)	<i>Zig</i>	51h 56min (3116min)	25966.67
	<i>ZigZag</i>	23h 38min (1418min)	11816.67
Stratégie QATRE (Usinage spiral)	<i>Intérieur</i>	14h 23min (863 min)	7191.66
	<i>Extérieur</i>	14h 23min (863 min)	7191.66

D'après ce tableau, le temps de fabrication des motifs principaux du logo diffère d'une stratégie à l'autre. L'utilisation de la stratégie *Usinage spiral* nous donne le temps le plus court par contre la stratégie *Ebauche de plongeon* donne le temps le plus long.

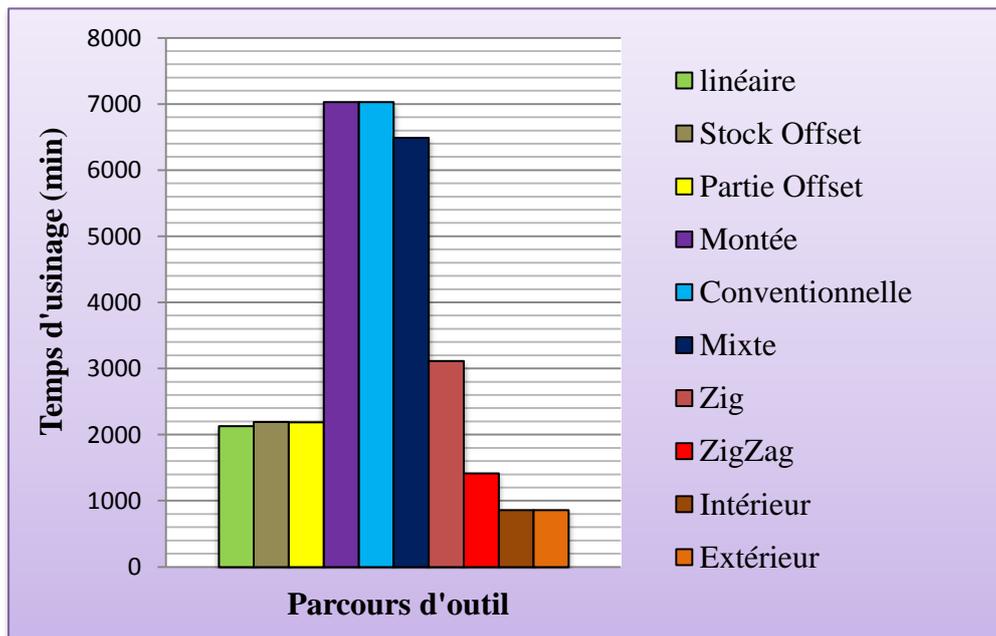


Figure -4.1- Comparaison de temps d'usinage de chaque parcours d'outil

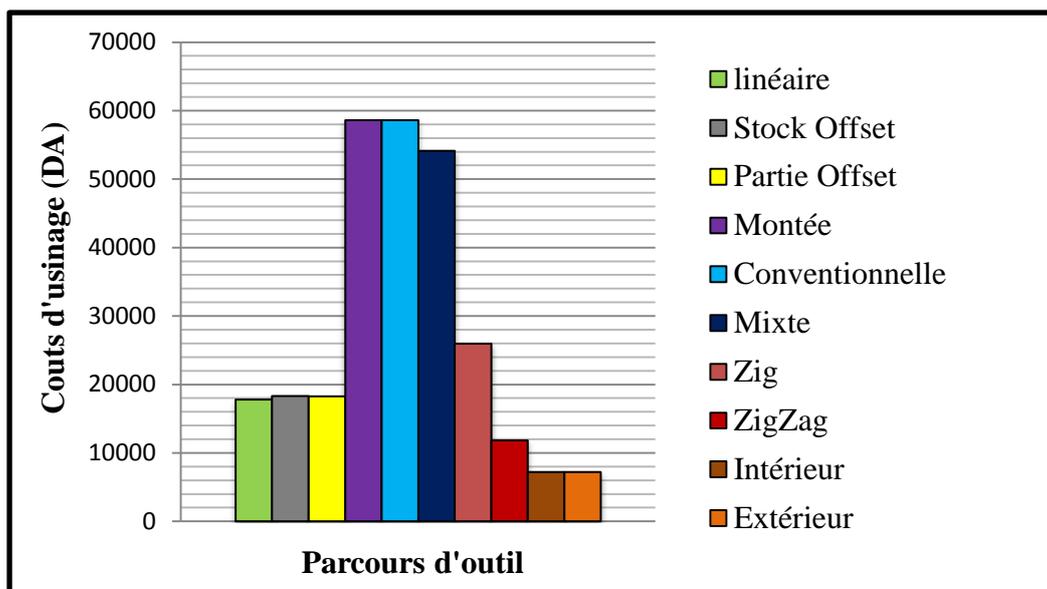


Figure -4.2- Comparaison de coûts d'usinage de chaque parcours d'outil

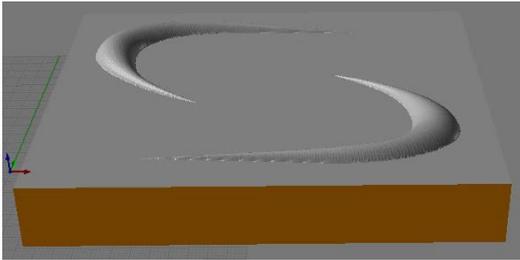
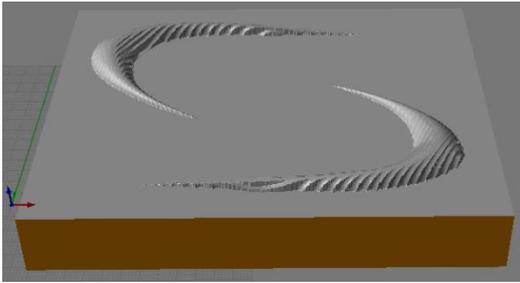
On prend le meilleur parcours d'outil de chaque stratégie et faire la comparaison entre eux.

4.3. Comparaison des différentes stratégies du point de vue qualité d'usinage

Le tableau-4.2- présente la qualité d'usinage de chaque stratégie.

Tableau-4.2- Qualité d'usinage de chaque stratégie

N° Stratégies	Type de Parcours d'outil	Qualité d'usinage
Ebauche horizontal	<i>Linéaire</i>	
