



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**

**KACIMI Ismail**

**THÈME**

**Conception et fabrication assistées par ordinateur du logo  
du laboratoire de recherche IS2M**

**Soutenu en juillet 2012**

**Devant le jury :**

Président	SEBAA Fethi	Maitre de conférence	UABB Tlemcen
Encadreur	CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	UABB Tlemcen
Co-Encadreur	CHEIKH Nassima	Maitre assistante	UABB Tlemcen
Examineur	HADJOUI Fethi	Maitre assistant	UABB Tlemcen
Examineur	GUEZZAN Samir	Maitre assistant	UABB Tlemcen

Année universitaire 2011-2012

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

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

*A mon très cher père qui m'a toujours aidé et soutenu*

*A mes frères et sœurs pour leurs soutiens morale*

*A mes nièces Imen, Rachida et Aya*

*A mon neveu Mohammed Amin*

*A toutes la famille KACIMI*

*A toutes la famille BOUCHENTOUF*

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

*KACIMI 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 ma co-encadreuse madame CHEIKH Nassima maitresse assistante au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen) pour l'aide qu'elle nous apportée et sa disponibilité.

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) pour son aide et sa disponibilité lors d'utilisation de la MOCN.

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)et monsieur GUEZZAN Samir maitre assistant au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen) pour avoir accepté d'examiner le contenu scientifique de ce mémoire.

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.

*KACIMI Ismail*

# SOMMAIRE

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION GENERALE.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## CHAPITRE 1

### Programmation des MOCN et systèmes CAO/FAO

1.1. Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.2. Programmation des MOCN.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.2.1 Nature des instructions programmées.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.2.2. Modes d'introduction de l'information à la machine .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.2.3. Principaux modes de la programmation .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.2.4. Langages de la programmation CN .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3. Commandes de la programmation CN (SIN, FAN, NUM, FAG, HEI) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>non défini.</b>	
1.3.1. Raisons de l'incompatibilité des commandes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3.2. Commande SINUMERIK.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3.3. Commande FANUC .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3.4. Commande NUM .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3.5. Commande FAGOR .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3.6. Commande HEIDENHAIN .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.3.7. Différence des fonctions préparatoires .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.4. Conception Assistée par Ordinateur.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.4.1. Définition de la Conception Assistée par Ordinateur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.4.2. Développement de La CAO du 2D à 3D .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.4.3 Techniques de représentation en CAO .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.4.4. Analyse dans la CAO .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.5. Fabrication Assistée par Ordinateur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.5.1. Définition de la Fabrication Assistée par Ordinateur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

1.5.2. Système FAO.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.5.3. Etapes pour utiliser un système FAO .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.5.4. Intégration entre la CAO et la FAO.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.6. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **CHAPITRE 2**

### **Solutions 3D simples par systèmes CAO et FAO séparés**

2.1. Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.2 SolidWorks.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.3. PowerMILL.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.4. PS-Exchange .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.5. Image 2D du logo IS2M.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.5. Présentation de la solution I.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.5.1. Conception de la solution une .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.5.2. FAO de la solution I .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.6. Présentation de la solution II.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.6.1. Conception la deuxième solution .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.6.2. FAO de la deuxième solution .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.7. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **CHAPITRE 3**

### **Solutions 3D complexes par systèmes CAO/FAO séparés**

3.1. Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2. Présentation de la troisième solution III.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2.1- Conception de la troisième solution .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2.2. FAO de la solution trois.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3. La solution quatre IV.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.1. Conception de la solution IV .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.2. FAO de la solution IV .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **CHAPITRE 4**

## Solutions 3D par système CAO/FAO intégré

4.1. Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.2. Rhinoceros.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3. Solution cinq V.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3.1. Conception de la solution V .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3.2. FAO de la solution V .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3.3. Information de parcours d’outil .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4. Solution six VI .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4.1. Création de la solution VI.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4.2. FAO de la sixième solution .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4.3. Information de parcours d’outil .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.5. Septième solution VII.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6.1. Création de solution VII .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.5.2. FAO de solution VII .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.5.3. Information de parcours d’outil .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6. Huitième solution VIII .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6.1. Création de solution VIII.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6.2. FAO de solution VIII.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6.3. Informations de parcours d’outil .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.8. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## CHAPITRE 5

### Préparation à la fabrication du logo

5.1. Introduction .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.2. Choix de la solution à réaliser .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3. Génération du programme CN de la solution à réaliser .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.3. Transfert du programme CN vers la machine .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.4. Préparation du poste de travail .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.5. Exécution du programme CN.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
5.6. Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
CONCLUSION GENERALE .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>



## 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, des outils informatiques capables de concevoir et de générer le programme de fabrication de ces produits dans un délai délicat ont été développés.

Ce travail a pour but de concevoir et de générer le programme CN de fabrication de plusieurs solutions 3D proposées pour la réalisation du logo du laboratoire de recherche intitulé *Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux* (IS2M) par l'utilisation des systèmes CAO, FAO et CFAO et choisir une des solutions proposées répondant au cahier de charge pour la réalisation avec les moyens disponibles ( MOCN disponible) dans l'atelier de notre université.

Cette étude comprend cinq 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 les principaux modes de programmation, les raisons d'existences de plusieurs commandes de programmation ainsi que l'incompatibilité entre les commandes de programmation les plus utilisées. On a donné aussi une vue générale sur les systèmes CAO, les composants d'un système FAO et les différentes étapes suivies pour générer le programme CN à partir des systèmes FAO et CFAO.

Dans le second chapitre, on a présenté avec détail les différentes étapes de la conception et la génération des programmes CN de fabrication de deux solutions 3D simples pour le logo IS2M par l'utilisation de deux systèmes CAO (SolidWorks) et FAO (DelCAM) séparés.

Le troisième chapitre, est consacré à la présentation des différentes étapes de conception et de génération de programme CN de fabrication de deux solutions 3D complexes pour le logo IS2M par l'utilisation des mêmes systèmes utilisés dans le chapitre précédent.

Le quatrième chapitre est une présentation des différentes étapes de conception et de génération de programme CN de fabrication de quatre autres solutions pour le logo IS2M dans un environnement CFAO (Rhinoceros/RhinoCAM) intégré.

Quant au cinquième chapitre, on a choisi une des solutions proposées pour la réalisation en fonction du cahier de charge et les moyens disponibles avec la présentation des modifications apportées sur le logo et les différentes étapes concernant la réalisation, de la préparation du poste de travail jusqu' à la réalisation du produit final.

Enfin, on a donné une conclusion générale sur ce travail.

## CHAPITRE 2

### Solutions 3D simples par systèmes CAO et FAO séparés

---

#### 2.1. Introduction

Le cahier de charge de ce travail et de concevoir une solution 3D réalisable à partir de l'image 2D du logo.

Pour cela, dans ce chapitre on va utiliser deux systèmes CAO et FAO séparés pour concevoir et générer le programme de fabrication de deux solutions 3D simples pour le logo IS2M. La première solution sera présentée en détail afin de démontrer les différentes étapes de conception et de génération du programme CN de celle-ci.

Pour la conception des solutions on va utiliser l'outil de conception SolidWorks 2007 parce qu'il est capable de réaliser les différentes formes de notre logo (les splines, l'écriture de texte, l'extrusion l'enlèvement de matière etc.), il nous permet aussi d'enregistrer le travail sous les formats standard d'échange de géométrie (DXF, IGES, STEP, STL etc.).

Pour la génération de programme de fabrication des solutions on va utiliser le système FAO le DelCAM.6 parce qu'il supporte les différentes formes de notre logo (splines, texte, etc.). Il possède aussi l'application PS-Exchange qui nous permet de convertir le format de fichiers qui comporte la géométrie a des formats supportable par Power Mill (DJK, DMT, STL etc.) et il permet aussi de générer le programme sous plusieurs commandes (ISO, NUM, FANUC, FAGOR, etc.).

#### 2.2 SolidWorks

SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique 3D paramétrique, basé sur des fonctions (enlèvement de matière, extrusion, chanfrein, congé, ...), associatif, il génère trois types de fichiers (pièce, assemblage, mise en plan), il aide les concepteurs a donné la vie à leurs idées dans une courte période.

Il est créé en 1993 par trois ingénieurs américains [17], il a été écrit pour l'environnement Windows. Il a été acheté par Dassault Systèmes en 1997.

Il comporte en effet des convertisseurs de format de fichier pour tous les types de données CAO notamment : IGES, STEP, SAT (ACIS), VRML, STL, Parasolid, Pro/engineer, Unigraphics, PAR (SolidEdge), VDA-FS Mechanical DES ktop, IPT, DWG, DXF, CGR, HCG, View point, Reality, TIEF et JPG [5].

#### 2.3. PowerMILL

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 [18]. Il nous permet de visualiser le parcours d'outil résultant à l'écran à l'aide d'outil ViewMILL avant d'être généré 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....

#### 2.4. PS-Exchange

Puisque PowerMILL c'est un logiciel de FAO uniquement, donc on a besoin d'importé le model géométrique d'une application CAO pour générer le programme CN de celui-ci. Par fois l'échange de géométrie entre l'application CAO et FAO est invalide pour cela DelCAM a développé l'application PS-Exchange pour convertir le format de fichier qui comporte la géométrie a un format supportable par PowerMILL. Cette application nous permet aussi de faire la conversion juste d'une partie de modèle dans le cas où on n'a pas besoin à toute la géométrie.

#### 2.5. Image 2D du logo IS2M

L'image 2D du logo IS2M donné dans le cahier de charge est présentée dans la figure 2.1. Les dimensions de la géométrie 2D de base sont montrées dans la figure 2.2.



Figure-2.1- Image 2D du logo IS2M

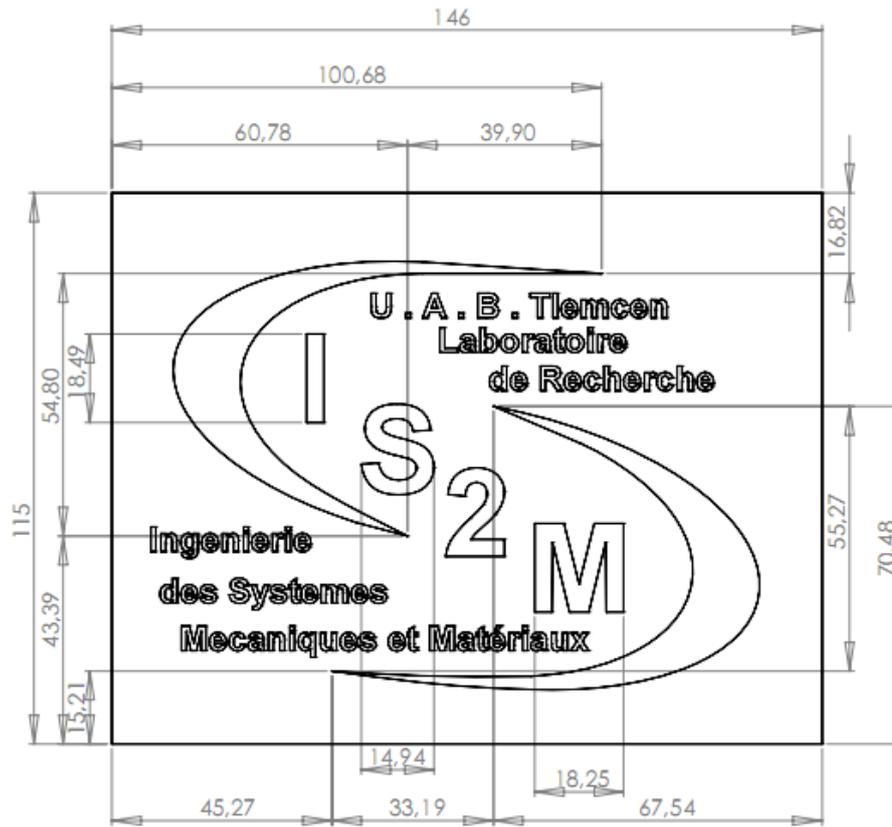


Figure-2.2- Dimensions de la géométrie 2D de base du logo

## 2.5. Présentation de la solution I

La géométrie de la solution une est présenté dans la figure 2.3.

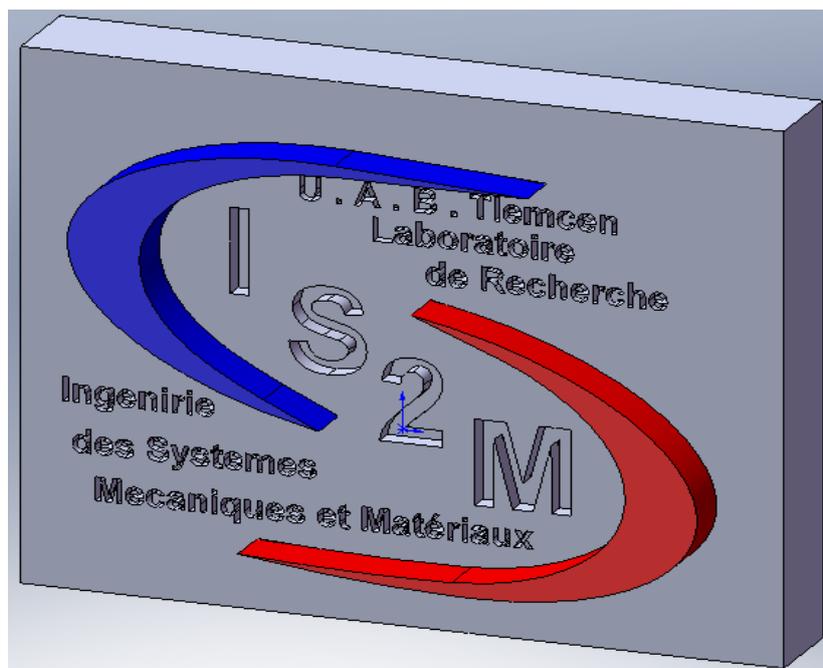


Figure-2.3- Présentation de la première solution S1

### 2.5.1- Conception de la solution une

La désignation des différentes entités de la solution une est présenté dans la figure 2.4.

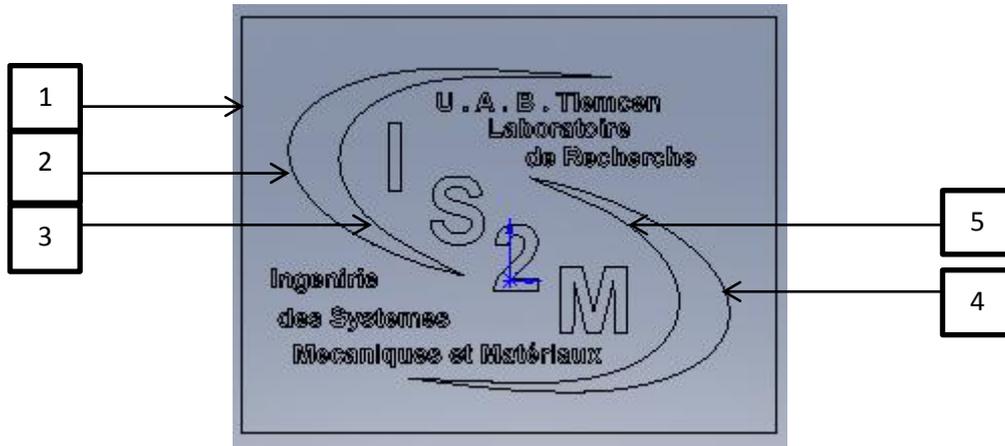


Figure-2.4- Désignation des entités de S1

#### a. Création de l'entité 1

Dans le plan de face (voir figure2.5) on esquisse un rectangle de longueur 146mm et de largeur 115mm.

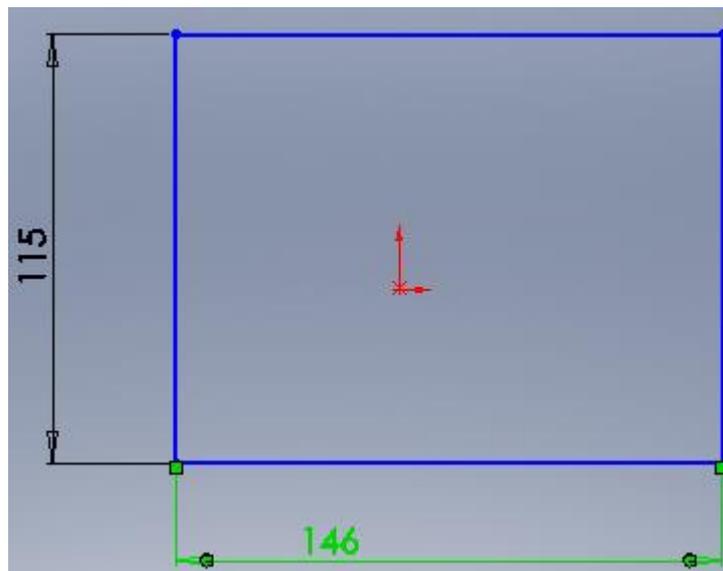
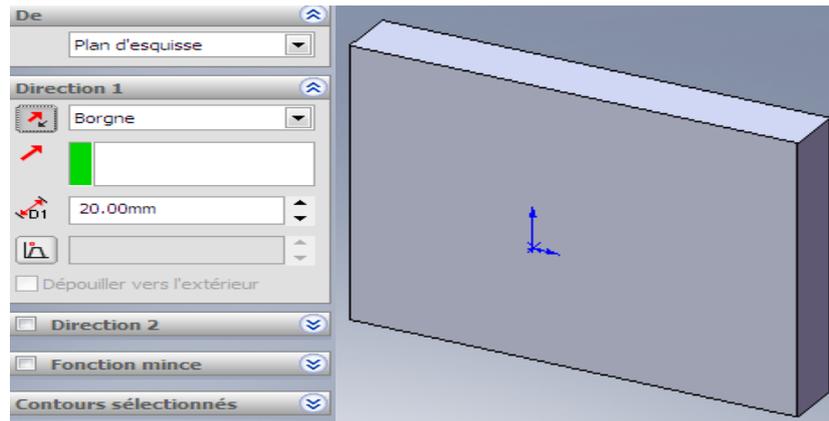
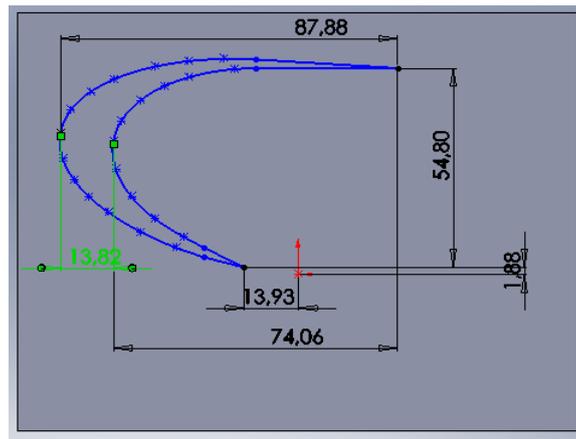
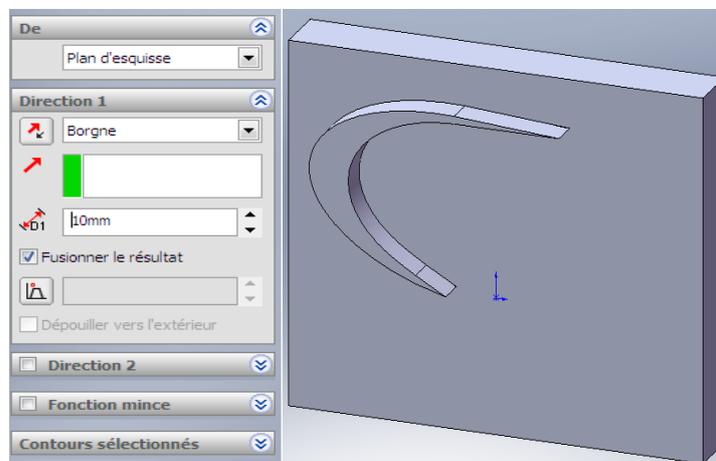


Figure-2.5- Création de l'entité 1 de S1

Après la création de rectangle, on fait l'extrusion de ce dernier suivant l'axe Z à une distance de 20 mm avec changement dans le sens de l'extrusion, sous-direction 1 on choisit l'option borgne comme illustre la figure 2.6.

**Figure-2.6- Extrusion de l'entité 1****b. Création des entités 2 et 3**

Pour la création de l'entité 2, toujours dans le plan de face on esquisse un spline sous les dimensions présentées dans la figure 2.6 et de la même façon on esquisse l'entité 3. Après la création de ces deux entités on fait l'extrusion de ces derniers suivant l'axe Z à une distance de 10 mm avec le choix de l'option borgne sous-direction 1 comme présenté sur la figure 2.8.

**Figure-2.7- Création des entités 2 et 3****Figure-2.8- Extrusion des entités 2 et 3**

### c. Création des entités 4 et 5

De même façon de création des entités 2 et 3 on crée les entités 4 et 5 comme illustre les figures 2.9 et 2.10.

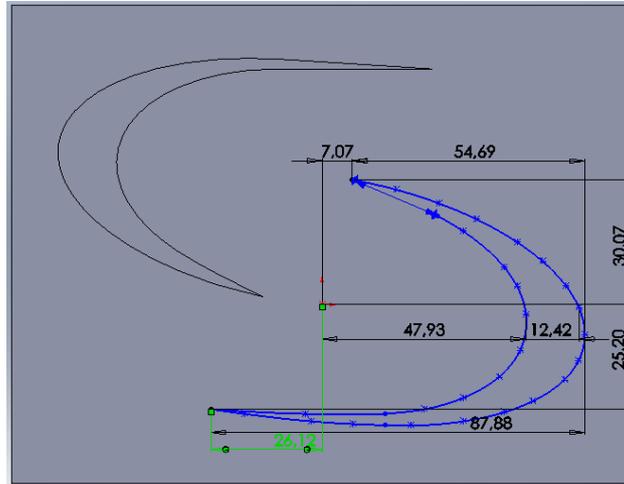


Figure-2.9- Création des entités 4 et 5

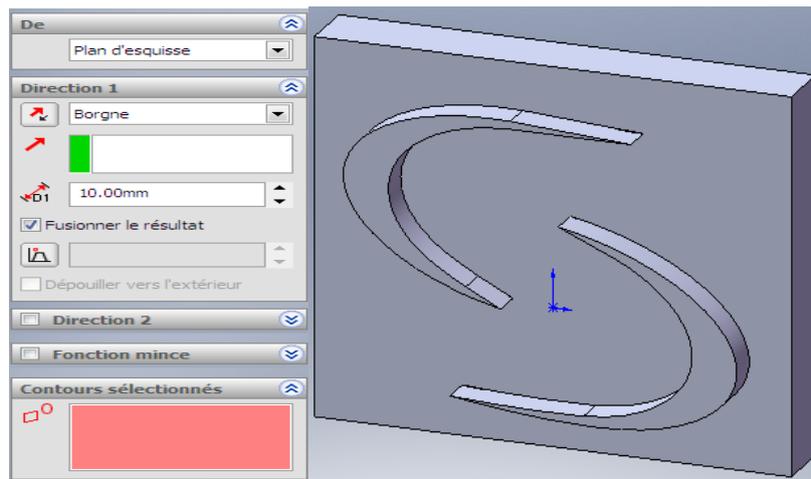


Figure-2.10- Extrusion des entités 4 et 5

### d. Ecriture de texte

Dans le plan de face de l'espace de travail on va utiliser l'option texte de SolidWorks pour créer le texte de notre logo.

- Pour la police de texte IS2M, on utilise le style arial, gras, majuscule et la taille 72.
- Pour la police de texte Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux, U.A.B Tlemcen Laboratoire de Recherche, on utilise le style arial, gras, minuscule sauf la première lettre de chaque mot et la taille 18. Comme présenté sur la figure 2.11.

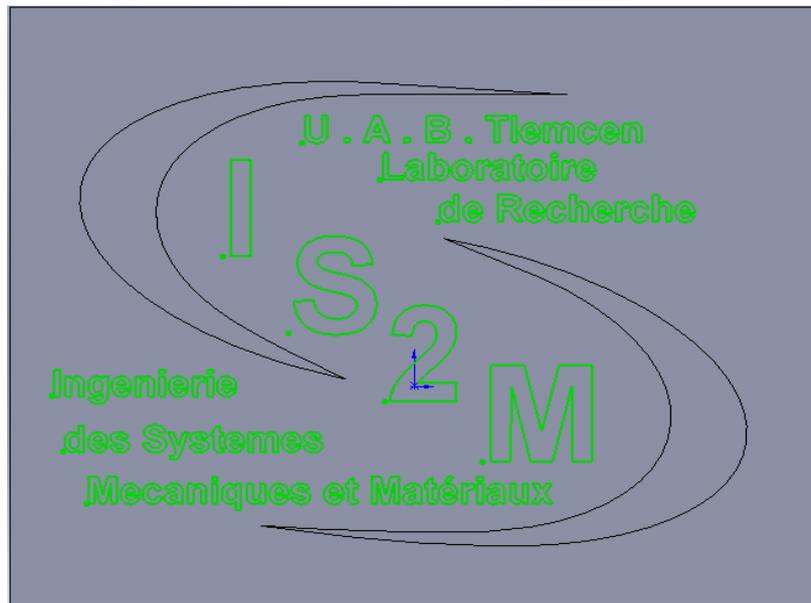


Figure-2.11- Création de texte

Après la création de texte on utilise la fonction enlèvement de matière pour graver le contour de texte dans l'entité 1 du logo. L'enlèvement de matière de ce contour est appliqué suivant l'axe Z à une distance de 3 mm, avec le choix de l'option borgne sous-direction 1 comme présenté sur la figure 2.12.

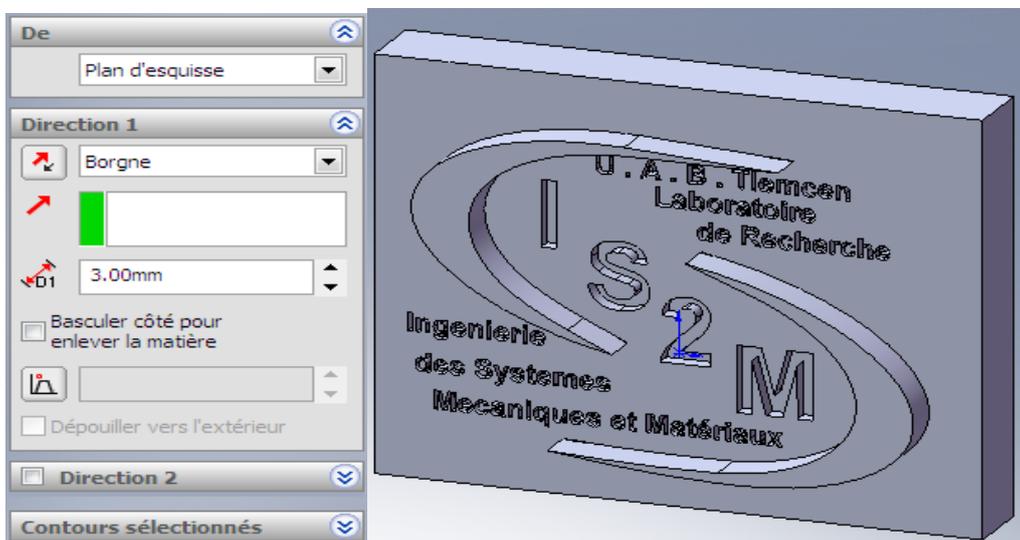


Figure-2.12- Enlèvement de matière de contour de texte

#### e. Editer la couleur des entités du logo

Pour changer la couleur des différentes surfaces et entités on utilise l'option Editer la couleur de SolidWorks. Pour les entités 2 et 3 on utilise la couleur bleue et pour les entités 4 et 5 on utilise la couleur rouge comme illustre la figure 2.13.

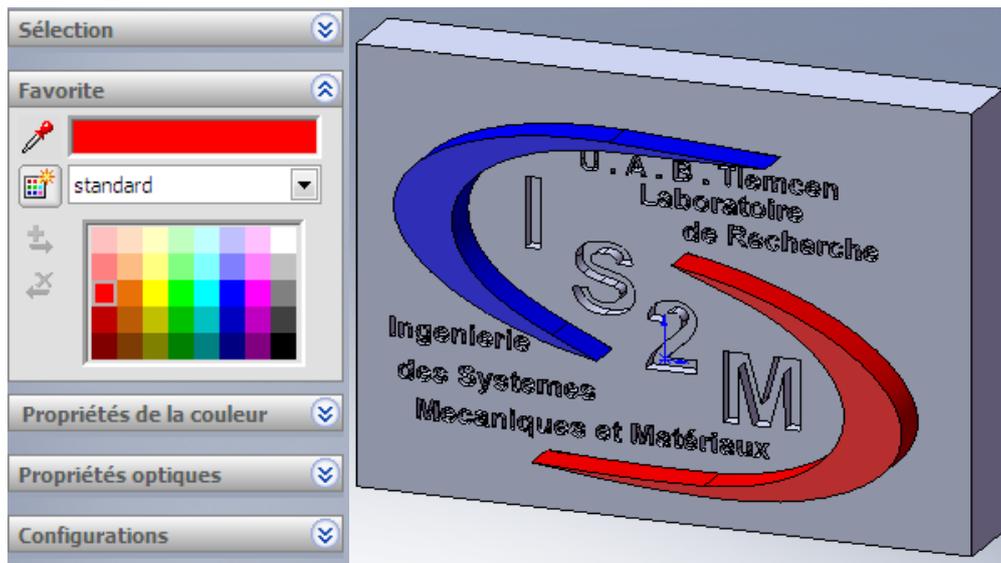


Figure-2.13- Edition des couleurs des surfaces

### 2.5.2. FAO de la solution I

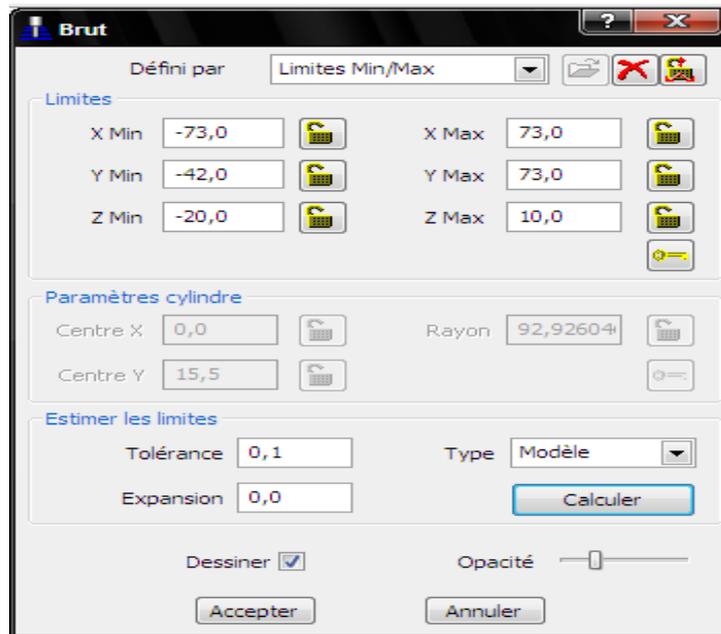
Pour générer le programme CN de la solution une on suit les étapes suivantes.

#### a. Importation de la géométrie

Puisque PowerMILL 6.0 ne supporte pas le format standard de SolidWorks 2007 SLDRT et ce dernier ne peut pas enregistrer la géométrie sous un format supportable par PowerMILL 6.0 (DJK, VDA, PIC... etc.). Donc on a besoin de l'application PS-Exchange 4.4.0504 de DelCAM pour convertir le format de fichier qui comporte la géométrie à un format supportable par PowerMILL 6.0. Après la création de la géométrie dans SolidWorks 2007 on l'enregistre sous un des formats suivants supportable par PS-Exchange 4.4.0504 IGES, STEP ou STL. Puis on importe la géométrie enregistrée sous une des formats ci-dessus et on l'exporte sous une des formats supportable par PowerMILL 6.0 (DJK, DMT ou STL). Dans notre travail on enregistre la géométrie sous format IGES de SolidWorks 2007 et on l'exporte sous format DJK de PS-Exchange 4.4.0504.

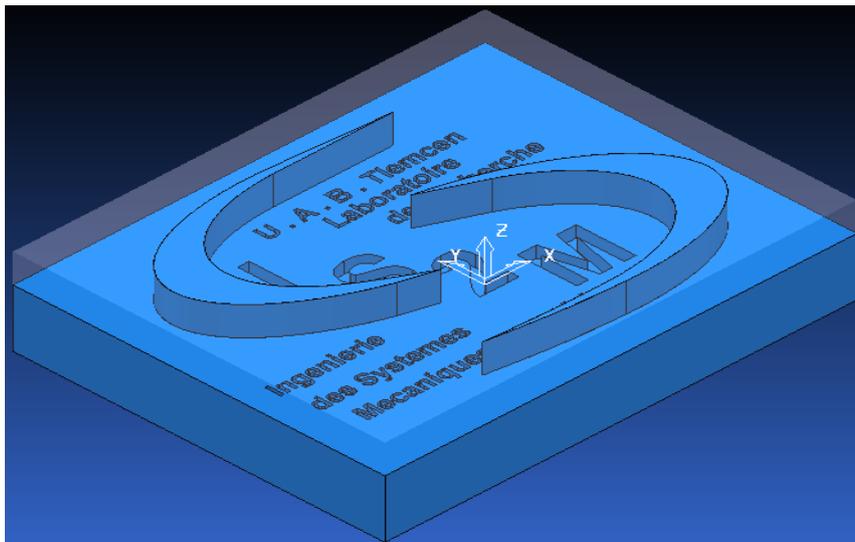
#### b. Définition du brut

Pour définir la taille de bloc de matière qui englobe notre logo on utilise l'icône brut de PowerMILL 6.0. On utilise l'option calculé dans la fenêtre de dialogue brut pour définir la taille de parallélépipède qui encadre notre modèle automatiquement, comme présenté sur la figure 2.14.



**Figure-2.14- Fenêtre de dialogue brut**

Par la suite le brut est apparu directement dans l'espace de travail comme présente la figure 2.15.



**Figure-2.15- Brut S1**

### c. Définition de la vitesse d'avance et de coupe

On utilise l'icône de la vitesse d'avance pour définir la vitesse d'avance, la vitesse de coupe, la vitesse de descente etc. comme présenté sur la fenêtre de dialogue dans la figure 2.16.



Figure-2.16- Vitesse d'avance et de coupe

#### d. Déplacement rapide en hauteur

Cette option permet de définir les hauteurs auxquelles l'outil peut se déplacer en toute sécurité sans heurter la pièce ou le système de maintien. Pour cela on clique sur le bouton déplacement rapide en hauteur. Dans la fenêtre de dialogue dans la zone de sécurité on choisit l'option plan. Dans le plan de sécurité on met la valeur 50mm et dans la zone départ Z on met la valeur 15 mm comme montre la figure 2.17.

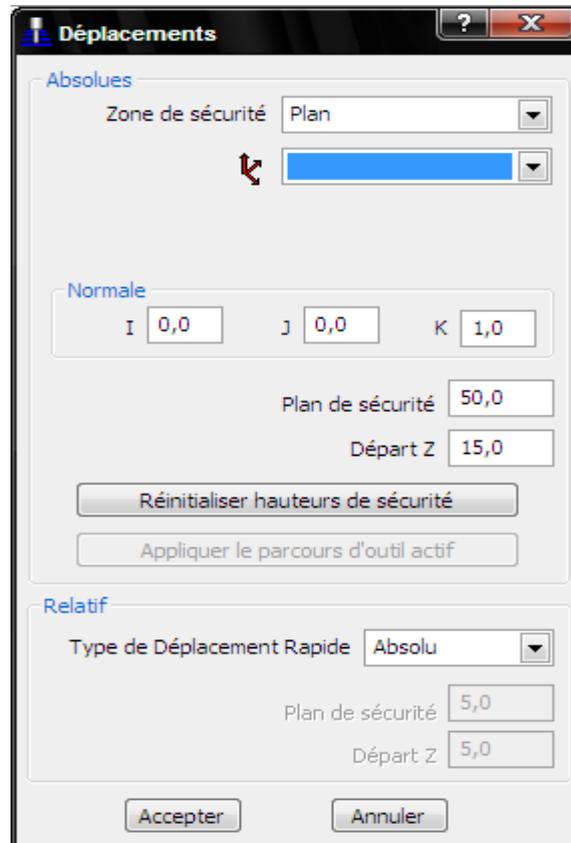


Figure-2.17- Déplacement rapide en hauteur

### e. Définition de la commande machine de génération du programme

Dans la zone de l'explorateur de PowerMILL 6.0, sous programme CN on choisit créer un programme CN. La fenêtre de dialogue présentée dans la figure 2.18 apparaît. Elle permet de définir le nom du programme, le numéro de programme, numéro de la pièce, l'emplacement de fichier qui contient le programme et la commande machine. Dans notre travail on va choisir la commande SIEMENS 850 pour générer le programme CN.

Programme CN : 1

Nom: 1 Options...

Fichier de sortie: E:/Documents and Settings/Administrateur/%[ncprogram].tap

Fichier option machine: C:/ismalooo/dcam/config/ductpost/siem850.opt

Plan de travail de sortie: [dropdown] Nom de la pièce: 1

Numéro de programme: 1 Origine outil: Bout

Alignement d'outil automatique: Sur Liaisons: Déplacer, Tourner

Parcours d'outil	Nombre	Diamètre	Bout	eur de	Longueur utile	Identificator
------------------	--------	----------	------	--------	----------------	---------------

Réinitialiser Changement d'outil: Sur le nouvel out Numéro: Comme spécifié

Position du changement d'outil: Après connexion

outils

ID: [input] Nombre: [input] Longueur de jauge: [input]

compensation d'usinage

Longueur: [dropdown] [input] Rayon: [dropdown] [input]

Numéro de décalage de longueur: [input] Numéro de décalage du rayon: [input]

Arc ajusté: [dropdown] Lubrification: [dropdown]

Sortie de cycle: [dropdown] [icon]

Fichier de sortie: [input]

Ecrire Appliquer Accepter Fermer

Figure-2.18- Définition de type de commande machine

## f. Définition d'outil

Dans la génération du programme CN on utilise trois outils. Un outil pour le balayage, Un pour la finition et l'autre pour la gravure de texte.

Pour le balayage on utilise une fraise deux tailles de diamètre 20 mm et longueur 40 mm comme présenté sur la figure 2.19.

