



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN-
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

KAHOUADJI *M^{ed}* Amin

THÈME

**ETUDE COMPARATIVE DES STRATEGIES
D'USINAGE CN : APPLICATION AU LOGO DE
L'UNIVERSITE DE TLEMCEN**

Soutenu en Octobre 2013

Devant le jury:

Président	Mr. HAMOU Saïd	Professeur	UABB Tlemcen
Encadreur	Mr. CHEIKH Abdelmadjid	Professeur	UABB Tlemcen
Examineur	Mr. SEBAA Fethi	Maitre de conférences B	UABB Tlemcen
Examineur	Mme. CHEIKH Nassima	Maitre assistante A	UABB Tlemcen

Année universitaire 2012-2013

RESUME

La stratégie d'usinage est une technique pour usiner une forme, ou encoure le mouvement de l'outil dans une pièce. Ce travail a pour objectif de faire une étude comparative par simulation de l'usinage du logo de l'université de Tlemcen par l'utilisation de différentes stratégies d'usinage du système intégré CAM Works/SolidWorks afin de déterminer la stratégie optimale.

Les stratégies étudiées sont comme suit :

- La première: *Plunge Rough* consiste en une succession de plongées axiales, l'outil peut couper dans la direction Z.
- La deuxième : *Spirale* génère un parcours d'outil en spirale depuis un point donné. L'outil se déplace dans un motif en spirale sur la base du centre de gravité de ces régions.
- La troisième : *Zigzag* c'est usinage horizontale une seule direction avec deux sens (usinage bidirectionnelle), l'outil se déplace en ligne droite.
- La quatrième : *Zig* c'est usinage horizontale une seule direction avec un seule sens (usinage unidirectionnelle).
- La cinquième : *Pocket* c'est l'usinage horizontal, l'outil se déplace dans un motif parallèle (parallèle au plan XY)

Les paramètres de comparaisons sont le temps et cout d'usinage, la taille du fichier programme, la distance parcourue par l'outil et le nombre de ligne du programme.

L'étude comparative des stratégies d'usinages nous a permis de déterminer la stratégie d'usinage optimale.

Mots clés: Programmation des MOCN, CAO, FAO, CFAO, Stratégie d'usinage.

ABSTRACT

The machining strategy is a technique to form a machining, or incur the movement of the tool into a work piece. This work aims to conduct a comparative study by simulation of the machining of the logo the University of Tlemcen by the use of different strategies machining by system integrated CAMWorks/SolidWorks to determine the optimal strategy.

The strategies discussed are as follows:

- First: Plunge Rough consists of a series of axial dives, the tool can cut in the Z direction
- The second: The Spiral machining strategy enables you to generate a 3D spiral tool path over model. The tool path is generated by projecting a planar spiral on the model.
- Third: Zigzag is horizontal machining one direction with two-way (bidirectional machining), the tool moves in a straight line.
- Fourth: Zig is horizontal machining one direction with a single direction (unidirectional machining).
- Fifth: Pocket is the horizontal machining, the tool moves in a parallel pattern (parallel to the XY plane)

The parameters of comparison are the time and cost of processing, the size of the program file, the distance traveled by the tool and the line number of the program.

The result of this comparison shows that overall the most efficient machining strategy is the fifth (Pocket).

Key works: CNC programming, CAD, CAM, CAD, CAM, Machining strategy.

ملخص

إستراتيجية التصنيع هي تقنية لتصنيع، أو حركة أداة أثناء التصنيع. هذا العمل يهدف لإجراء دراسة مقارنة صورية لتصنيع شعار جامعة تلمسان من خلال استخدام استراتيجيات مختلفة بمساعدة نضام الإعلام الآلي المتجانس CAM Works/SolidWork لتحديد الإستراتيجية المثلى. الإستراتيجيات المدروسة هي كما يلي

- أولاً: التخشين بالغس يتكون من سلسلة من الغس المحوري، يمكن للأداة القطع في الاتجاه Z
 - ثانياً: لولبية بإنشاء الأداة مسار لولبي من نقطة معينة. الأداة تتحرك بشكل لولبي على أساس مركز النقل من هذه المناطق
 - ثالثاً: متعرجة هي تصنيع أفقي في وجهة واحدة مع اتجاهين (تصنيع ثنائي الاتجاه)، تنتقل أداة في خط مستقيم.
 - رابعاً: منعرج هي تصنيع الأفقي في وجهة واحدة (تصنيع أحادي الاتجاه)
 - خامساً: متوازية تنتقل أداة في نمط مواز (موازية لمعلم XY)
- عناصر هذه المقارنة هي الوقت التصنيع وتكلفته، حجم ملف البرنامج، مسافة المقطوعة بواسطة أداة ورقم السطر البرنامج. سمحت لنا دراسة المقارنة بين مختلف إستراتيجية التصنيع لتحديد الإستراتيجية الأمثل.

كلمات مفتاحية: برمجة آلات التحكم العددي، التصميم والصناعة بمساعدة الإعلام الآلي، إستراتيجية التصنيع.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie, à savoir mon père et ma mère. Je leur dis merci et mille fois merci pour m'avez tant donné et encouragé.

A mes frères Hichame, Nadir et mes sœurs ainsi que leurs enfants.

A toutes la famille KAHOUADJI

A tous ceux qui m'ont aidé spécialement, KACIMI Ismail et MAROUDI Mourad qui m'avez aidé beaucoup pendant ce projet.

Egalement, à tous mes amis de parcours de master dont j'apprécie beaucoup l'amitié notamment MEBROUKI Mohammed, AHMED Ammar Akkacha, KHAOUANE Ismail, BENBEKHTI Ahmed, MECHERNENE Abderrahim.

A tous qui ont contribués de près ou de loin à l'achèvement de ce modeste travail.

KAHOUADJI M^{ed} Amin

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce 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.

Je remercie également monsieur HAMOU Saïd professeur au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- Université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen), de m'avoir honorée en acceptant de présider le jury.

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) et Madame CHEIKH Nassima maitresse assistante au département de génie mécanique (faculté des sciences de l'ingénieur- Université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen) pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'en examiner le contenu.

Nos remerciement aussi tous les enseignant qui ont contribué à notre formation, et à tous mes amis de master.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitudes et respects.

KAHOUADJI M^{ed} Amin

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES ABREVIATION.....	X
RESUME.....	XI
ABSTRACT.....	XII
ملخص.....	XIII

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

CHAPITRE -1- Etat de l'art sur la commande numérique et la programmation CN assistée par ordinateur

1.1. Introduction	2
1.2. Historique.....	2
1.3. Définition de la machine à commande numérique.....	3
1.4. Composition d'une MOCN	4
1.4.1. Partie opérative	4
1.4.2. Partie commande.....	4
1.5. Productivité et flexibilité.....	5
1.6. Domaine d'utilisation.....	6
1.7. Méthodes de Programmation des MOCN.....	7
1.7.1. Programmation Manuelle.....	7
1.7.1.1. Programmation en code ISO ou code G	7
1.7.1.2. Structure d'un programme.....	7
1.7.1.3. Différentes adresses utilisées.....	9
1.7.2. Programmation CN Assistée par Ordinateur	9
1.7.2.1. Programmation Automatique par langage symbolique	10
1.7.2.2. Programmation CN Assistée par système FAO	11
1.8. Axes et repères	13
1.9. Origines des systèmes de coordonnées	14