Ebauche de plongeon	<i>Mixte</i>	

<p>Usinage radial</p>	<p><i>ZigZag</i></p>	
<p>Usinage spiral</p>	<p><i>Intérieur</i></p>	

D'après le tableau 4.2, la qualité d'usinage diffère d'une stratégie à l'autre. *L'Usinage radiale* donne la meilleure qualité par contre la stratégie *Ebauche horizontale* donne la plus mauvaise qualité.

4.4. Choix de la stratégie optimale.

Si on prend en compte uniquement le temps d'usinage dans le choix de la stratégie optimale, la stratégie spirale c'est la plus optimale mais si on prend le critère de la qualité d'usinage, la stratégie radiale c'est la meilleure. Si on prend les deux critères (temps et qualité d'usinage) on a besoin d'un passe de finition pour la stratégie spirale pour améliorer la qualité de celle-ci dans le but de pouvoir comparer entre ces deux stratégies (Radial et Spirale) de point de vue temps d'usinage.

On a éliminé les stratégies *Ebauche horizontale* et *Ebauche de plongeon* car ils nous donnent un temps de fabrication assez long et une qualité d'usinage très mauvaise

4.4.1. La passe de finition de la stratégie d'usinage Spirale.

➤ Paramètre de coups

La figure 4.3 présente les paramètres de coupe de la passe de finition.