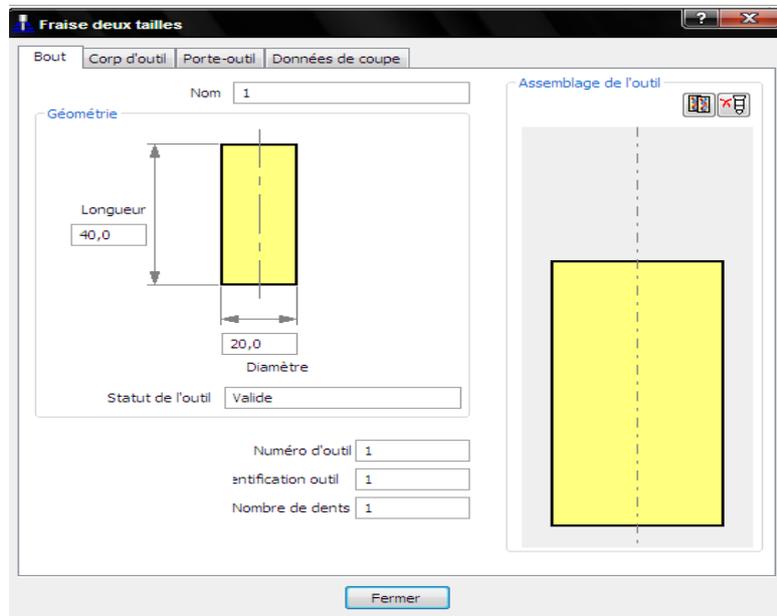


Figure-2.19- Définition d'outil fraise deux tailles

Pour la finition on utilise une fraise deux tailles, de diamètre 10 mm et de longueur 30 mm.

Pour la gravure on utilise une fraise à boule conique de diamètre 3 mm, de longueur 15 mm, angle de conicité 30 et de rayon de tête 0.2 mm comme présenté sur la figure 2.20.

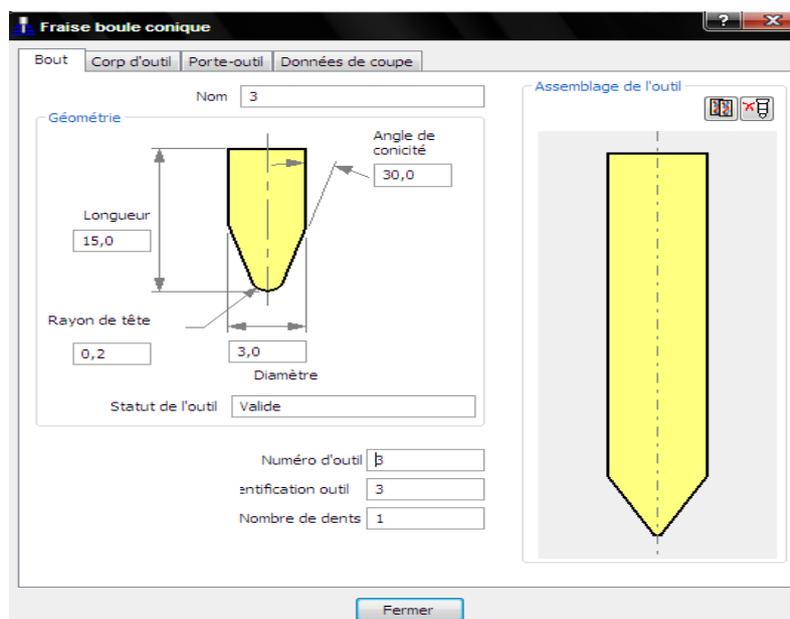


Figure-2.20- Définition d'outil de la gravure

### g. Définition de parcours d'outil

Pour définir le parcours d'outil on clique sur le bouton Toolpatch Stratégies, la fenêtre de dialogue présentée dans la figure 2.21 apparaît. Dans cette fenêtre on choisit le parcours d'outil approprié pour notre opération.

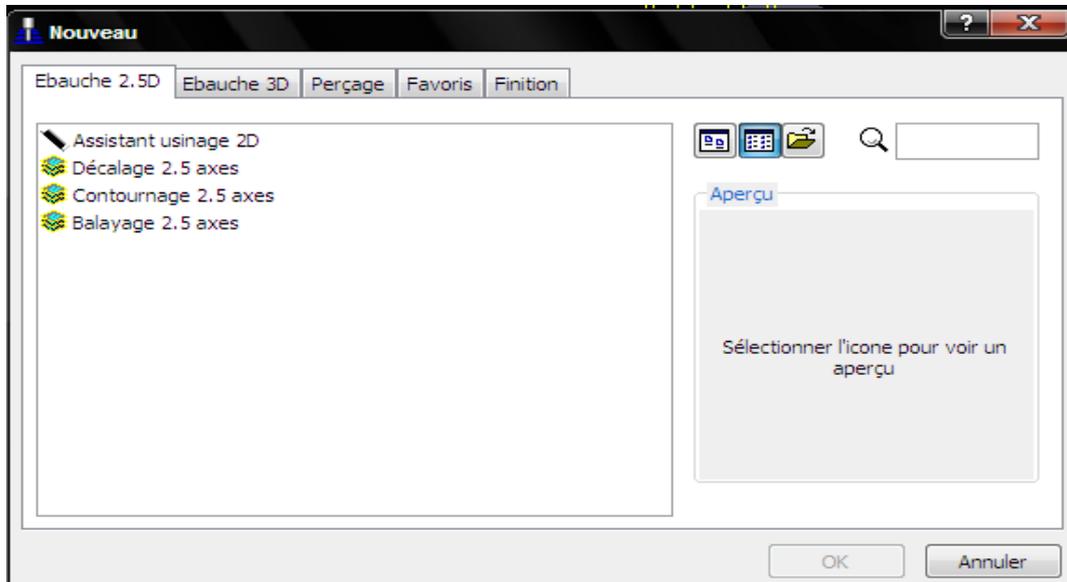


Figure-2.21- Fenêtre de dialogue de différentes opérations

#### \* *L'opération d'ébauche*

Dans la fenêtre de dialogue des différentes opérations on choisit l'opération ébauche 3D et l'opération balayage 3 axes, comme présenté sur la figure 2.22.

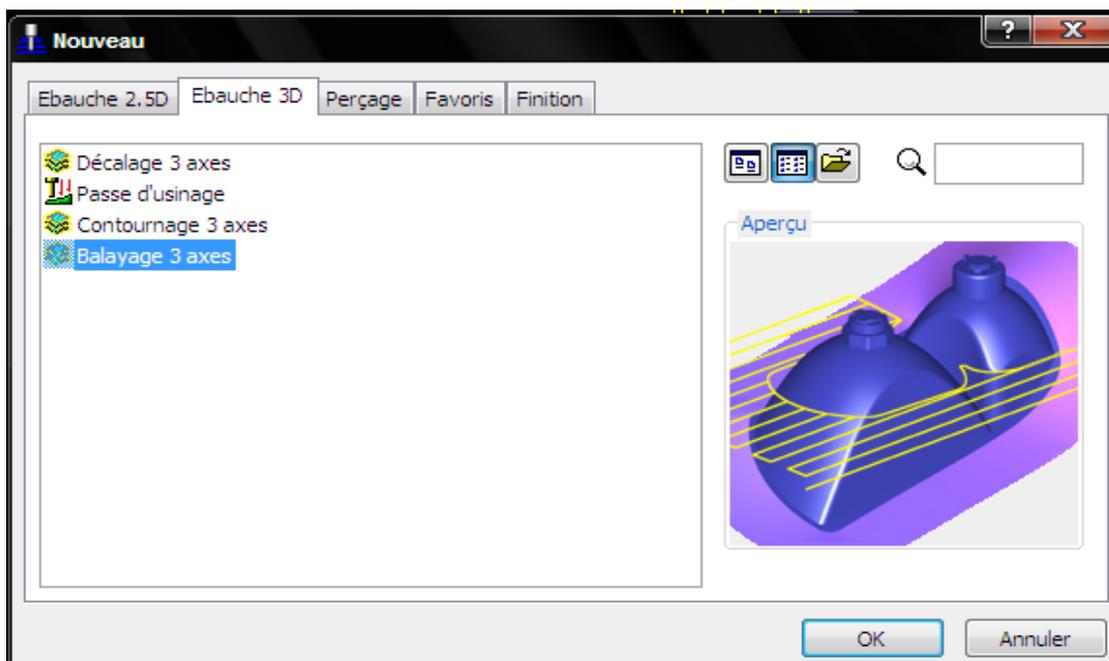
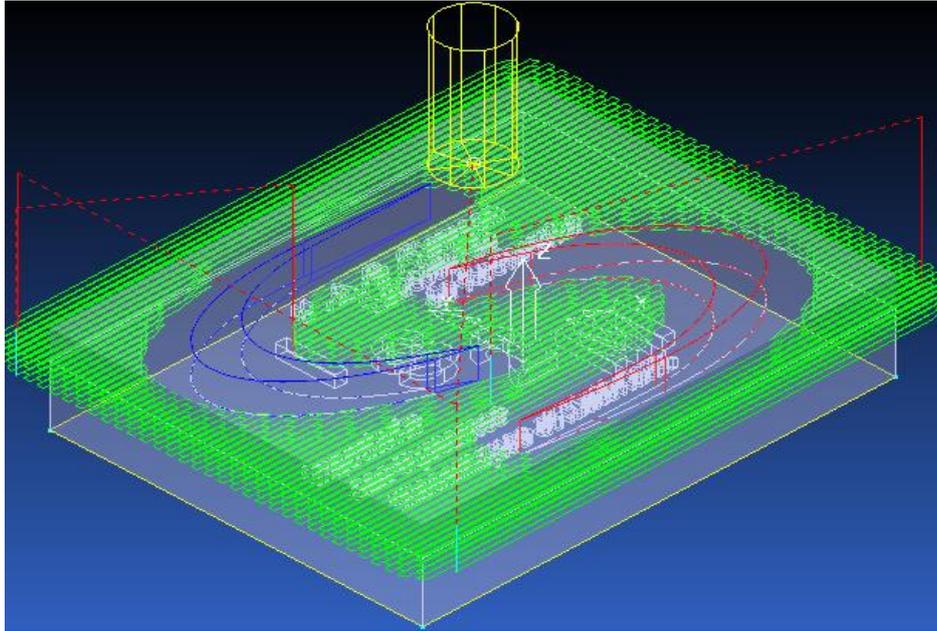


Figure-2.22- Fenêtre de dialogue d'opération ébauche 3D

Après le choix d'opération balayage 3axes la fenêtre de dialogue présentée sur la figure 2.23 apparaît. Dans celle-ci on peut définir l'outil (fraise deux taille 20 mm), la surépaisseur (1 mm), la profondeur de passe (2mm), la direction de coupe (quelconque)... etc.

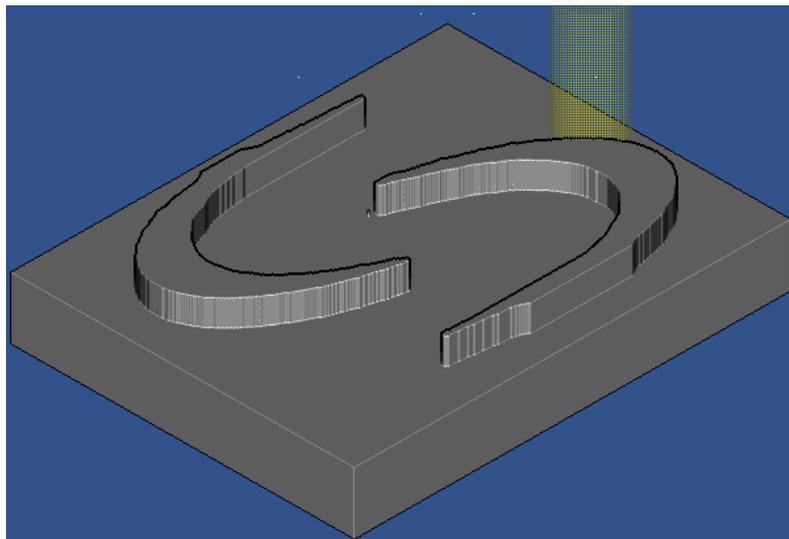
**Figure-2.23- Fenêtre de dialogue de parcours d'outil balayage 3 axes**

Enfin, on clique sur appliquer pour calculer le parcours d'outil qu'est présenté dans la figure 2.24.



**Figure-2.24- Parcours d'outil d'opération balayage 3 axes S1**

Puis on lance ViewMill pour voir la simulation.



**Figure-2.25- Résultat de simulation d'opération balayage 3 axes**

**\* Opération de finition**

Dans la fenêtre de dialogue de différentes opérations on choisit l'opération de finition et l'opération balayage finition comme présenté sur la figure 2.26. Par le choix de cette opération la fenêtre de dialogue présentée sur la figure 2.27 apparait. Pour cette opération on va changer l'outil (fraise deux tailles 10 mm) et la surépaisseur par défaut c'est 0 mm, puis on clique sur appliquer pour calculer le parcours d'outil qu'est présenté dans la figure 2.28.

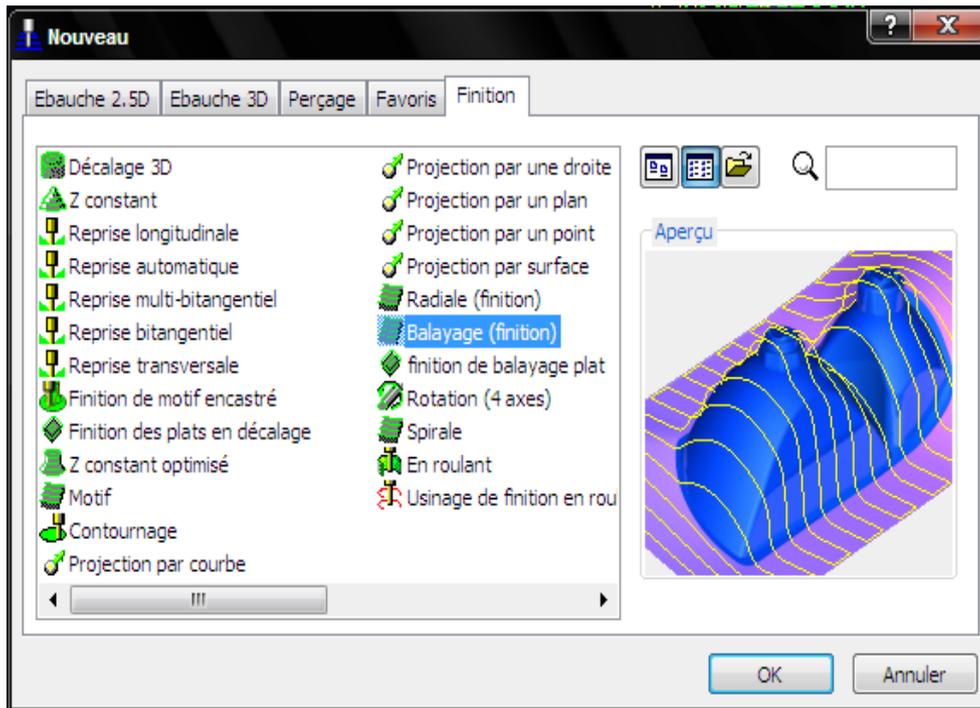


Figure-2.26- Fenêtre de dialogue d'opération de finition

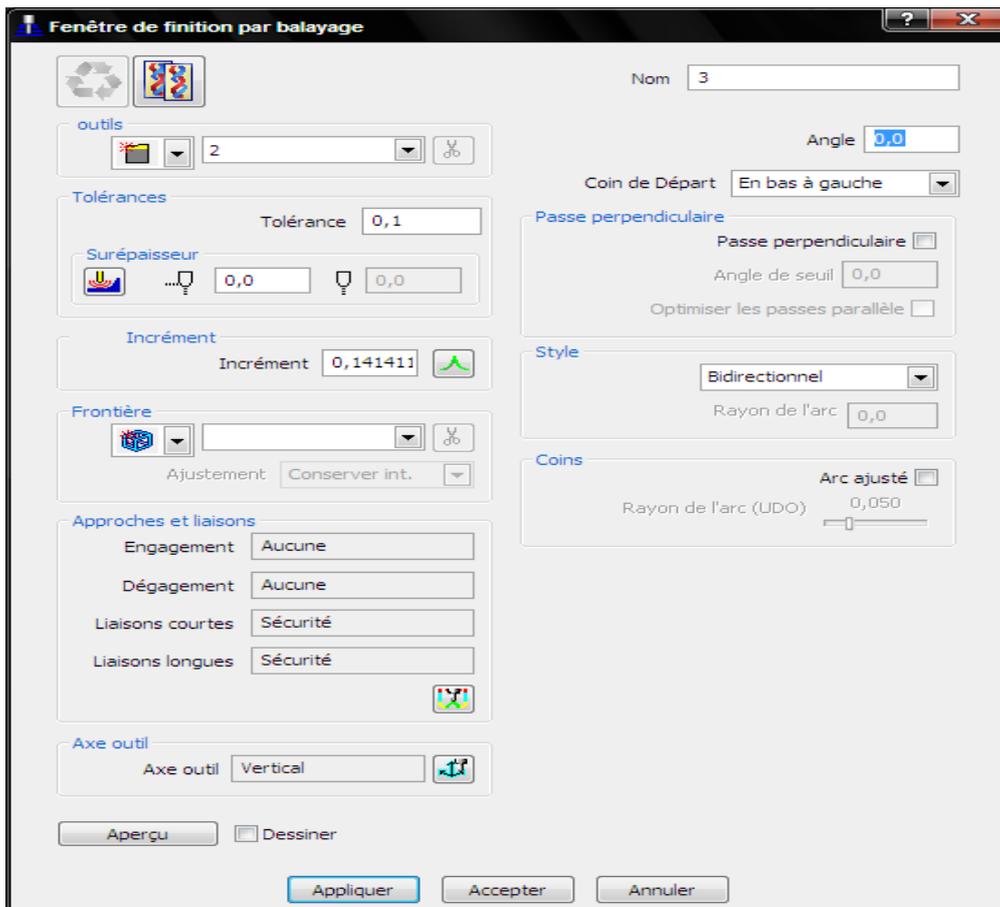
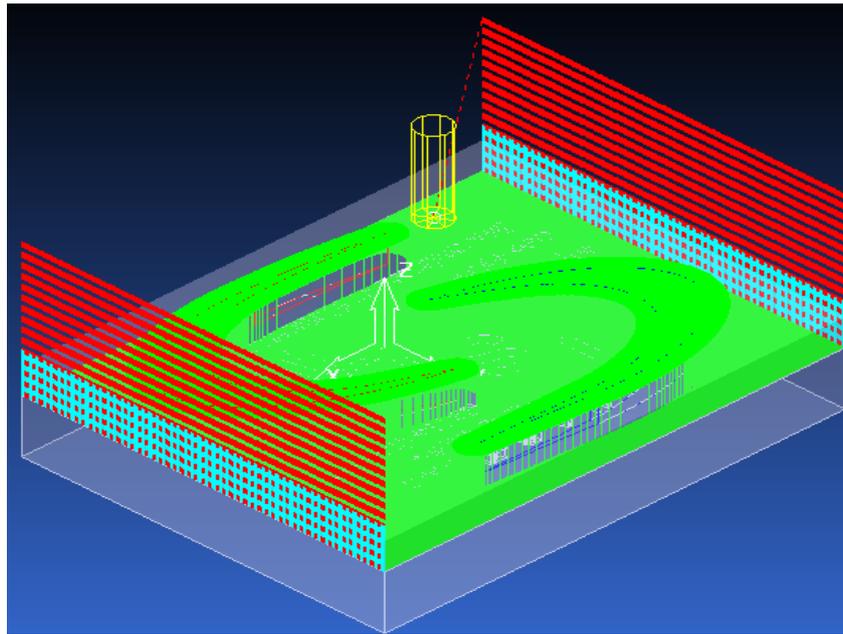
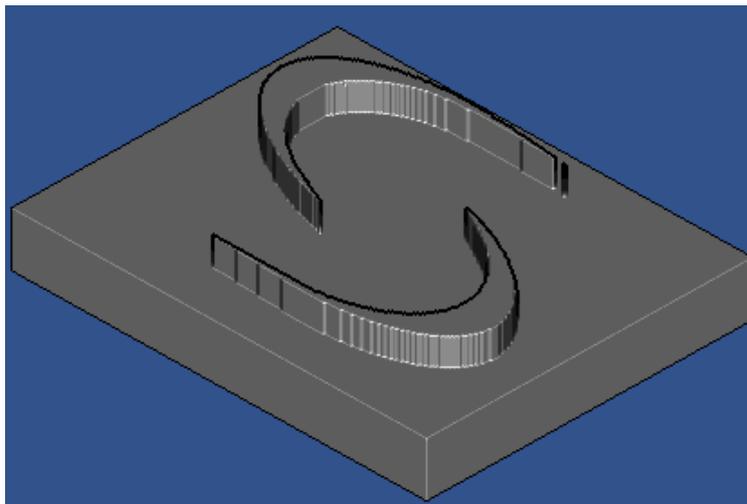


Figure-2.27- Fenêtre de dialogue de parcours d'outil balayage finition



**Figure-2.28- Parcours d'outil d'opération balayage finition**

Pour voir le résultat de simulation de passe de finition on active ViewMill, le résultat est présenté dans la figure 2.29.



**Figure-2.29- Résultat de simulation d'opération balayage finition**

#### **h. Gravure**

Pour la gravure on utilise l'opération précédente balayage finition, mais on va limiter le parcours d'outil sur trois polygones englobant les textes de notre logo. Après le calcul de parcours d'outil on utilise le bouton limité le parcours d'outil pour tracer le premier polygone. Pour cela on utilise dans la fenêtre de dialogue le critère limité par polygone comme présenté sur la figure 2.30, ce premier polygone contenir le texte ingénierie des systèmes mécaniques et matériaux. Et de la même façon on trace le deuxième polygone qui va contenir les lettres IS2M, puis le troisième polygone qui contenir le texte U. A. B. Tlemcen laboratoire de recherche. Ces parcours d'outil sont présentés sur la figure 2.31.

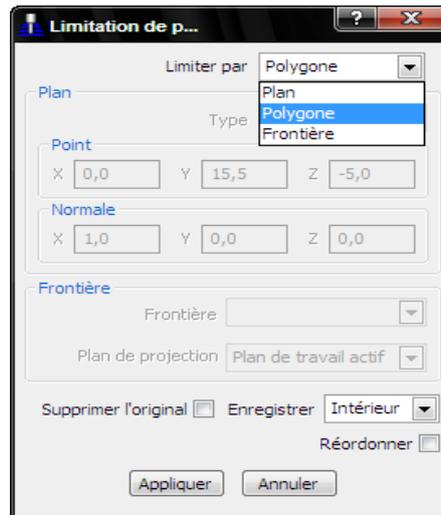


Figure-2.30- Fenêtre de dialogue limitation de parcours d'outil



Figure-2.31- Limitation de parcours d'outil de la gravure

La figure 2.32 présente le résultat de ce parcours d'outil.

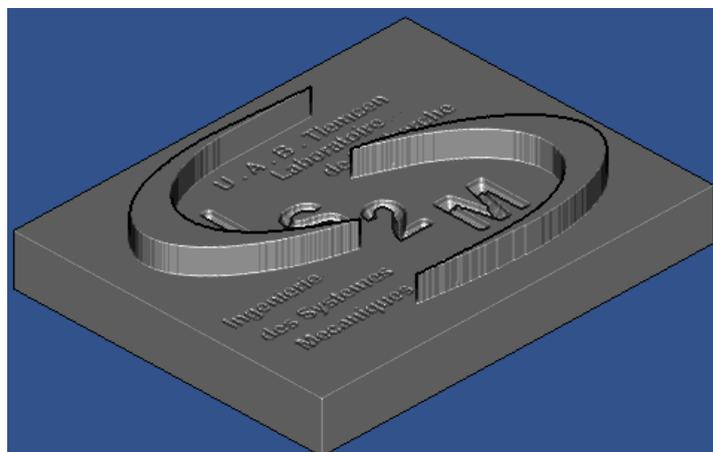


Figure-2.32- Résultat de Simulation de parcours d'outil de la S1

Maintenant il nous reste juste de générer le programme d'usinage de la pièce selon la commande choisi auparavant. Dans la zone d'explorateur de PowerMILL 6.0 dans programme CN on utilise l'option écrire pour générer ce programme CN.

## 2.6. Présentation de la solution II

La géométrie de la solution II est présentée dans la figure 2.32.

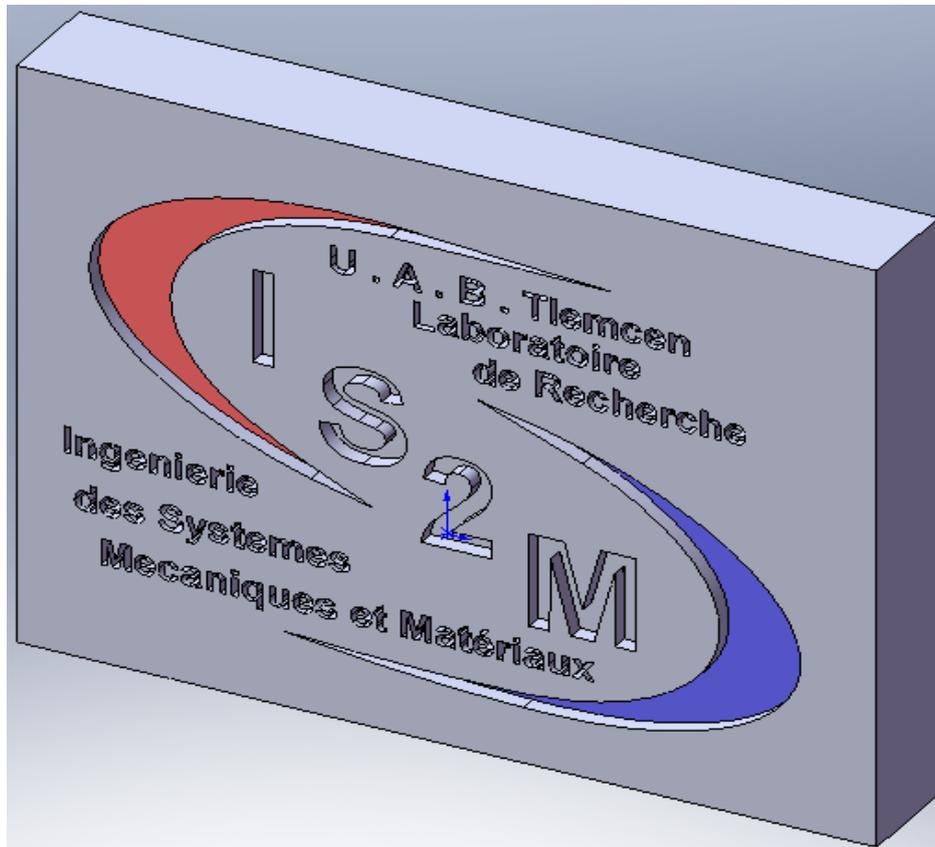


Figure-2.33- Présentation de la deuxième solution S2

### 2.6.1. Conception la deuxième solution

Pour la création de la géométrie de la deuxième solution on suit les mêmes étapes de création de la géométrie de la première solution. La seule différence entre les étapes de création de ces deux géométries c'est dans les fonctions utilisées pour l'obtention des entités 2, 3, 4 et 5. Après l'esquisse des entités 2, 3, 4 et 5 on fait l'enlèvement de matière de ces entités suivant l'axe Z à une distance de 3 mm et sous Direction 1 on choisit l'option borgne comme présenté sur la figure 2.34.

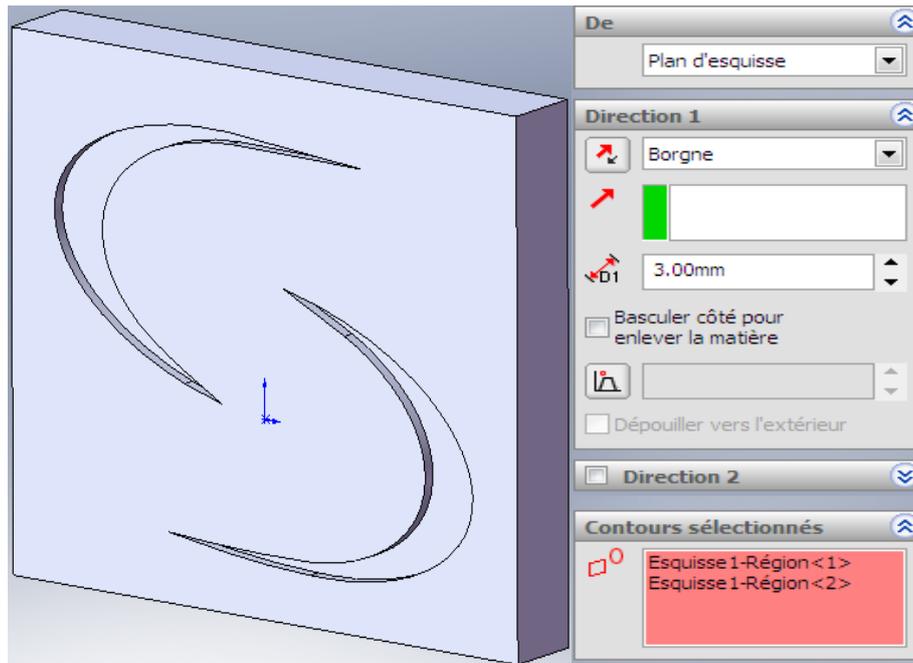


Figure-2.34- Enlèvement de matière des entités 2, 3, 4 et 5 de S2

### 2.6.2. FAO de la deuxième solution

Pour l'importation de la géométrie, la définition du brut (figure 2.35), la sélection de la commande machine de génération de programme, la définition de la vitesse d'avance et la gravure de texte on suit les mêmes étapes de la partie FAO de la première solution.

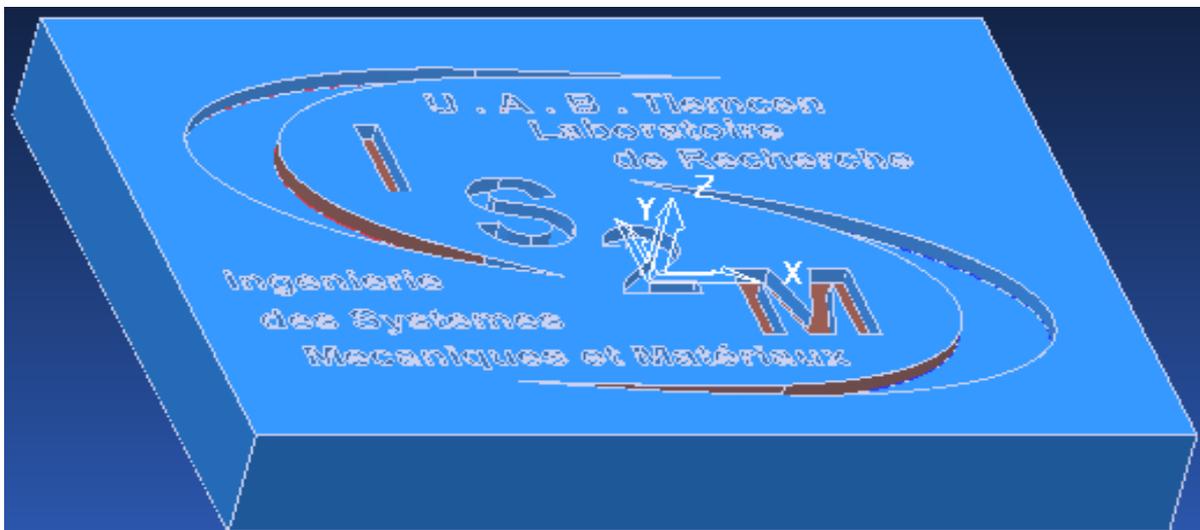


Figure-2.35- Définition du brut S2

#### a. Définition des outils

Dans cette solution on utilise deux outils, un outil pour l'ébauche et la finition des parties larges et l'autre pour l'ébauche et la finition des parties restreintes. Pour les opérations d'ébauche et la finition des parties larges on utilise une fraise deux tailles de diamètre 5 mm et

longueur 25 mm. Pour les opérations d'ébauche et la finition des parties restreintes on utilise l'outil de la gravure utilisée dans la première solution.

### b. Définition du parcours d'outil

Pour la définition du parcours d'outil on suit les mêmes étapes suivies dans la première solution. Le résultat du parcours d'outil d'ébauche des parties larges est présenté sur la figure 2.36. Dans l'opération d'ébauche des parties restreintes on limite le parcours d'outil sur les parties restreintes du logo comme présenté sur la figure 2.36. Pour la finition des parties large on limite le parcours d'outil sur les parties larges comme illustre la figure 2.37.

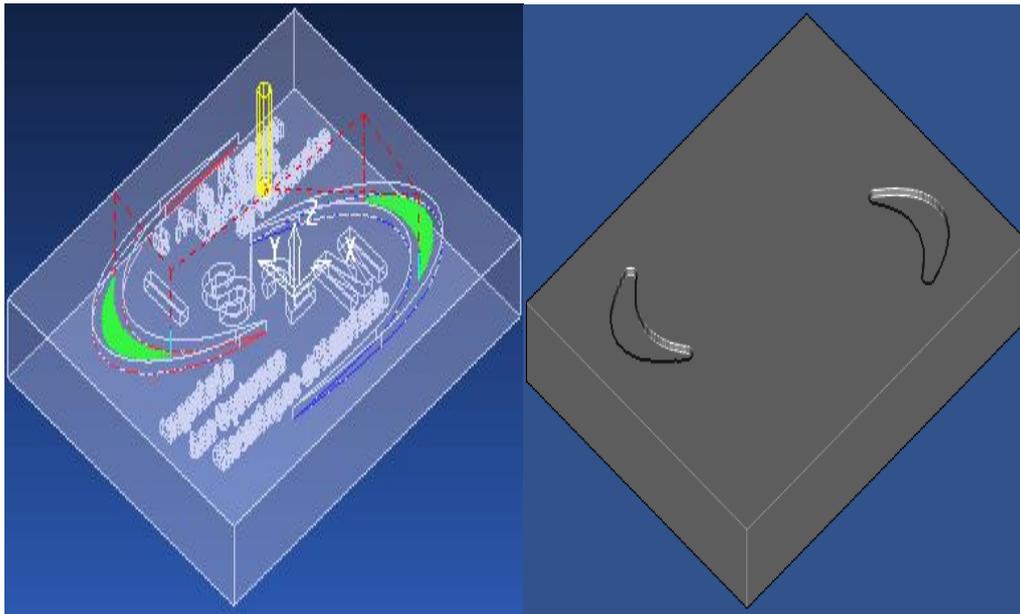


Figure-2.36- Parcours d'outil d'ébauche des parties larges S2

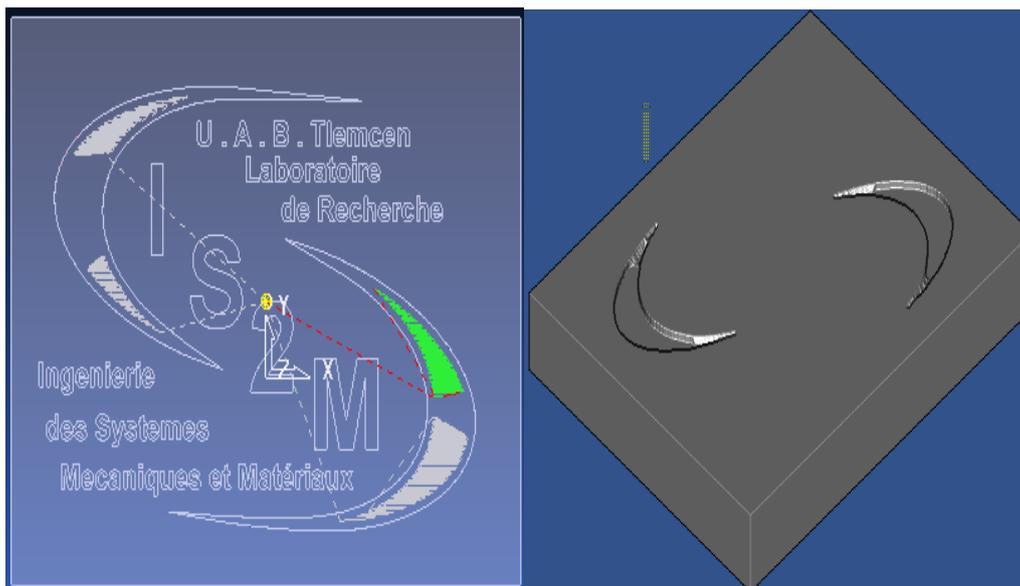
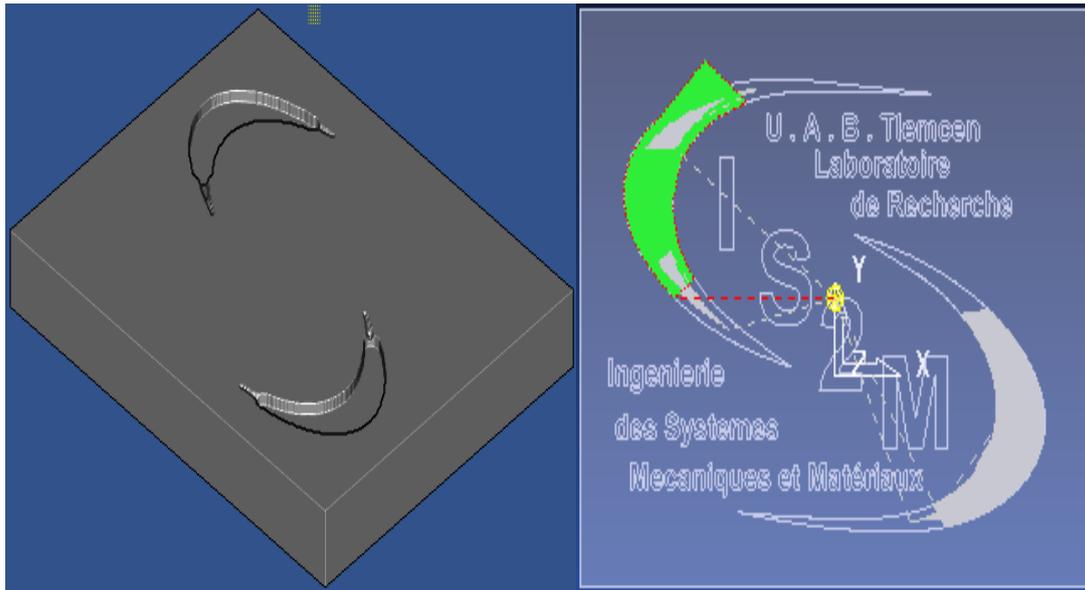
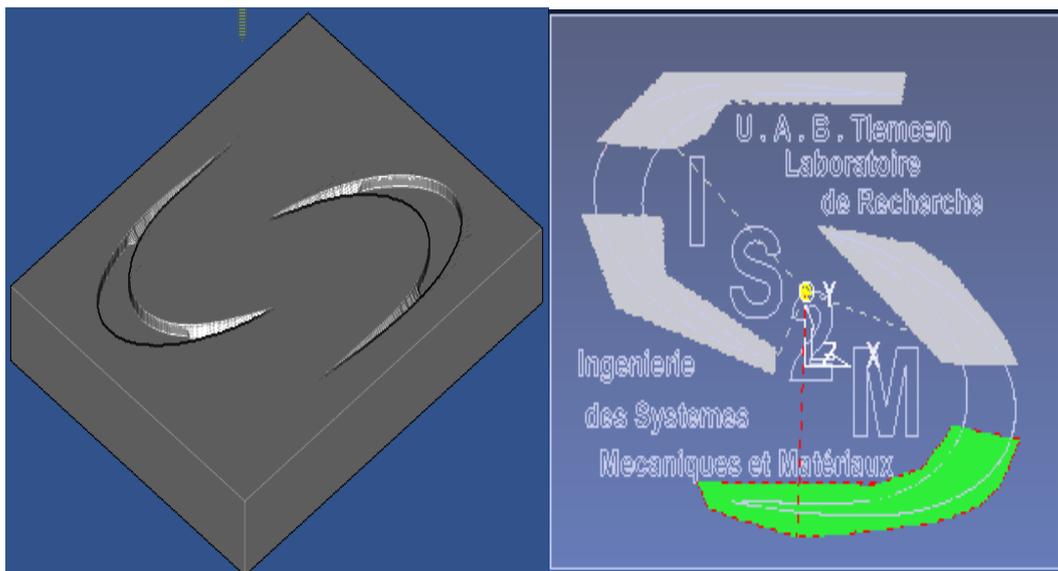


Figure-2.37- Parcours d'outil d'ébauche des parties restreintes S2



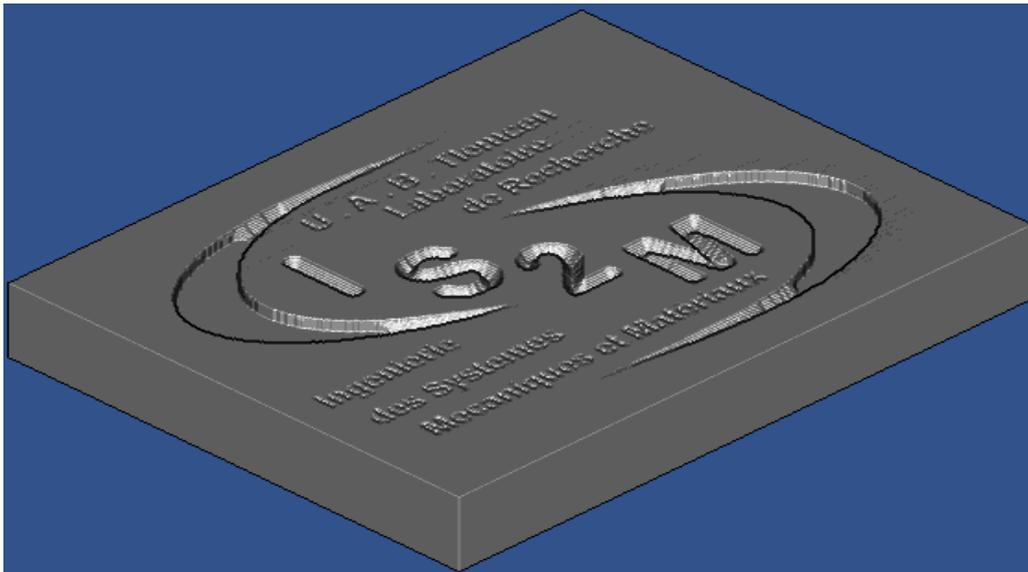
**Figure-2.38- Parcours d'outil d'opération de finition des parties larges S2**

Pour la finition des parties restreintes on limite le parcours d'outil sur les parties restreintes comme présenté sur la figure 2.39.