1.10. Conclusion.....	15
-----------------------	----

CHAPITRE -2- Etude des stratégies d’usinage des systèmes FAO et CFAO

2.1. Introduction	16
2.2. Présentation des trajectoires à motifs	16
2.2.1. Application à l’usinage trochoïdal et au tréfilage	16
2.2.2. Présentation de l'usinage trochoïdal	16
2.2.3. Présentation du tréfilage	17
2.3. SolidCAM	18
2.3.1. Définition SolidCAM	18
2.3.2. Stratégies d’usinage	19
2.3.2.1. Ebauche de Contour	20
2.3.2.2. Ebauche de repos	20
2.3.2.3. Usinage hélicoïdal	21
2.3.2.4. Usinage horizontal	22
2.3.2.5. Usinage linéaire	22
2.3.2.6. Usinage radial	23
2.3.2.7. Usinage en spiral	23
2.4. CAMWorks	24
2.4.1. Avantages CAM Works.....	24
2.4.2. Différentes stratégies d’usinage pour CAM Works	25
2.4.2.1. Spiral Out.....	25
2.4.2.2. Spiral In	25
2.4.2.3. Zigzag	26
2.4.2.4. Zig.....	26
2.4.2.5. Pocket In	26
2.4.2.6. Pocket Out	27
2.4.2.7. Plunge Rough	27
2.5. Mastercam	27
2.5.1. Différentes stratégies d’usinage pour Mastercam	28
2.5.1.1. Poche	28
2.5.1.2. Contournage.....	29

2.6.	Rhinocéros.....	30
2.6.1.	Avantages de Rhino CAM.....	30
2.6.2.	Différentes stratégies d'usinage.....	30
2.6.2.1.	Ebauche horizontale	30
2.6.2.2.	Ebauche plongeon.....	31
2.6.2.3.	Usinage radial	31
2.6.2.4.	Usinage en spirale	32
2.7.	Paramètre des stratégies d'usinages	33
2.7.1.	Offset.....	33
2.7.2.	Step down.....	33
2.7.3.	Max. angle de la rampe	33
2.7.4.	Step over	34
2.7.5.	Center.....	34
2.7.6.	Clockwise direction, Counter clockwise direction	35
2.7.7.	Machining pass, linking pass	35
2.7.7.1.	Bidirectionnelle	35
2.7.7.2.	Unidirectionnelle	36
2.8.	Conclusion.....	36

CHAPITRE -03- FAO du logo UABT par différente stratégie de CAMWorks

3.1.	Introduction	37
3.2.	Présentation du logo et esquisses 2D	37
3.3.	Présentation de l'outil CAO	38
3.3.1.	SolidWorks 2007	39
3.3.2.	Procédures de conceptions des géométries.....	39
3.4.	Présentation de l'outil FAO	46
3.4.1.	CAMWORKS 2007.....	46
3.4.2.	Procédure CAMWORKS fraisage.....	47
3.5.	Différentes stratégie d'usinage.....	55
3.5.1.	Stratégie une (Pocket In)	56
3.5.2.	Stratégie deux (Pocket Out).....	57
3.5.3.	Stratégie trois (Zig).....	58

3.5.4. Stratégie quatre (Zigzag)	59
3.5.5. Stratégie cinq (Spiral In).....	59
3.5.6. Stratégie six (Spiral Out)	60
3.5.7. Stratégie sept (Plunge Rough)	61
3.6. Conclusion.....	64

CHAPITRE -04- Etude comparative des stratégies d'usinage

4.1. Introduction	65
4.2. Comparaison entre les différentes stratégies	65
4.2.1. Comparaison des différentes stratégies du point de vue temps d'usinage.....	67
4.2.2. Comparaison des différentes stratégies du point de vue du nombre de lignes du programme CN	68
4.2.3. Comparaison des différentes stratégies du point de vue de la taille de fichier	68
4.2.4. Comparaison des différentes stratégies du point de vue de la distance du parcours del'outil	Erreur ! Signet non défini.
4.2.5. Comparaison des différentes stratégies du point de vue du temps d'usinage.....	69
4.3. Choix de la stratégie optimale	71
4.4. Conclusion.....	73
CONCLUSION GENERALE	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
ANNEXE A	77
ANNEXE B.....	78
ANNEXE C.....	79
ANNEXE D	80
ANNEXE E.....	81
ANNEXE F	82
ANNEXE G	83

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE -01-

Figure 1.1. Première machine-outil à commande numérique	2
Figure 1.2. Modèle de la structure d'une machine-outil	3
Figure 1.3. Composition d'une M.O.C.N.....	5
Figure 1.4. Productivité et flexibilité des M.O.C.N.	5
Figure 1.5. Domaine d'utilisation des M.O.C.N.	6
Figure 1.6. Structure d'un bloc de programme d'usinage.....	8
Figure 1.7. Rôle du Préprocesseur dans un système FAO	11
Figure 1.8. Rôle du processeur dans un système FAO	12
Figure 1.9. Rôle du post processeur dans un système FAO	12
Figure 1.10. Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO	13
Figure 1.11. Axes primaires	14
Figure 1.12. Axes primaires et secondaires.....	14

CHAPITRE -02-

Figure 2.1. Différente stratégie d'usinage	16
Figure 2.2. Trajectoire outil trochoïdale et pièce usinée	17
Figure 2.3. Mouvement trochoïdal et trajectoire trochoïdale	17
Figure 2.4. Trajectoire outil de tréfilage et pièce usinée	18
Figure 2.5. Principe et paramètres influents en tréfilage	18
Figure 2.6. Différente stratégie pour SolidCAM	19
Figure 2.7. Stratégie ébauche de contour	20
Figure 2.8. Une opération d'ébauche sans repos	20
Figure 2.9. Une opération d'ébauche avec repos	21
Figure 2.10. Stratégie d'usinage hélicoïdal.....	21
Figure 2.11. Stratégie d'usinage horizontal	22
Figure 2.12. Stratégie d'usinage linéaire	22
Figure 2.13. Stratégie d'usinage radial	23

Figure 2.14. Stratégie d'usinage en spirale	23
Figure 2.15. Parcours d'outil en Spiral Out.....	25
Figure 2.16. Parcours d'outil en Spiral In.....	25
Figure 2.17. Parcours d'outil en Zigzag	26
Figure 2.18. Parcours d'outil en Zig.....	26
Figure 2.19. Parcours d'outil en Pocket In	26
Figure 2.20. Parcours d'outil en Pocket Out.....	27
Figure 2.21. Parcours d'outil en Plunge Rough.....	27
Figure 2.22. Poche unidirectionnelle (zig) et en zigzag	28
Figure 2.23. Poche en Spiral	28
Figure 2.24. Poche par spirale en morphisme	29
Figure 2.25. Poche et îlots de différentes hauteurs, dépouillées	29
Figure 2.26. Contournage hélicoïdal.....	29
Figure 2.27. Contournage 3D.....	29
Figure 2.28. Reprise de contour	29
Figure 2.29. Ebauche horizontale	31
Figure 2.30. Ebauche plongeon	31
Figure 2.31. Usinage radial	32
Figure 2.32. Usinage en spirale	32
Figure 2.33. Paramètre offset sur stratégie d'usinage horizontal	33
Figure 2.34. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage hélicoïdal	33
Figure 2.35. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage Radial	34
Figure 2.36. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage Spiral	34
Figure 2.37. Une trajectoire d'outil en spirale dans le sens horaire et dans le sens inverse	35
Figure 2.38. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage zigzag	35
Figure 2.39. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage zig	36