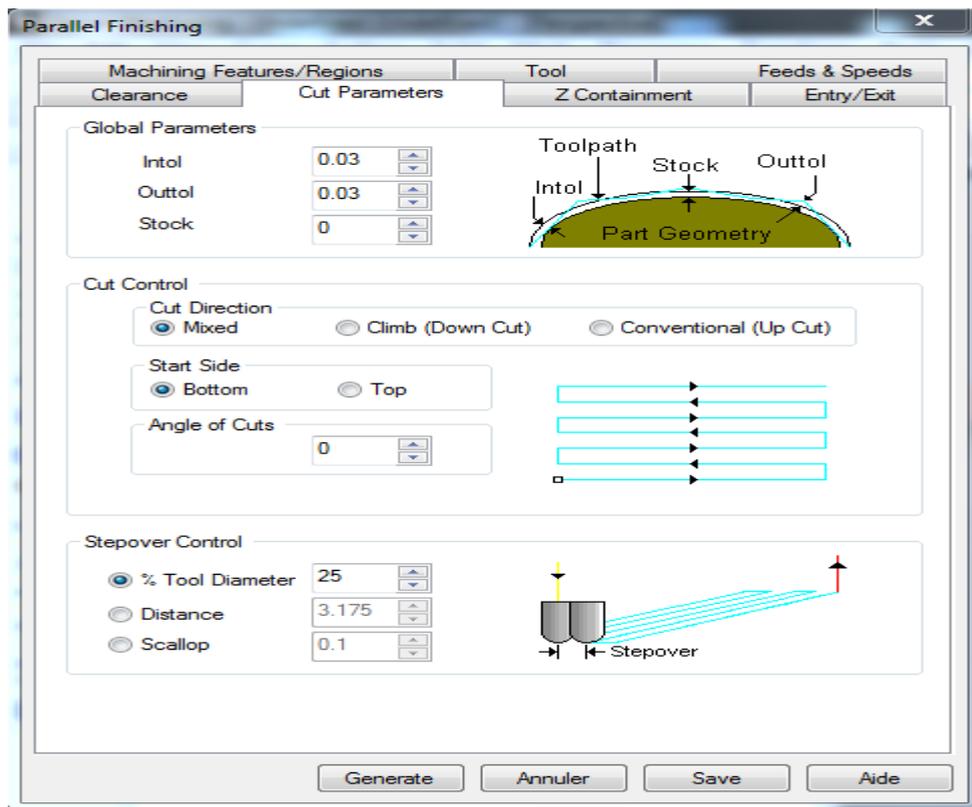


Figure-4.3- Fenêtre de dialogue de parallèle Finition

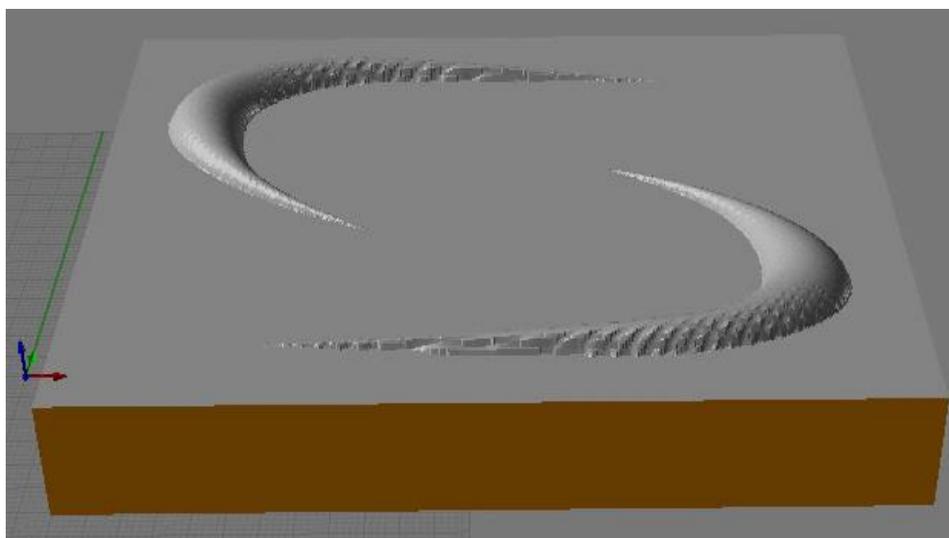


Figure-4.4- Résultat de simulation Usinage spiral avec une passe de finition

Information de parcours d'outil d'Usinage spiral avec une passe de finition.