**Figure-2.39- Parcours d'outil de finition des parties restreintes S2**

Le résultat de simulation de ces parcours d'outil est présenté dans la figure 2.40.



**Figure-2.40- Résultat de parcours d'outil de la deuxième solution S2**

## 2.7. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les différentes étapes de conception et de génération du programme CN de deux solutions 3D simples pour le logo IS2M dans un environnement CAO et FAO séparés, ça nous permet d'utiliser le système CAO (SolidWorks) afin de maîtriser la procédure de génération de programme CN, de l'importation de la géométrie jusqu'à la simulation à l'aide d'outil FAO (DelCAM).

Pour les solutions proposées, une est avec motifs principaux en relief et l'autre avec motifs négatives par rapport à la surface de gravure de texte et tous les deux ayant des interpolations linéaires uniformes sur les splines de motifs principaux.

De point de vue optimisation de fabrication il est préférable de réaliser la deuxième solution que la première, parce que dans la première les motifs principaux sont en relief, le programme CN possède 21265 séquences, dans la deuxième les motifs principaux sont négatives par rapport à la surface de gravure de texte et le programme CN possède 17707 séquences. Donc la réalisation de la première nécessite plus de temps et plus de volume de matière enlevée que la deuxième.

Lors d'utilisation des systèmes CAO et FAO séparés on peut être confronté au problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie lors de transmission de ce dernier de système CAO au système FAO, comme le cas de SolidWorks et DelCAM.

## CHAPITRE 3

### Solutions 3D complexes par systèmes CAO et FAO séparés

#### 3.1. Introduction

Dans le chapitre précédent on a proposé deux solutions 3D simples, une solution est avec motifs principaux en relief et l'autre avec motifs négatives par rapport à la surface de gravure de texte et tous les deux ayant des interpolations linéaires uniformes sur les splines de motifs principaux.

Par contre dans ce chapitre on va proposer deux autres solutions 3D complexes répondant au cahier de charge, l'écriture de textes toujours gravé et pour cela on va utiliser les mêmes systèmes CAO et FAO utilisés auparavant.

#### 3.2. Présentation de la troisième solution III

La figure suivante présente la géométrie de la troisième solution proposée du logo IS2M.

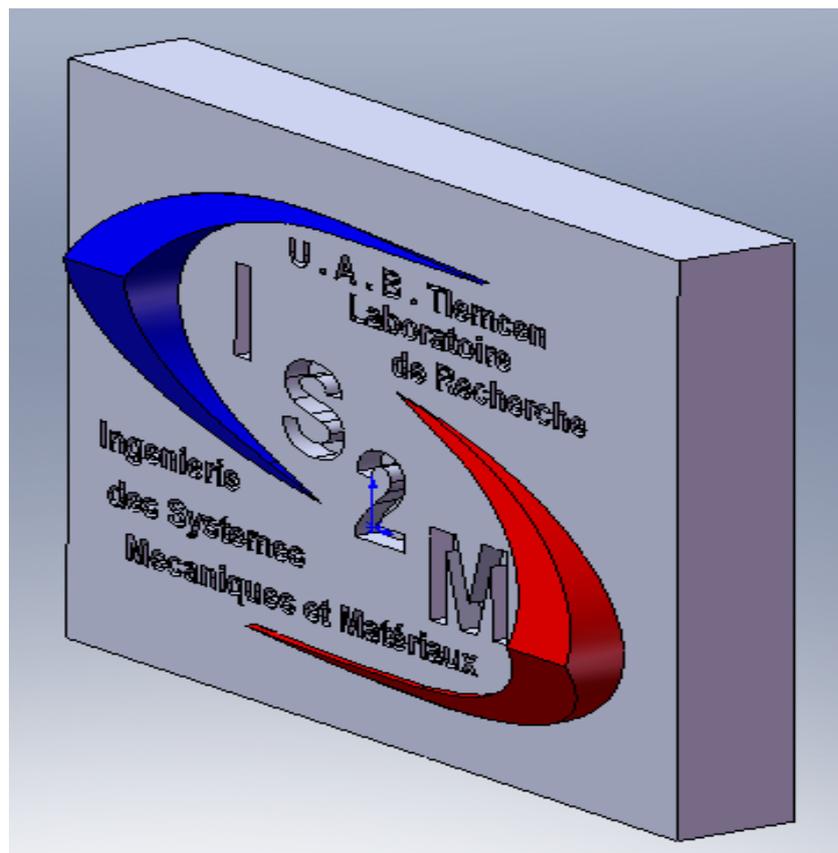


Figure-3.1- Présentation de la troisième solution S3

### 3.2.1- Conception de la troisième solution

Pour créer la géométrie de cette solution on commence à partir du modèle fini de la solution une de chapitre précédent, la figure 3.2 illustre la désignation des différentes entités de cette solution.

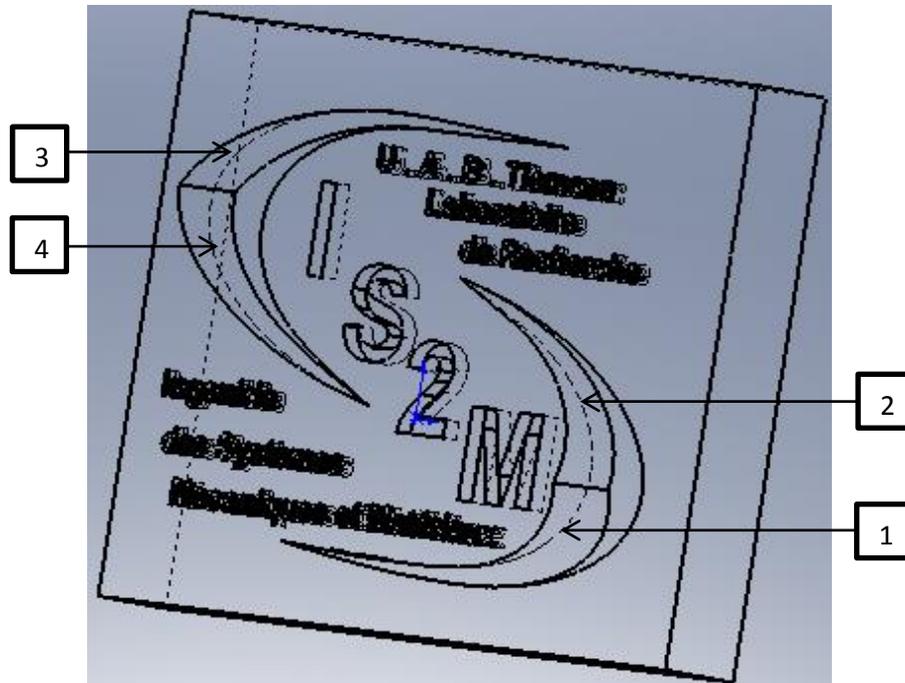


Figure-3.2- Désignation des entités de S3

#### a. Création de l'entité 1

Pour créer l'entité 1 on doit créer tout d'abord un plan incliné sur lequel on va esquisser un rectangle qui nous permet de faire l'enlèvement de matière pour obtenir cette entité.

##### \* *Création de plan incliné 1*

Dans le plan dessus on esquisse une droite perpendiculaire à l'axe Z et en tangente avec la face supérieure des motifs (partie dessous de la figure 3.3). Puis on quitte l'esquisse et on sélectionne la droite créée et on clique sur le bouton créer un plan dans un esquisse 3D. Dans la fenêtre de dialogue on voit le nom de droite créée dans la première référence, puis on choisit l'option coïncidente comme présenté sur la partie de dessous de la figure 3.3, ce plan on le renomme plan 3D-1.

Dans le plan de face on esquisse une droite entre les deux points  $A_1$  (13.16, 30.63) et  $B_1$  (45.35, 30.63) et on la considère comme une première référence. Dans le plan 3D-1 on esquisse une autre droite entre les deux points  $C_1$  (46.08, 9.08, 10) et  $D_1$  (60.15, 9.08, 10) et on la considère comme la deuxième référence. On sélectionne ces deux droites et on crée le plan incliné 1.

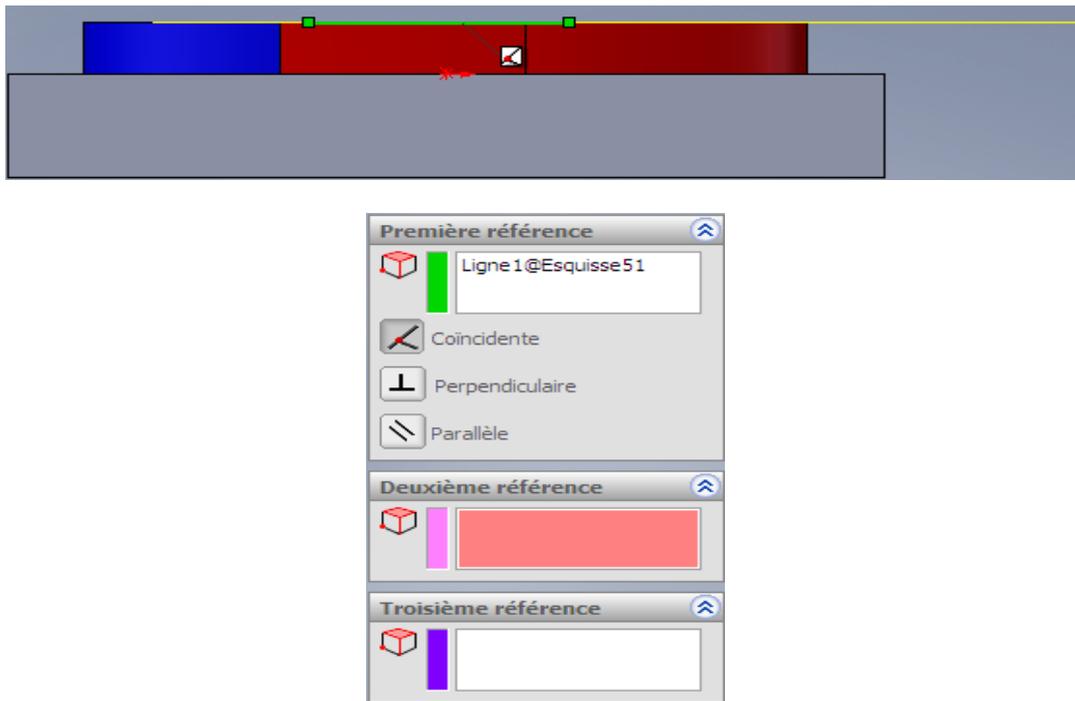


Figure-3.3- Création de plan 3D-1

*\* Esquisser de rectangle 1*

Dans le plan incliné 1 on esquisse un rectangle de premier point  $Z_1$  (27.29, 37.75), de longueur 97.91 mm et de largeur 23.76 mm. Comme présenté sur la figure 3.4.

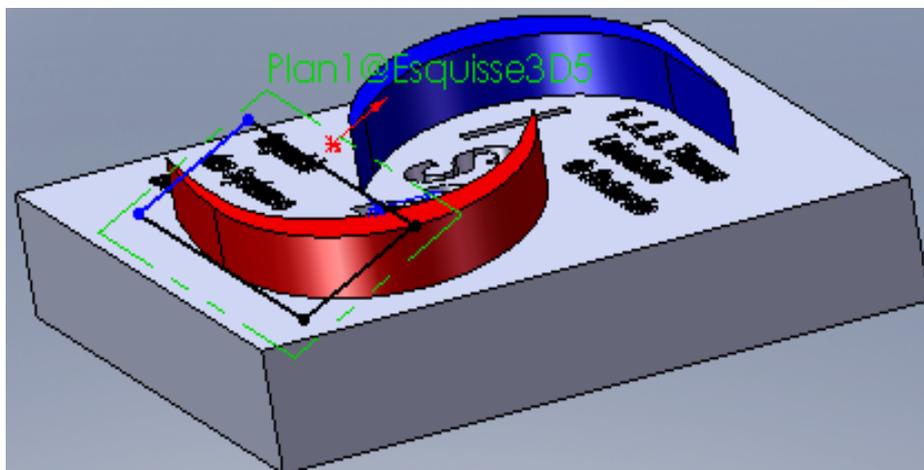
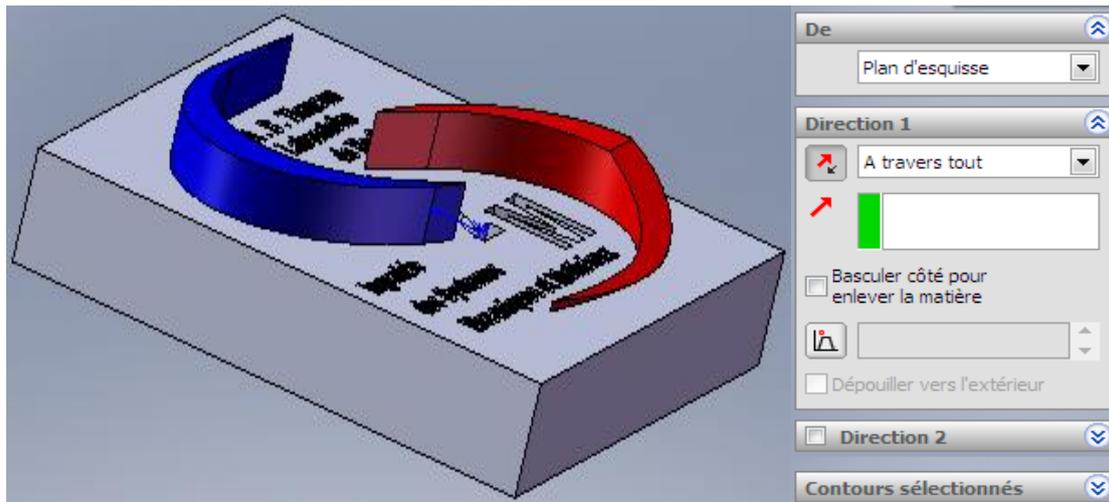


Figure-3.4- Création de rectangle 1 S3

Après l'esquisse de rectangle 1 on fait l'enlèvement de matière, sous-direction 1 on choisit l'option à travers tous comme illustre la figure 3.5.



**Figure-3.5- Création de l'entité 1 S3**

### **b. Création de l'entité 2**

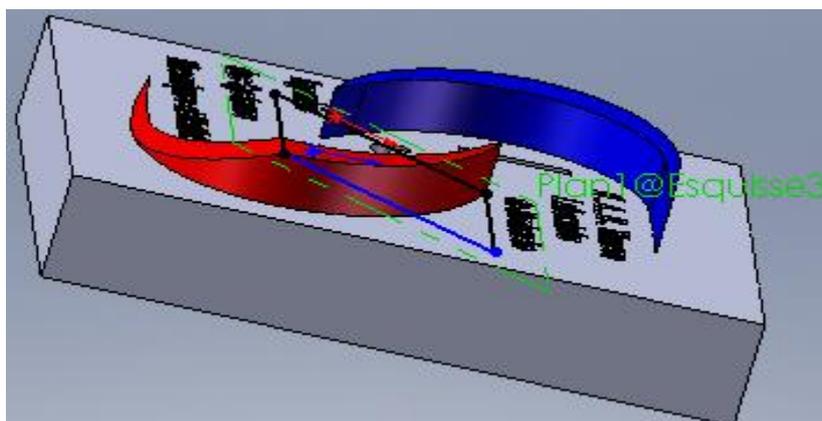
Pour la création de l'entité 2 on a besoin toujours d'un plan incliné pour esquisser un deuxième rectangle.

#### **\* Création de plan incliné 2**

Dans le plan de face on esquisse une droite entre les deux points  $E_1$  (13.16, 30.63),  $F_1$  (45.35, 30.36) et on la considère comme la première référence. Puis on sélectionne la droite créée dans le plan 3D-1 et on la considère comme la deuxième référence et on crée le plan incliné 2 entre ces deux droites.

#### **\* Esquisser de rectangle 2**

Dans le plan incliné 2 on esquisse un rectangle de premier point  $Z_2$  (2.03, 19.90), de longueur 54.96 mm et de largeur 38.87 mm comme présenté sur la figure 3.6.



**Figure-3.6- Création de rectangle 2 S3**

Après la création de rectangle on fait l'enlèvement de matière et sous Direction 1, on choisit l'option à travers tous comme présenté sur la figure 3.7.

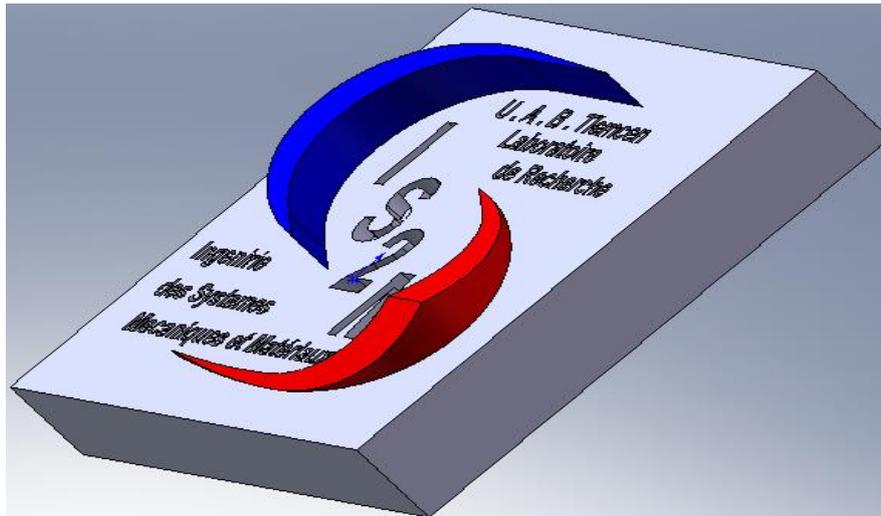


Figure-3.7- Création de l'entité 2 S3

### c. Création de l'entité 3

Pour la création de l'entité 3 on a besoin d'un plan incliné.

#### \* *Création de plan incliné 3*

Dans le plan de face on esquisse une droite entre les deux points  $G_1$  (-46.24, 58.60),  $H_1$  (-9.25, 58.60) et on la considère comme la première référence. Dans le plan 3D-1 on esquisse une droite entre les deux points  $O_1$  (-45.62, 38.95, 10),  $P_1$  (-60.08, 38.95, 10) et on la considère comme la deuxième référence. On sélectionne ces deux droites et on crée le plan incliné 3.

#### \* *Esquisser de rectangle 3*

Dans le plan incliné 3 on esquisse un rectangle de premier point  $Z_3$  (39.99, 25.22), de longueur 100 mm et de largeur 22.04 mm comme présenté sur la figure 3.8. Après la création de rectangle 3 on fait l'enlèvement de matière à travers tous le résultat est présenté dans la figure 3.9.

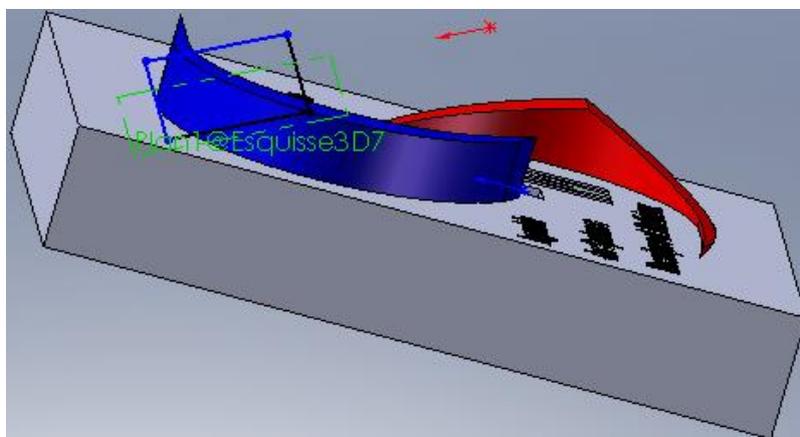


Figure-3.8- Création de rectangle 3 S3

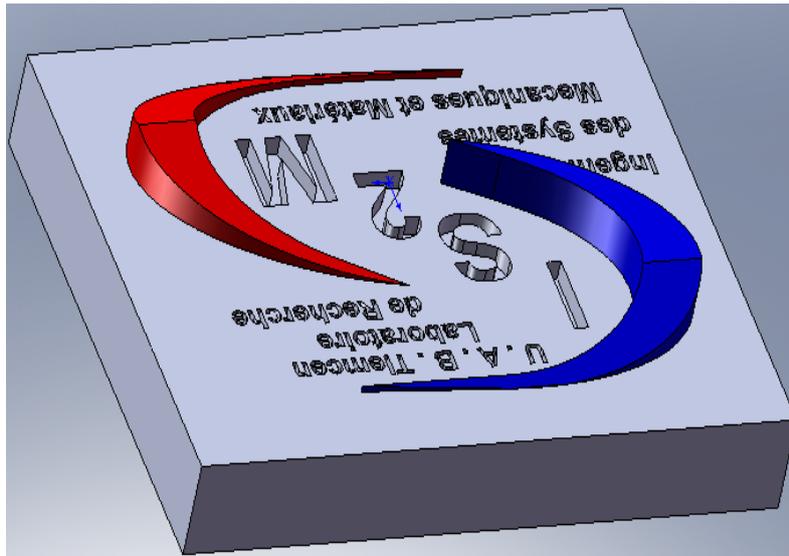


Figure-3.9- Création de l'entité 3 S3

#### d. Création de l'entité 4

Pour la création de l'entité 4 on doit d'abord créer le plan incliné 4.

##### \* *Création de plan incliné 4*

Dans le plan de face on esquisse une droite entre les deux points  $Q_1$  (-36.47, 1.39),  $R_1$  (-12.22, 1.39) et on la considère comme la première référence. Puis on sélectionne la deuxième droite créée dans le plan 3D-1 et on la considère comme la deuxième référence et on crée le plan incliné 4 entre ces deux droites.

##### \* *Esquisser de rectangle 4*

Dans le plan incliné 4 on esquisse un rectangle de premier point  $Z_4$  (-12.22, 1.34), de longueur 49.94 mm et de largeur 38.88 mm comme présenté sur la figure 3.10.

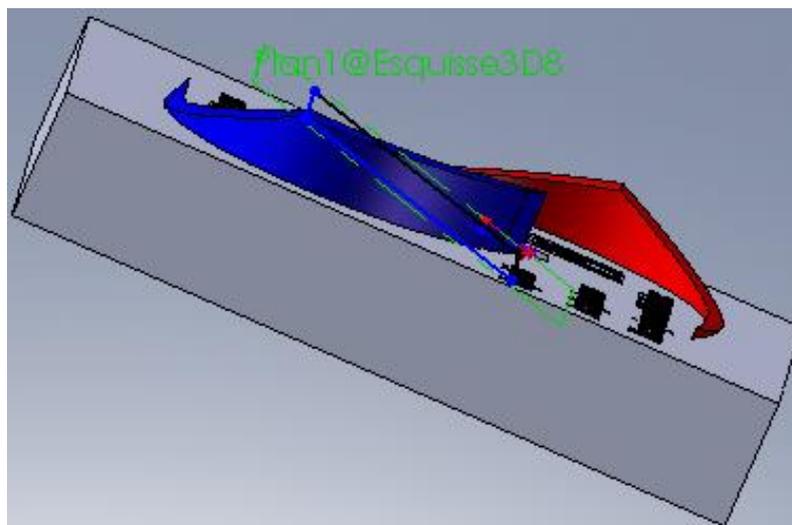


Figure-3.10- Création de rectangle 4 S3

Après la création de rectangle 4 on fait l'enlèvement de matière à travers tous. Le résultat est présenté sur la figure 3.11.

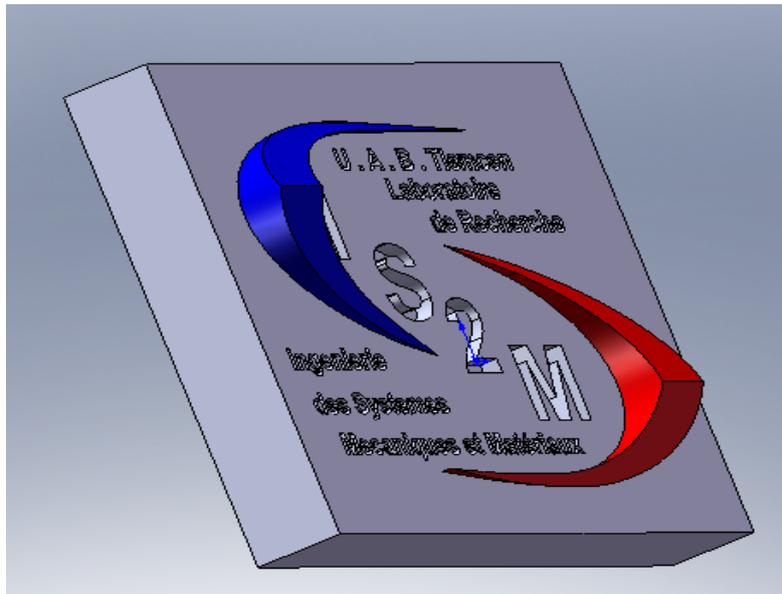


Figure-3.11- Création de l'entité 4 S3

### 3.2.2. FAO de la solution trois

Pour l'importation de la géométrie, la définition du brut (figure 3.12), la vitesse d'avance et la sélection de la commande de génération de programme on suit les mêmes étapes suivies dans la partie FAO de la solution une de chapitre précédent.

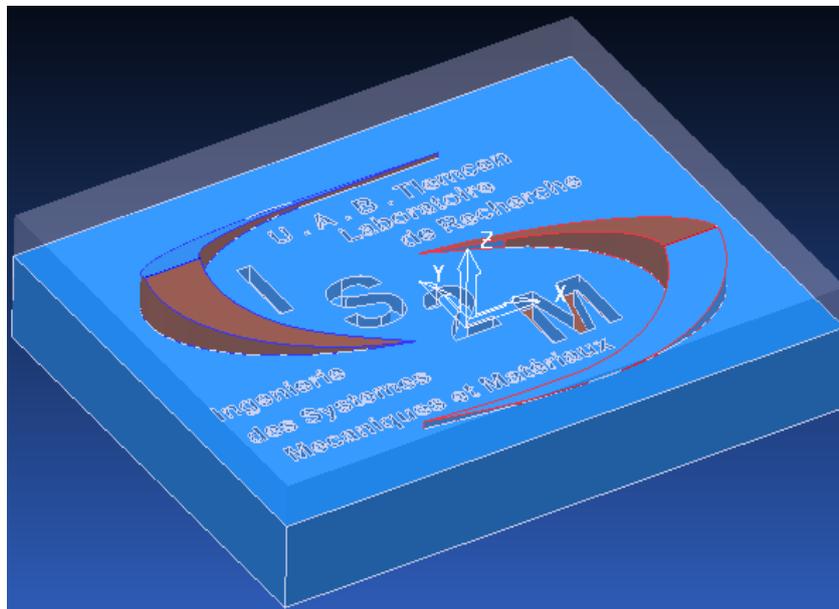


Figure-3.12- Définition du brut S3

#### a. Définition des outils

Dans cette partie on utilise trois outils. Un pour l'ébauche, un pour la passe de finition et l'autre pour la gravure de texte. Pour l'opération d'ébauche on utilise une fraise deux tailles

de diamètre 10 mm et de longueur 50 mm. Pour la passe de finition on utilise une fraise deux tailles de diamètre 6 mm et de longueur 30 mm. Pour la gravure de texte on utilise le même outil utilisé pour la gravure de texte dans le chapitre précédent.

### b. Définition de parcours d'outil

Pour la définition de parcours d'outil on suit les mêmes étapes suivies dans la partie FAO de la première solution de chapitre précédent. Le résultat d'opération d'ébauche est présenté dans la figure 3.13, le résultat de la passe de finition présenté dans la figure 3.14 et la figure 3.15 illustre le parcours d'outil d'opération de gravure.

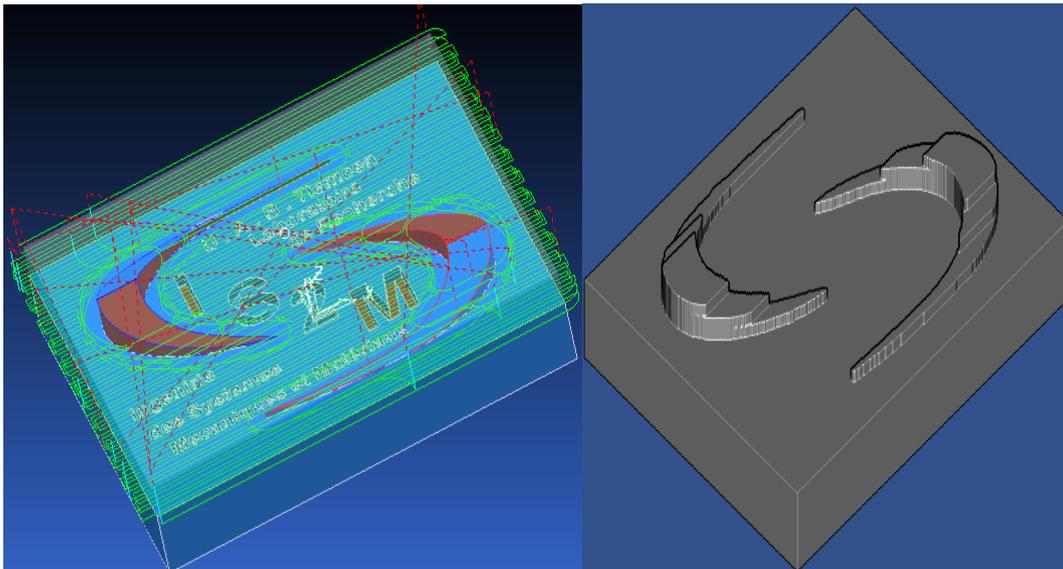


Figure-3.13- Parcours d'outil d'ébauche S3

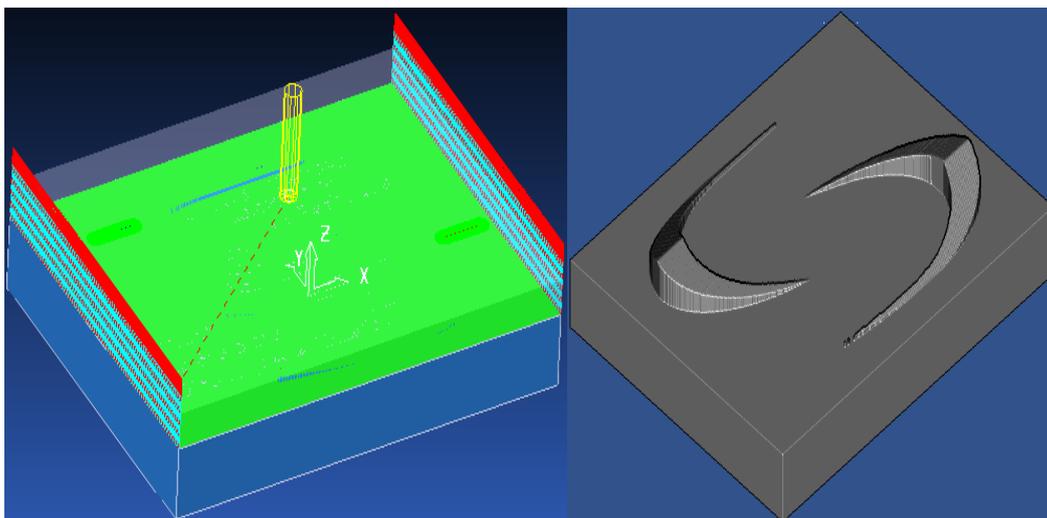


Figure-3.14- Parcours d'outil de la passe de finition S3

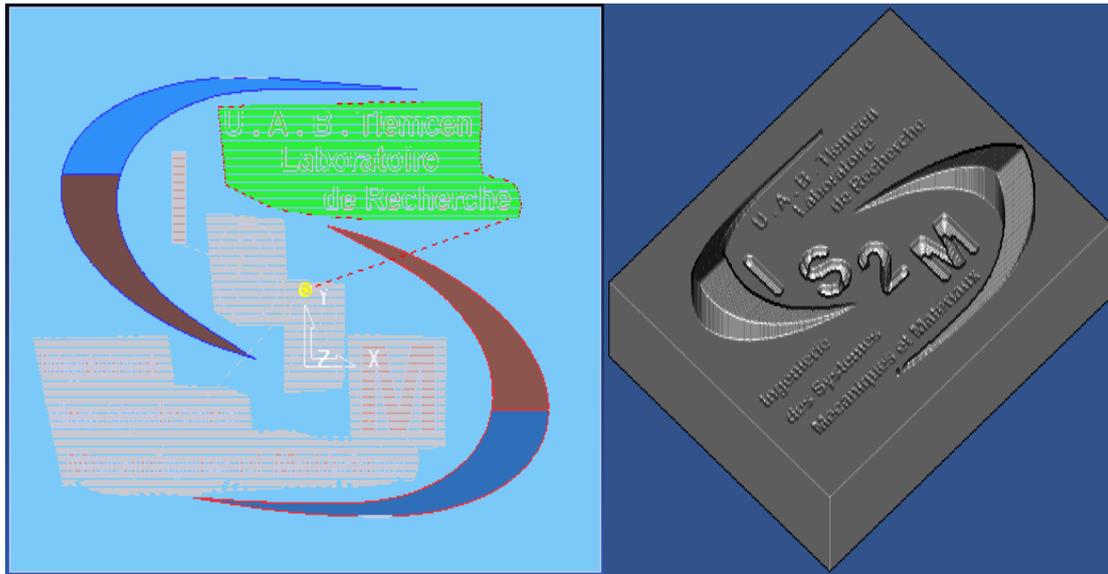


Figure-3.15- Parcours d'outil de la gravure de texte S3

### 3.3. La solution quatre IV

La figure 3.16 présente la géométrie de la quatrième solution proposée pour le logo.

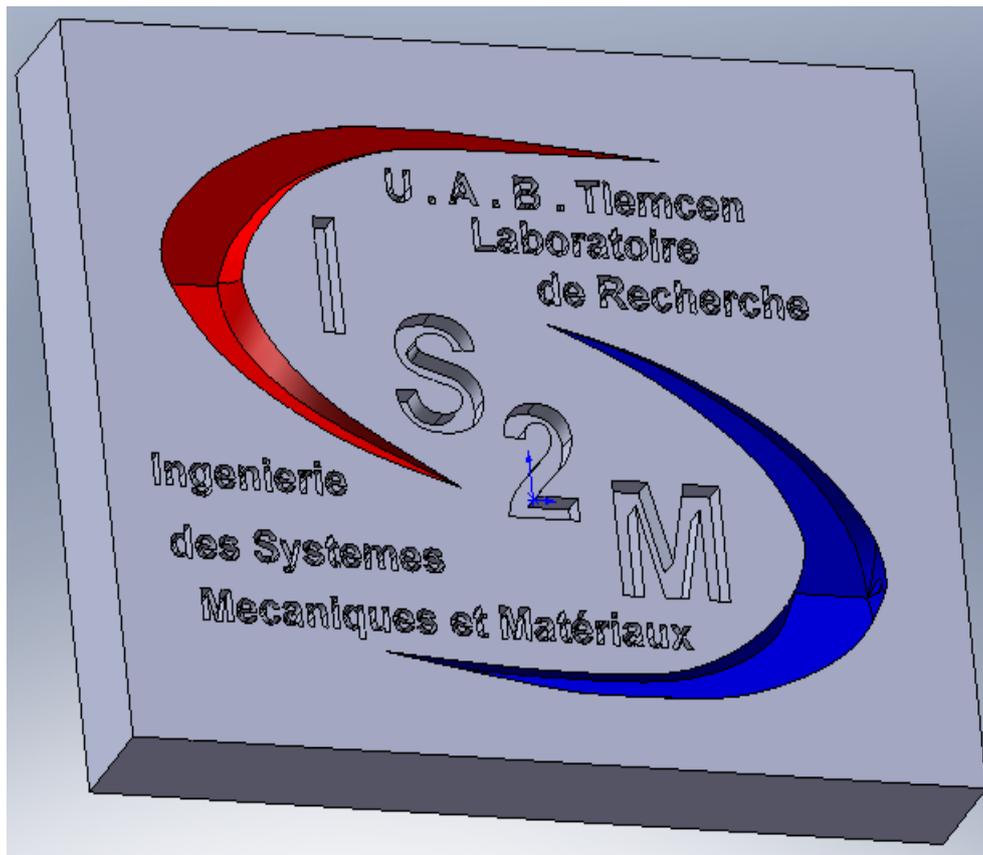


Figure-3.16- Présentation de la quatrième solution S4

### 3.3.1. Conception de la solution IV

La désignation des différentes entités de cette solution est présentée dans la figure 3.17.