CHAPITRE -03-

Figure 3.1. Photo du logo de l'université de Tlemcen	37
Figure 3.2. Dimensions de la géométrie 2D de base du logo	38
Figure 3.3. Esquisse un rectangle.....	40
Figure 3.4. Rectangle extrudé	40
Figure 3.5. Eléments composants de contour externe du logo.....	41

Figure 3.6. Extrusion du contour externe du logo.....	42
Figure 3.7. Esquisse à répéter.....	42
Figure 3.8. Répétition circulaire d'esquisse.....	43
Figure 3.9. Esquisses du minaret, l'étoile.....	43
Figure 3.10. Esquisse des contours internes.....	44
Figure 3.11. Vue 3D après extrusion des contours.....	44
Figure 3.12. Esquisses livre et les arcs.....	45
Figure 3.13. Vue 3D après enlèvement de matière.....	45
Figure 3.14. Vue 3D du logo de l'université de Tlemcen.....	46
Figure 3.15. Barre d'outils CAM Works.....	47
Figure 3.16. Ouverture le dessin du logo de l'université de Tlemcen.....	48
Figure 3.17. L'arbre des formes.....	48
Figure 3.18. Génération des formes usinées.....	49
Figure 3.19. L'arbre des opérations.....	49
Figure 3.20. Génération du plan d'opération.....	50
Figure 3.21. Choisir de la machine.....	51
Figure 3.22. Définir la pièce brute.....	51
Figure 3.23. Définie les origines.....	52
Figure 3.24. Choix de l'outil de coupe.....	53
Figure 3.25. Fenêtre des paramètres CN.....	53
Figure 3.26. Générer le fichier ISO d'usinage.....	54
Figure 3.27. Les différent stratégie d'usinage.....	56
Figure 3.28. Parcours d'outil d'usinage Pocket In.....	56
Figure 3.29. Parcours d'outil d'usinage Pocket Out.....	57
Figure 3.30. Parcours d'outil d'usinage en Zig.....	58
Figure 3.31. Parcours d'outil d'usinage en Zigzag.....	59
Figure 3.32. Parcours d'outil d'usinage Spiral In.....	60
Figure 3.33. Parcours d'outil d'usinage Spiral Out.....	61
Figure 3.34. Parcours d'outil d'usinage Plunge Rough.....	62
Figure 3.35. Le résultat de simulation.....	63
Figure 3.36. Le résultat de simulation pour stratégie Plunge Rough.....	63

CHAPITRE -04-

Figure 4.1. Comparaison du temps d'usinage de la simulation	67
Figure 4.2. Comparaison du nombre des lignes du programme CN	68
Figure 4.3. Comparaison de tailles du fichier	68
Figure 4.4. Comparaison de la distance du parcours d'outil	69
Figure 4.5. Comparaison du cout d'usinage.....	70
Figure 4.6. Comparaison entre la distance du parcours d'outil et le temps d'usinage.....	72
Figure 4.7. Comparaison entre le temps d'usinage et la taille du fichier	72

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE -01-

Tableau 1.1. Différentes adresses utilisées.....	9
Tableau 1.2. Origines des systèmes de coordonnées	15

CHAPITRE -03-

Tableau 3.1. Paramètres du parcours d'outil d'usinage Pocket In	57
Tableau 3.2. Paramètres du parcours d'outil d'usinage Pocket Out.....	58
Tableau 3.3. Paramètres du parcours d'outil d'usinage en Zig	59
Tableau 3.4. Paramètres du parcours d'outil d'usinage en Zigzag.....	59
Tableau 3.5. Paramètres du parcours d'outil d'usinage Spiral In.....	60
Tableau 3.6. Paramètres du parcours d'outil d'usinage Spiral Out	61
Tableau 3.7. Paramètres du parcours d'outil d'usinage Plunge Rough.....	62

CHAPITRE -04-

Tableau 4.1. Traduction anglais-français	65
Tableau 4.2. Comparaison entre les différentes stratégies	66
Tableau 4.3. Cout d'usinage des différentes stratégies	70
Tableau 4.4. Choix de la stratégie optimale	71

LISTE DES ABREVIATIONS

AFR	Automatic Feature Recognition/ reconnaissance automatique des formes
APT	Automatically Programmed Tools
BE	Bureau d'Etude
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CFAO	Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CL Data	Cutter Location Data
CL File	Cutter Location File
CN	Commande Numérique
CNC	Commande Numérique par Calculateur
D	Dimension
DCN	Directeur de Commande Numérique
DWG	DraWinG
DXF	Drawing eXchange Format
EIA	Electronics Industry Association
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
IFR	Interactive Feature Recognition / reconnaissance interactive des formes
IGES	Initial Graphic, Exchange Spécification
ISO	International Standard Organization
MIT	Massachusetts Instituts of Technology
MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
NURBS	B-Spline Rationnel Non Uniforme
STEP	Standard of Exchange of Product modél data
STL	STereoLitography

RESUME

La stratégie d'usinage est une technique pour usiner une forme, ou encourent le mouvement de l'outil dans une pièce. Ce travail a pour objectif de faire une étude comparative par simulation de l'usinage du logo de l'université de Tlemcen par l'utilisation de différentes stratégies d'usinage du système intégré CAMWorks/SolidWorks afin de déterminer la stratégie optimale.

Les stratégies étudiées sont comme suit :

- La première: *Plungé Rough* consiste en une succession de plongées axiales, l'outil peut couper dans la direction Z.
- La deuxième : *Spirale* génère un parcours d'outil en spirale depuis un point donné. L'outil se déplace dans un motif en spirale sur la base du centre de gravité de ces régions.
- La troisième : *Zigzag* c'est usinage horizontale une seule direction avec deux sens (usinage bidirectionnelle), l'outil se déplace en ligne droite.
- La quatrième : *Zig* c'est usinage horizontale une seule direction avec un seul sens (usinage unidirectionnelle).
- La cinquième : *Pocket* c'est l'usinage horizontal, l'outil se déplace dans un motif parallèle (parallèle au plan XY)

Les paramètres de comparaisons sont le temps et cout d'usinage, la taille du fichier programme, la distance parcourue par l'outil et le nombre de ligne du programme.

L'étude comparative des stratégies d'usinages nous a permis de déterminer la stratégie d'usinage optimale.

Mots clés : Programmation des MOCN, CAO, FAO, CFAO, Stratégie d'usinage.

ABSTRACT

The machining strategy is a technique to form a machining, or incur the movement of the tool into a work piece. This work aims to conduct a comparative study by simulation of the machining of the logo the University of Tlemcen by the use of different strategies machining by system integrated CAMWorks/SolidWorks to determine the optimal strategy.

The strategies discussed are as follows:

- First: Plunge Rough consists of a series of axial dives, the tool can cut in the Z direction
- The second: The Spiral machining strategy enables you to generate a 3D spiral tool path over model. The tool path is generated by projecting a planar spiral on the model.
- Third: Zigzag is horizontal machining one direction with two-way (bidirectional machining), the tool moves in a straight line.
- Fourth: Zig is horizontal machining one direction with a single direction (unidirectional machining).
- Fifth: Pocket is the horizontal machining, the tool moves in a parallel pattern (parallel to the XY plane)

The parameters of comparison are the time and cost of processing, the size of the program file, the distance traveled by the tool and the line number of the program.