Name	Status	Tool	Cut Feed	# of GOTOs	Machine Time
MOp Set 1					
Spiral Machining	Clean	FlatMill2	20.54 mm/min	7787	14 hr 23 min
Parallel Finishing	Clean	FlatMill2	20.54 mm/min	2897	9 hr 17 min
				Sub-total	23 hr 40 min

Figure-4.5- Informations d'Usinage spiral avec une passe de finition

4.4.2. Comparaison entre les deux stratégies d'usinage (Radial et Spiral plus une passe de finition).

Tableau-4.3- Temps, qualité et le cout d'usinage

Stratégies	Temps	Cout	Qualité
Usinage radial	23h 38min (1418min)	11816.67	
Usinage spiral avec une passe de finition	23h 40min (1420min)	11833.33	

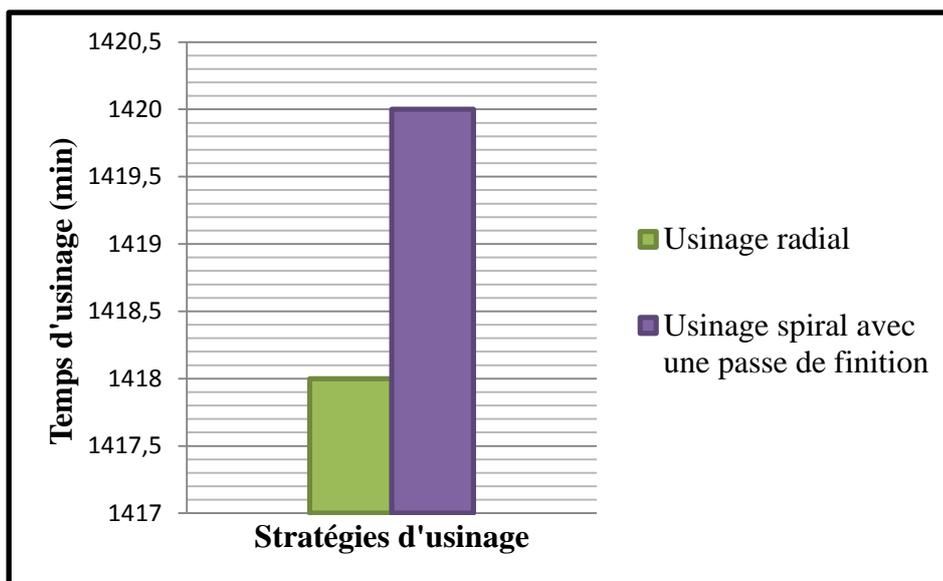


Figure-4.6- Comparaison de temps d'usinage des deux stratégies

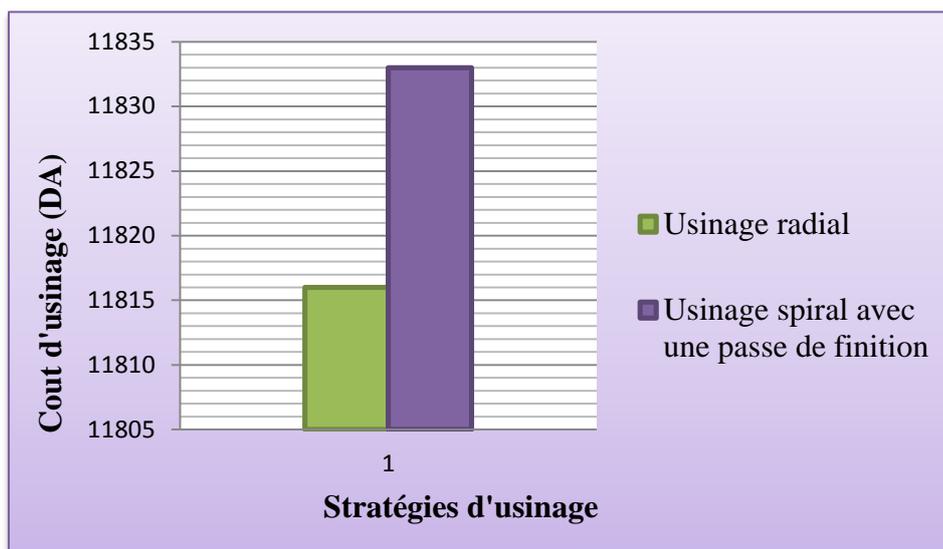


Figure-4.7- Comparaison de cout d'usinage des deux stratégies

D'après le tableau 4.3, la stratégie radiale reste la meilleure de point de vue temps, cout et qualité d'usinage, malgré on a ajouté un passe de finition pour la stratégie spirale. .

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une étude comparative des différentes stratégies d'usinage (Ebauche horizontale, Ebauche en plongeon, Usinage Radial et Usinage Spiral).

Le cout, le temps de fabrication et l'état de surface différent d'une stratégie à l'autre.

La stratégie radiale c'est la meilleure stratégie de point de vue temps de fabrication et qualité d'usinage.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail avait pour but initial de permet le choix de la stratégie d'usinage optimale pour la fabrication d'un logo 3D du laboratoire de recherche intitulé *Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux* (IS2M) par l'utilisation de système CFAO intégré (Rhinceros/RhinoCAM). Pour cela, plusieurs stratégies d'usinage ont été proposées.