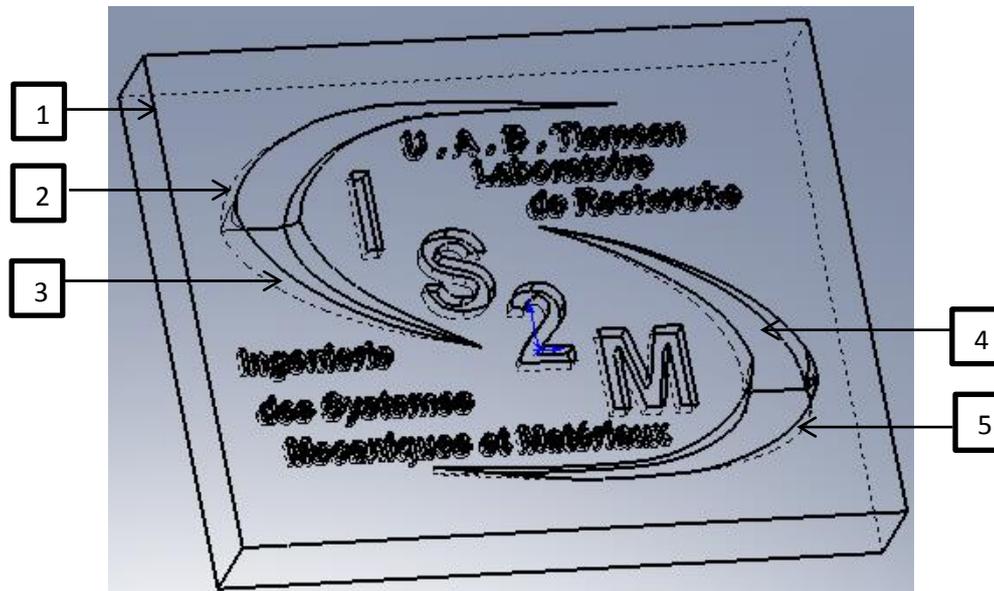


Figure-3.17- Désignation des entités de S4

#### a. Création de l'entité 1

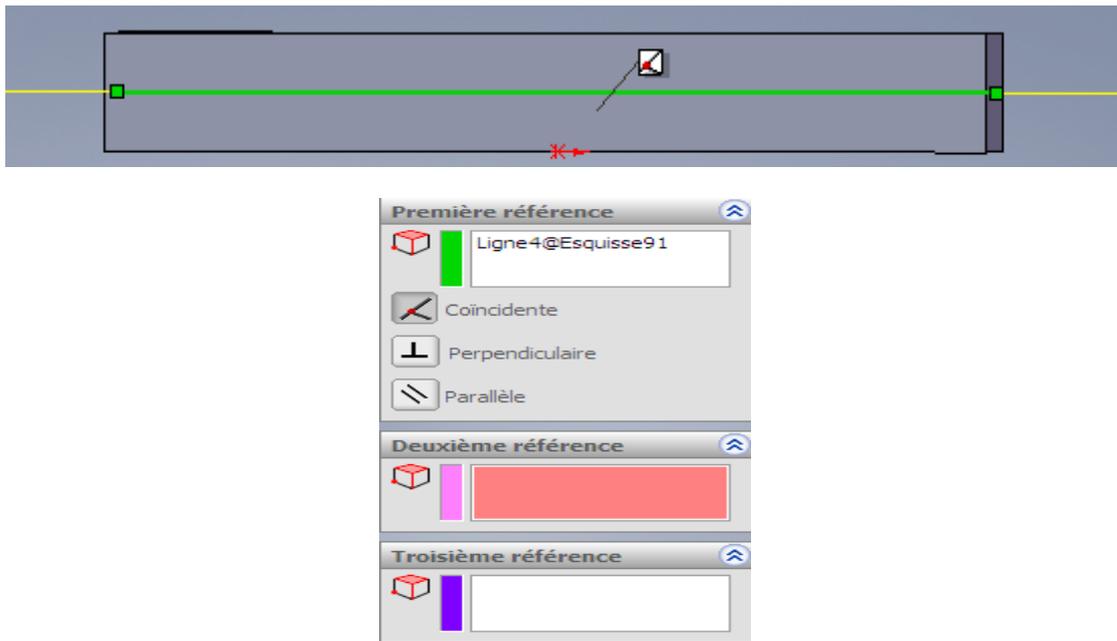
Pour la création de l'entité 1 on suit les mêmes étapes de création de l'entité 1 de la solution une de chapitre précédent.

#### b. Création de l'entité 2

Pour la création de l'entité 2 on doit créer un plan incliné sur lequel on va esquisser l'entité 2.

##### \* *Création de plan incliné 1*

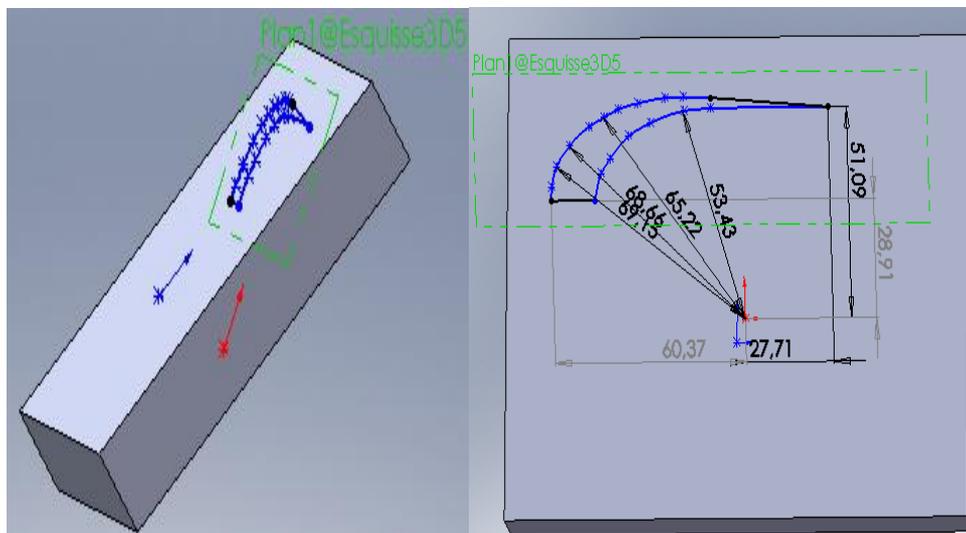
Dans le plan dessus on esquisse une droite au milieu perpendiculaire à l'axe Z (voir la partie dessus de la figure 3.18) puis on quitte l'esquisse. On sélectionne la droite créée et on clique sur le bouton créer un plan dans un esquisse 3D. Dans la fenêtre de dialogue on voit le nom de droite créée dans la première référence. Puis on choisit l'option coïncidente comme illustre la figure 3.18. Le plan créé on le renomme plan 3D-2. On esquisse une droite dans le plan 3D-2 entre les deux points  $A_2$  (-60.37, 36.07, -10),  $B_2$  (-46.38, 36.07, -10) et on la considère comme la première référence de plan incliné. Puis on esquisse une droite dans le plan de face entre les deux points  $C_2$  (-9.25, 59.32),  $D_2$  (35.14, 58.60) et on la considère comme la deuxième référence de plan incliné. On quitte l'esquisse et on sélectionne les deux dernières droites créées, On crée le plan incliné dans un esquisse 3D et on le renomme plan incliné 1.



**Figure-3.18- Création de plan 3D-2 S4**

**\* Esquisser l'entité 2**

Dans le plan incliné 1 on esquisse l'entité 2 par utilisation des splines, la figure 3.19 présente plus de détail sur les dimensions utilisées.



**Figure-3.19- Esquisse de l'entité 2 S4**

Après la création de l'entité 2 on fait l'enlèvement de matière, sous-direction 1 dans la fenêtre de dialogue on choisit l'option à travers tout. Le résultat de cette opération est présenté dans la figure 3.20.

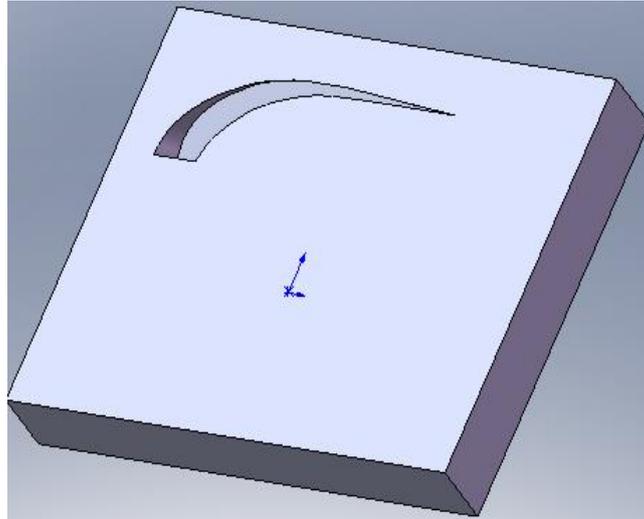


Figure-3.20- Enlèvement de matière de l'entité 2 S4

### c. Création de l'entité 3

De la même façon de création de l'entité 2 on a besoin d'un plan incliné pour esquisser l'entité 3.

#### \* *Création de plan incliné 2*

Dans le plan de face on esquisse une droite entre les deux points  $E_2$  (-12.22, 1.39)  $F_2$  (-30.35, 1.39) et on la considère comme la première référence. On quitte l'esquisse et on sélectionne la droite créée dans le plan 3D-2 et on la considère comme la deuxième référence. On sélectionne les deux droites créées et on édite ce plan.

#### \* *Esquisser l'entité 3*

Dans le plan incliné 2 on esquisse l'entité 3 par l'utilisation des splines. La figure 3.21 présente plus de détail sur la création de cette entité. Après la création de l'entité 3 on fait l'enlèvement de matière et dans la fenêtre de dialogue sous Direction 1 on choisit à travers tout. Le résultat de cette opération est présenté dans la figure 3.22.

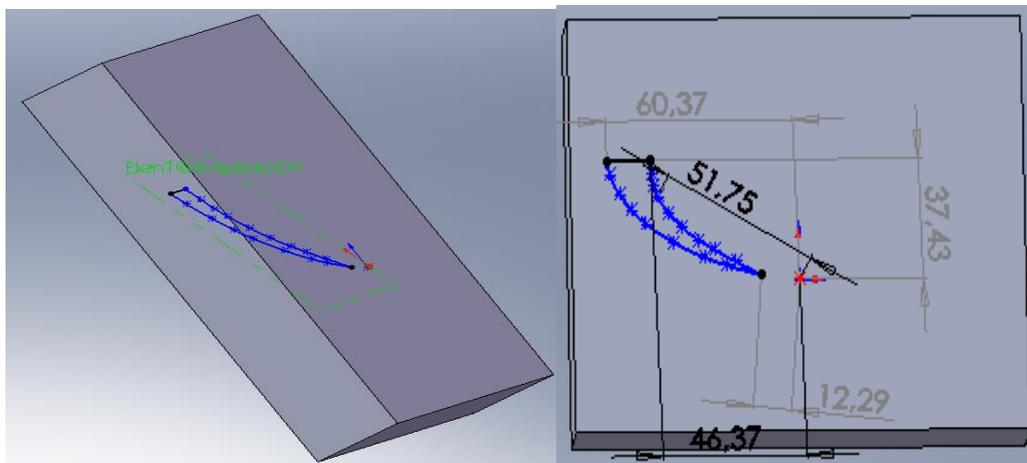


Figure-3.21- Esquisse de l'entité 3 S4

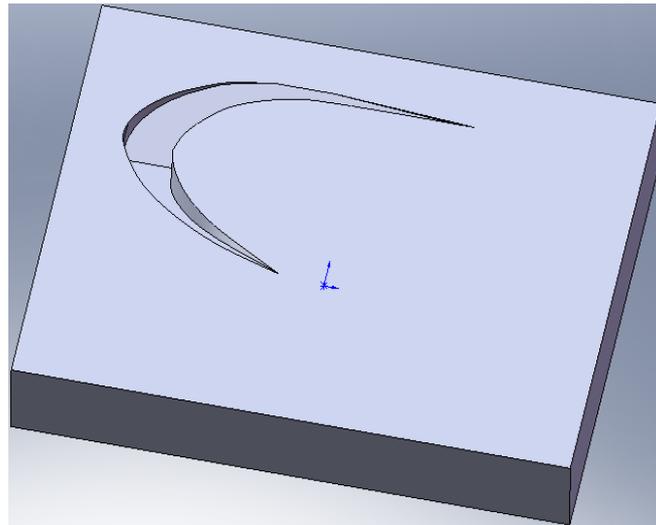


Figure-3.22- Enlèvement de matière de l'entité 3 S4

#### d. Création de l'entité 4

Pour créer cette entité on a besoin toujours d'un plan incliné.

##### *\*Création de plan incliné 3*

On esquisse une droite dans le plan 3D-2 entre les deux points  $G_2$  (46.30, -7.75, -10)  $H_2$  (60.12, -7.75, -10) et on la considère comme la première référence. Puis on esquisse une droite dans le plan de face entre les deux points  $L_2$  (5.46, 28.48),  $M_2$  (29.94, 28.48) et on la considère comme la deuxième référence. On quitte l'esquisse et on sélectionne les deux dernières droites créées puis on édite le plan incliné dans un esquisse 3D et on le renomme plan incliné 3.

##### *\* Esquisser l'entité 4*

Dans le plan incliné 3 on esquisse l'entité 4 par utilisation des splines. la figure 3.23 présente plus de détail sur la création de cette entité.

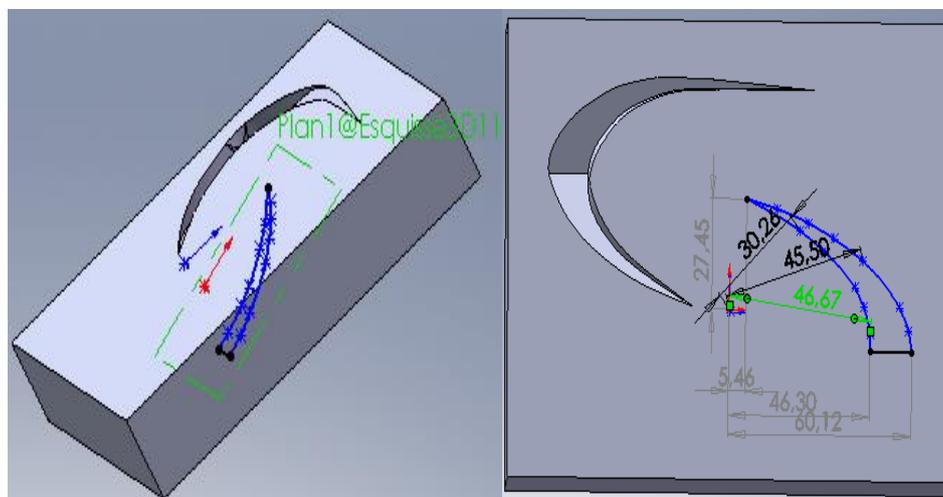
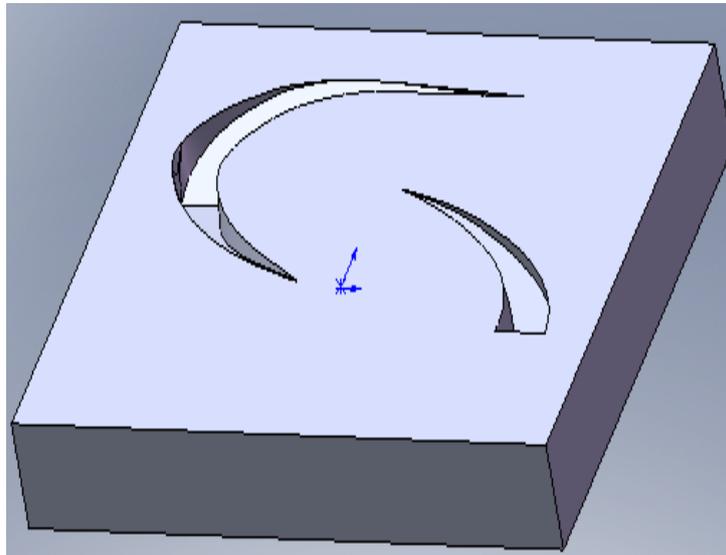


Figure-3.23- Esquisse de l'entité 4 S4

Après la création de l'entité 4 on fait l'enlèvement de matière, dans la fenêtre de dialogue sous-direction 1 on choisit l'option à travers tout, la figure 3.24 présente le résultat de cette opération.



**Figure-3.24- Enlèvement de matière de l'entité 4 S4**

#### **e. Création de l'entité 5**

Pour la création de cette entité on a toujours besoin à un plan incliné.

##### **\* Création de plan incliné 4**

Dans le plan de face on esquisse une droite entre les deux points  $N_2$  (-38.32, -30.63)  $O_2$  (13.16, -30.63) et on la considère comme la première référence. On quitte l'esquisse, on sélectionne la droite créée dans le plan 3D-2 et on la considère comme la deuxième référence. On crée un plan incliné dans un esquisse 3D entre les deux droites précédentes et on le renomme plan incliné 4.

##### **\* Esquisser l'entité 5**

Dans le plan incliné 4 on esquisse l'entité 5 par utilisation des splines. La figure 3.25 présente plus de détail sur la création de cette entité. Après la création de l'entité 4 on fait l'enlèvement de matière, dans la fenêtre de dialogue sous Direction 1 on choisit l'option à travers tout. La figure 3.26 présente le résultat de cette opération.

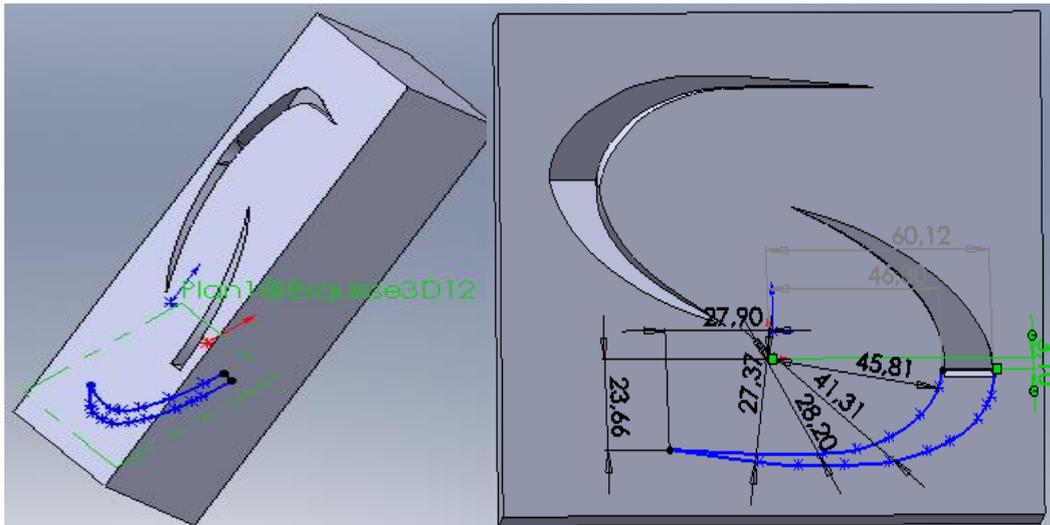


Figure-3.25- Esquisse de l'entité 5 S4

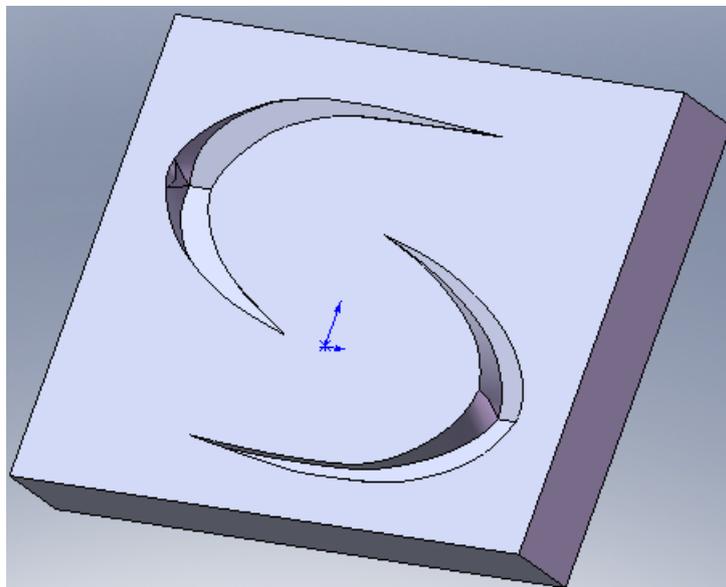


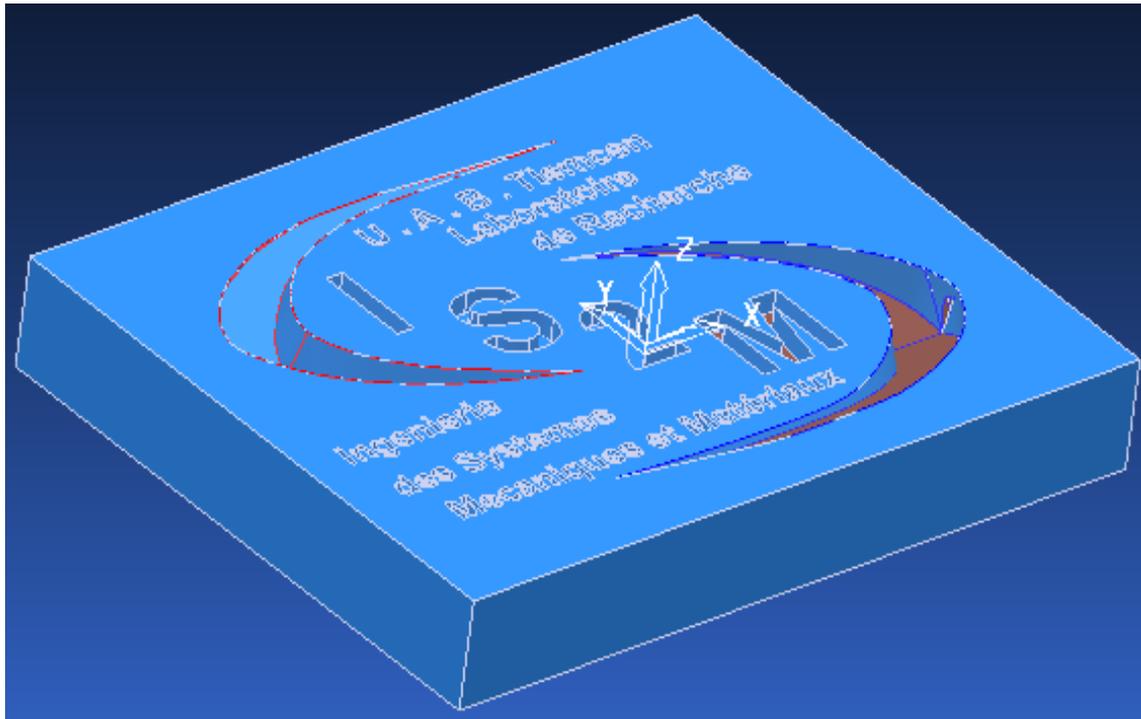
Figure-3.26- Enlèvement de matière de l'entité 5 S4

### Remarque

Pour la gravure de texte et la couleur des surfaces on suit les mêmes étapes utiliser dans la conception de la solution une de chapitre précédent.

### 3.3.2. FAO de la solution IV

Pour l'importation de la géométrie, la définition de brut (figure 3.27) et la définition de la commande machine de génération du programme on utilise les mêmes étapes suivies dans la partie FAO de la solution une de chapitre précédent.



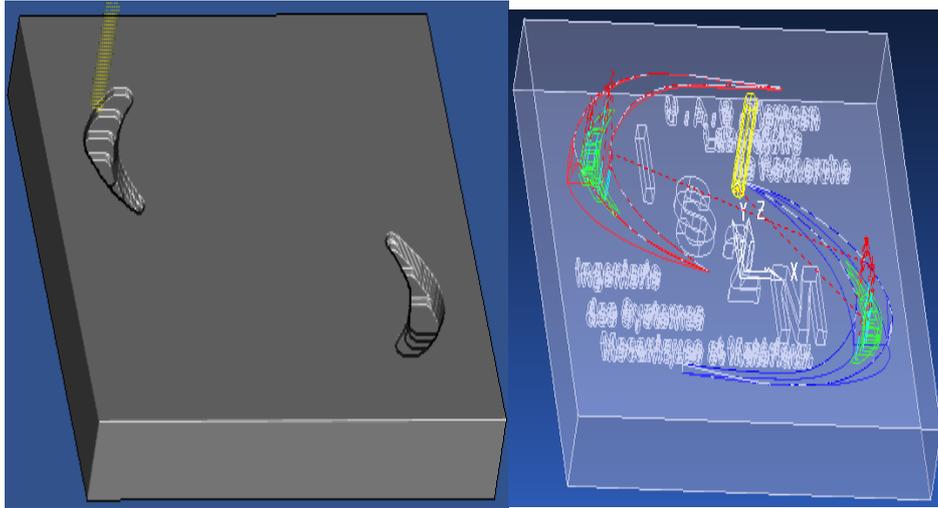
**Figure-3.27- Brut de S4**

#### **a. Définition des outils**

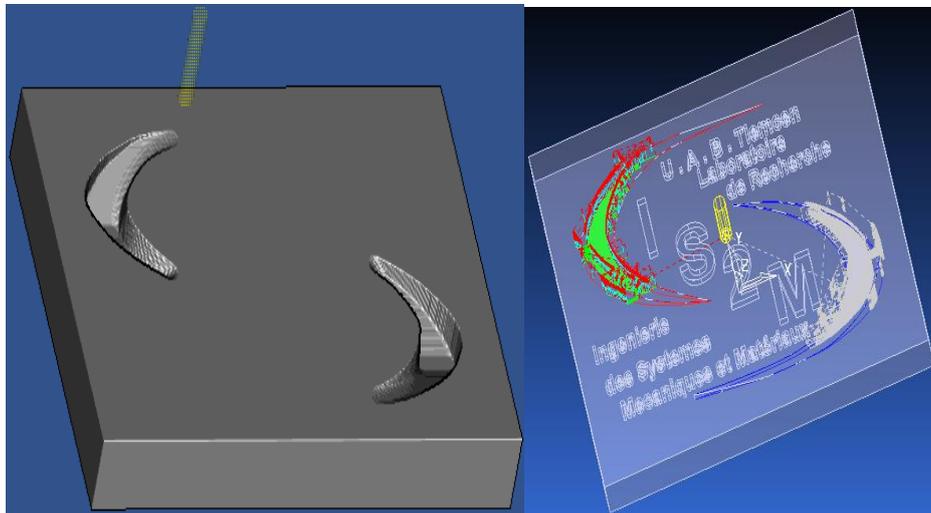
Pour cette solution on va utiliser deux outils. Un outil pour le balayage et la finition des parties larges, l'autre pour la gravure et la finition des parties restreintes. Pour l'ébauche et la finition des parties larges on utilise une fraise deux tailles de longueur 25 mm et de diamètre 5mm. Pour la gravure et la finition des parties restreintes on utilise une fraise boule conique de longueur 15 mm, de diamètre 3 mm, d'un rayon de pointe de 0.1mm et d'un angle de cône de 30°.

#### **b. Définition de parcours d'outil**

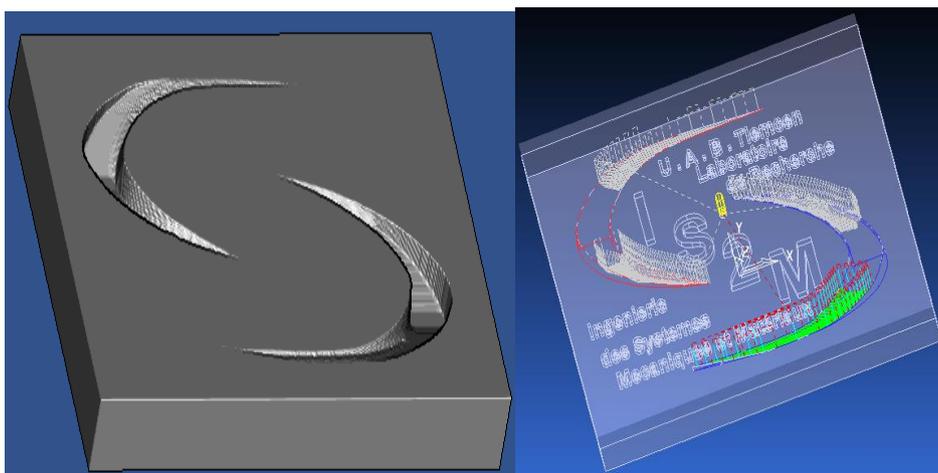
Pour la définition de parcours d'outil on suit les mêmes étapes de définition de parcours d'outil de la solution une de chapitre précédent. Le résultat de parcours d'outil d'opération d'ébauche est présenté dans la figure 3.28. Pour la finition des parties larges on utilise le balayage finition. Le résultat de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.29. Dans la finition des parties restreintes on utilise l'opération de balayage finition par l'outil de gravure et on va limiter le parcours d'outil juste sur les parties restreintes. Le résultat de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 3.30.



**Figure-3.28- Parcours d'outil d'opération d'ébauche S4**



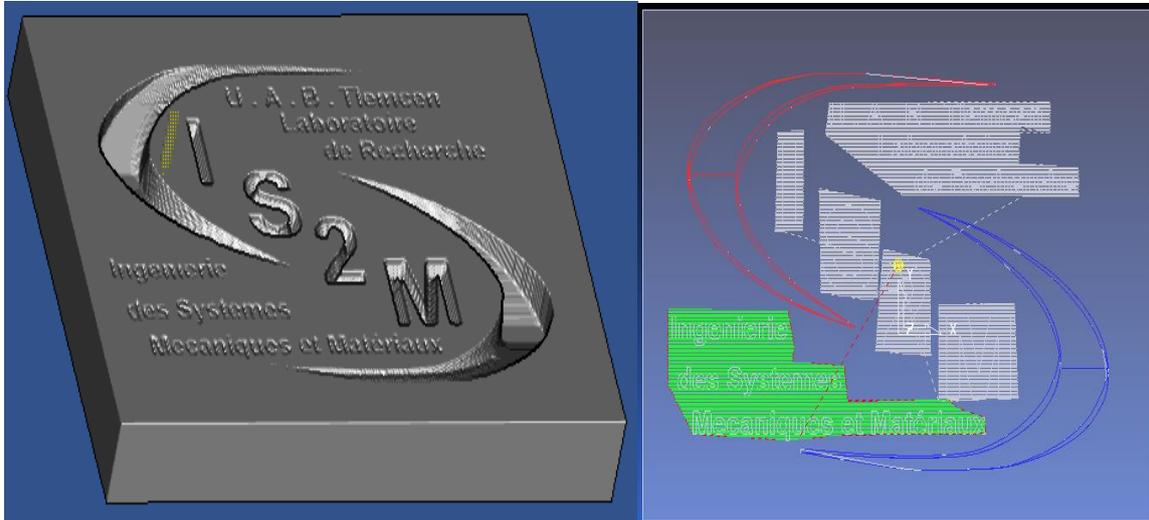
**Figure-3.29- Parcours d'outil d'opération de finition des grandes parties S4**



**Figure-3.30- Parcours d'outil d'opération de finition des parties restreintes S4**

**\* Gravure de texte**

Pour la gravure de texte on suit les mêmes étapes utilisées dans la partie FAO de la première solution de chapitre précédent. Le résultat de ces parcours d'outil est présenté dans la figure 3.31.



**Figure-3.31- Parcours d'outil de la gravure de texte S4**

**3.4. Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté les étapes de création de géométrie et de génération de programme CN de deux solutions 3D complexes dans un environnement CAO et FAO séparés. Une solution est avec motifs principaux en reliefs et l'autre avec motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte et tous les deux ayant des interpolations linéaires non uniformes sur les splines de motifs principaux.

Le programme CN de la troisième solution contient 27428 blocs et le programme CN de la quatrième solution contient 22253 blocs ce qui signifie que la solution avec motifs principaux en relief (troisième solution) est moins optimum de point de vue fabrication que la solution avec motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte (quatrième solution).

## CHAPITRE 4

### Solutions 3D par système CAO/FAO intégré

---

#### 4.1. Introduction

Dans les chapitres précédents on a utilisé des systèmes CAO et FAO séparés pour concevoir et générer le programme de fabrication des solutions du logo IS2M. On a trouvé le problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie lors de transmission de ce dernier de l'application CAO à l'application FAO. Pour cette raison on avait besoin d'une autre application pour convertir le format de fichier qui comporte la géométrie afin d'assurer la compatibilité entre les deux applications (CAO et FAO).

Face à ce problème, dans ce chapitre on va utiliser un système CFAO intégré pour concevoir et générer le programme de fabrication de quatre autres solutions pour le logo IS2M répondant au cahier de charge, avec la présentation en détail les différentes étapes de conception et de génération du programme CN de la cinquième solution.

Pour la conception des solutions on utilise l'application Rhinoceros 4.0 parce qu'il est capable de réaliser les différentes formes de notre logo, surtout les splines. En plus cette application utilise des courbes à base de spline NURBS (Non Uniforme Rationnel B-Spline) pour réaliser les surfaces sculpté. On peut aussi faire les opérations booléennes (union, différence, intersection) ce qui nous aide à réaliser des formes complexes qu'on ne peut pas réaliser dans d'autres applications. Puisqu'il est intégré avec l'application FAO RhinoCAM 2.0 donc on peut générer le programme CN de fabrication sans sortir du système intégré Rhinoceros/RhinoCAM.

#### 4.2. Rhinoceros

Le logiciel Rhinoceros est un modelleur de forme libre en 3D, il peut éditer, analyser et traduire des courbes, des surfaces et des solides, il est basé sur les courbes B-Spline rationnel Non Uniforme (NURBS). Il travaille sous Windows [19].

Le nom Rhinoceros parce que lorsque les programmeurs du logiciel ont commencé à utiliser le mot Rhino pour désigner ce programme très tôt dans le processus de développement. Des bibelots et des images de rhinocéros ont commencé à s'accumuler dans le bureau et lorsque le produit est arrivé en phase bêta, le nom était resté [20].

RhinoCAM est une application FAO intégré complètement dans Rhinocéros pour former un logiciel CFAO puissant 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 [21], 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).

L'application Rhinoceros supporte les Formats suivantes : DWG/DXF (AutoCAD), SAT (ACIS), X\_T (Parasolid), 3DS, LWO, STL, OBJ, AI, RIB, POV, UDO, VRML, BMP, TGA, JPG, CSV (exportation des propriétés et de l'hydrostatique), TIFF non comprimé, STEP, VDA, GHS, SLC, Deep Paint 3D. IGES (Alias, Ashlar Vellum, AutoFORM, AutoShip, Breault, CADCEUS, CAMSoft, CATIA, Cosmos, Delcam, EdgeCAM, FastSurf, FastSHIP, Integrity Ware, IronCAD, LUSAS, Maya, MAX 3.0, MasterCAM, ME30, Mechanical Desktop, Microstation, NuGraf, OptiCAD, Pro/E, SDRG I-DEAS, Softimage, Solid Edge, SolidWorks, SUM3D, SURFCAM, TeKSoft, Unigraphics), NASA GridTool, Yamaha ESPri, Tebis, son propre format c'est 3dm[19].

### 4.3. Solution cinq V

La géométrie de la cinquième solution est présentée dans la figure 4.1.

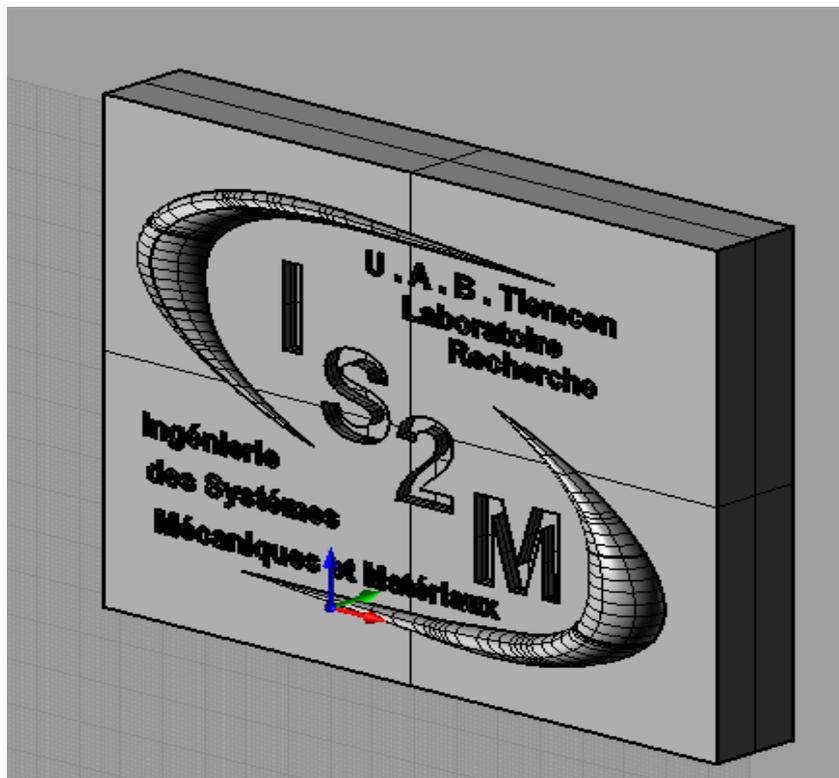
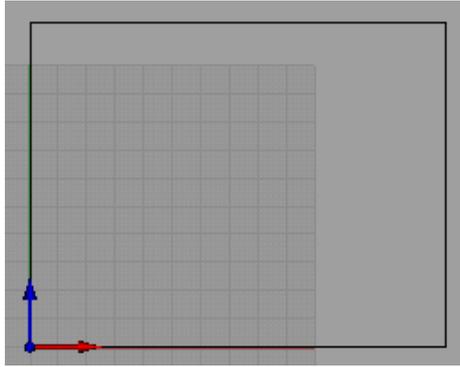


Figure-4.1- Présentation de la cinquième solution S5

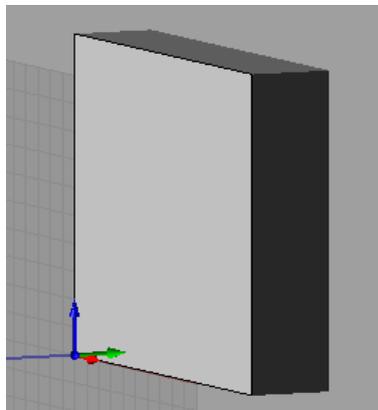
#### 4.3.1. Conception de la solution V

La première étape, dans le plan face on esquisse un rectangle de première sommet (0,0), deuxième sommet (146,0) et de troisième sommet (146,115) comme illustré sur la figure 4.2.