The comparative study of machining strategies allowed us to determine the optimal machining strategy.

Key works: CNC programming, CAD, CAM, CAD, CAM, Machining strategy.

ملخص

إستراتيجية التصنيع هي تقنية لتصنيع شكل، أو حركة أداة أثناء التصنيع. هذا العمل يهدف لإجراء دراسة مقارنة صورية لتصنيع شعار جامعة تلمسان من خلال استخدام استراتيجيات مختلفة بمساعدة نظام الإعلام الآلي المتجانس CAM Works/SolidWork لتحديد الإستراتيجية المثلى.

الاستراتيجيات المدروسة هي كما يلي

- أولاً: التخشين بالغطس يتكون من سلسلة من الغطس المحوري، يمكن للأداة قطع في الاتجاه Z
- ثانياً: لولبية بإنشاء الأداة مسار لولبي من نقطة معينة. الأداة تتحرك بشكل لولبي على أساس مركز الثقل من هذه المناطق
- ثالثاً: متعرجة هي تصنيع أفقي في وجهة واحدة مع اتجاهين (تصنيع ثنائي الاتجاه)، تنتقل أداة في خط مستقيم.
- رابعاً: منعرج هي تصنيع الأفقي في وجهة واحدة (تصنيع أحادي الاتجاه)
- خامساً: متوازية تنتقل أداة في نمط مواز (موازية لمعلم XY)

معايير هذه المقارنة هي الوقت التصنيع وتكلفته، حجم ملف البرنامج، مسافة المقطوعة بواسطة أداة ورقم السطر البرنامج.

سمحت لنا دراسة المقارنة بين مختلف إستراتيجية التصنيع لتحديد الإستراتيجية الأمثل.

كلمات مفتاحية: برمجة آلات التحكم العددي، التصميم والصناعة بمساعدة الإعلام الآلي، إستراتيجية التصنيع.

INTRODUCTION GENERALE

Les machines-outils à commande numérique permettent d'augmenter la productivité tout en assurant une meilleure qualité des produits. De plus, avec le développement des logiciels de Conception Assisté par Ordinateur (C.A.O.) et de Fabrication Assisté par Ordinateur (F.A.O.). Le résultat de l'usinage dépend principalement du choix de la stratégie d'usinage puis de la méthode et des outils utilisés pour générer les trajets d'usinage.

Le but de notre travail est d'utiliser l'application CAMWorks en anglais intégré avec SolidWorks des solutions géométriques 3D du logo de l'université Abou Berk Belkaidde Tlemcen et faire une étude comparative sur les différent stratégie d'usinage de notre logo pour arriver à la stratégie optimal.

Afin d'atteindre notre projet, on a proposé quatre chapitres:

Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur la technologie des MOCN, citant la classification, l'architecture, le domaine d'utilisation et les différentes programmations pour elle.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les différent stratégie d'usinage pour chaque système FAO et CFAO tel que SolidCAM, CAM Works, Rhinocéros, Mastercam.

Dans le troisième chapitre nous avons montré les procédures de conception et de fabrication du logo par l'utilisation de plusieurs stratégies d'usinage du système CFAO SolidWorks/CAM Works, et on a généré le programme et effectué la simulation pour chacune d'elle.

Le quatrième chapitre est consacré à une étude comparative entre les différent stratégies d'usinage d'ébauche (*Pocket In, Pocket Out, Spiral In, Spiral Out, Zig, Zigzag, et Plunge Rough*) de point de vue temps de fabrication, ainsi que la taille de fichier, distance du parcours de l'outil, nombre de ligne du programme CN et le coût de chacune d'elle pour choisir la stratégie idéale.

Enfin, on clôture notre travail avec une conclusion générale.

Chapitre-1-

Etat de l'art sur la commande numérique et la programmation CN assistée par ordinateur

1.1. Introduction

Dans ce chapitre on présente un aperçu général sur la technologie des MOCN, citant la classification, l'architecture, le domaine d'utilisation et la programmation des MOCN pour différentes commandes.

1.2. Historique

Naissance de la machine-outil classique mécanique qui par des mouvements combinés est capable de façonner une pièce :

- En 1836, il y a création de came
- En 1870, on a commencé à rechercher l'interchangeabilité.
- En 1920, il y a l'apparition des machines transfert.
- Il est difficile de connaître l'origine exacte de la commande numérique. Les tout premiers travaux furent menés par Falcon et montrèrent qu'il était possible de commander une machine à partir d'informations codées sur un carton perforé. Le métier laisserie de Jacquard fut le premier à être doté de cette technique de commande. Il peut donc être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique.

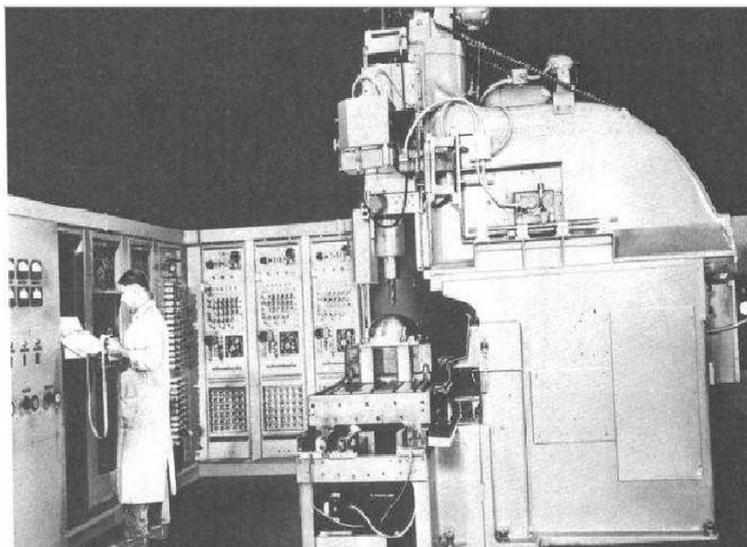


Figure 1.1. Première machine-outil à commande numérique [1]

Le vrai lancement de cette technologie a eu lieu à l'exposition de Chicago en 1952 (Cincinnati MillingCo, MIT...), grâce à des incitatifs des gouvernementaux, Les machines plus simples (perceuses, taraudeuses, tours, etc.) ne sont apparues que plus tard (1952-1960).

Aujourd'hui, la MOCN a pénétré la grande majorité des entreprises manufacturières et est en développement très rapide. Le Japon détient au-delà 50% du marché mondial.

1.3. Définition de la machine à commande numérique

La commande numérique est un mode de commande dans lequel les valeurs désirées d'une variable commandée sont définies selon un code numérique (la machine-outil constitue le principal domaine d'application de la commande numérique). C'est une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvement ou de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numériques. Ces informations sont codées sur des supports tels que : rubans perforés, cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoire » dans le cas des dernières générations de commandes numériques à calculateur intégré (CNC).

On représente la structure d'une machine, en cours d'usinage, par un système bouclé, chaque élément contribue à la réalisation du contrat fonctionnel. Le réglage de la machine consiste à mettre en position relative ces différents éléments.