Premièrement, une revue de l'état de l'art sur La technologie des MOCN citant leurs classification, programmation et quelques notions de stratégies d'usinage appliquées aux systèmes CAO/ FAO.

Ensuite on a fait la conception du logo avec l'interpolation circulaire sur les splines des motifs principaux et on a éliminé le texte parce qu'il est usiné par graveur quelque soit la stratégie adoptée, donc il a aucun effet sur le temps d'usinage.

Puis on a fait la FAO du logo par l'utilisation des quatre stratégies d'ébauche disponible dans l'application Rhinceros/RhinoCAM (Ebauche horizontal, Ebauche en plongeon, Usinage radial et Usinage spiral).

Enfin on a fait une comparaison entre les quatre stratégies de point de vue temps de fabrication et qualité d'usinage, on a éliminé les stratégies Ebauche horizontal et Ebauche en plongeon parce qu'ils donnent une mauvaise qualité avec un temps d'usinage assez long. La stratégie spirale donne le temps le plus court mais avec une mauvaise qualité. La stratégie radiale est la meilleure de point de vue qualité d'usinage. Pour pouvoir comparé entre les deux stratégies précédentes on a ajouté un passe de finition pour la stratégie spirale (23h 40min).

Malgré qu'on a ajouté une passe de finition pour la stratégie spirale, la stratégie radiale reste la meilleure de point de vue temps de fabrication (23h 38min) et qualité d'usinage.

En perspective nous recommandons (d'améliorer la solution proposée par l'ajout d'une phase d'enlèvement de matière avec un outil plus grand et l'ajout d'autres motifs virtuels).