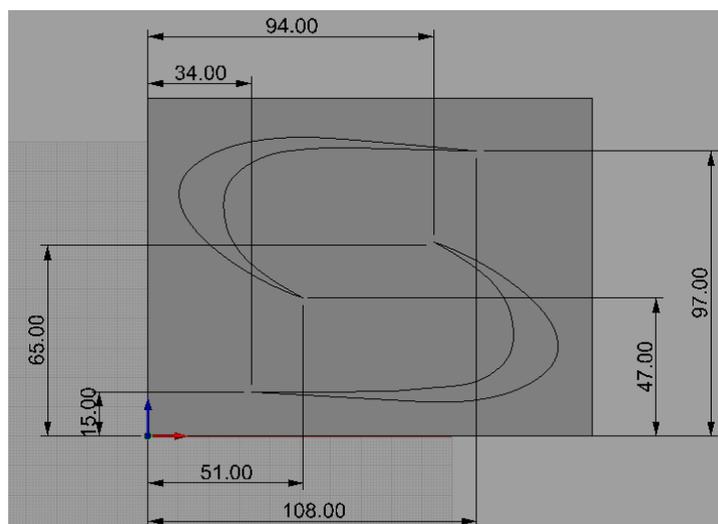
**Figure-4.2- Création de rectangle S5**

La deuxième étape, on utilise l'option de Rhinoceros 4.0 extruder une courbe plane droit, pour extruder le rectangle le long d'une distance de 20 mm comme illustre la figure 4.3.



**Figure-4.3- Extrusion de rectangle S5**

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 4.4 présente plus de détail sur les dimensions des entités splines.



**Figure-4.4- Création des courbes spline S5**

La quatrième étape, dans le plan de face on utilise l'option élément textuel de Rhinocéros pour créer le texte de logo comme présenté sur la figure 4.5. Pour le texte Ingénierie des Systèmes mécaniques et matériaux, U. A. B. Tlemcen laboratoire de recherche on utilise le style de police Arial, Gras et la taille 5 mm. Pour les lettres I S 2 M on utilise le style de police Arial, Gras et la taille 20 mm. Le mot Ingénierie on le remplace au point (10,41), des Systèmes au point (14,30), Mécaniques et Matériaux au point (16,20), U. A. B. Tlemcen au point (68,89), Laboratoire au point (76,81) et recherche au point (87,72). La lettre I on la remplace au point (41,68), la lettre S au point (51,62) et la lettre M au point (87,28), le numéro 2 on le place au point (87,28).

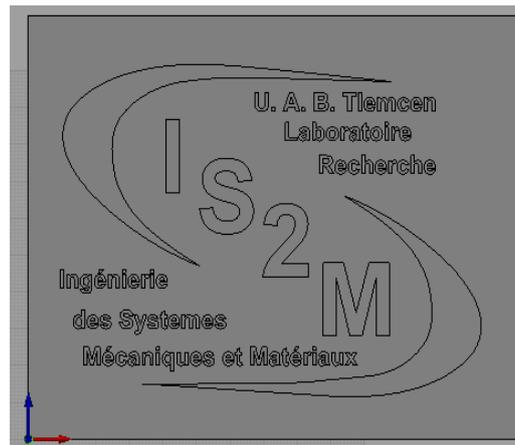


Figure-4.5- Création de texte S5

La cinquième 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'arrivé (12.5, 0) comme présenté sur la partie dessous de la figure 4.6. Puis on fait glisser ce dernier dans le plan de face jusqu'à l'arrivé à l'entité spline comme illustré sur la partie dessus de la même figure.

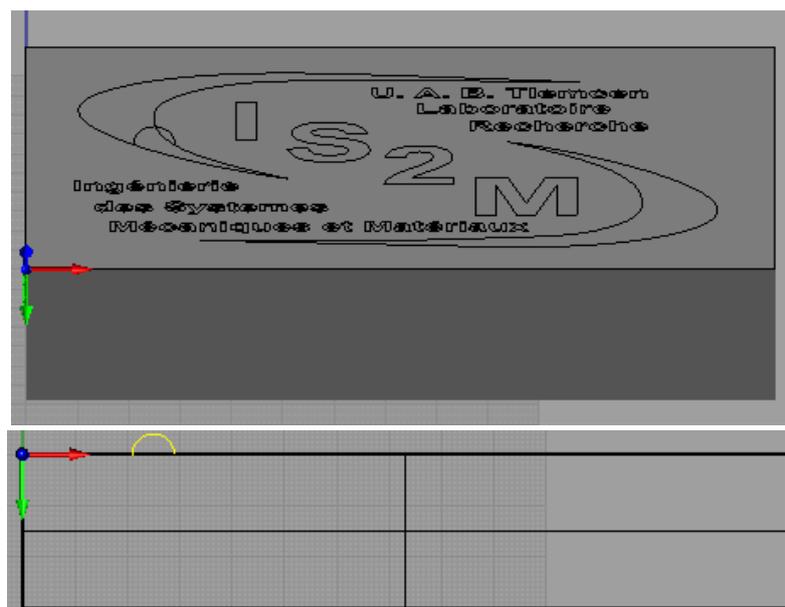
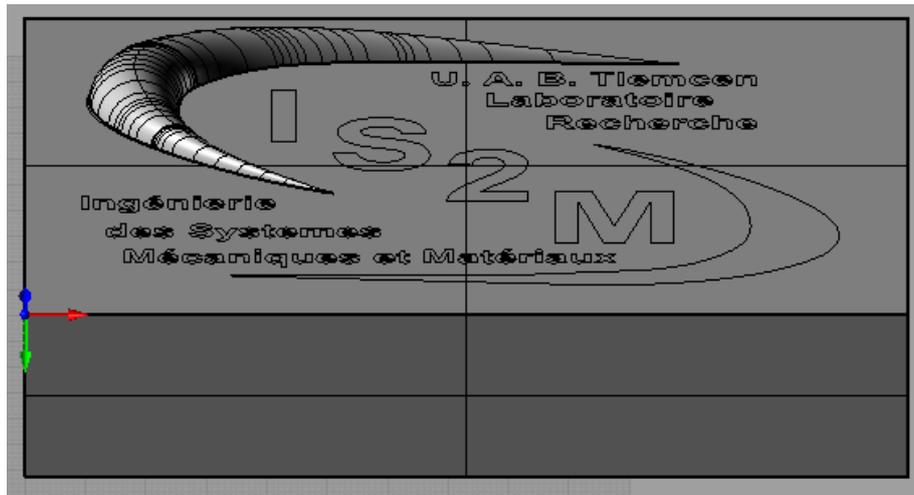


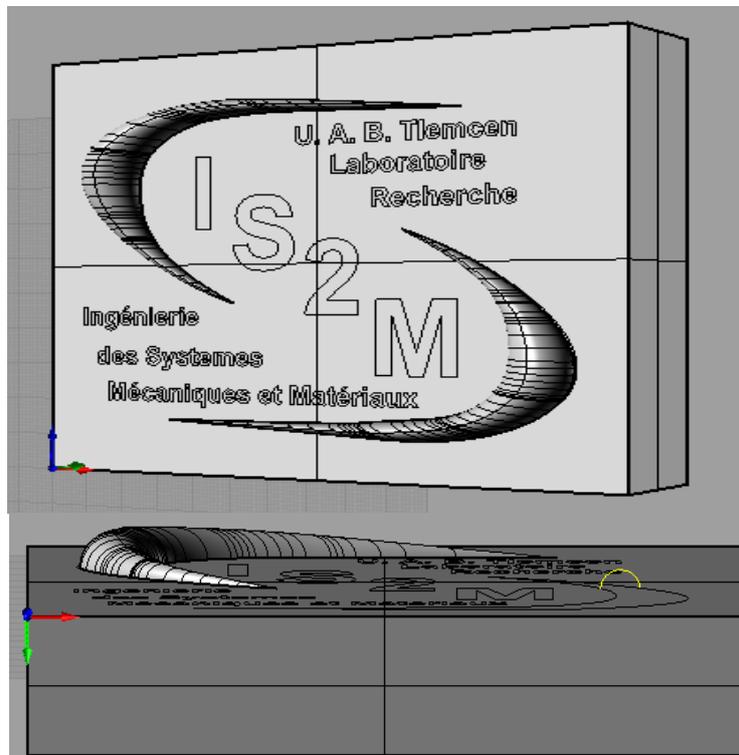
Figure-4.6- Création de l'entité à extrudé S5

La sixième étape, dans cette étape on utilise l'option balayage sur deux rails pour extruder l'arc créé le long de l'entité spline, comme présente la figure 4.7.



**Figure-4.7- Extrusion de l'arc selon l'entité1 S5**

La septième étape, on fait glisser l'entité créée dans la cinquième étape dans le plan de face jusqu'à l'arrivée à la deuxième entité spline, comme présenté sur la partie dessous de la figure 4.8. Puis on répète l'étape six pour obtenir la géométrie présentée dans la partie dessus de la même figure.



**Figure-4.8- Extrusion de l'arc selon l'entité2 S5**

Huitième étape, dans cette étape on extrude le contour de texte à une distance de 3 mm, puis on utilise l'option différence de Rhinoceros pour faire l'enlèvement de matière entre

l'entité extrudé à la deuxième étape et le contour de texte extrudé. Le résultat de tous ca est illustré sur la figure 4.9.

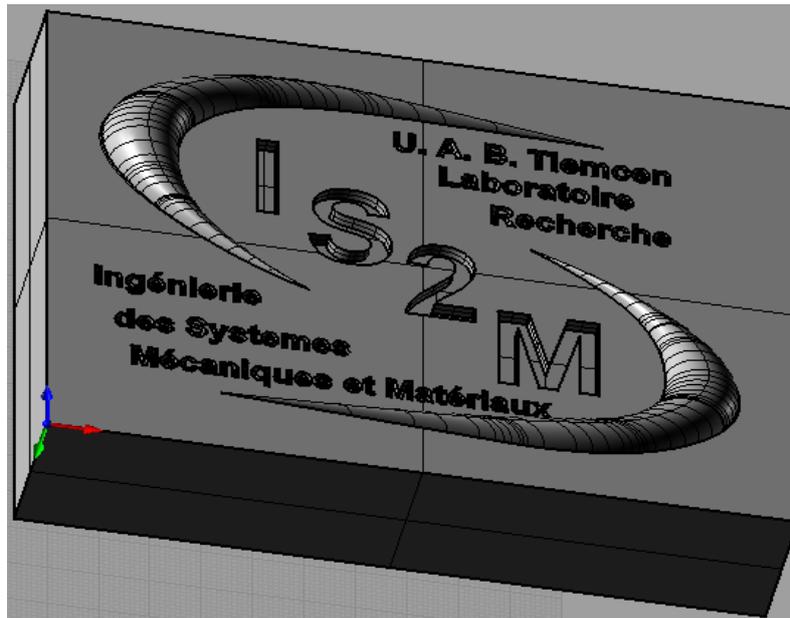


Figure-4.9- Gravure de texte S5

#### 4.3.2. FAO de la solution V

Pour générer le programme CN de cette solution on suit les étapes suivantes :

##### a. 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 sur la figure 4.10.

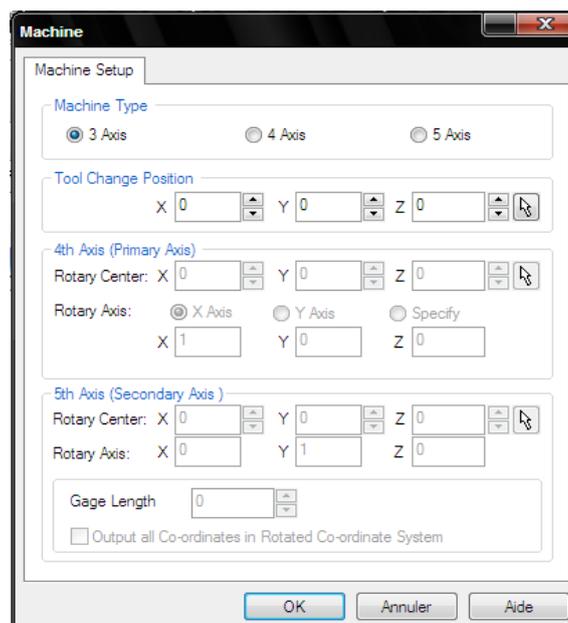


Figure-4.10- Définition de la machine S5

## b. Définition de la commande machine de génération de programme

On selecte la commande machine de génération de programme comme présenté sur la figure 4.11. Dans notre travail on va choisir la commande Siemens ISO.

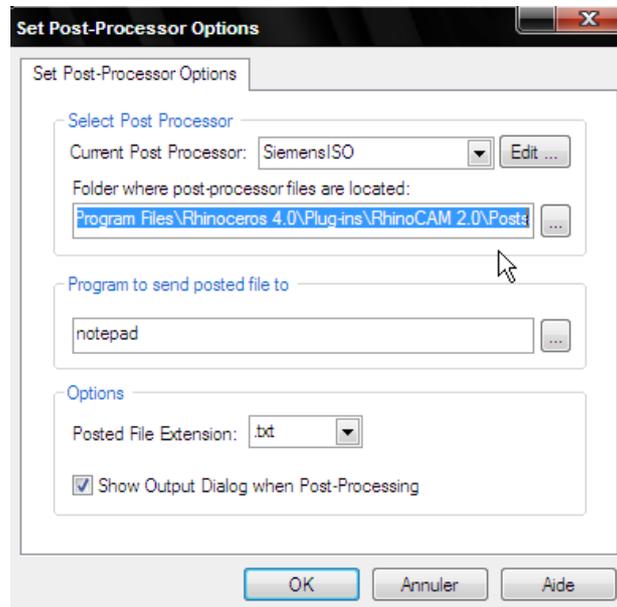


Figure-4.11- Définition de la commande S5

## c. 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 à besoin de rendre la grande face de la géométrie au plan XY, pour cela on utilise cette option comme illustre la figure 4.12.

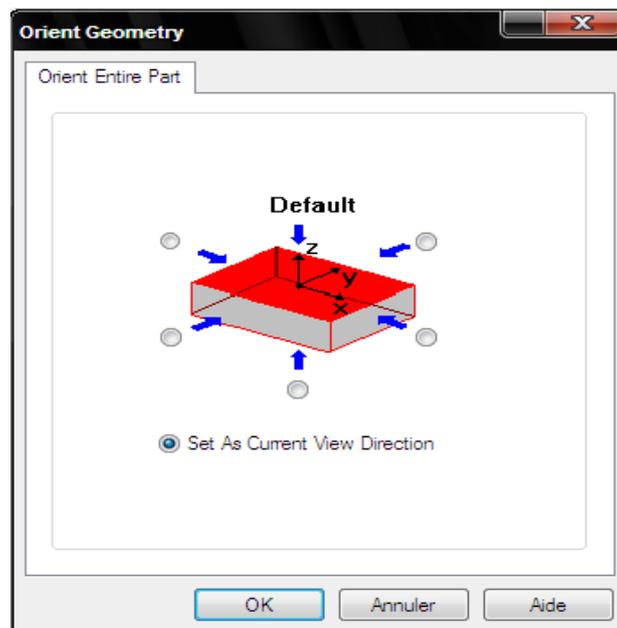


Figure-4.12- Orientation de la géométrie S5

#### d. 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.

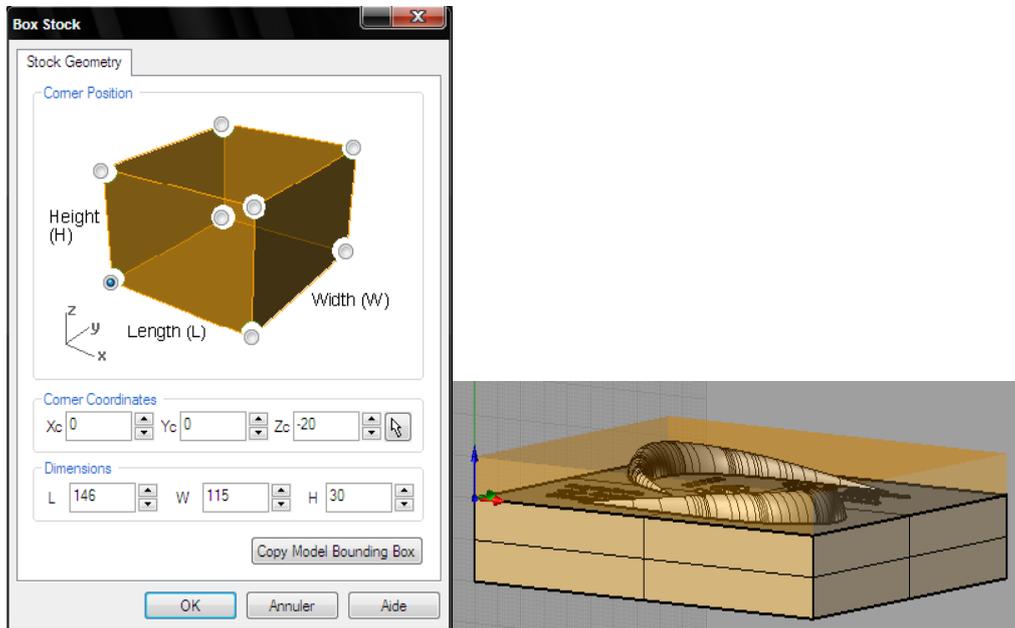


Figure-4.13- Définition du brut S5

#### e. 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 4.14.

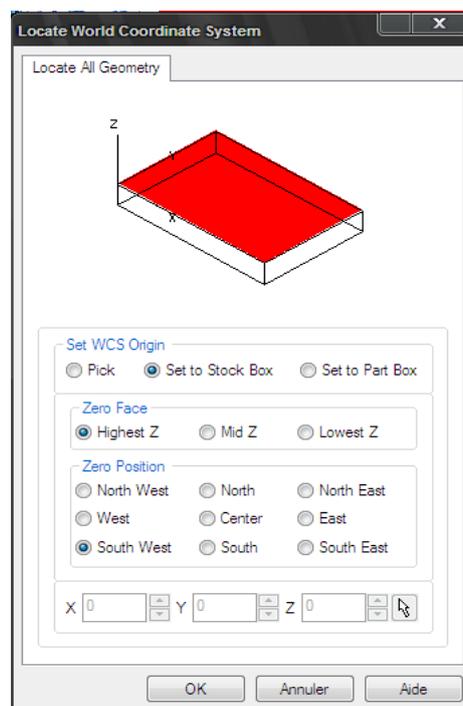


Figure-4.14- Définition d'origine programme S5

### f. 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 4.15.

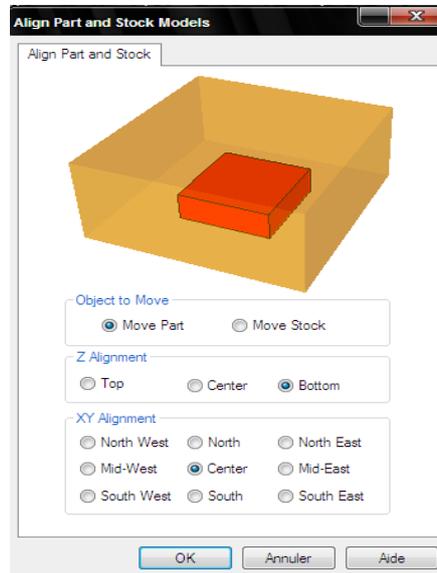


Figure-4.15- Position pièce/brut S5

### g. Définition des outils

Dans cette solution on utilise deux outils. Un pour l'ébauche et la finition et l'autre pour la gravure de texte. Pour les opérations d'ébauche et la finition on utilise un outil de type Flat Mill de diamètre 6 mm, de longueur 20 mm comme présenté sur la figure 4.16. Pour la gravure de texte on utilise un outil de type Vee Mill de longueur 10 mm et d'angle 30° comme présenté sur la figure 4.17.

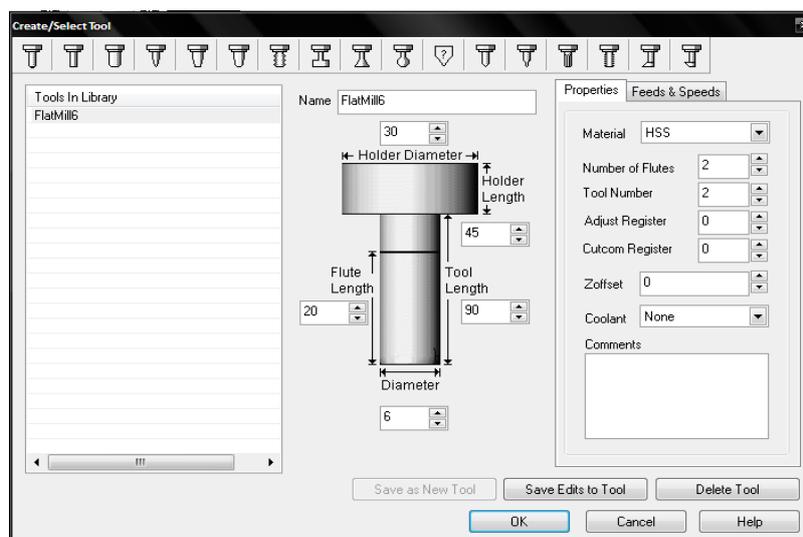


Figure-4.16- Définition d'outil Flat Mill S5

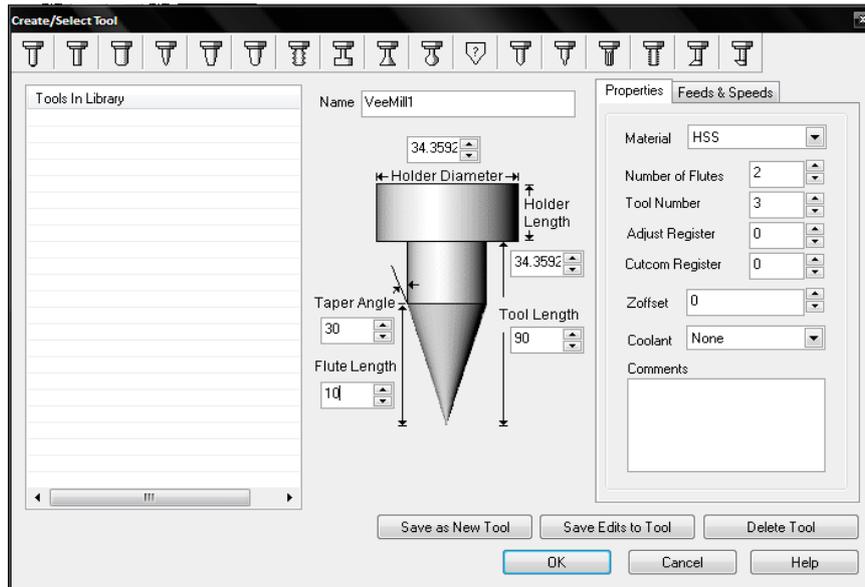


Figure-4.17- Définition d'outil de gravure S5

**h. Définition de parcours d'outil**

*\* Opération d'ébauche*

Pour cette opération on utilise le parcours d'outil Horizontale Roughing comme présenté sur la figure 4.18.

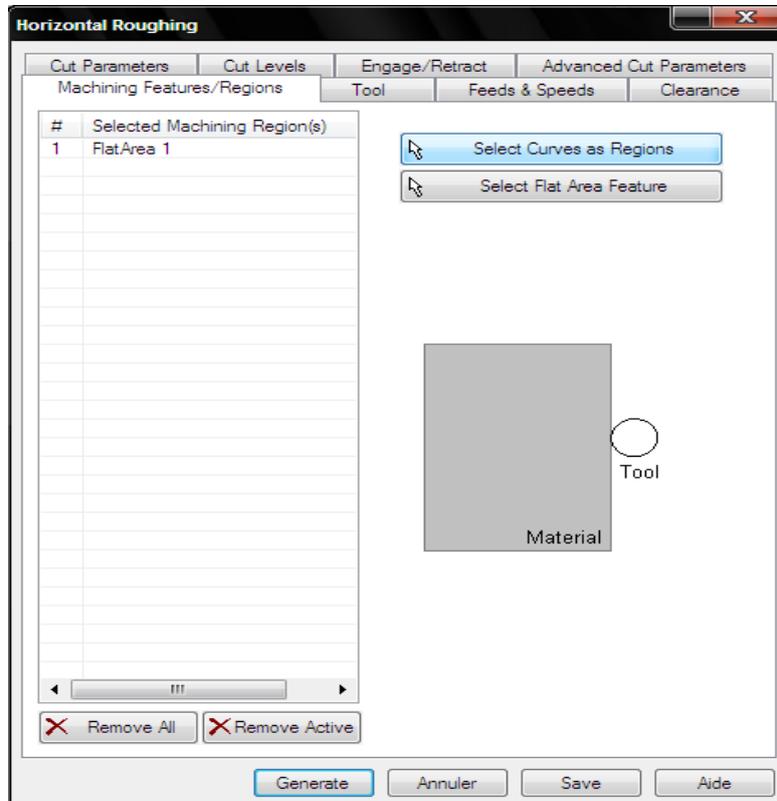


Figure-4.18- Fenêtre de dialogue Horizontale Roughing S5

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 4.19), le plan de sécurité 20mm (figure 4.20), la profondeur de passe 50 pour cent de diamètre de la fraise (figure 4.21).

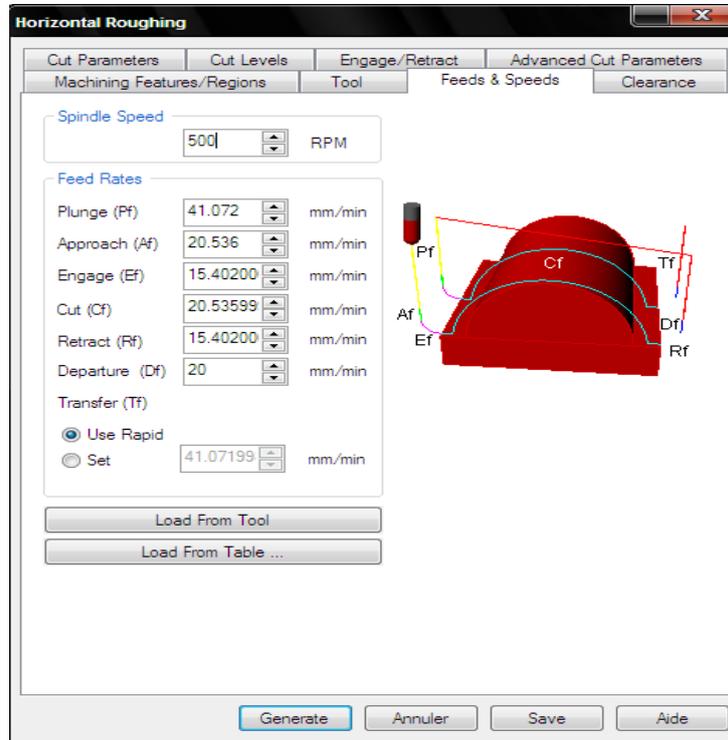


Figure-4.19- Définition de la vitesse d'avance et de coupe S5

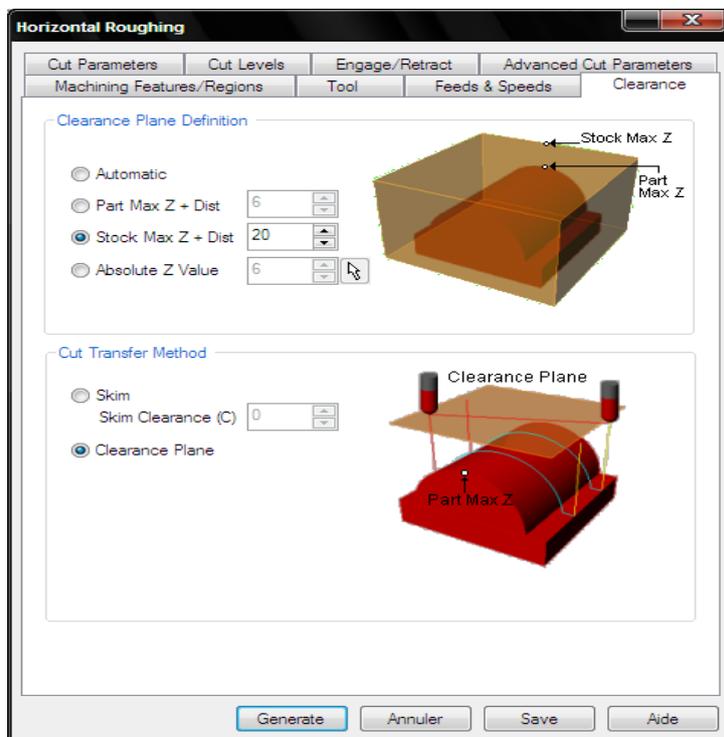
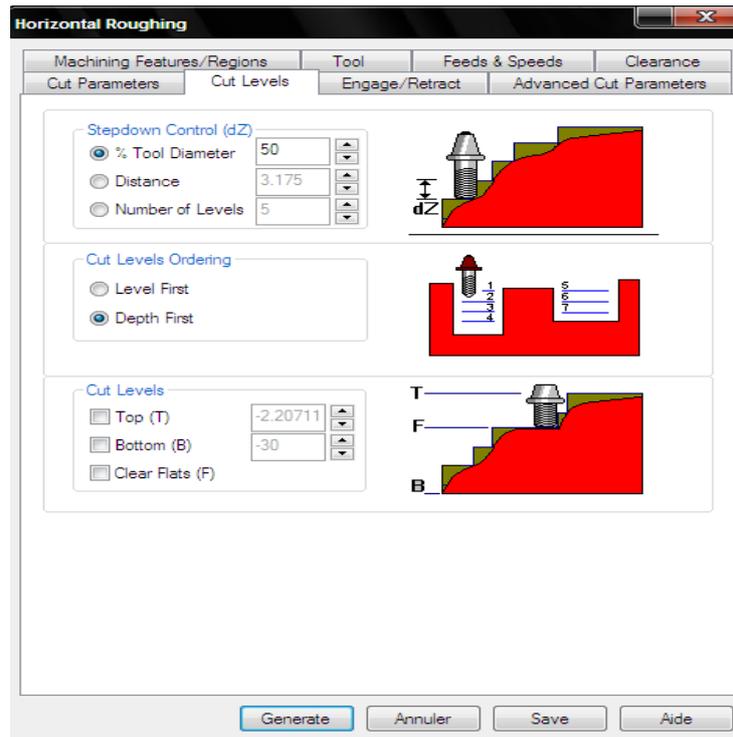
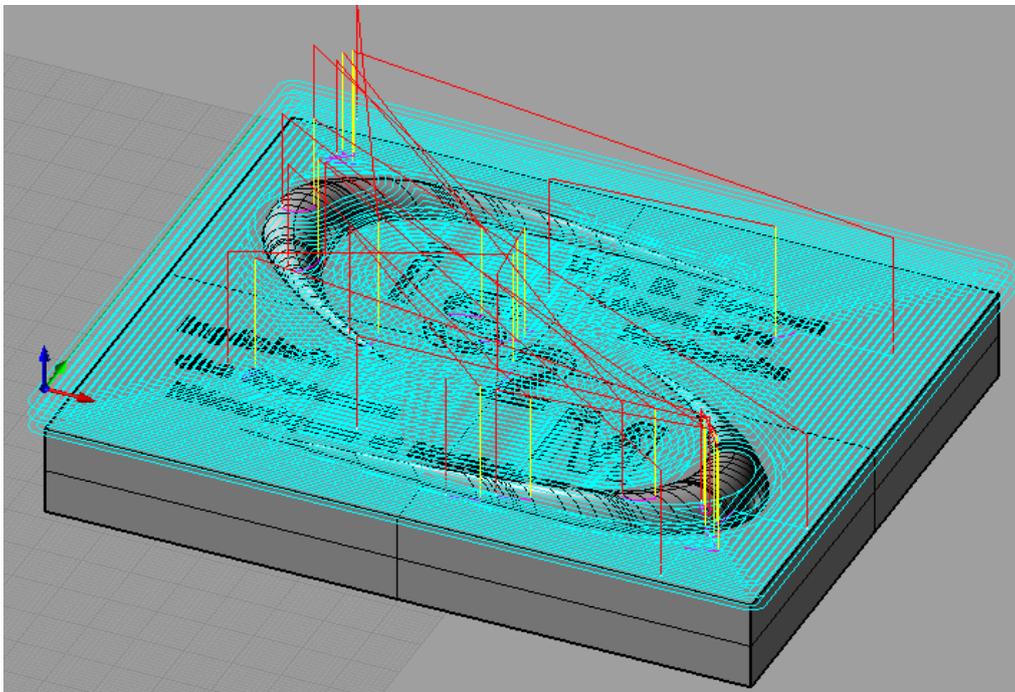


Figure-4.20- Définition de plan de sécurité S5



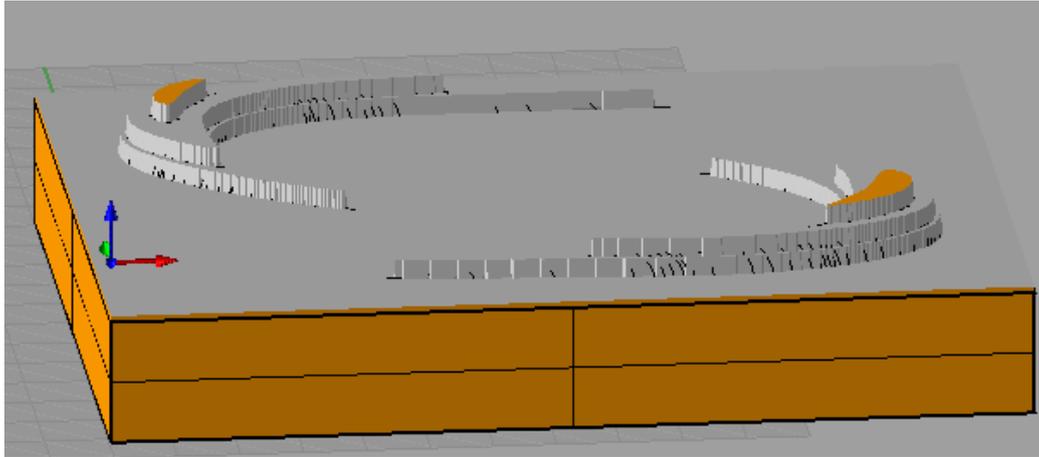
**Figure-4.21- Définition de la profondeur de passe S5**

Après la définition de tous ces paramètres on sélectionne l'option génération pour calculer le parcours d'outil qu'est présenté sur la figure 4.22.



**Figure-4.22- Parcours d'outil d'opération d'ébauche S5**

Le résultat de simulation de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 4.23.

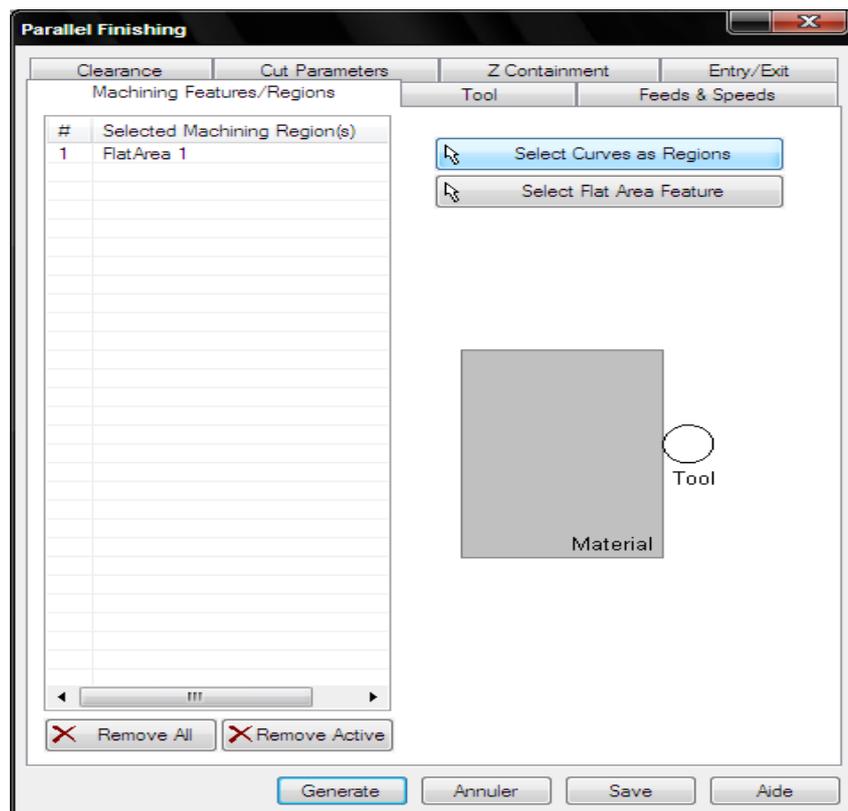


**Figure-4.23- Résultat de simulation d'opération d'ébauche S5**

**\* Opération de finition**

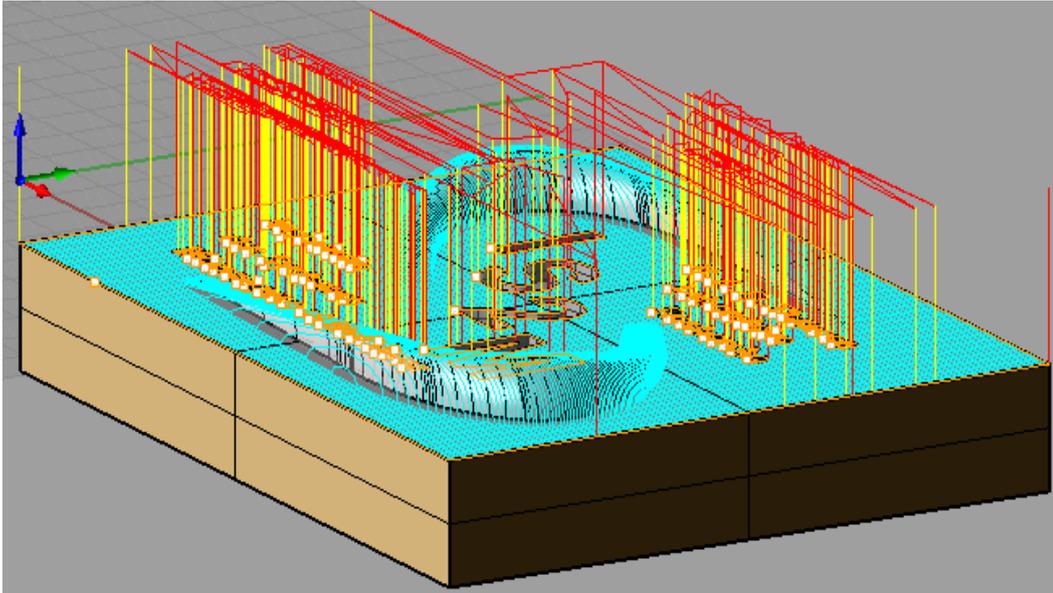
Pour l'opération de finition on utilise deux parcours d'outil, le parcours d'outil parallèle finition et le parcours d'outil horizontal finition.