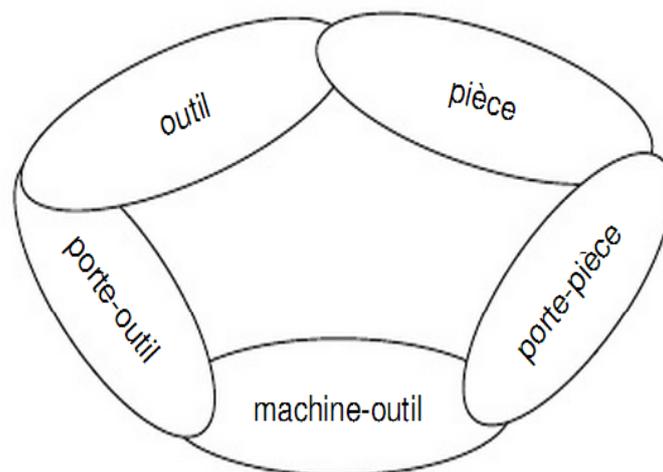


Figure 1.2. Modèle de la structure d'une machine-outil

1.4. Composition d'une MOCN

Une machine-outil à commande numérique se compose de deux parties totalement distinctes (Partie opérative et Partie commande).

1.4.1. Partie opérative

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

- ✓ Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- ✓ Un bâti, un banc, dont les larges glissières sont en acier traité,
- ✓ un support outil (broche, laser, jet d'eau ...),
- ✓ Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille. Le granit, ou le granit reconstitué, est utilisé pour la fabrication des tables et des bâtis des machines à mesurer tridimensionnelles des rectifieuses et de certains tours,
- ✓ des moteurs chargés de l'entraînement de la table.

1.4.2. Partie commande

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

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

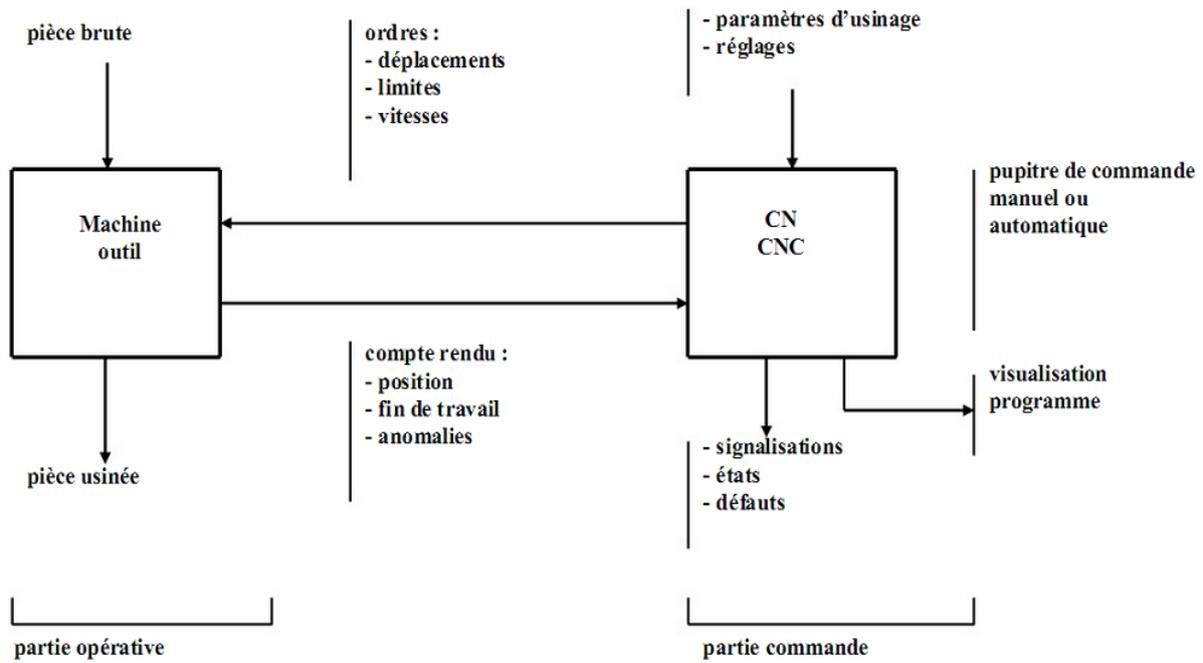


Figure 1.3. Composition d'une M.O.C.N.

1.5. Productivité et flexibilité anomalies

Les machines outils à commande numérique permettent la production de divers types de pièces. En raison de leur fonctionnement presque automatique, elles sont aussi adaptées pour des productions en moyenne série.

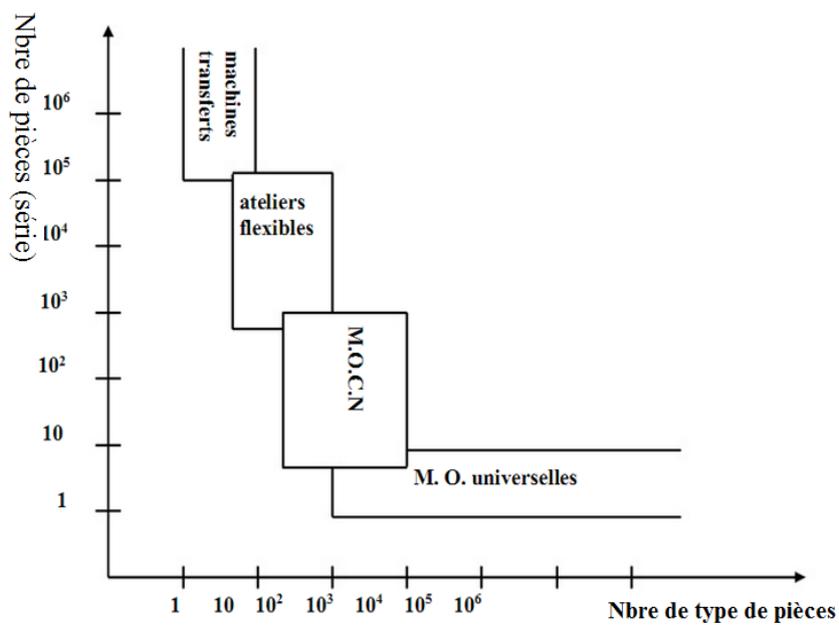


Figure 1.4. Productivité et flexibilité des M.O.C.N. [1]

1.6. Domaine d'utilisation

Les M.OCN conviennent à la fabrication en petites et moyennes séries renouvelables. Elles permettent la réalisation, sans démontage, de pièces complexes comportant beaucoup d'opérations d'usinage [2].

Elles se situent entre les machines conventionnelles très "flexibles" réservées aux travaux unitaires (prototypes, maintenance) et les machines transferts, très productives, réservées aux grandes séries.