Liste des abréviations

APT	Automatically Programmed Tools
CL File	Cutter Location File
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CFAO	Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CN	Commande Numérique
CNC	Commande Numérique par Calculateur
DXF	Drawing eXchange Format
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
IGES	Initial Graphic, Exchange Spécification
MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
STEP	Standard of Exchange of Product modél data
NURBS	B-Spline Rationnel Non Uniforme
ISO	International Standard Organization

Liste des figures

Premier chapitre

Figure-1.1- Rôle du Préprocesseur dans un système FAO.....	6
Figure-1.2- Rôle du processeur dans un système FAO.....	6
Figure-1.3- Rôle du post processeur dans un système FAO.....	7
Figure-1.4- Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO.....	8

Deuxième chapitre

Figure-2.1- Ebauche horizontale.....	9
Figure-2.2- Ebauche de plongeon.....	10
Figure-2.3- Usinage radial.....	10
Figure-2.4- Usinage en spirale.....	10
Figure-2.5- Ebauche par poches.....	11
Figure-2.6- Ebauche par plongées.....	12
Figure-2.7- Reprise d'ébauche.....	12
Figure-2.8- Usinage d'ébauche par poche à grande vitesse (UGV).....	13

Troisième chapitre

Figure-3.1- Image 2D du logo IS2M.....	16
Figure-3.2- Dimensions de la géométrie 2D de base du logo.....	17
Figure-3.3- Présentation du logo.....	17
Figure-3.4- Création de rectangle.....	18
Figure-3.5- Extrusion de rectangle.....	18
Figure-3.6- Création des courbes spline.....	19
Figure-3.7- Création de l'entité à extrudé.....	19
Figure-3.8- Extrusion de l'arc selon l'entité 1.....	20
Figure-3.9- Extrusion de l'arc selon l'entité 2.....	20
Figure-3.10- Définition de la machine.....	21
Figure-3.11- Définition de la commande.....	21

Figure-3.12- Orientation de la géométrie.....	22
Figure-3.13- Définition du brut.....	22
Figure-3.14- Définition d'origine programme.....	23
Figure-3.15- Position pièce/brut.....	23
Figure-3.16- Définition d'outil (Flat Mill).....	24
Figure-3.17- Fenêtre de dialogue Ebauche horizontale.....	24
Figure-3.18- Définition de la vitesse d'avance et de coupe.....	25
Figure-3.19- Définition de plan de sécurité.....	25
Figure-3.20- Définition de la profondeur de passe.....	26
Figure-3.21- Définition de type de modèle de coupe.....	26
Figure-3.22- Parcours d'outil Linéaire.....	27
Figure-3.23- Résultat de simulation parcours d'outil Linéaire.....	27
Figure-3.24- Informations parcours d'outil Linéaire.....	28
Figure-3.25- Parcours d'outil Stock Offset.....	28
Figure-3.26- Résultats de simulation de Parcours d'outil Stock Offset.....	29
Figure-3.27- Informations de parcours d'outil Stock Offset.....	29
Figure-3.28- Parcours d'outil Partie Offset.....	30
Figure-3.29- Résultats de simulation de parcours d'outil Partie Offset.....	30
Figure-3.30- Information de parcours d'outil Partie Offset.....	31
Figure-3.31- Fenêtre de dialogue Ebauche plongeon.....	32
Figure-3.32- Parcours d'outil Montée.....	32
Figure-3.33- Résultats de simulation de parcours d'outil Montée.....	33
Figure-3.34- Information de parcours d'outil Montée.....	33
Figure-3.35- Parcours d'outils conventionnelle.....	34
Figure-3.36- Résultats de simulation de parcours d'outils conventionnelle.....	34
Figure-3.37- Information de parcours d'outils conventionnelle.....	35
Figure-3.38- Parcours d'outils Mixte.....	35
Figure-3.39- Résultats de simulation de parcours d'outils Mixte.....	36
Figure-3.40- Information de parcours d'outils Mixte.....	36
Figure-3.41- Fenêtre de dialogue d'usinage Radial.....	37
Figure-3.42- Parcours d'outil Zig.....	38
Figure-3.43- Résultats de simulation de parcours d'outil Zig.....	38
Figure-3.44- Information de parcours d'outil Zig.....	39
Figure-3.45- Parcours d'outil ZigZag.....	39