**\*Parcours d'outil parallèle finition**



**Figure-4.24- Fenêtre de dialogue parallèle finition**

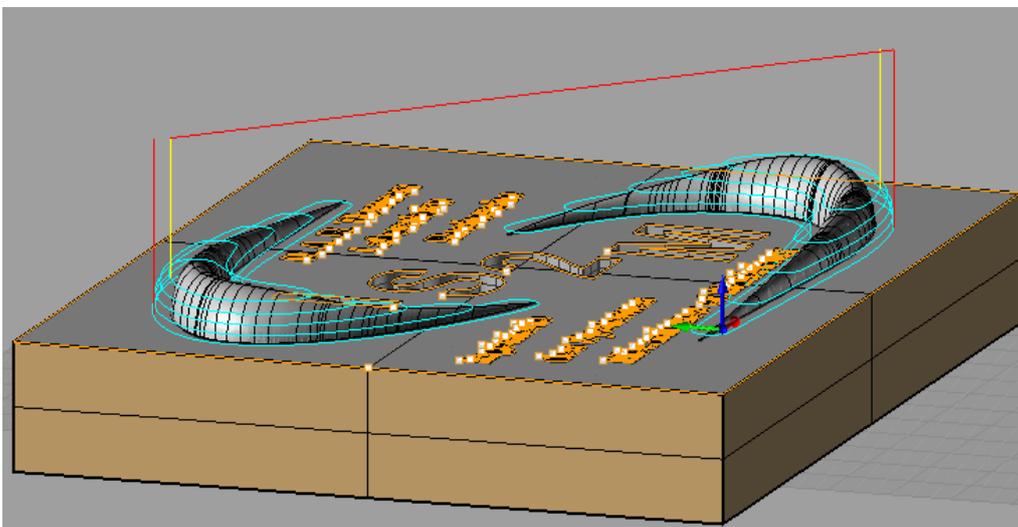
Pour la zone de parcours d'outil, l'outil de coupe, la vitesse d'avance, la vitesse de rotation et le plan de sécurité on garde les mêmes données fournies dans l'opération d'ébauche. Le parcours d'outil est présenté sur la figure 4.25.



**Figure-4.25- Parcours d'outil parallèle finition S5**

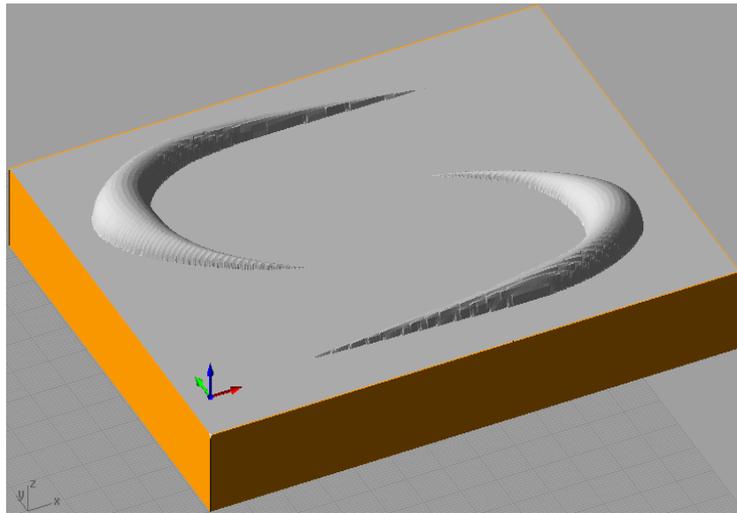
\* Parcours d'outil horizontal finition

Toujours on garde les mêmes données fournies pour le parcours d'outil parallèle finition, le parcours d'outil est illustré sur la figure 4.26.



**Figure-4.26- Parcours d'outil horizontal finition S5**

La figure 4.27 illustre le résultat de simulation de la passe de finition.



**Figure-4.27- Résultat de simulation de la passe de finition S5**

**\* La gravure**

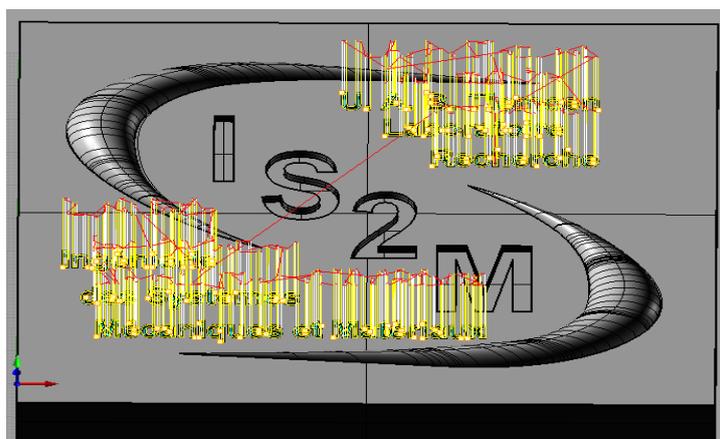
Pour la gravure de texte on utilise deux parcours d'outil, V-Carving et Engraving

**\* Parcours d'outil V-Carving**

On utilise ce parcours d'outil pour graver les deux phrases Ingénierie des Systèmes Mécanique et Matériaux, U. A. B. Tlemcen Laboratoire de recherche et on garde toujours les mêmes données fournies auparavant, le résultat de ce parcours d'outil est présenté sur la figure 4.28.

**\* Parcours d'outil Engraving**

On utilise ce parcours d'outil pour graver les lettres IS2M et ce qui concerne les données on garde les mêmes données fournies pour le parcours d'outil précédent, le résultat de ce parcours d'outil est présenté sur la figure 4.29.



**Figure-4.28- Parcours d'outil V-Craving S5**



#### 4.4. Solution six VI

La figure 4.32 présente la géométrie de la sixième solution.

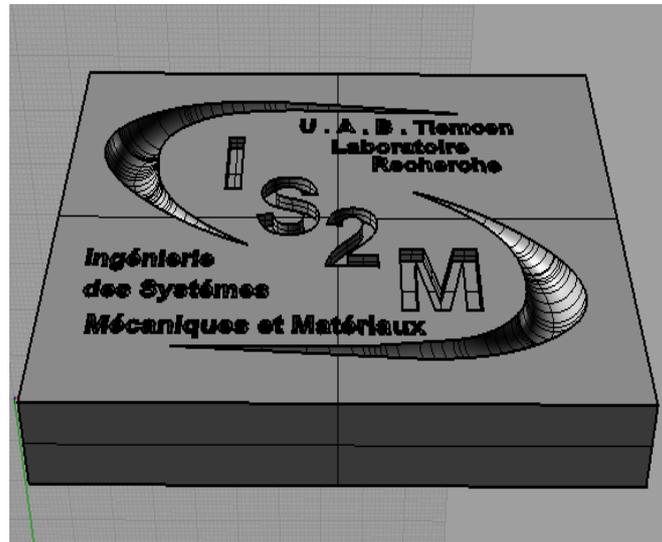


Figure-4.32- Présentation de la sixième solution S6

##### 4.4.1. Création de la solution VI

Pour la création de la géométrie de la sixième solution on répète les mêmes étapes de création de la cinquième solution sauf la cinquième étape. Dans cette étape on change l'élément à extruder. dans le plan de dessous on esquisse un arc de centre (28,0), de point de départ (31,0) et de point d'arrivé (25,0), comme présenté sur la figure 4.33.

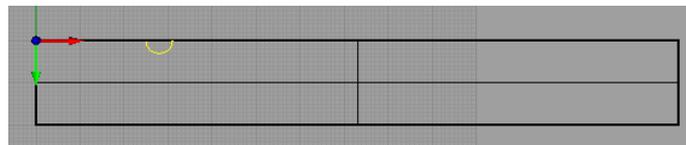


Figure-4.33- Création de l'élément à extrudé S6

Après la répétition de même travail fait pour la création de la géométrie de la cinquième solution on obtient la géométrie présenté dans la figure 4.34.

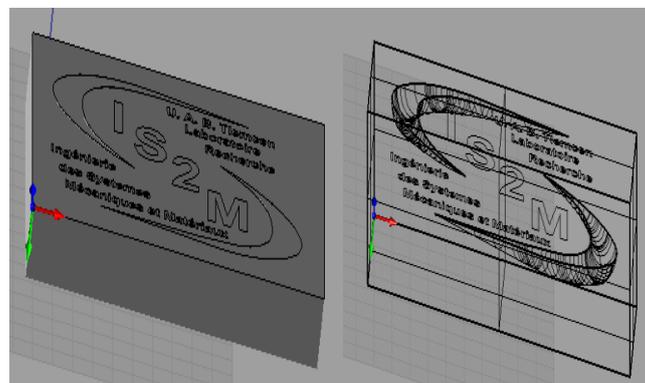


Figure-4.34- Extrusion de l'arc S6

Dans l'étape suivante on utilise l'opération booléenne Différence entre le corps de la pièce et l'élément extrudé. Le résultat de cette opération est présenté sur la figure 4.35

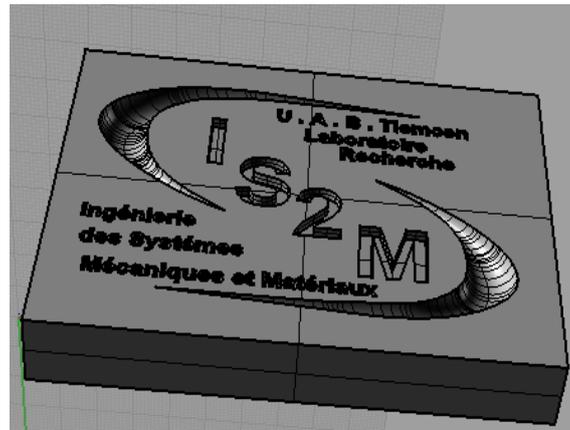


Figure-4.35- Enlèvement de matière S6

#### 4.4.2. FAO de la sixième solution

Pour la sélection de la machine, la sélection de la commande de génération de programme, la définition du brut (figure 4.36), l'orientation géométrique, l'alignement pièce brut et la sélection d'origine programme on suit les mêmes étapes de la partie FAO de la cinquième solution. Pour cette solution le brut c'est un bloc de longueur 146 mm, de largeur 115 mm et de hauteur 20 mm.

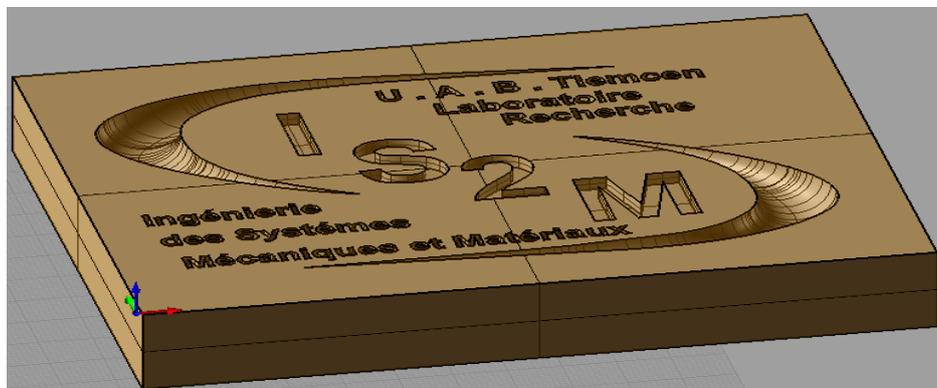


Figure-4.36- Définition du brut S6

##### a. Sélection des outils

Pour générer le programme de cette solution on va utiliser deux outils. Un pour les parties large de logo et l'autre pour les parties restreintes et la gravure. Pour les parties large on utilise un outil de type Ball Mill de diamètre 5 mm et de longueur 20 mm comme présenté sur la figure 4.37. Pour les parties restreintes et la gravure on utilise l'outil de gravure utilisé dans la partie FAO de la cinquième solution.

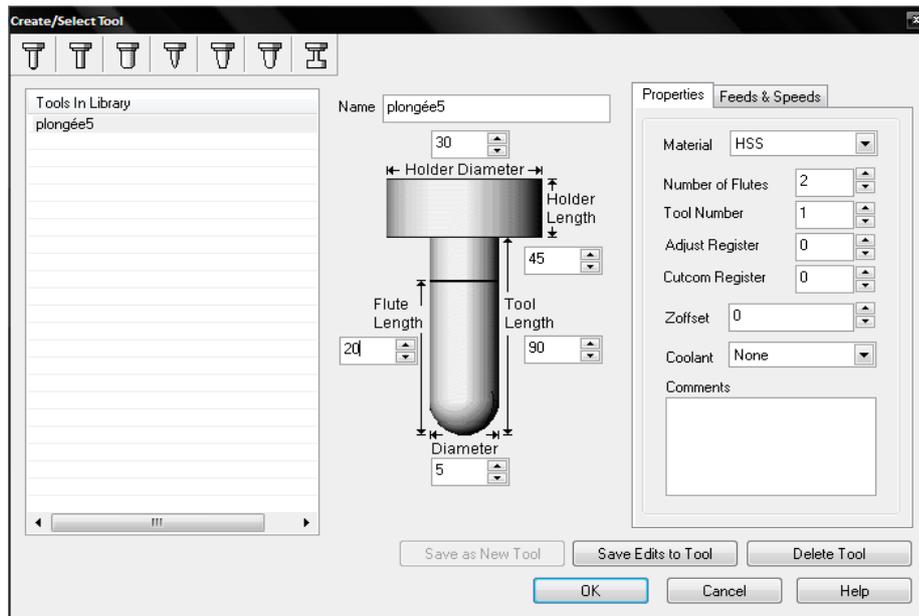


Figure-4.37- Outil Ball Mill S6

### b. Parcours d'outil

Pour cette solution on utilise le parcours d'outil between two curve finition.

#### \* *Parcours d'outil between two curve des parties larges*

Avant de générer le parcours d'outil on doit dessiner les courbes qui délimitent les parties larges de logo comme illustre la figure 4.38. Puis on génère le parcours d'outil et on garde les mêmes données de la partie FAO de la première solution (vitesse d'avance, plan de sécurité, paramètre de coupe etc.), la figure 4.39 présente le résultat de ce parcours d'outil.

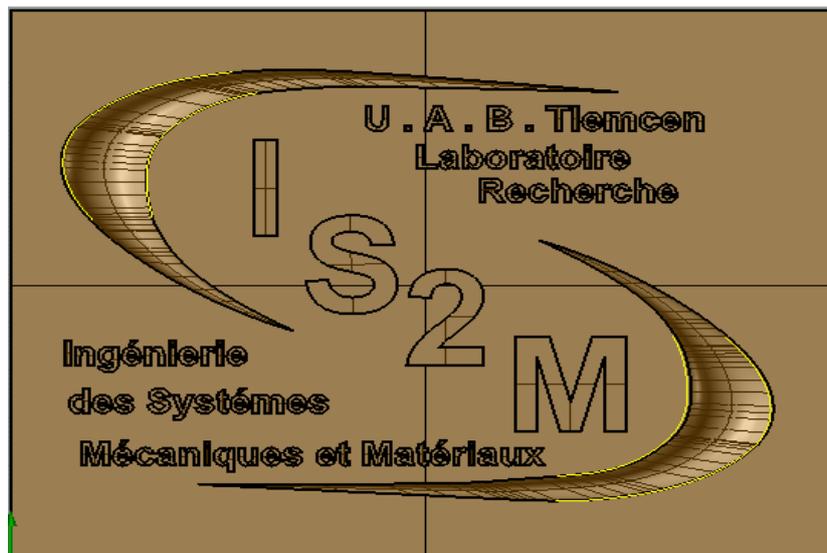


Figure-4.38- Création des courbes des parties larges S6

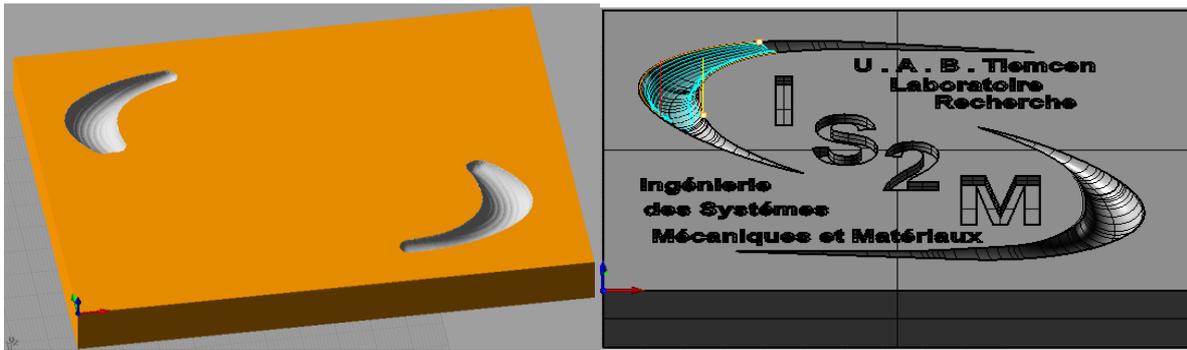


Figure-4.39-Parcours d'outil between two curve des parties larges S6

*\* Parcours d'outil between two curve des parties restreintes*

La même chose que le parcours d'outil des parties larges on doit créer les courbes qui délimitent les parties restreintes comme présenté sur la figure 4.40, puis on génère le parcours d'outil, le résultat de ce parcours d'outil est présenté dans la figure 4.41.

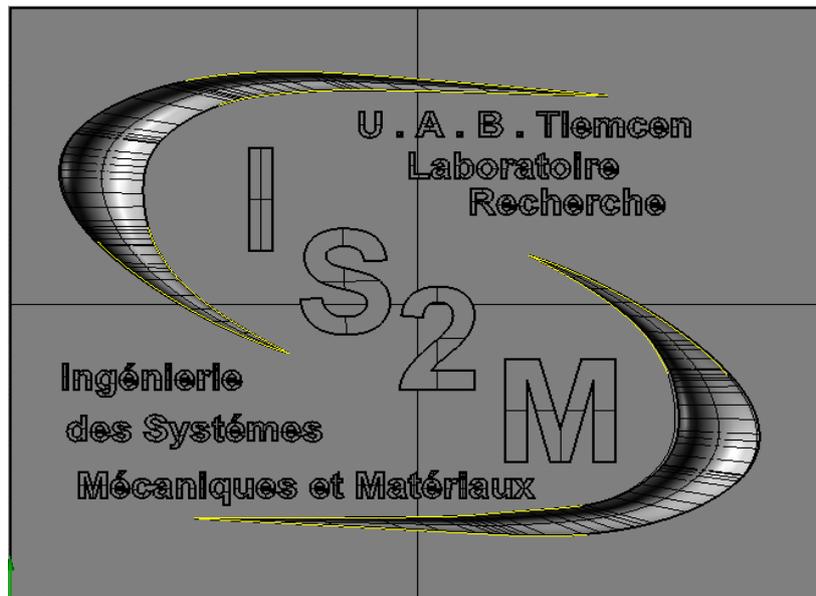


Figure-4.40- Création des courbes des parties restreintes S6

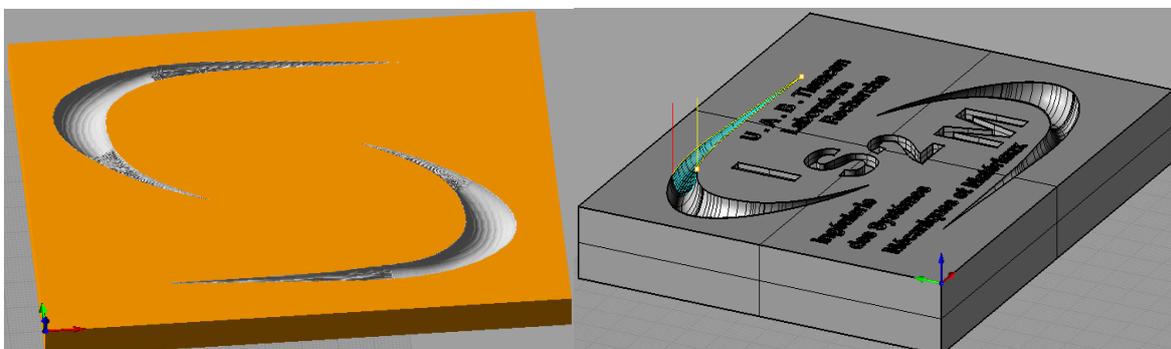


Figure-4.41- Parcours d'outil between two curve des parties restreintes S6

Pour la gravure de texte on utilise les mêmes étapes de la gravure de texte de la partie FAO de la cinquième solution, le résultat est présenté dans la figure 4.42.



Figure-4.42- Résultat de parcours d’outil de la sixième solution S6

#### 4.4.3. Information de parcours d’outil

La figure 4.43 présente les informations concernant ce parcours d’outil.

Machining Operations Information					
Mops Information					
Name	Status	Tool	Cut Feed	# of GOTOs	Machine Time
MOp Set 1					
Between 2 Curves Finishing	Clean	BallMill1	20.54 mm/min	1959	46.09 min
Between 2 Curves Finishing	Clean	BallMill1	20.54 mm/min	2424	55.80 min
Between 2 Curves Finishing	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	2528	1 hr 13 min
Between 2 Curves Finishing	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	1811	35.92 min
Between 2 Curves Finishing	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	2283	1 hr 3 min
Between 2 Curves Finishing	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	1380	35.89 min
V-Carving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	3629	16 hr 40 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	9	4.57 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	101	7.34 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	62	6.53 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	18	9.78 min
				Sub-total	22 hr 19 min

Figure-4.43- Information de parcours d’outil S6

#### 4.5. Septième solution VII

La géométrie de la septième solution est présentée sur la figure 4.44.

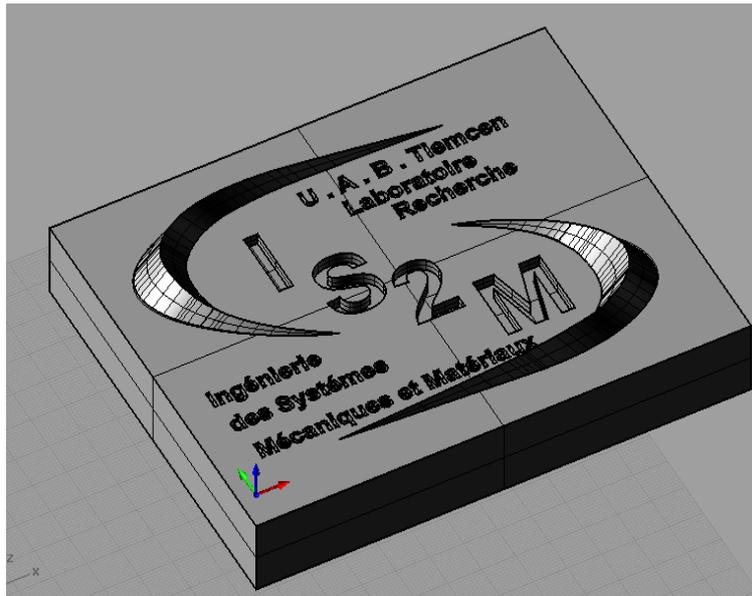


Figure-4.44- Présentation de la septième solution S7

#### 4.6.1. Création de solution VII

Pour créer la géométrie de la septième solution on suit les mêmes étapes de création de la géométrie de la cinquième solution sauf la cinquième étape, dans laquelle on va créer l'entité a extrudé. Pour cela dans le plan de dessous on va créer un triangle entre les points suivants A (10, 0), B (16, 0) et C (13, 4), la figure suivante présente le résultat de ce travail.

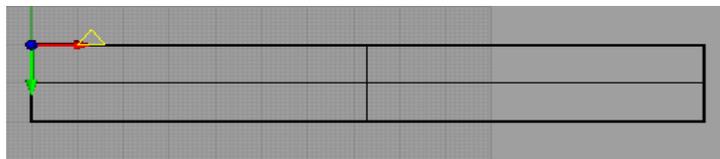


Figure-4.45- Création de l'entité a extrudé S7

Après la répétition de même travail fait pour la création de la géométrie de la cinquième solution on obtient la géométrie présentée dans la figure 4.46.

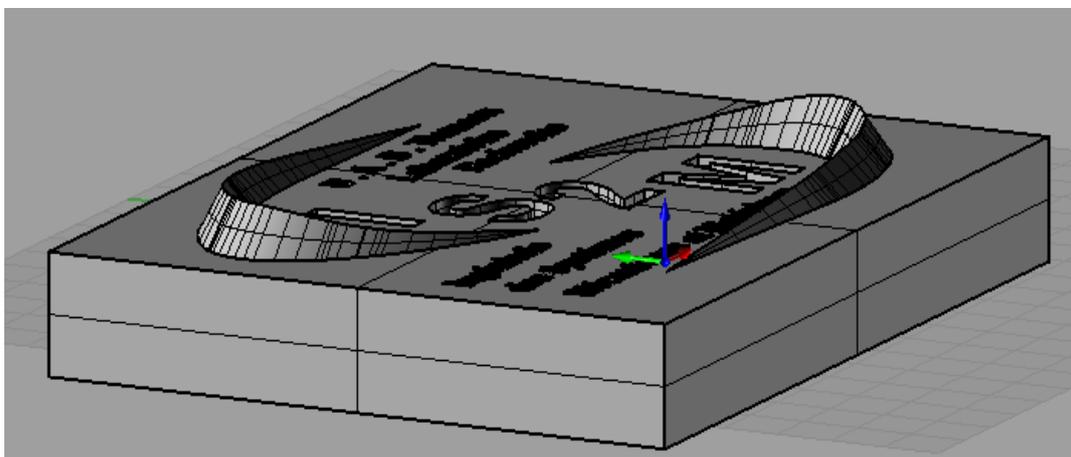


Figure-4.46- Extrusion de triangle S7

### 4.5.2. FAO de solution VII

Pour la sélection de la machine, la définition de la commande machine de génération du programme CN, la définition de brut (figure 4.47), l'orientation géométrique, l'alignement pièce brut et la sélection d'origine programme on suit les mêmes étapes de la partie FAO de la cinquième solution. Pour cette solution le brut c'est un bloc de longueur 146 mm, de largeur 115 mm et de hauteur 30 mm.

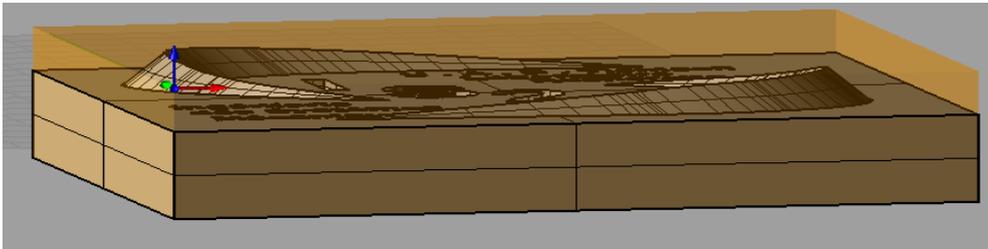


Figure-4.47- Définition du brut S7

#### a. Définition des outils

Pour cette solution on utilise trois outils. Un pour l'ébauche, le deuxième pour la passe de finition et le troisième pour la gravure de texte. Pour l'ébauche on utilise un outil de type Flat Mill de longueur 20 mm et de diamètre 10 mm, pour la passe de finition on utilise toujours un outil de type Flat Mill de longueur 10 mm et de diamètre 6 mm et pour la gravure de texte on travaille avec le même outil utilisé pour la gravure de texte de la cinquième solution.

#### b. Parcours d'outil

Pour le parcours d'outil de cette solution on utilise les mêmes parcours d'outil de la partie FAO de la cinquième solution, les figures suivantes donnent le résultat de chaque parcours

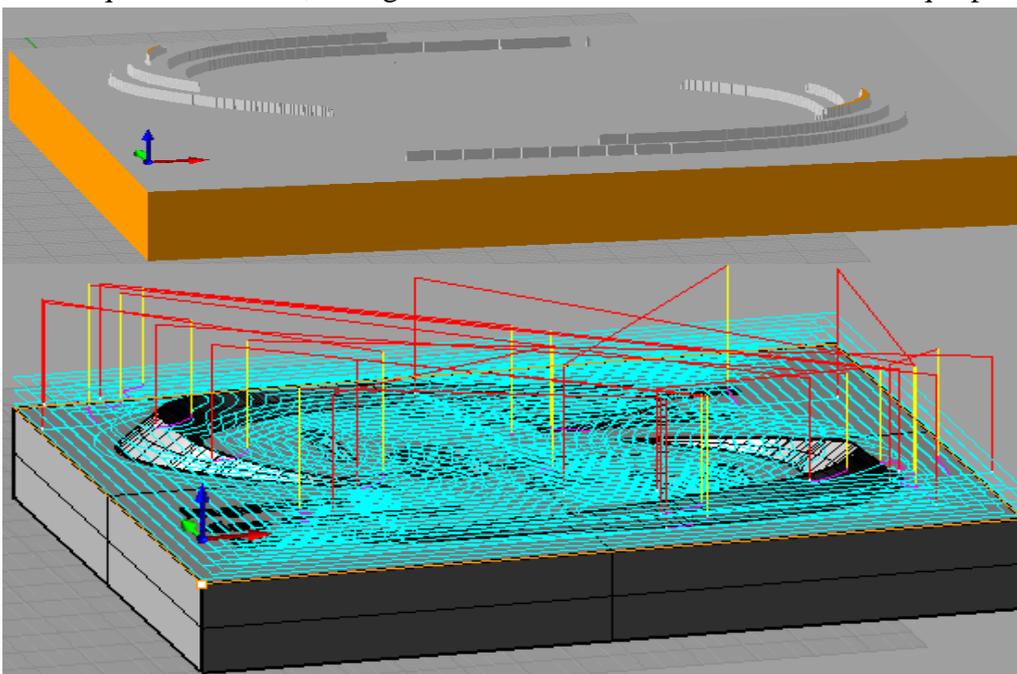


Figure-4.48- Parcours d'outil d'opération d'ébauche S7

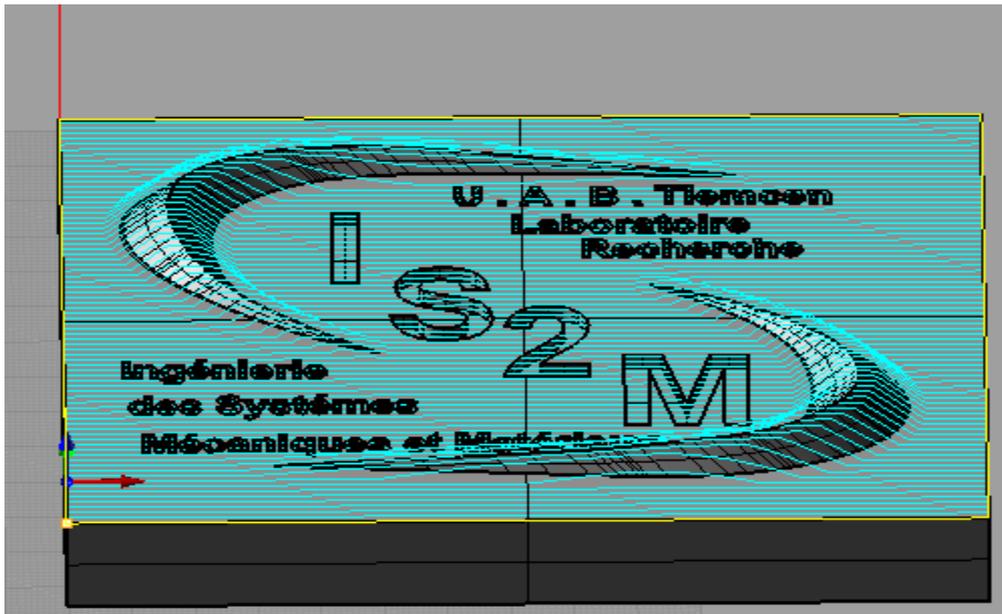


Figure-4.49- Parcours d'outil parallèle finition S7

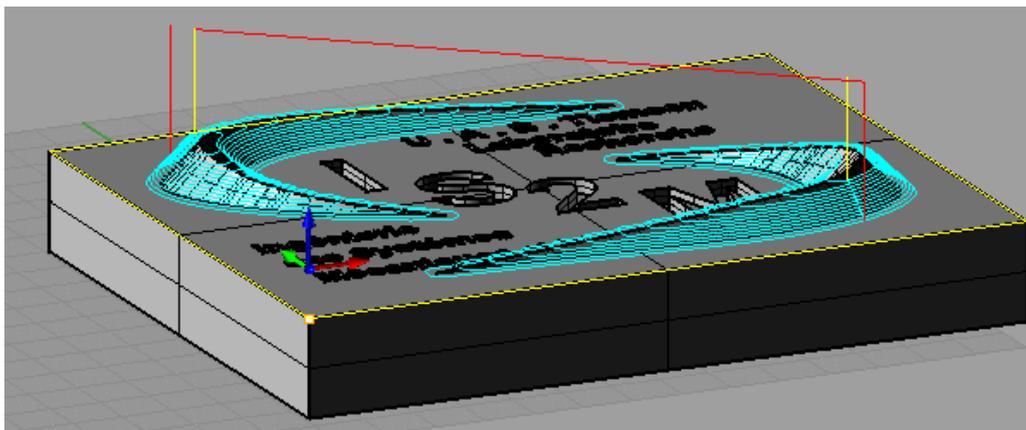


Figure-4.50- Parcours d'outil horizontal finition S7

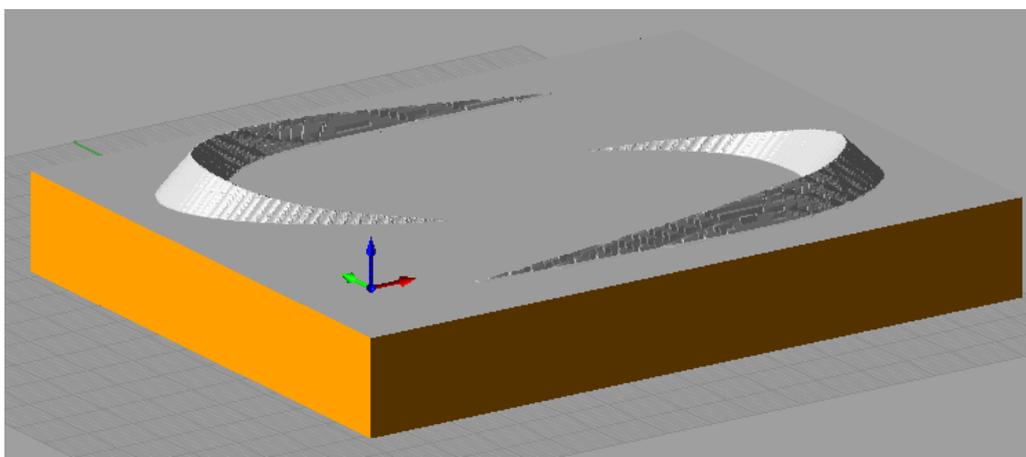


Figure-4.51- Résultat de simulation de la passe de finition S7



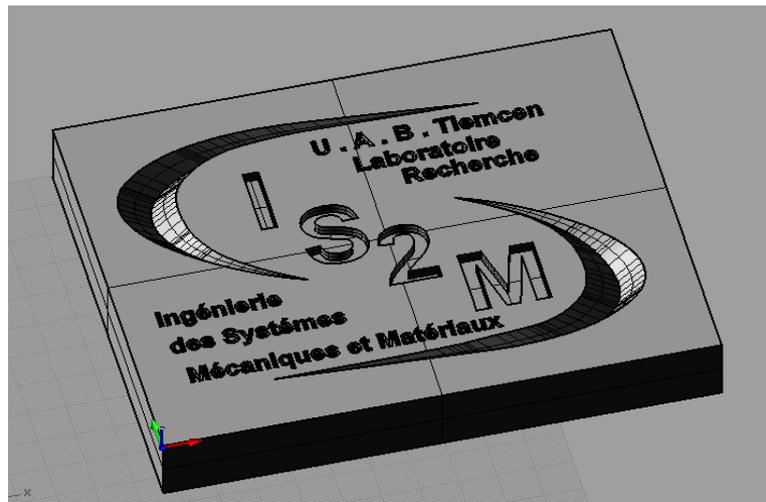


Figure-4.54- Présentation de la huitième solution S8

#### 4.6.1. Création de solution VIII

Pour créer la géométrie de la huitième solution on suit les mêmes étapes de création de la géométrie de la sixième solution, la seule différence entre eux c'est dans l'élément a extrudé. Pour créer l'élément a extrudé de la huitième solution, dans le plan dessous on esquisse un triangle entre les points suivant D (18, 0, 0), E (25, 0, 0) et F (21, 4, 0) comme présenté sur la figure 4.55.

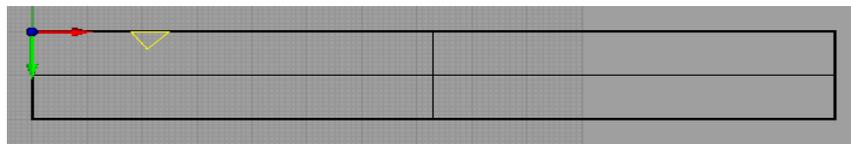


Figure-4.55- Création de l'élément a extrudé S8

Après avoir suivi les mêmes étapes de création de la géométrie de la sixième solution on obtient la géométrie présentée sur la figure 4.56.