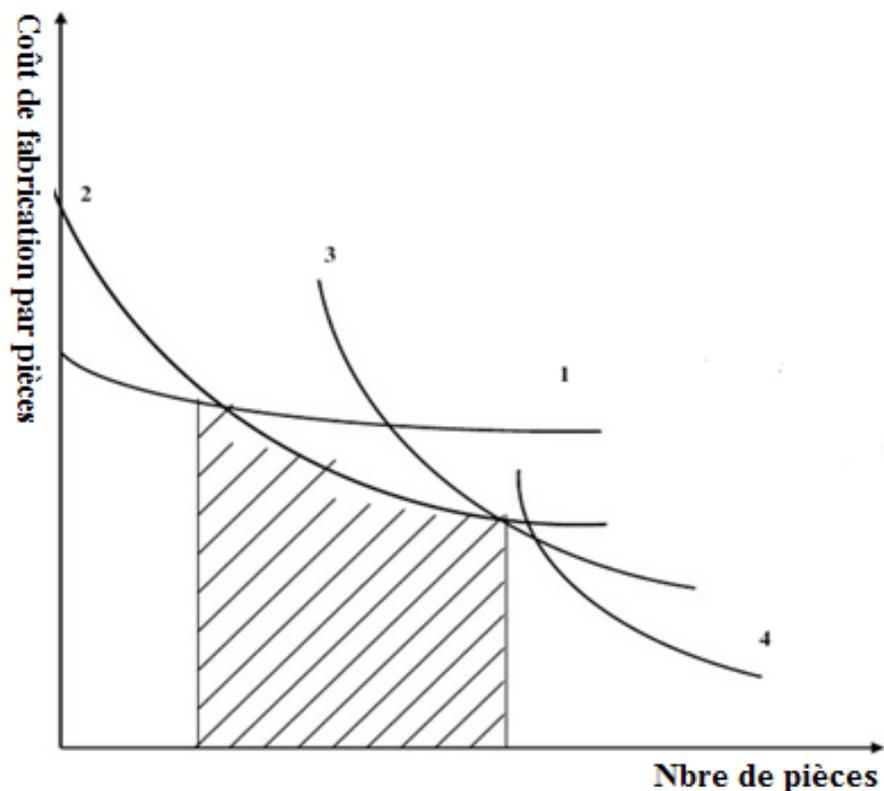


Figure 1.5. Domaine d'utilisation des M.O.C.N. [1]

1 : machine outils classiques

2 : machine outils à commande numériques

3 : machines-outils spéciales

4 : machines à transfert

Zone hachurée : domaine d'utilisation des machines-outils à commandes numériques

1.7. Méthodes de Programmation des MOCN

1.7.1. Programmation Manuelle

La première étape de la programmation consiste à déterminer et organiser, à partir de la gamme d'usinage, les données nécessaires au programme CN. Ces données sont soit technologiques soit géométriques. Les données technologiques concernent le choix de la machine, des processus d'usinage, des outils et des conditions de coupe. Les données géométriques sont plutôt liées au choix des paramètres définissant la trajectoire de l'outil pour obtenir la forme désirée. Le programmeur doit présenter de manière chronologique toutes les opérations élémentaires. Ensuite, pour chaque séquence d'opérations il doit préciser les données technologiques correspondantes (vitesse de coupe, arrosage...) ainsi que les coordonnées des points caractéristiques de la trajectoire de l'outil. Une fois ce travail terminé, le programmeur est en mesure de rédiger le programme CN [3].

1.7.1.1. Programmation en code ISO ou code G

A l'origine, le code G est basé sur un principe de programmation qui remonte à la période des cartes perforées, au début des années 60. Il a tout d'abord été développé par l'EIA (Electronic Industries Alliances) 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...). Par l'intermédiaire de ce code, l'utilisateur communique à la machine un ensemble d'instructions explicites. Un programme en G-code est donc la traduction d'une suite d'actions et de déplacements élémentaires (ligne droite ou arc de cercle par exemple) qui permettent de générer des conditions d'usinage ainsi qu'une trajectoire plus ou moins approximée.

1.7.1.2. Structure d'un programme

- Un programme de commande numérique est formé d'un ensemble de blocs d'informations respectant une syntaxe donnée.
- Chaque bloc contient des mots ou instructions de pilotage de la machine.
- Chaque mot est formé de la même façon:
- Une adresse, un signe et une valeur (Le signe+ peut être omis)

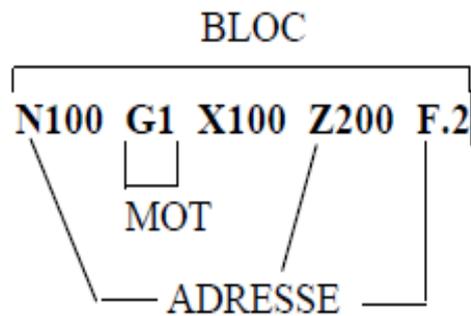


Figure 1.6. Structure d'un bloc de programme d'usinage

- ✓ Un mot peut être une fonction ou un déplacement suivant un axe :
 - G... : fonctions préparatoires
 - F... : fonctions vitesse d'avance ("Fedrat" = avance)
 - S... : fonctions vitesse de broche ("Speed" = vitesse)
 - T... : fonctions outils ("Tools" = outils)
 - M... : Fonctions auxiliaires ("Miscellaneous" = varié, divers)
 - X... : mouvement suivant l'axe X
 - Y... : mouvement suivant l'axe Y
- ✓ Un programme commence par le caractère "%" suivi d'un numéro de programme (de 1 à 8999) et éventuellement d'un commentaire entre parenthèses (40 caractères max.).
- ✓ La numérotation s'effectue de 5 en 5 ou de 10 en 10 pour permettre une insertion éventuelle de blocs.
- ✓ Un programme principal se termine obligatoirement par la fonction auxiliaire M2 qui permet une remise à zéro du système.

```

%1700      Début de programme pièce
N5 .....  }
N10 ..... } Numérotation des blocs : Numéro de la séquence+ Adresse
N10 ..... }
...
N645 M2    Fin de programme pièce
  
```

1.7.1.3. Différentes adresses utilisées

Le tableau 1.1 illustre les différentes adresses utilisées dans la programmation des MOCN en commande SINUMERIC.

Tableau 1.1. Différentes adresses utilisées en SINUMERIC

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

1.7.2. Programmation CN Assistée par Ordinateur

Certaines étapes de la programmation manuelle nécessitent un effort important pour aboutir à la rédaction du programme CN. Une des étapes la plus délicate est le calcul des points caractéristiques de la trajectoire des outils. En effet, pour des géométries de pièces où figurent des formes telles que les raccordements, les arcs de cercle, voire même des sur faces complexes.

Dans la majorité de ces systèmes un langage de programmation symbolique évolué (niveau sémantique élevé) plutôt que le code G est utilisé pour indiquer à l'ordinateur comment la pièce va être usinée. Cette implication de l'ordinateur dans l'aide à la programmation présente de nombreux avantages :

- Réduction du calcul manuel pour la détermination des points caractéristiques de la trajectoire, ainsi de nombreuses erreurs sont éliminées.
- Un ensemble d'actions peut être programmé avec moins de commandes donc un programme plus court et plus facile à gérer.
- Un langage évolué est certes plus facile à apprendre et à programmer. Ceci est particulièrement important quand l'atelier est équipé de CN différentes parce que la majorité des programmes sont portables d'une machine à une autre.

1.7.2.1. Programmation Automatique par langage symbolique

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

➤ Le Système APT

APT est le premier langage d'aide à la programmation CN. Il est développé au MIT en 1955. 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 [3].