Figure-3.46- Résultats de simulation de parcours d'outil ZigZag.....	40
Figure-3.47- Information de parcours d'outil ZigZag.....	40
Figure-3.48- Fenêtre de dialogue d'usinage Spiral.....	41
Figure-3.49- Parcours d'outil à l'Intérieur.....	41
Figure-3.50- Résultats de simulation de parcours d'outil à l'Intérieur.....	42
Figure-3.51- Information de parcours d'outil à l'Intérieur.....	42
Figure-3.52- Parcours d'outil à l'Extérieur.....	43
Figure-3.53- Résultats de simulation de parcours d'outil à l'Extérieur.....	43
Figure-3.54- Information de parcours d'outil à l'Extérieur.....	44

Quatrième chapitre

Figure -4.1- Comparaison de temps d'usinage de chaque parcours d'outil.....	46
Figure -4.2- Comparaison de couts d'usinage de chaque parcours d'outil.....	47
Figure-4.3- Fenêtre de dialogue de parallèle Finition.....	49
Figure-4.4- Résultat de simulation Usinage spiral avec une passe de finition.....	49
Figure-4.5- Informations d'Usinage spiral avec une passe de finition.....	50
Figure-4.6- Comparaison de temps d'usinage des deux stratégies.....	51
Figure-4.7- Comparaison de couts d'usinage des deux stratégies.....	51

Liste des tableaux

Premier chapitre

Tableau-1.1- Axes des différents mouvements possibles.....	3
--	---

Deuxième chapitre

Tableau-2.1- les parcours d'outils de CAMWorks.....	14
Tableau-2.2- les parcours d'outils de DelCAM.....	15

Quatrième chapitre

Tableau-4.1- Temps de fabrication des différentes stratégies.....	45
Tableau-4.2- Qualité d'usinage de chaque stratégie.....	47
Tableau-4.3- Temps, qualité et le cout d'usinage.....	50

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. Prod'homme, 1995, commande numérique des machines-outils, technique de l'ingénieur, document B 7 130.
- [2] M. Meliani et M. Badsı, mémoire de master, « développement d'un module de simulation graphique de l'usinage sur machine outil à commande numérique sous environnement Autocad (tournage) », Université deTlemcen.
- [3] A. Cheikh, N. Cheikh, 2011, cours de CFAO1, Université de Tlemcen, Algérie
- [4] J. Benyounes, 2004, fabrication assistée par ordinateur, note de cours, Université de Tunis, Tunis.
- [5] I. Kacimi, 2012, Mémoire de master en génie mécanique, option ingénierie des systèmes mécaniques et productives, « conception et fabrication assistées par ordinateur du logo du laboratoire de recherche IS2M », Université de Tlemcen.
- [6] P. Gillet, 1995, conception assistée par ordinateur, technique de l'ingénieur, document T 7 300.
- [7] H. Tlemsani, 2012, Mémoire de master en génie mécanique, option ingénierie des systèmes mécaniques et productives, « conception d'un outil multimédia d'aide à la programmation CNC en fraisage », Université de Tlemcen.
- [8] <http://www.rhinocam.com>, 2012
- [9] <http://www.rhinocam.com/.../RhinoCAMTutorial.pdf>
- [10] http://www.cimco-hsm.com/download/tutorial_F.pdf
- [11] <http://0www.powermill.com/languages/fr,2012>.

Résumé

Ce travail a pour but d'étudier l'influence du choix d'une stratégie d'usinage sur le cout et la qualité de fabrication d'une pièce et d'aider au choix d'une stratégie optimale. Pour cela on a utilisé le système CFAO intégré Rhinoceros/RhinoCAM pour faire une étude comparative des différentes stratégies d'usinage avec application au logo du laboratoire de recherche intitulé *Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux (IS2M)*.