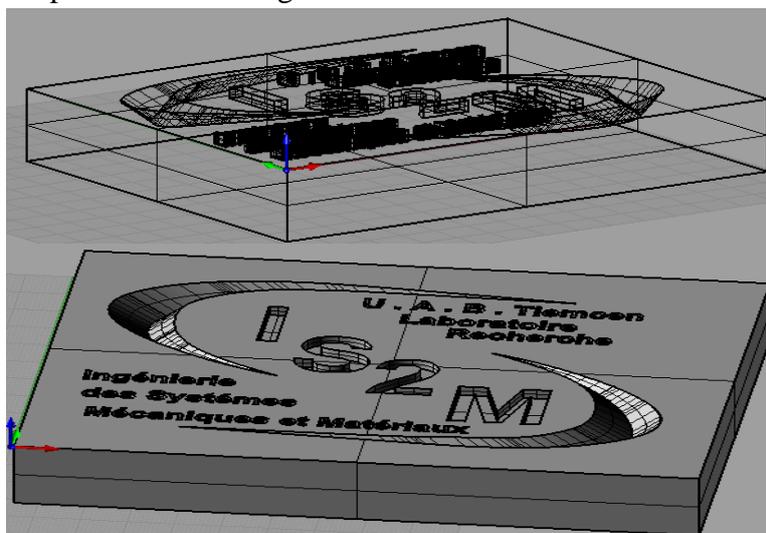


Figure-4.56- Géométrie de la huitième solution S8

#### 4.6.2. FAO de solution VIII

Pour la sélection de la machine, la définition de la commande machine de génération de programme CN, la définition du brut (figure 4.57), l'orientation géométrique, l'alignement pièce brut et la sélection d'origine programme on suit les mêmes étapes de la partie FAO de la cinquième solution. Pour cette solution le brut est un bloc de longueur 146 mm, de largeur 115 mm et de hauteur 20 mm.

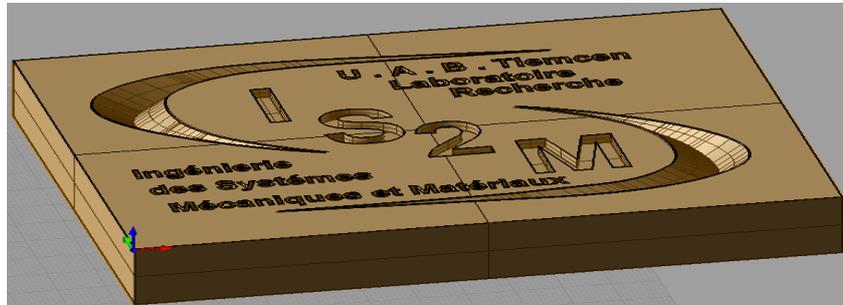


Figure-4.57- Définition du brut S8

##### a. Définition des outils

Pour cette solution on utilise deux outils un pour l'enlèvement de matière des entités splines et l'autre pour la gravure de texte. Pour l'enlèvement de matière des entités splines on utilise un outil de type Ball Mill de longueur 10 mm, de diamètre 3 mm et pour la gravure de texte on utilise le même outil de gravure utilisé auparavant.

##### b. Parcours d'outil

###### \* *Enlèvement de matière des entités splines*

Pour l'enlèvement de matière des entités splines on utilise le parcours d'outil between 2 curves, mais avant de faire ça il faut de créer les courbes qui contiennent le parcours d'outil comme présenté sur la figure 4.58. Après la création de ces courbes on utilise ce parcours d'outil pour générer le programme CN de cette solution, le résultat de ce parcours d'outil est présenté sur la figure 4.59



Figure-4.58- Création des courbes de parcours d'outil S8

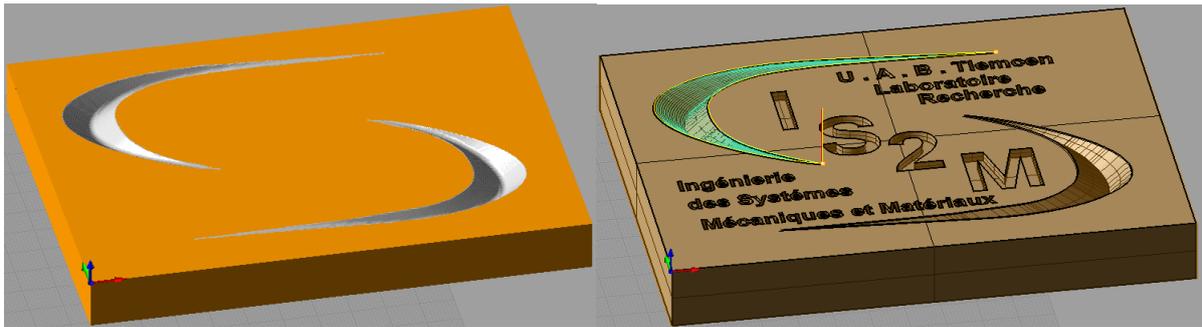


Figure-4.59- Parcours d’outil between 2 curves S8

Pour la gravure de texte on suit les mêmes étapes utilisées pour la gravure de texte de la cinquième solution, le résultat est présenté sur la figure 4.60.



Figure-4.60- Gravure de texte S8

### 4.6.3. Informations de parcours d’outil

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

Machining Operations Information					
Mops Information					
Name	Status	Tool	Cut Feed	# of GOTOs	Machine Time
MOp Set 1					
Between 2 Curves Finishing	Clean	BallMill1	20.54 mm/min	4301	3 hr 24 min
Between 2 Curves Finishing	Clean	BallMill1	20.54 mm/min	4205	3 hr 34 min
V-Carving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	5897	20 hr 49 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	9	4.57 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	102	7.34 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	61	6.53 min
Engraving	Clean	VeeMill1	20.54 mm/min	18	9.78 min
				Sub-total	28 hr 17 min

Figure-4.61- Information de parcours d’outil S8

#### 4.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les différentes étapes de conception et génération du programme CN de quatre solutions pour le logo IS2M par l'utilisation d'un système CFAO intégré (Rhinceros/RhinoCAM). Deux solutions sont avec motifs principaux en reliefs (une avec des interpolations triangulaires et l'autre circulaires sur les splines de motifs principaux). Les deux autres solutions sont avec motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte (une avec des interpolations triangulaires et l'autre circulaires sur les splines de motifs principaux).

- Le programme CN de la cinquième solution contient 29084 lignes, avec un temps d'exécutions 79 h et 14 min.
- Le programme CN de la sixième solution contient 16586 lignes, avec un temps d'exécutions 22 h et 19 min.
- Le programme CN de la septième solution contient 27238 lignes, avec un temps d'exécutions 53 h et 28 min.
- Le programme CN de la huitième solution contient 11477 lignes, avec un temps d'exécutions 28 h et 17 min.

D'après ces résultats on conclut que les solutions avec motifs principaux en reliefs (solution cinq et sept) ne sont pas optimales de point de vu fabrication en comparaison avec les solutions qu'ont des motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte (solution six et huit).

La CAO permet de réduire le temps de conception par l'introduction des modifications sur des géométries créées auparavant pour l'obtention des modèles totalement différents.

L'utilisation d'un système CAO/FAO intégré permet d'éviter le problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie lors de transmission de ce dernier de système CAO au système FAO.

## CHAPITRE 5

### Préparation à la fabrication du logo

#### 5.1. Introduction

Dans les chapitres précédents on a proposé plusieurs solutions (simples et complexes) pour la conception et la génération de programmes CN de fabrication du logo IS2M à l'aide des systèmes CAO, FAO et CFAO.

Répondant au cahier de charge et en fonction des moyens disponibles, dans ce chapitre on va choisir une des solutions proposées pour la réalisation, avec la présentation des différentes étapes de fabrication de celle-ci, de la préparation du poste de travail jusqu'à la réalisation du produit qui est la plaque représentant le logo 3D.

#### 5.2. Choix de la solution à réaliser

Pour la réalisation on choisit la cinquième solution, proposée dans le chapitre précédent. Celle-ci va être modifiée à cause de l'indisponibilité de l'outil réel spécifique pour la gravure de texte (l'outil de gravure figure-4.17-). On est obligé de modifier le texte initial de notre logo et agrandir sa taille selon l'outil réel utilisé, les modifications apportées sont comme suit :

On remplace le texte U. A. B. Tlemcen Laboratoire Recherche par U. TLEMEN et ingénierie des systèmes mécaniques et matériaux par F (faculté) T (technologie) GM (génie mécanique). Comme le montre la figure5.1.

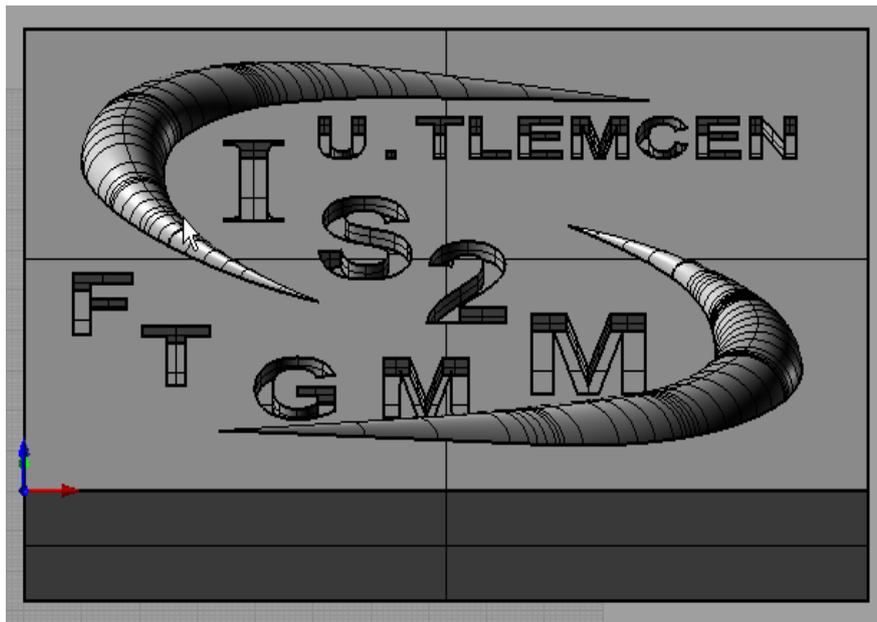
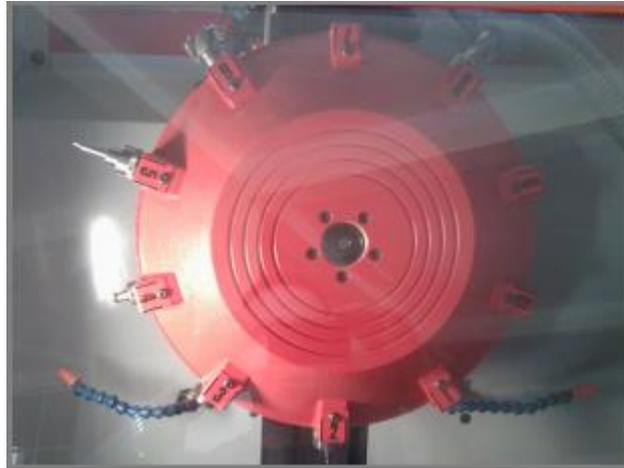


Figure-5.1- Solution à réaliser

### 5.3. Génération du programme CN de la solution à réaliser

Puisque on a une seule fraiseuse à commande numérique à tambour porte-outil (figure 5.2) avec des outils déjà montés, la génération du programme CN est modifiée.



**Figure-5.2- Tambour porte-outil**

Au début, dans la génération de programme par l'outil de FAO Rhinoceros on a utilisé trois outils, une fraiseuse a deux tailles a un diamètre de 10 mm pour l'opération d'ébauche, une fraise deux tailles a un diamètre de 6 mm pour l'opération de finition et un outil spécifique pour la gravure de texte (l'outil de gravure figure 4-17). Mais en fonctions des moyens qu'on a et en fonctions des modifications apportées sur le logo on a travaillé par deux outils qui sont déjà monté dans le tambour porte-outil. Pour l'opération d'ébauche on a utilisé une fraise deux tailles à diamètre 16 mm (T8, figure 5.8) et une fraise deux tailles à diamètre 3 mm (T2, figure 5.10) pour l'opération de finition et la gravure de texte.

Après ces modification on génère le programme CN de la solution à réaliser sous la commande SIEMENS ISO, le programme généré n'est pas optimum et il possède 22963 blocs parce que :

- la génération du programme est sous la commande Siemens ISO classique qui utilise des interpolations circulaires, linéaires pour générer l'avance synchronisé pour une machine à 3 axes. Donc les déplacement de l'outil sont en coordonnées cartésiennes suivant les axes (X,Y et Z).
- la forme choisie pour la réalisation est en 3D complexe et tel forme nécessite des centres d'usinage a plusieurs axes primaires et secondaires pour la réalisation dans des délais adéquats, ce qui n'est pas le cas de notre situation ou on a une MOCN à trois axes (X, Y, Z) et un quatrième axe A sous forme de plateau diviseur non exploitable.

Après la génération de programme on a effectué les changements suivants :

- on a changé le code G21 par le code G71 pour la programmation en unité métrique, parce que le premier est non assigné dans la commande ISO et la commande SINUMERIK 810,

- on a ajouté les deux instructions qui signifiées la géométrie de l'outil D8 (correction de l'outil T8) et D2 (correction de l'outil T2),
- on a ajouté aussi le code G54 (décalage d'origine).

D'après le logiciel de CFAO Rhinoceros, l'exécution du programme CN (22963 séquences) se passe pendant 63 heures et 23 minutes (24 h et 14 min pour l'ébauche, 38 h et 1 min pour la finition, 2 h et 27 min pour la gravure de texte). Or du point de vue sécurité on ne peut pas laisser la machine travailler toute seule durant toute cette période. En plus on ne peut pas utiliser cette machine pendant plusieurs jours successifs car plusieurs projets et travaux pratique (TP) nécessitent la même machine. Pour ces raisons on a modifié le programme généré auparavant par l'élimination de la passe de finition qui prend beaucoup de temps. On a supprimé toutes les séquences de la passe de finition et on a sauté directement de la passe d'ébauche à la gravure de texte. Pour compenser la matière qui n'a été pas enlevée dans la passe de finition (1.42 mm) l'instruction suivante G58 Z1.42 est insérée entre la passe d'ébauche et la gravure de texte qui désigne l'insertion d'une origine additive.

Après ces changements et selon Rhinoceros le programme devient possède 3632 blocs avec un temps d'exécution de 26 h et 41 min.

### **5.3. Transfert du programme CN vers la machine**

Après la génération et la modification du programme CN on le met dans une disquette pour le transférer vers la MOCN (EMCO PC MILL 155) du laboratoire de CN du hall de technologie.

### **5.4. Préparation du poste de travail**

Avant de lancer l'exécution du programme il faut régler les paramètres suivants : décalage d'origine, la correction des outils.

#### **a. Montage de la pièce brute**

Avant de fixer la plaque d'aluminium (brut) il faut tester les fins de course des axes en utilisant le mode JOG et en donnant le déplacement des axes X, Y afin de déterminer l'emplacement pour le montage du brut.

On ne peut pas fixer notre plaque sur l'étau parce qu'elle a des grandes dimensions 285 mm suivant l'axe X et 194 mm suivant l'axe Y. Pour cette raison on la fixe directement sur la table par des pinces afin d'éliminer tous les degrés de liberté de celle-ci comme présenté sur la figure 5.3.



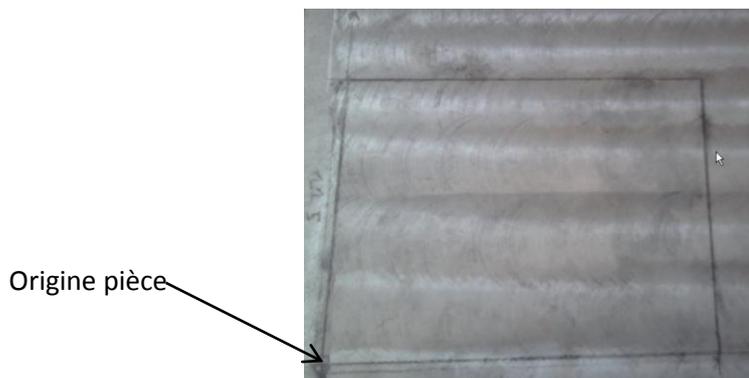
**Figure-5.3- Fixation de la plaque par les pinces**

### **b. Décalage d'origine**

Avant de faire le décalage d'origine les coordonnées affichées sur l'écran sont par rapport à l'origine machine (défini par le constructeur). Donc on a besoin de décaler l'origine vers l'origine pièce ou l'origine programme (dans notre cas les deux origines sont confondus) pour pouvoir exécuter le programme. Et pour cela on fait le travail suivant :

- **Position d'origine pièce (origine programme)**

Sur la plaque d'aluminium et avant la fixation de celle-ci on trace notre brut (suivant X 145 mm, suivant Y 115mm) et l'origine programme (voir figure 5.4). Pour définir la position d'origine programme par rapport à l'origine machine suivant l'axe Z on met la machine en mode manuelle (JOG) pour pouvoir bouger la table et la porte-outil à l'aide des boutons de direction. On utilise la méthode d'affleurement et l'outil étalon (T3), (figure 5.5), cette méthode consiste à coincer une feuille de papier entre la face supérieure de la plaque et l'extrémité de l'outil étalon, la distance de  $Z_w$  s'affiche sur l'écran  $Z_w=35.956$  mm. Pour définir la position suivant X et Y on utilise l'outil à doigt tactile (T5), (figure-5.6). Par la superposition de bout de l'outil sur l'origine programme tracer auparavant ces deux distances s'affiche sur l'écran  $X_w=140.952$ ,  $Y_w=8.106$ .



**Figure-5.4- Traçage du brut dans la plaque d'aluminium**

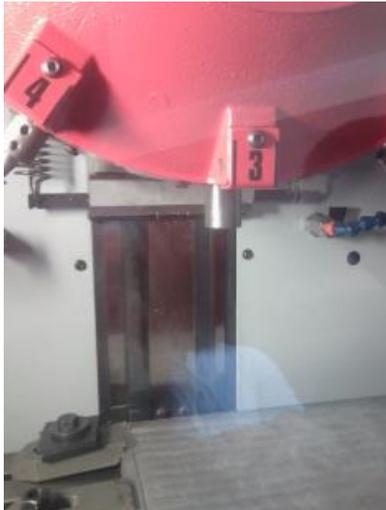


Figure-5.5- Outil étalon (T3)



Figure-5.6- Outil à doit tactile (T5)

- **mémorisation de la position d'origine programme**

Après la détermination de la position d'origine programme on mémorise ces coordonnées dans le logiciel de la machine WinNC [22] (figure 5.7) et on appelle le décalage dans le programme CN par le code (G54).

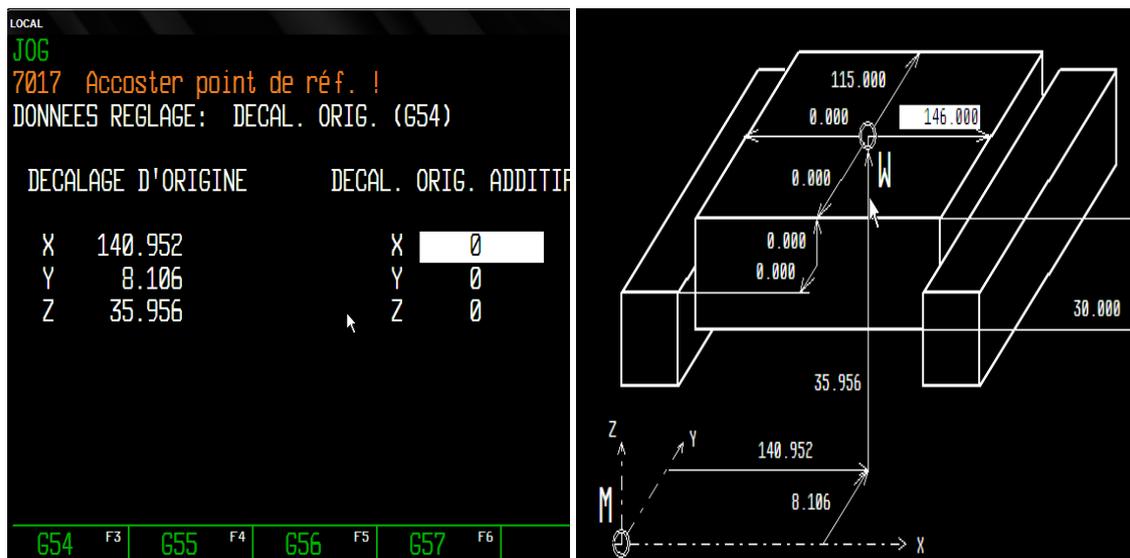


Figure-5.7- Décalage d'origine machine (M)

**c. correction des outils**

Après le décalage d'origine les coordonnées affiche sur l'écran sont les coordonnées de la position de référence outil (N) par rapport à l'origine pièce. Le point N se trouve sur l'axe de la broche à 30 mm de l'épaulement des roulements pour la fraiseuse. Pour usiner il va falloir localiser la pointe de l'outil. Pour cela on doit faire la géométrie des outils.

- **géométrie de la fraise T8**

Pour faire la géométrie de la fraise T8 (figure-5.8) on a besoin des informations suivantes :

- L1 la longueur de la fraise suivant Z
- rayon de la fraise (8mm)
- type de la fraise (20)

Pour déterminer la distance L1, on utilise toujours la méthode d'affleurement par la tangence de l'extrémité de la fraise et la face supérieure de la plaque par l'insertion entre eux d'une feuille de papier, une fois la feuille est coincé donc la tangence est faite, la valeur de Z1 affiche sur l'écran Z1=59.227.

$$L1=Z1-Zw=23.271$$

On inscrit toutes ces informations dans le WinNC comme présenté sur la figure 5.9. On fait appeler la géométrie de cet outil dans le programme par l'instruction D8.



Figure-5.8- Outil T8

LOCAL			
JOG			
7017 Accoster point de réf. !			
CORRECTION D'OUTIL			
NR. CORRECTION		ACTUELLE	D
D 8	0	NUMERO OUTIL	8
	1	TYPE OUTIL	20
	2	L1 GEOMETRIE	23.271
	3	L2 GEOMETRIE	0.
	4	DIAMETRE/RAYON	8.
	5	L1 USURE	0.
	6	L2 USURE	0.
	7	DIAMETRE/RAYON	0.
	8	L1 BASE	0.
	9	L2 BASE	0.

Figure-5.9- Géométrie de l'outil T8

- **géométrie de la fraise T2**

Pour faire la géométrie de la fraise T2 (figure 5.10), on reprend le même travail fait pour déterminer la géométrie de la fraise T8.

- Z2=53.913
- L1=Z2-Zw=17.957
- rayon de la fraise (1.5mm)
- type de la fraise (20)

On inscrit toutes ces informations dans le WinNC, comme présenté sur la figure 5.11. On fait appeler la géométrie de cet outil par l'instruction D2



Figure-5.10- Outil T2

```

LOCAL
JOG
7017 Accoster point de réf. !
CORRECTION D'OUTIL
NR.CORRECTION ACTUELLE      D
D 2  0 NUMERO OUTIL          2
      1 TYPE OUTIL           20
      2 L1 GEOMETRIE         17.957
      3 L2 GEOMETRIE         0.
      4 DIAMETRE/RAYON       1.5
      5 L1 USURE              0.
      6 L2 USURE              0.
      7 DIAMETRE/RAYON       0.
      8 L1 BASE               0.
      9 L2 BASE               0.

```

Figure-5.11- Géométrie de l'outil T2

#### d. Simulation dans le WinNC

Après avoir fait tous ces réglages, on exécute la simulation du programme dans le WinNC, le résultat de cette simulation est présenté dans la figure 5.12.

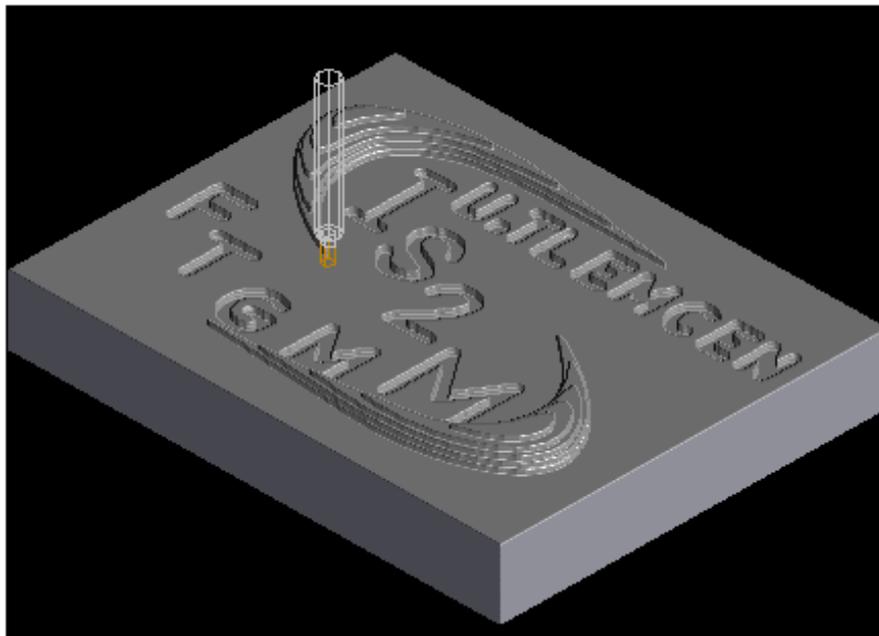


Figure-5.12- Résultat de simulation du programme CN

#### 5.5. Exécution du programme CN

Après, la génération du programme CN par l'outil de CFAO Rhinoceros sous la commande SIEMENS ISO, la modification et la transmission de ce dernier vers la machine, le réglage du poste de travail, l'appelle de ce programme par son nom (%4113) et la simulation dans le WinNC. On peut maintenant lancer le programme pour l'exécution dans la machine.

Pour l'exécution du programme on met la machine en mode automatique. Comme signalé précédemment, l'exécution du programme selon Rhinoceros nécessite 26 heures et 41min. L'usinage de la pièce a été effectué en trois étapes (3 jours) avec un arrêt manuel en fin de journée. Le tableau 5.1 présente plus de détail sur le déroulement de ce programme.

**Tableau-5.1- Exécution du programme CN**

jours	Départ de prog	Arrivé de prog	Durée	Opération
1 <sup>er</sup> jour	N1	N282	4h et 17min	Ebauche
2 <sup>ème</sup> jour	N282	N1800	8h et 35 min	Ebauche
3 <sup>ème</sup> jour	N1800	N3632	6h et 40 min	Ebauche/Gravure

La figure 5.13 illustre la forme réalisée du logo



**Figure-5.13- Pièce usinée pour le logo IS2M**

## 5.6. Conclusion

Dans cette partie, on a présenté les différentes étapes suivies pour l'exécution du programme CN de la solution cinq, ainsi que les modifications CAO et FAO apportées sur le logo.

L'utilisation des outils de CAO, FAO et CFAO permet d'apporter des modifications facilement et dans une courte période, sur le modèle géométrique et dans la génération du programme CN.

# CHAPITRE 1

## Programmation des MOCN et systèmes CAO/FAO

---

### 1.1. Introduction

Dans ce chapitre on présente une aperçue générale sur la programmation des MOCN, l'incompatibilité des commandes les plus utilisées et la conception et fabrication assistée par ordinateur.

### 1.2. 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.

#### 1.2.1 Nature des instructions programmées

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

- Les données géométriques, 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].

#### 1.2.2. Modes d'introduction de l'information à la machine

Les informations codées de programme doivent être transcrites sous forme de données binaires sur un support physique qui servira à leur introduction dans la CN. Au départ les programmeurs utilisaient les bandes perforées pour introduire leurs programmes à la machine mais la mauvaise tenue à l'usure et au déchirement ont longtemps été à l'origine de défaillance de ces outils, puis ils ont utilisé les disquettes, le CD et la clé USB de plus en plus

répandue qui possèdent une grande capacité de stockage [1]. En plus des supports physiques l'information peut aussi être introduite manuellement à travers le pupitre de la MOCN caractère par caractère ou par l'intermédiaire d'un micro-ordinateur de type PC par la liaison RS232.

### 1.2.3. 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 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.

### 1.2.4. Langages de la programmation CN

En ce qui concerne les langages de programmations CN on trouve essentiellement le code G et le langage APT.

#### a. Code G

A l'origine, le code G a été développé par l'EIA (Electronics Industry Association) [2] et a été normalisé sous la référence RS274D ou ISO 6983 en février 1980. Cette programmation s'appuie sur des fonctions préparatoires de type G. Elle est complétée par des fonctions auxiliaires (de type M) et technologiques (F, S, etc...). Dans la programmation manuelle le programmeur écrit le programme caractère par caractère, mot par mot et bloc (ligne) par bloc.

#### b. Langage APT

APT est le premier langage d'aide à la programmation CN. Il est développé au MIT en 1955 [3]. C'est l'un des langages les plus utilisés dans l'industrie. Plusieurs autres langages dérivés d'APT ont été développés comme NELAPT, EXAPT, UNIAPT, ADAPT et IFAPT. Des langages non dérivés d'APT ont été aussi développés. Ils sont pourvus de fonctionnalités similaires à celle d'APT.

#### \* *Eléments de langage APT*

Un programme d'une pièce en APT est constitué d'instructions permettant de définir la géométrie à usiner, l'outil à utiliser et les conditions technologiques (vitesse de coupe et d'avance) ainsi les déplacements ou mouvements de l'outil dans chaque opération à exécuter.

Chaque instruction est composée d'éléments respectant un certain nombre de règles de syntaxe [3]. Ces éléments sont :

- la ponctuation,
- les mots réservés du vocabulaire APT (mots clefs : POINT, IF, GO, ...),
- les nombres,
- les symboles (RAYON = 25.325 +X1 = 123 Y1=....).

### 1.3. Commandes de la programmation CN (SIN, FAN, NUM, FAG, HEI)

Il existe plusieurs commandes de la programmation CN. Les commandes les plus utilisés sont SINUMERIK, FANUC, NUM, FAGOR et HEIDENHAIN.

#### 1.3.1. Raisons de l'incompatibilité des commandes

Face à la grande variété des configurations des MOCN, de peu de demande pour une réelle interopérabilité, peu de contrôleur à commande numérique qui respecte le langage de programmation ISO, l'évolution rapide de la technologie, des nombreuses extensions ont été ajoutés par chaque constructeur pour tenir compte des nouveautés et des nouvelles capacités des MOCN ce qui fait que les opérateurs doivent connaître les différents commandes de programmation [4]. Chaque constructeur de directeur de commande essaie par tous les moyens de différencier ces produits et de développer les commandes de programmation CN normalisés, ces derniers présentent des incompatibilités malgré de nombreux efforts de normalisation [5].

#### 1.3.2. Commande SINUMERIK

C'est en 1960 que Siemens a lancé la commande SINUMERIK sur le marché [6], le tableau ci-dessous illustre quelques caractéristiques concernant les fonctions préparatoires de cette commande de programmation.

**Tableau-1.1- Etude statistique des codes préparatoires en commande SINUMERIK**

commande Existence Des codes	SINUMERIK TR	SINUMERIK FR
Nombre de codes utilisés	52	64
Code communs existants	33	33
Codes existant uniquement en tournage	08	00
Codes existant uniquement en fraisage	00	11
Codes existant en fraisage et en tournage différents	00	00

Pour la commande SINUMERIK, il existe 52 codes pour le tournage (G00-G04, G09-G13, G16, G18, G25, G26, G33, G40-G42, G48, G50-G51, G53-G60, G62-G64, G70-G71, G80, G90-G92, G92 P, G92 P1, G94-G97, G130, G131, G147, G148, G247, G248, G347, G348) et

64 codes pour le fraisage (G00-G04, G09-G13, G17-G19, G25, G26, G33, G40-G42, G48, G50-G51, G53-G60, G62, G64, G70-G71, G80 -G92, G92 P, G92 P1, G94, G95, G147, G148, G247, G248, G347, G348), il existe aussi 8 codes seulement en tournage ( G16, G63, G92 P, G92P1, G96, G97, G130, G131), il existe 11 codes uniquement en fraisage (G17, G19, G81-G89) et les codes existant dans les deux modes ont la même désignation [7].

En ce qui concerne les fonctions auxiliaires il y a une concordance entre les principales fonctions avec les autres commandes telles que la mise en marche, l'arrêt de la broche, la lubrification, les sens de rotations, le changement d'outil, fin de programme,...etc., la principale particularité de cette commande est dans l'appel de sous-programme, elle utilise la lettre L différemment aux autres commande ou ils utilisent des fonction préparatoire ou des fonctions auxiliaires [5].

### 1.3.3. Commande FANUC

FANUC (**F**actory **A**utomation **N**umerical **C**ontrol) est une commande de programmation CN japonaise, le tableau suivant présente quelques caractéristiques concernant les fonctions préparatoires de cette commande de programmation.

**Tableau-1.2- Etude statistique des codes préparatoires en commande FANUC [5]**

commande Existence Des codes	FANUC TR	FANUC FR
Nombre de codes utilisés	53	75
Code communs existants	28	28
Codes existant uniquement en tournage	12	00
Codes existant uniquement en fraisage	00	34
Codes existant en fraisage et en tournage différents	13	13

Pour la commande FANUC, il existe 53 codes pour le tournage (G00-G04, G10, G17-G23, G25-G28, G30-G32, G34, G36, G37, G40-G42, G50, G65-G76, G80, G83, G84, G86-G90, G92, G94, G96-G99), 75 codes pour le fraisage (G00-G05, G09-G11, G15-G23, G27-G31, G33, G39-69, G 73, G74, G76, G80-G92, G94, G95, G98, G99), 12 codes uniquement en tournage (G25, G26, G32, G34, G36, G37, G70-72, G75, G96, G97), 34 code uniquement en fraisage (G05, G09, G11, G15, G16, G29, G33, G38, G39, G43-G49, G51-G64, G81, G82, G85, G91) et il existe 13 codes dans les deux modes qui ont des désignations différentes (G50, G68, G69, G73, G74, G76, G87, G88, G90, G92, G94, G98, G99) [5].

Certains constructeurs des directeurs de commande numérique ont déclaré que le G-code FANUC est standard, ce qui est faux. C'est simplement l'un des plus simples et des plus répandu [4].

Pour les fonctions auxiliaires il y a une compatibilité avec les fonctions principales des autres commandes de programmation telles que la mise en marche, la lubrification, fin de

programme, les sens de rotations,..etc. la principale différence réside dans l'appel d'un sous-programme et fin de sous-programme codés respectivement par M98 et M99 différemment des autres commandes [5].

#### 1.3.4. Commande NUM

C'est une commande de programmation CN française, le tableau ci-dessous illustre quelques caractéristiques concernant les fonctions préparatoires de cette commande de programmation.

**Tableau-1.3- Etude statistique des codes préparatoires en commande NUM**

commande Existence Des codes	NUM TR	NUM FR
Nombre de codes utilisés	67	64
Code communs existants	46	46
Codes existant uniquement en tournage	16	00
Codes existant uniquement en fraisage	00	12
Codes existant en fraisage et en tournage différents	0	0

Dans la commande NUM, il existe 67 codes de tournage (G00-G07, G09, G10, G12, G16, G20-G23, G33, G38, G40-G42, G48, G49, G51, G54, G59, G63, G66, G70, G71, G73-G85, G79+/-, G77-, G76+/-, G87, G89, G90-G92, G92 S, G92 R, G94-G98, G110, G997-G999), 64 codes de fraisage (G00-G04, G06, G09, G10, G12, G16-G19, G23, G29, G31, G40-G43, G45, G46, G48, G49, G51-G54, G59, G70, G71, G73-G94, G79+/-, G77-, G76+/-, G92 R, G95, G97, G104, G997-G999), 16 codes uniquement en tournage (G05, G07, G20-G22, G33, G38, G49, G63-G66, G92 S, G96, G98, G110), 12 codes uniquement en fraisage (G17-G19, G29, G31, G43, G45, G46, G86, G88, G93, G104) et tous les codes existants dans les deux modes ont la même désignation[8].

Pour les fonctions auxiliaires il y a une similarité avec les fonctions principales des autres commande de programmation telles que la mise en marche, le sens de rotation de la broche, le changement d'outil, la fin de programme.., etc. la principale différence c'est dans l'appel d'un sous-programme ou il elle utilise une fonction préparatoire par contre il y a des commandes qui utilisent une fonction auxiliaire pour ça tels que FANUC[5].

#### 1.3.5. Commande FAGOR

FAGOR est une commande de programmation CN espagnole, le tableau suivant démontre quelques caractéristiques concernant les fonctions préparatoires de cette commande de programmation.

**Tableau-1.4- Etude statistique des codes préparatoires en commande FAGOR [5]**

commande Existence Des codes	NUM TR	NUM FR
Nombre de codes utilisés	73	93
Code communs existants	38	38
Codes existant uniquement en tournage	02	00
Codes existant uniquement en fraisage	00	22
Codes existant en fraisage et en tournage différents	33	33

Dans la commande FAGOR [5], il existe 73 codes en tournage (G00-G09, G14-G16, G20-G33, G36-G42, G47-G59, G65, G66, G68-G72, G75, G75N2, G76, G81-G97), 93 codes pour le fraisage (G00-G29, G32, G33, G36-G44, G47-G99), 2 codes uniquement en tournage (G30, G31), 22 code uniquement en fraisage (G10-G13, G17-G19, G43, G44, G60-G64, G67, G73-G74, G76-G80, G98, G99) et il existe 33 codes dans les deux modes qu'ont des désignations différentes (G14, G15, G16, G20, G21-G29, G33, G36, G47-G52, G65, G66, G68, G76, G81, G82, G84-G89).

Pour les fonctions auxiliaires il y a une compatibilité avec les fonctions principales des autres commandes de programmation telles que la mise en marche, le sens de rotation de la broche, le changement d'outil, la fin de programme..., etc. la principale différence c'est dans l'appelle d'un sous-programme ou il elle utilise une fonction préparatoire par contre il y a des commandes qui utilise une fonction auxiliaire pour ça tel que FANUC[5].

### 1.3.6. Commande HEIDENHAIN

HEIDENHAIN est une commande de programmation allemande, le tableau ci-dessous nous démontre quelque caractéristique concernant les fonctions préparatoires de cette commande de programmation.

**Tableau-1.5- Etude statistique des codes préparatoires en commande HEIDENHAIN**

commande Existence Des codes	HEIDENHAIN TR	HEIDENHAIN FR
Nombre de codes utilisés	128	106
Code communs existants	34	34
Codes existant uniquement en tournage	94	00
Codes existant uniquement en fraisage	00	72
Codes existant en fraisage et en tournage différents	14	14

Dans la commande HEIDENHAIN, il existe 128 codes de tournage[9] (G0-G04, G07-G09, G12-G15, G26, G30-G33, G36, G40-G42, G47, G50-G60, G64, G66, G71-G74, G81-G83, G85-G88, G93-G103, G110-G113, G119-G121, G147-G152, G162, G204, G702-G703, G706, G710, G720, G771, G718, G799-G802, G806, G810, G820, G830, G835, G860, G866, G869, G840-G841, G890, G901-G903, G907, G910, G912-G922, G933, G930, G940, G941, G970, G980, G981, G991, G992, G995, G996), 106 codes pour le fraisage[10] [11](G0-G04, G6, G7, G11-G13, G16-G19, G23-G29, G37-G42, G52-G59, G63, G64, G70-G79, G83, G84, G90-G93, G96, G98, G99, G126, G141, G151 G152, G174, G182, G180, G195, G241, G302, G303, G321, G325, G331, G350, G606, G611, G615, G620-G623, G626-G629, G631, G633, G636, G638, G645-G648, G691, G710, G711, G714, G715, G740, G741, G771-G773, G777, G802, G880, G881, G884, G885), existe 94 code uniquement en tournage, 72 code uniquement en fraisage et 14 code dans les deux modes qu'ont des signification différentes ( G07, G26, G71-G74, G83, G93, G98, G99, G151, G152, G710, G802).