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

➤ Eléments du 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. Ces éléments sont :

- la ponctuation : Pour supporter le calcul comme l'addition (+), la multiplication (*), la division (/) et la puissance (**).
- Les mots réservés du vocabulaire APT (mots clefs) sont de différents types :
 - mots de définition de la géométrie : POINT, PLANE, SPHERE, etc.
 - mots utilisés pour les calculs : IF, SIN, COS, SQRT, etc.
 - mots utilisés pour les instructions du post processeur : STOP, END, etc.
- les nombres : Tous les nombres utilisés dans un programme APT sont des nombres réels.
- les symboles : Les mots utilisés pour définir les entités géométriques sont appelés symboles.
- Les étiquettes : Les étiquettes sont constituées de un à six caractères numériques ou alphanumériques commençant par un caractère ou un nombre.

1.7.2.2. Programmation CN Assistée par système FAO

La fabrication assistée par ordinateur (FAO) est définie comme l'utilisation des systèmes informatiques composés d'outils logiciels et matériels pour planifier, gérer et contrôler les opérations de fabrication.

➤ 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.

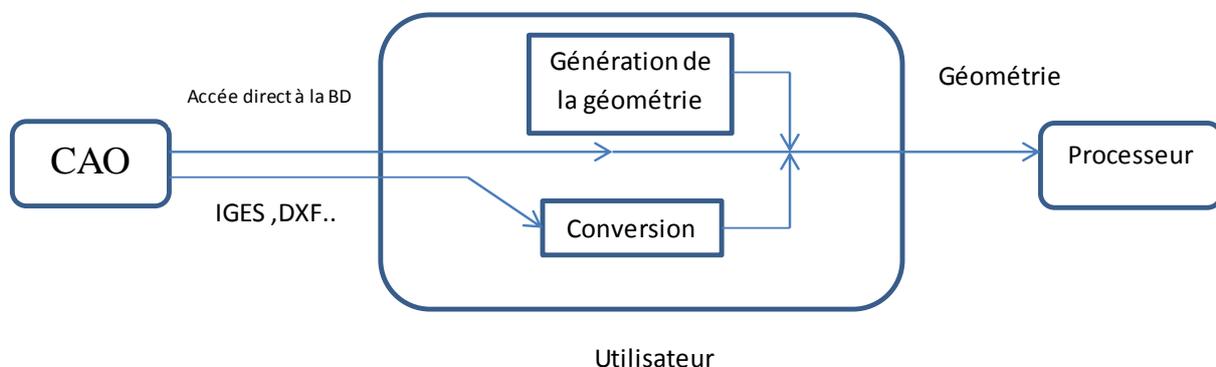


Figure 1.7. Rôle du Préprocesseur dans un système FAO [4]

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.

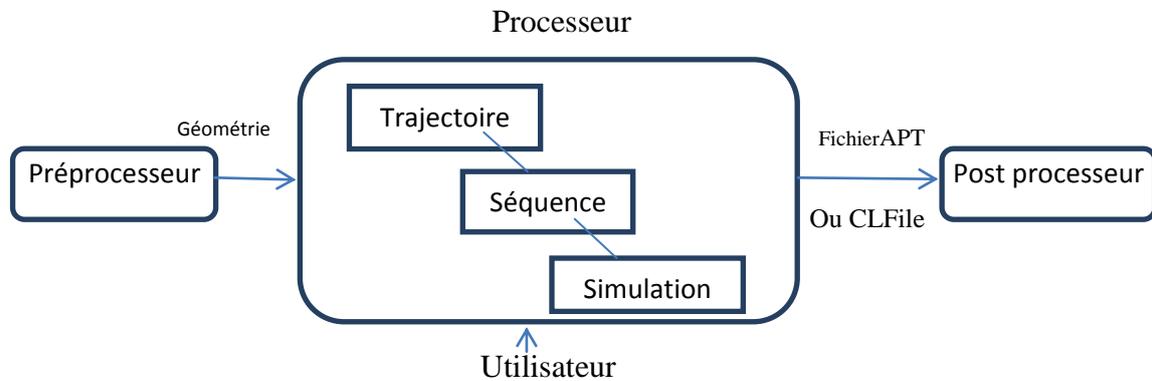


Figure 1.8. Rôle du processeur dans un système FAO [4]

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.

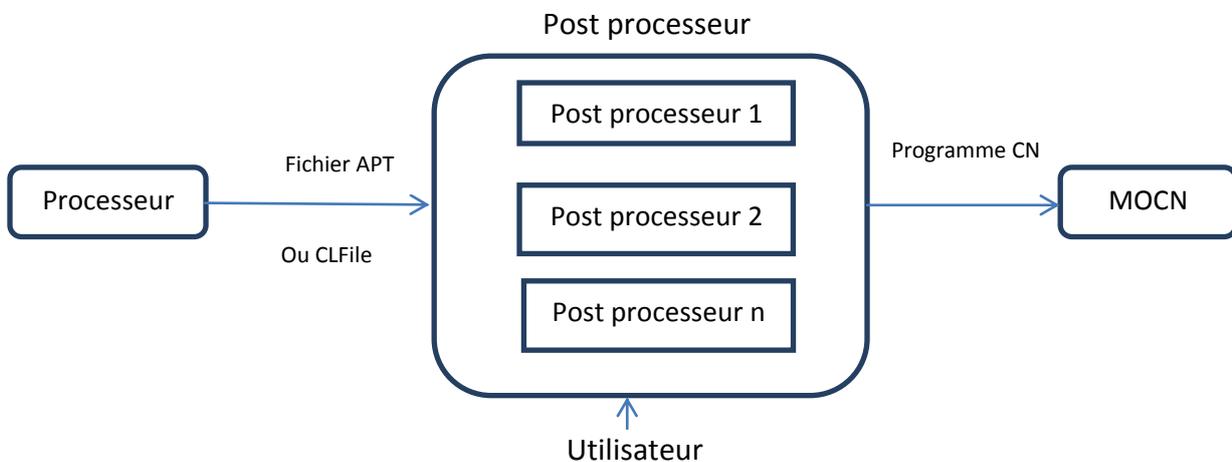


Figure 1.9. Rôle du post processeur dans un système FAO [4]