Les stratégies étudiées sont comme suit :

- ✓ La première (Ebauche Horizontal) est très efficace pour enlever de grandes quantités de matière, L'outil suit un parcours linéaire (zigzag).
- ✓ La deuxième (Ebauche en Plongeon), l'outil peut couper dans la direction Z, et non en X et Y, effectue une série de chevauchement plonge pour enlever les bouchons cylindriques de matériau.
- ✓ La troisième (Usinage Radial), l'outil suit un parcours spiral par rapport au centre de gravité de la surface usinée.
- ✓ La quatrième (Usinage Spiral) est un procédé de génération d'une trajectoire d'outil en spirale. Il peut être utilisé efficacement pour les régions circulaires

L'étude par simulation d'usinage a montré que les différentes stratégies donnent différents temps d'usinage et différentes qualités d'usinage.

L'étude comparative a permis de montrer que la troisième stratégie est la plus optimale du point de vue temps de fabrication, qualité d'usinage et cout de fabrication.

Mots clés : Programmation des MOCN, CAO, FAO, CFAO.

Abstract

This work aims to study the influence of the choice of machining strategy on the cost and quality of manufacturing a part and assist in the selection of an optimal strategy. For this we used the Rhinoceros / RhinoCAM integrated CAM system for a comparative study of different machining strategies with application the logo Research Laboratory entitled Engineering Mechanical Systems and Materials (IS2M).

The strategies examined are as follows:

- ✓ The first (Horizontal Roughing) is very effective to remove large amounts of material; tool follows a linear path (zigzag).
- ✓ The second (Plunge Roughing), the tool can cut in the Z direction, and not in X and Y, performs a series of overlapping plunges to remove cylindrical plugs of material.
- ✓ The third (Radial Machining), the tool follows a spiral path to the center of gravity of the machined surface.
- ✓ The fourth (Spiral Machining) is a method for generating a spiral tool path. It can be effectively used for circular regions

The study by machining simulation showed that different strategies are different processing times and different machining qualities.

The comparative study showed that the third strategy is the optimal time point for manufacturing, machining and quality manufacturing cost.

Key works: CNC programming, CAD, CAM, CAD/CAM

ملخص

غاية هذا العمل هو دراسة تأثير اختيار استراتيجية التصنيع على حساب تكلفة و جودة تصنيع قطعة و المساعدة في اختيار الاستراتيجية الامثل. لهذا قمنا باستخدام نظام التصميم و الصناعة بمساعدة الاعلام

الالي المتجانس Rhinoceros / RhinoCAM من اجل المقارنة بين مختلف استراتيجيات التصنيع

لشعار ثلاثي الابعاد لمخبر البحث العلمي المسمى هندسة الانظمة الميكانيكية و المواد (IS2M).

الاستراتيجيات المدروسة هي كما يلي:

- ✓ اولاً (التخشين الأفقي) هو فعال جدا لإزالة كميات كبيرة من المواد. الاداة تسير على مسار خطي (متعرج).
- ✓ ثانياً (التخشين بالغطس) يمكن للاداة القطع في الاتجاه Z، وليس في X و Y، الاداة تغوص لإزالة سدادات اسطوانية من المواد.

✓ ثالثاً (التصنيع الشعاعي) الاداة تسير على مسار حلزوني إلى مركز الثقل من السطح المصنع.

✓ رابعاً (التصنيع الحلزوني) هو وسيلة لتوليد مسار أداة لولبية. ويمكن استخدامه بفعالية للمناطق الدائرية.

اظهرت لنا الدراسة عن طريق صورية التصنيع ان مختلف الاستراتيجيات لها اوقات التصنيع مختلفة و الجودة مختلفة. اظهرت لنا دراسة المقارنة ان الاستراتيجية الثالثة هي الامثل من وجهة نظر وقت التصنيع، تشكيل الجودة و تكاليف العمل.

كلمات مفتاحية: برمجة الات التحكم العددي, التصميم والصناعة بمساعدة الاعلام الألي.