**1.3.7. Différence des fonctions préparatoires**

Le tableau-1.6- illustre les différents codes G existants en tournage et fraisage dans les commandes les plus utilisées.

**Tableau-1.6- Interprétation des fonctions G ISO en différentes commandes**

G	SIN		FAN		NUM		FAG		HEI	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
5				+	+					
6										+
7					+				*	*
8									+	
9				+					+	
10				+				+		
11				+				+		+
12								+		
13								+		
14							*	*	+	
15							*	*	+	
16	+			+			*	*		+
17		+				+		+		+
18						+		+		+
19		+				+		+		+
20					+		*	*		
21					+		*	*		
22					+		*	*		
23							*	*		+
24							*	*		+
25			+				*	*		+
26			+				*	*	*	*
27							*	*		+

G	SIN		FAN		NUM		FAG		HEI	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
28							*	*		+
29			+			+	*	*		+
30							+		+	
31						+	+		+	
32			+				*	*		
33				+	+					
34			+							
35										
36			+							
37			+							+
38						+				+
39			+							+
40										
41										
42										
43			+			+		+		
44			+					+		
45			+			+				
46			+			+				
47			+				*	*		
48			+				*	*		
49			+			+	*	*		
50		*	*				*	*		

G	SIN		FAN		NUM		FAG		HEI	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
51			+				*	*		
52			+				*	*		
53			+							
54			+							
55			+							
56			+							
57				+						
58				+						
59				+						
60				+				+	+	
61				+				+		
62				+				+		
63	+			+	+			+		+
64				+	+			+		
65					+		*	*	+	
66					+		*	*	+	
67								+		
68			*	*			*	*		
69			*	*			*	*		
70			+							
71			+						*	*
72			+						*	*
73			*	*				+	*	*
74			*	*					*	*
75			+							+
76			*	*			*	*		+
77								+		+
78								+		+
79								+		+
80								+	+	
81		+		+			*	*	+	

G	SIN		FAN		NUM		FAG		HEI	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
82		+		+			*	*	+	
83		+							*	*
84		+					*	*		+
85		+		+			*	*	+	
86		+				+	*	*	+	
87		+	*	*			*	*	+	
88		+	*	*		+	*	*	+	
89		+					*	*		
90			*	*						+
91				+						+
92			*	*						
93						+			*	*
94			*	*					+	
95				+					+	
96	+		+		+					
97	+		+						+	
98			*	*	+			+	*	*
99			*	*				+	*	*

+: code existant soit en tournage, soit en frailage.  
 \*: le même code a deux désignations différentes en tournage ou en frailage

## 1.4. Conception Assistée par Ordinateur

### 1.4.1. Définition de la Conception Assistée par Ordinateur

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 [12].

### 1.4.2. 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)... [3].

### 1.4.3 Techniques de représentation en CAO

#### a. Mode fil de fer

Historiquement, c'est la première modélisation d'un objet en 3D qui est apparue. C'est la méthode de base pour représenter une géométrie. La géométrie est définie uniquement à l'aide d'entités géométriques en 2D : droites, cercles, arcs de cercle, courbes, etc [12]. Comme nous montre la figure 1.1.

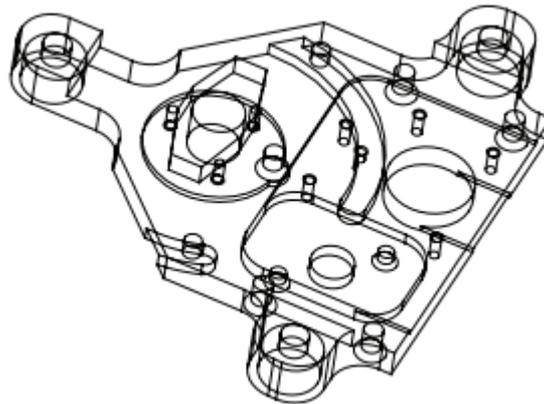


Figure-1.1- Représentation en fil de fer [13]

#### b. Mode surfacique

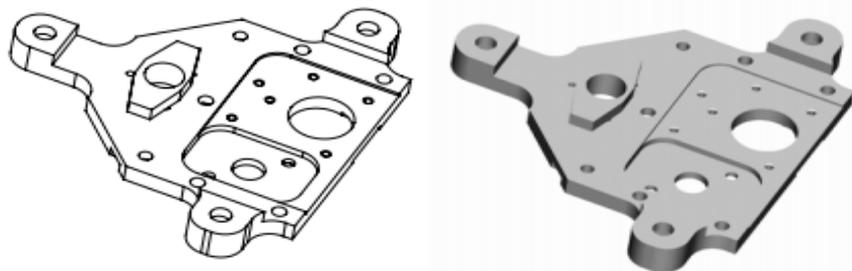
C'est historiquement la deuxième technique apparue sur le marché mais c'est en fait la première qui a permis une approche 3D plus profonde que la représentation fil de fer. En effet, avec la modélisation surfacique, la pièce est décrite à l'aide des surfaces qui en constituent l'enveloppe comme nous présente la figure 1.2. La pièce est ainsi bien décrite, les coupes que l'on peut être amené à faire sont des coupes exactes [14].



**Figure-1.2- Représentation en mode surfacique [13]**

### c. Mode solide

C'est la représentation la plus complète donne les propriétés géométriques de l'objet solide, les différentes vue, les sections et les coupes [12]. Dans un système de modélisation géométrique, les objets sont souvent définis directement par des formes primitives appelées les géométries constitutives ou les primitives pleines telles que les cubes, les sphères..., combinées à l'aide des opérations booléennes (union, intersection, ...). La figure suivante nous présente un exemple de présentation en mode solide en deux rendus [13].



**Figure-1.3- Représentation en mode solide [13]**

### 1.4.4. Analyse dans la CAO

Il est limitatif de réduire la CAO au seul aspect géométrique des pièces, et de ne pas y intégrer les outils de calcul qui permettent l'analyse de leur comportement de façon, dès la conception, à donner la forme la plus adaptée à la pièce pour qu'elle ait un comportement correct en service [14]. Pour cela la CAO intègre des outils d'analyse cinématique et de calcul de résistance de matériau qui fait appel à la technique des éléments finis.

## 1.5. Fabrication Assistée par Ordinateur

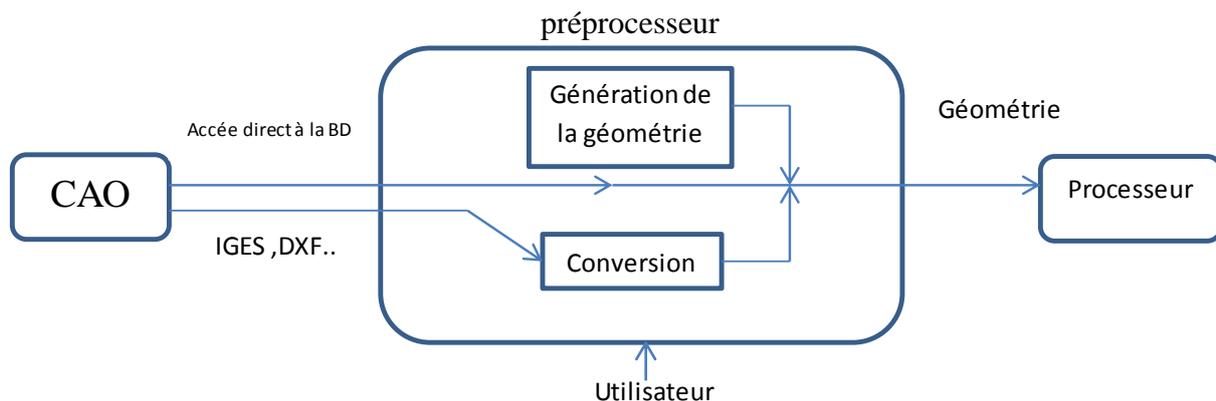
### 1.5.1. Définition de la Fabrication Assistée par Ordinateur

La fabrication assistée par ordinateur (FAO) 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.

### 1.5.2. Système FAO

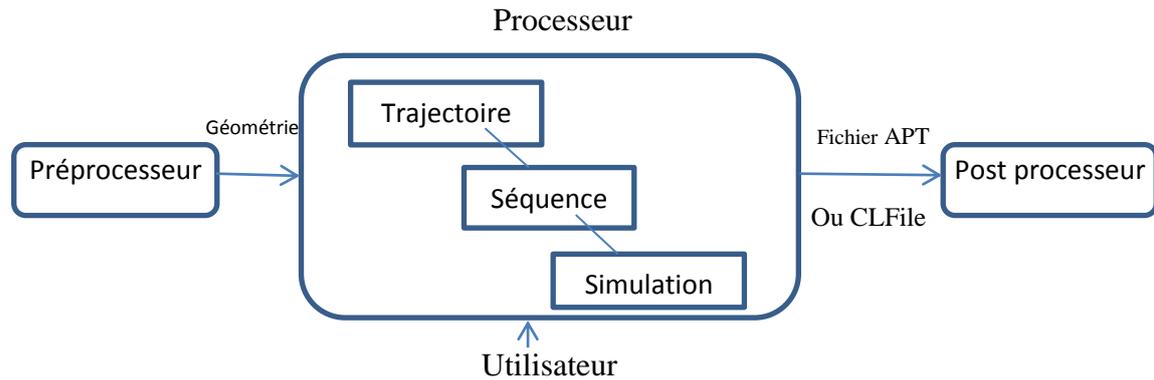
Généralement un système FAO se compose de trois modules le préprocesseur, le processeur et le post processeur [3].

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. La figure-2- nous présente les différentes fonctionnalités de préprocesseur.



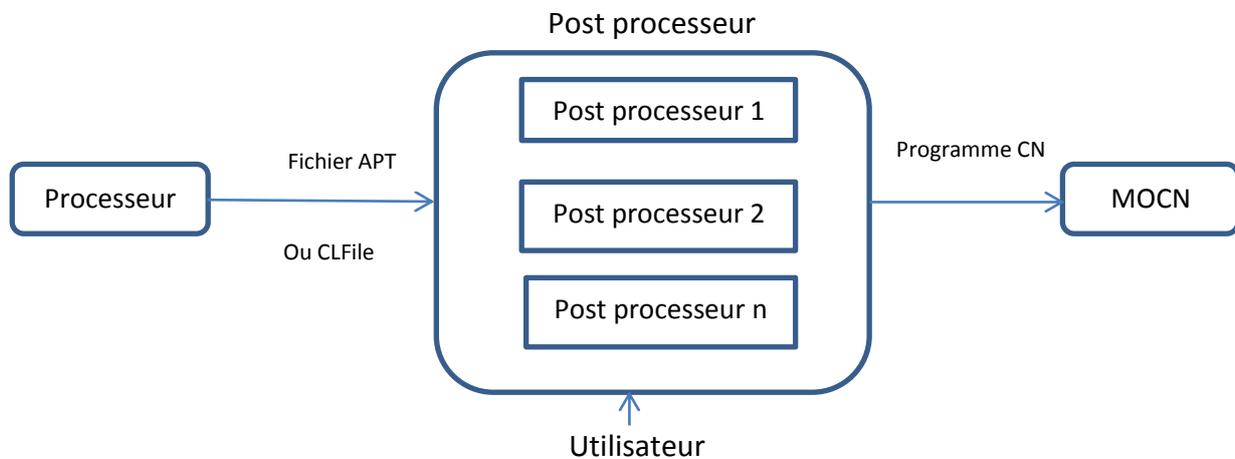
**Figure-1.4- Rôle du Préprocesseur dans un système FAO**

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-1.5- Rôle du processeur dans un système FAO**

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 -1.6 présente le rôle de post processeur dans les systèmes FAO.



**Figure-1.6- Rôle du post processeur dans un système FAO**

### 1.5.3. Etapes pour l'utilisation d'un système FAO

Pour utiliser un système FAO on passe par cinq étapes essentielles [15], qui sont les suivantes

#### a. 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.

#### **b. 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.

#### **c. 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.

#### **d. 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.).

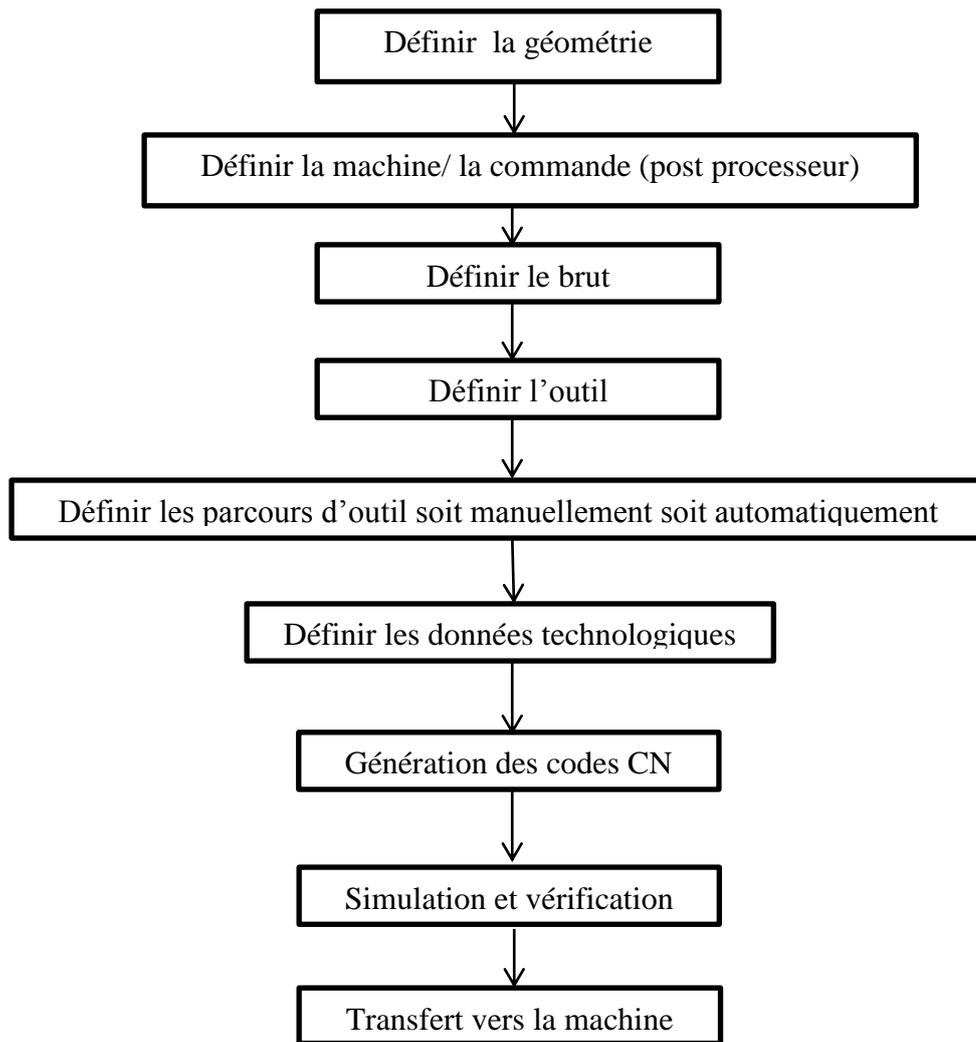
#### **e. Transfert vers la MOCN**

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

La figure -1.7- présente les différentes étapes suivies pour utiliser un système FAO ou CFAO

### **1.5.4. 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 [16], 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-1.7- Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO [12]**

## 1.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur la programmation des MOCN, les commandes les plus utilisées et la conception et fabrication assistée par ordinateur.

On a aussi effectué une petite étude statistique sur l'incompatibilité des fonctions G des différentes commandes.

D'après cette recherche on a constaté les raisons d'existences de plusieurs commandes de programmations, de l'incompatibilité de ces commandes, de l'intégration entre les systèmes FAO et CAO et les composants d'un système FAO.

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail avait pour but initial de concevoir et générer le programme CN de fabrication d'un logo 3D du laboratoire de recherche intitulé *Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux* (IS2M) par l'utilisation des systèmes CAO, FAO ou CFAO disponibles. Pour cela, plusieurs solutions 3D ont été proposées.

Premièrement, une revue de l'état de l'art sur la programmation des MOCN, les commandes de programmation les plus utilisées et les systèmes CAO/ FAO a été effectuée. Elle montre la nécessité des systèmes CAO et FAO dans la conception et la génération de programme CN de fabrication face à la complexité des produits demandés et la diversité des commandes machines.

Ensuite quatre solutions 3D pour la réalisation du logo IS2M ont été proposées par l'utilisation des deux systèmes séparés SolidWorks (CAO) pour la conception et DelCAM (FAO) pour la génération de programme CN. Deux solutions sont avec motifs principaux en relief (une avec des interpolations linéaires verticales uniformes et l'autre avec des interpolations linéaires verticales non uniformes sur les splines de motifs principaux). Les deux autres sont avec motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte (une avec interpolations linéaires verticales uniformes et l'autre avec interpolations linéaires verticales non uniformes sur les splines de motifs principaux).

On remarque que de point de vue optimisation de fabrication il est préférable de réaliser la solution avec motifs principaux négatives par rapport à la surface de gravure de texte que la solution avec motifs principaux en relief. On remarque aussi que lors d'utilisation de deux systèmes CAO et FAO séparés on peut être confronté avec le problème de l'incompatibilité de format de fichier qui comporte la géométrie lors de transmission de ce dernier de système CAO au système FAO.

Puis quatre solutions 3D par l'utilisation du système CFAO intégré Rhinoceros/ RhinoCAM ont été proposées. Deux solutions sont avec motifs principaux en reliefs (une avec interpolations triangulaires et l'autre avec des interpolations circulaires sur les splines de motifs principaux). Les deux autres solutions sont avec motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte (une avec interpolations triangulaires et l'autre avec des interpolations circulaires sur les splines de motifs principaux).

On remarque que le système CFAO intégré permet de concevoir et de générer le programme CN de fabrication dans le même environnement ce qui évite le problème de l'incompatibilité de format.

Enfin la solution cinq a été choisie pour l'usinage car elle répond au cahier de charge et est réalisable avec les moyens disponibles (MOCN disponible) dans l'atelier de notre université.

A cause des contraintes des moyens disponibles l'utilisation des systèmes CFAO intégré a permis la modification sans difficulté de la géométrie et la génération du programme CN. La réalisation de ce logo a duré 19h et 32 min.

Enfin, d'un côté la réalisation de ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la programmation des MOCN, les systèmes CAO, FAO, CFAO. De l'autre côté ce projet a été très bénéfique de point de vue connaissances pratiques par l'utilisation de la MOCN du laboratoire de CN de notre université.

## Liste des abréviations

APT	Automatically Programmed Tools
BE	Bureau d'Etude
CL Data	Cutter Location Data
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
D	Dimension
DCN	Directeur de Commande Numérique
DXF	Drawing eXchange Format
EIA	Electronics Industry Association
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
IGES	Initial Graphic, Exchange Spécification
ISO	International Standard Organization
MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
MIT	Massachusetts Instituts of Technology
NURBS	B-Spline Rationnel Non Uniforme
STEP	Standard of Exchange of Product modél data
STL	STereoLitography

# Liste des figures

## Premier chapitre

Figure-1.1- Représentation en file de fer .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-1.2- Représentation en mode surfacique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-1.3- Représentation en mode solide.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-1.4- Rôle du Préprocesseur dans un système FAO.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-1.5- Rôle du processeur dans un système FAO .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-1.6- Rôle du post processeur dans un système FAO .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-1.7- Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Deuxième chapitre

Figure-2.1- Image 2D du logo IS2M.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.2- Dimensions de la géométrie 2D de base du logo .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.3- Présentation de la première solution S1 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.4- Désignation des entités de S1 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.5- Création de l'entité 1 de S1 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.6- Extrusion de l'entité 1 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.7- Création des entités 2 et 3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.8- Extrusion des entités 2 et 3.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.9- Création des entités 4 et 5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.10- Extrusion des entités 4 et 5.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.11- Création de texte.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.12- Enlèvement de matière de contour de texte .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.13- Edition des couleurs des surfaces.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.14- Fenêtre de dialogue brut.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.15- Brut S1 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.16- Vitesse d'avance et de coupe .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.17- Déplacement rapide en hauteur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.18- Définition de type de commande machine.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-2.19- Définition d'outil fraise deux tailles .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

Figure-2.20- Définition d'outil de la gravure ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.21- Fenêtre de dialogue de différentes opérations ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.22- Fenêtre de dialogue d'opération ébauche 3D ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.23- Fenêtre de dialogue de parcours d'outil balayage 3 axes ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.24- Parcours d'outil d'opération balayage 3 axes S1 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.25- Résultat de simulation d'opération balayage 3 axes. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.26- Fenêtre de dialogue d'opération de finition ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.27- Fenêtre de dialogue de parcours d'outil balayage finition ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.28- Parcours d'outil d'opération balayage finition ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.29- Résultat de simulation d'opération balayage finition. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.30- Fenêtre de dialogue limitation de parcours d'outil ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.31- Limitation de parcours d'outil de la gravure ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.32- Résultat de Simulation de parcours d'outil de la S1 .. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.33- Présentation de la deuxième solution S2 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.34- Enlèvement de matière des entités 2, 3, 4 et 5 de S2 . **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.35- Définition du brut S2 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.36- Parcours d'outil d'ébauche des parties larges S2 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.37- Parcours d'outil d'ébauche des parties restreintes S2 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.38- Parcours d'outil d'opération de finition des parties larges S2 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.39- Parcours d'outil de finition des parties restreintes S2 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-2.40- Résultat de parcours d'outil de la deuxième solution S2 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

### **Troisième chapitre**

Figure-3.1- Présentation de la troisième solution S3 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.2- Désignation des entités de S3 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.3- Création de plan 3D-1 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.4- Création de rectangle 1 S3 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.5- Création de l'entité 1 S3 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.6- Création de rectangle 2 S3 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.7- Création de l'entité 2 S3 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-3.8- Création de rectangle 3 S3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.9- Création de l'entité 3 S3.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.10- Création de rectangle 4 S3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.11- Création de l'entité 4 S3.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.12- Définition du brut S3.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.13- Parcours d'outil d'ébauche S3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.14- Parcours d'outil de la passe de finition S3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.15- Parcours d'outil de gravure S3 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.16- Présentation de la quatrième solution S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.17- Désignation des entités de S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.18- Création de plan 3D-2 S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.19- Esquisse de l'entité 2 S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.20- Enlèvement de matière de l'entité 2 S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.21- Esquisse de l'entité 3 S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.22- Enlèvement de matière de l'entité 3 S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.23- Esquisse de l'entité 4 S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.24- Enlèvement de matière de l'entité 4 S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.25- Esquisse de l'entité 5 S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.26- Enlèvement de matière de l'entité 5 S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.27- Brut du S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.28- Parcours d'outil d'opération d'ébauche S4.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.29- Parcours d'outil d'opération de finition des grandes parties S4 ...	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.30- Parcours d'outil d'opération de finition des parties restreintes S4	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-3.31- Parcours d'outil de la gravure de texte S4 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Quatrième chapitre

Figure-4.1- Présentation de la cinquième solution S5.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.2- Création de rectangle S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.3- Extrusion de rectangle S5.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.4- Création des courbes spline S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.5- Création du texte S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

Figure-4.6- Création de l'entité à extrudé S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.7- Extrusion de l'arc selon l'entité1 S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.8- Extrusion de l'arc selon l'entité2 S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.9- Gravure de texte S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.10- Définition de la machine S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.11- Définition de la commande S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.12- Orientation de la géométrie S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.13- Définition du brut S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.14- Définition d'origine programme S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.15- Position pièce/brut S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.16- Définition d'outil Flat Mill S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.17- Définition d'outil de gravure S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.18- Fenêtre de dialogue Horizontale Roughing S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.19- Définition de la vitesse d'avance et de coupe S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.20- Définition de plan de sécurité S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.21- Définition de la profondeur de passe S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.22- Parcours d'outil d'opération d'ébauche S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.23- Résultat de simulation d'opération d'ébauche S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.24- Fenêtre de dialogue parallèle finition.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.25- Parcours d'outil parallèle finition S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.26- Parcours d'outil horizontal finition S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.27- Résultat de simulation de passe de finition S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.28- Parcours d'outil V-Craving S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.29- Parcours d'outil Engraving S5 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.30- Résultat de simulation de parcours d'outil de la gravure S5..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.31- Informations de parcours d'outil S5.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.32- Présentation de la sixième solution S6.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.33- Création de l'élément à extrudé S6 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.34- Extrusion de l'arc S6 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.35- Enlèvement de matière S6.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.36- Définition du brut S6.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.37- Outil Ball Mill S6.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-4.38- Création des courbes des parties larges S6.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

Figure-4.39- Parcours d'outil between two curve des parties larges S6 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.40- Création des courbes des parties restreintes S6.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.41- Parcours d'outil between two curve des parties restreintes S6 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.42- Résultat de parcours d'outil de la sixième solution S6 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.43- Information de parcours d'outil S6 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.44- Présentation de la septième solution S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.45- Création de l'entité a extrudé S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.46- Extrusion de triangle S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.47- Définition du brut S7.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.48- Parcours d'outil d'opération d'ébauche S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.49- Parcours d'outil parallèle finition S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.50- Parcours d'outil horizontal finition S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.51- Résultat de simulation de la passe de finition S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.52- Résultat de parcours d'outil de la septième solution S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.53- Information de parcours d'outil S7 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.54- Présentation de la huitième solution S8 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.55- Création de l'élément a extrudé S8 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.56- Géométrie de la huitième solution S8 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.57- Définition du brut S8.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.58- Création des courbes de parcours d'outil S8.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.59- Parcours d'outil between 2 curves S8 .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.60- Gravure du texte S8.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-4.61- Information de parcours d'outil S8 .....**Erreur ! Signet non défini.**

## **Cinquième chapitre**

Figure-5.1- Solution à réaliser.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-5.2- Tambour porte-outil .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-5.3- Fixation de la plaque par les pinces .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-5.4- Traçage du brut dans la plaque d'aluminium .....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-5.5- Outil étalon (T3).....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure-5.6- Outil à doit tactile (T5).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.7- Décalage d'origine machine (M) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.8- Outil T8 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.9- Géométrie de l'outil T8 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.10- Outil T2 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.11- géométrie de l'outil T2.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.12- Résultat de simulation du programme CN .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure-5.13- Pièce usinée pour le logo IS2M .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

# Liste des tableaux

## Premier chapitre

Tableau-1.1- Etude statistique des codes préparatoires en commande SINUMERIK... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau-1.2- Etude statistique des codes préparatoires en commande FANUC **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau-1.3- Etude statistique des codes préparatoires en commande NUM.... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau-1.4- Etude statistique des codes préparatoires en commande FAGOR **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau-1.5- Etude statistique des codes préparatoires en commande HEIDENHAIN **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau-1.6- Interprétation des fonctions G ISO en différentes commandes .... **Erreur ! Signet non défini.**

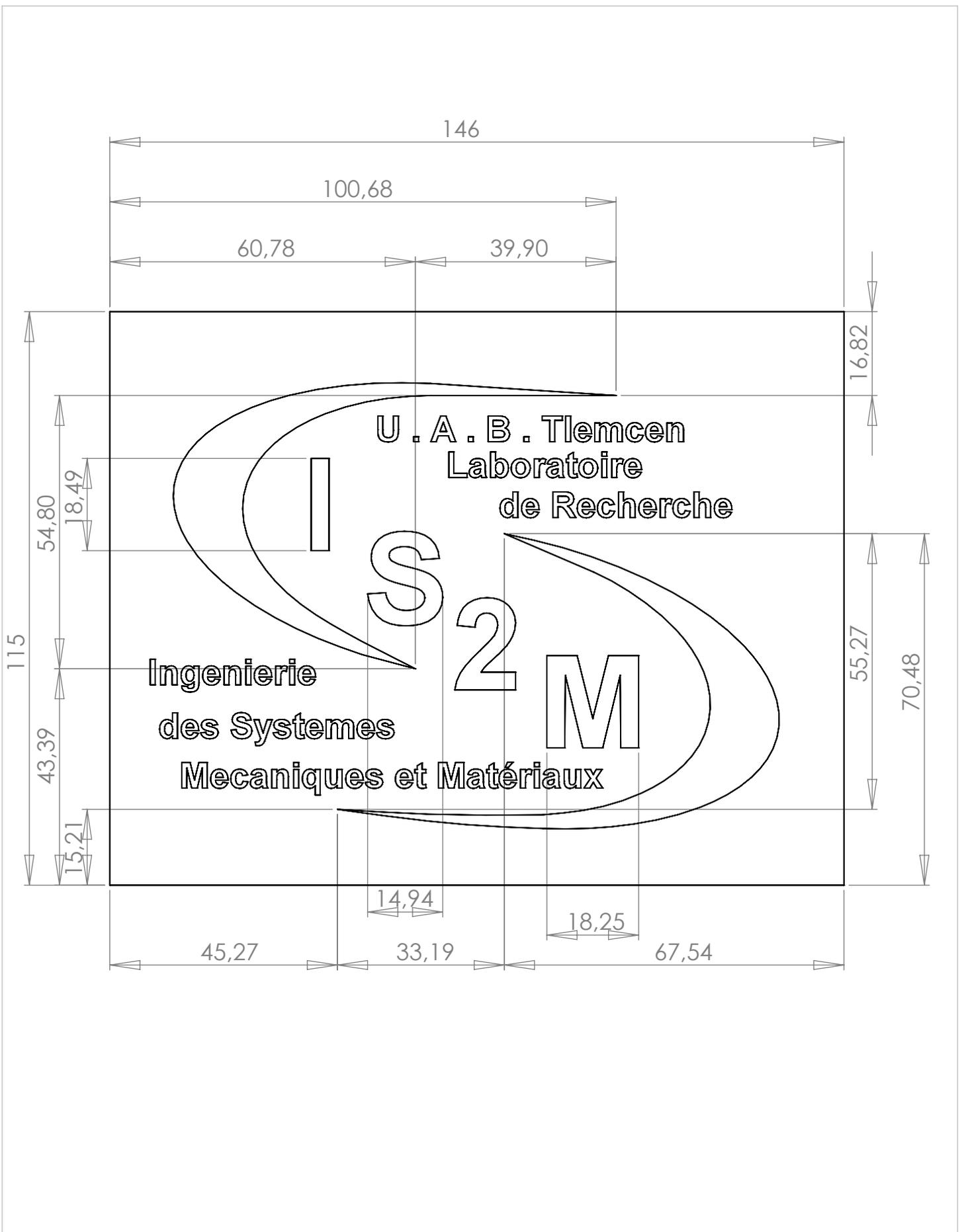
## Cinquième chapitre

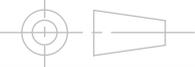
Tableau-5.1- Exécution du programme CN ..... **Erreur ! Signet non défini.**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. Prod'homme, 1995, commande numérique des machines-outils, technique de l'ingénieur, document B 7 130.
- [2] R. Laguionie, 2007, programmation avancée des machines-outils, mémoire de master, Université de Nantes, France.
- [3] J. Benyounes, 2004, fabrication assistée par ordinateur, note de cours, Université de Tunis, Tunis.
- [4] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Programmation\\_de\\_commande\\_num%C3A9rique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Programmation_de_commande_num%C3A9rique), 2012.
- [5] F. Sebaa, 2004, Contribution à l'adaptation des instructions d'usinage code ISO pour différents commandes CN a travers un système CFAO, mémoire de magister Université de Tlemcen, Algérie.
- [6] <https://www.siemens.be/in/microsite/50yearsnumerik/fr/innovations>, 2012.
- [7] EMCO, 2003, Description de logiciel EMCO WinCNC, série SINUMERIK 810/820, Autriche.
- [8] NUM, 1996, Manuel de programmation NUM, France.
- [9] HEIDENHAIN, 2010, Manuel d'utilisation CNC 4290, V7.1.2010, Allemand.
- [10] HAIDENHAIN, 2007, Manuel de l'utilisateur Mill plus IT V530. Allemand.
- [11] <http://faculty.etsu.edu/hemphill/entc3710/heid-op/h-chp3.htm>, 2012.
- [12] A. Cheikh, N. Cheikh, 2011, cours de CFAO1, Université de Tlemcen, Algérie.
- [13] X. Xun, 2009, Integrating Advanced Computer-Aided Design Manufacturing and Numerical Control, university Auckland, New Zélande.
- [14] P. Blain, 1995, CAO et méthodologie de conception, technique de l'ingénieur, document B 2 810.
- [15] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication\\_assistée\\_par\\_ordinateur](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication_assistée_par_ordinateur), 2012.
- [16] P. Gillet, 1995, conception assistée par ordinateur, technique de l'ingénieur, document T 7 300.
- [17] SolidWorks, 2004, Formation SolidWorks académique.

- [18] <http://www.powermill.com/languages/fr>, 2012.
- [19] <http://www.rhino3d.digicad.fr/descriptif.htm>, 2012.
- [20] Rhinocéros, 2004, Rubrique d'aide de logiciels Rhinocéros4.0.
- [21] <http://www.rhinocam.com>, 2012.
- [22] EMCO, 2001, Description de logiciel WinNC SINUMERIK 810/820M, V13.21, Autriche.



	Université Abou Bekr BALKAID- Tlemcen	KACIMI Ismail
Echelle 1:1	<h1 style="text-align: center;">Logo IS2M</h1>	ISM/P M2
1		02/07/2012

## Résumé

Ce travail avait pour but initial de concevoir et générer le programme CN de fabrication d'un logo 3D du laboratoire de recherche intitulé *Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux* (IS2M) par l'utilisation des systèmes CAO, FAO ou CFAO disponibles. Pour cela, huit solutions 3D ont été proposées en utilisant soit deux systèmes CAO (SolidWorks) et FAO (DelCAM) séparés soit un système CFAO intégré (Rhinoceros/RhinoCAM). Ces solutions sont comme suit :

- ✓ deux solutions une avec motifs principaux en relief et l'autre avec motifs négatifs par rapport à la surface de gravure de texte et tous les deux ayant des interpolations verticales linéaires uniformes sur les splines des motifs principaux sont réalisées avec SolidWorks et DelCAM,
- ✓ deux solutions une avec motifs principaux en reliefs et l'autre avec motifs négatifs par rapport à la surface de gravure de texte et tous les deux ayant des interpolations linéaires non uniformes sur les splines des motifs principaux sont réalisées avec SolidWorks et DelCAM,
- ✓ deux solutions avec motifs principaux en reliefs l'une ayant des interpolations triangulaires et l'autre circulaires sur les splines des motifs principaux sont réalisées avec Rhinoceros/RhinoCAM,
- ✓ deux autres solutions avec motifs principaux négatifs par rapport à la surface de gravure de texte une ayant des interpolations triangulaires et l'autre circulaires sur les splines des motifs principaux sont réalisées avec Rhinoceros/RhinoCAM.

Enfin la cinquième solution a été choisie et modifiée en fonction des moyens disponible à l'atelier (Fraiseuse CNC et outillage) puis a été réalisée après adaptation à la commande SINUMERIK de la fraiseuse PC Mill 155.

**Mots clés :** Programmation des MOCN, Commande Machine, Incompatibilité, CAO, FAO, CFAO.

# Abstract

The purpose of this work was initially to design and generate the Numerical Control program for manufacturing of the 3D logo of the research laboratory entitled “*Ingénierie des Systèmes Mécaniques et Matériaux*” (IS2M) by the use of available CAD, CAM or integrated CAD/CAM systems. For this reason, eight 3D solutions were proposed by using either two separate CAD (SolidWorks) and CAM (DelCAM) systems or the integrated CAD/CAM (Rhinoceros/RhinoCAM) system. These solutions are as follows:

- ✓ two solutions one with main positive patterns and the other with main negative patterns in regards to the text engraving surface and both having uniform linear vertical interpolations on the main pattern splines are developed with SolidWorks and DelCAM,
- ✓ two solutions one with main positive patterns and the other with main negative patterns in regards to the text engraving surface and both having non uniform linear interpolations on the main pattern splines are developed with SolidWorks and DelCAM,
- ✓ two solutions one with main positive patterns one having triangular interpolations and the other circular ones on the main pattern splines are developed with Rhinoceros/RhinoCAM,
- ✓ two other solutions with main negative main pattern one having triangular interpolations and the other circular ones on the main pattern splines are developed with Rhinoceros/RhinoCAM.

Finally the fifth solution was selected and modified according to the shop floor means available (PC Mill CNC machine and tooling), then was machined after adaptation to the SINUMERIK machine control of the PC Mill 155.

**Key words:** CNC programming, Machine controls, incompatibility, CAD, CAM, CAD/CAM.

## ملخص

غاية هذا العمل هو تصميم و استخراج برنامج التحكم العددي لصناعة شعار ثلاثي الابعاد لمخبر البحث العلمي المسمى هندسة الانظمة الميكانيكية و المواد باستعمال انظمة التصميم و الصناعة بمساعدة الاعلام الألى و لهذا افترضنا ثمانية حلول اما باستعمال نظامين لا تحكم و الصناعة بمساعدة الاعلام الألى منفصلين او باستعمال نظام لا تحكم و الصناعة بمساعدة الاعلام الألى متجانس. هذه الحلول هي كالتالي

حلان واحد بأشكال رئيسية موجبة و الاخر بأشكال رئيسية سالبة بالنسبة لسطح كتابة النص و لكليهما سحب عمودي مستقيم منتظم على الأشكال الرئيسية انجزا ب SolidWorks و DelCAM.

حلان واحد بأشكال رئيسية موجبة و الاخر بأشكال رئيسية سالبة بالنسبة لسطح كتابة النص و لكليهما سحب عمودي مستقيم غير منتظم على الأشكال الرئيسية انجزا ب SolidWorks و DelCAM.

حلان بأشكال رئيسية موجبة واحد بسحب مثلثي على الأشكال الرئيسية و الاخر بسحب دائري على الأشكال الرئيسية انجزا ب Rhinoceros/ RhinoCAM.

حلان بأشكال رئيسية سالبة بالنسبة لسطح كتابة النص واحد بسحب مثلثي على الأشكال الرئيسية و الاخر بسحب دائري على الأشكال الرئيسية انجزا ب Rhinoceros/ RhinoCAM.

في النهاية اخترنا الحل الخامس و عدلناه حسب الوسائل المتوفرة في الورشة (آلة التفريز و الوسائل) ثم قمنا بالصناعة بعد التكيف مع التحكم SINUMERIK لآلة التفريز PC Mill 155.

**كلمات مفتاحية :** برمجة الات التحكم العددي, تحكم الآلات, عدم التوافق, التصميم والصناعة بمساعدة الاعلام الألى.