➤ Etapes pour l'utilisation d'un système FAO

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

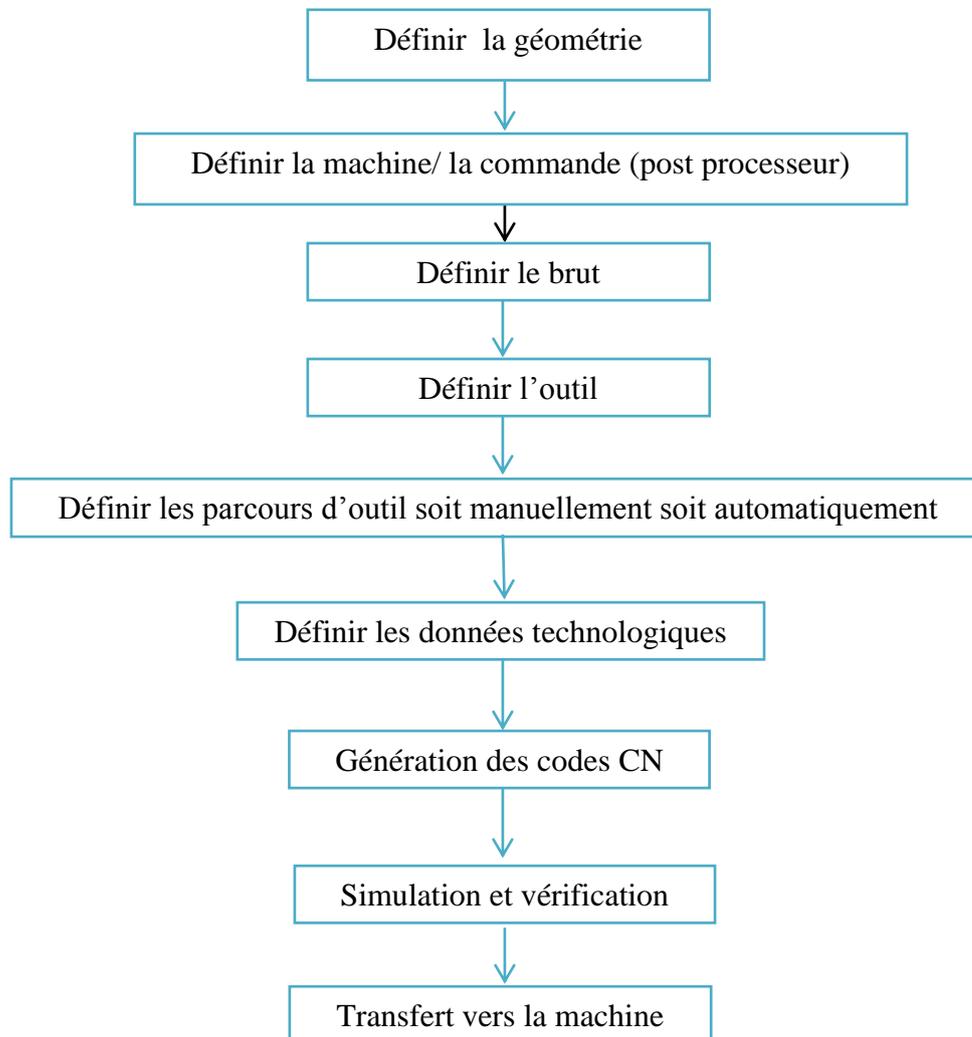


Figure 1.10. Etapes pour utiliser un système FAO ou CFAO [5]

1.8. Axes et repères

Les déplacements de l'outil ou du porte-pièce s'effectuent par combinaisons de translations et/ou de rotations. Chaque mouvement élémentaire (axe) est repéré par une lettre affectée du signe(+) ou(-) indiquant le sens du déplacement [2].

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

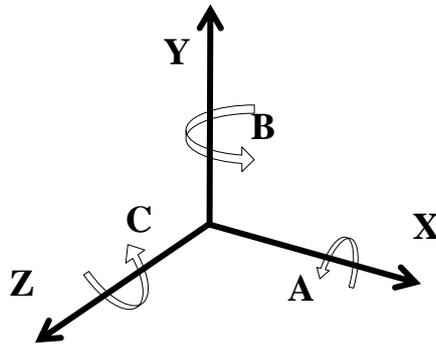


Figure 1.11. Axes primaires

Les axes additionnels présents sur certains centres d'usinages sont repérés :

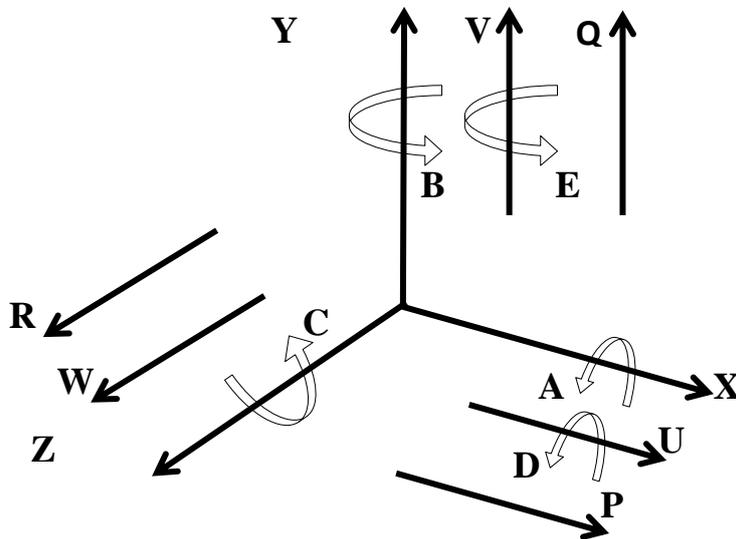


Figure 1.12. Axes primaires et secondaires

L'axe Z est parallèle à la broche principale (tour, fraiseuse) ou perpendiculaire à la table (raboteuse).

L'axe X est celui définissant le plus grand déplacement.

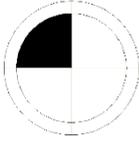
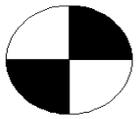
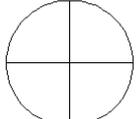
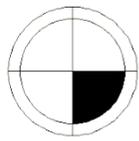
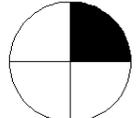
L'axe Y est celui pour le petit déplacement.

1.9. Les origines des systèmes de coordonnées

Le processeur CN calcule tous les déplacements par rapport au point d'origine mesure de la machine [7]. A la mise sous tension le système ne connaît pas l'origine mesure, les courses mécaniques accessibles sur chacun des axes de la machine sont limitées par des butées fin de course mini et maxi.

Le tableau 1.2 illustre les différentes origines des systèmes de coordonnées

Tableau 1.2. Les origines des systèmes de coordonnées [6]

Points utilisées	Symbole	Définition
Origine Machine (OM)		C'est la référence des déplacements de la machine-outil. Cette origine est fixée par le constructeur et est située sur les courses de la MO afin de définir une origine absolue.
Origine Mesure (Om)		C'est l'origine physique des axes de la machine représentée par une butée détectée par un capteur électrique lors de l'initialisation ou prise d'origine machine (POM).
Origine Programme (OPR ou OP)		Cette l'origine est fixée par le programmeur, indépendamment du système de mesure. Elle est attachée à la pièce et doit être obligatoirement positionnée par rapport au référentiel de la pièce.
Origine Pièce (OP)		Indépendante du système de mesure, l'Op est défini par un point de la pièce sur laquelle il est possible de se positionner. OP et Op peuvent être confondus.
Point de référence du logement d'outil N (T)		Ce point N ou T est un point défini de manière fixe. Il sert de point de référence pour mesurer les outils. Ce point se trouve sur le plateau du changeur d'outil.

1.10. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur la programmation des MOCN, nous avons donné une vue générale sur le développement des systèmes MOCN, leurs définitions ainsi que les méthodes de programmation. Ensuite nous avons montré les axes et repères, et les origines des systèmes de coordonnées. Au chapitre suivant présente une étude sur les stratégies d'usinage des systèmes FAO et CFAO.

Chapitre-2-

Etude des stratégies d'usinage des systèmes FAO et CFAO

2.1. Introduction

Les opérations d'ébauche et de vidage de poche ont donné lieu à de nombreux travaux de recherche majoritairement basés sur des stratégies zigzag et contour parallèle.

Pour cela en va présenter dans ce chapitre les différentes stratégies d'usinage pour chaque logiciel tel que SolidCAM, CAM Works, Rhinocéros, Mastercam. Ensuite définir quelques paramètres de stratégie d'usinages.

2.2. Présentation des trajectoires à motifs

2.2.1. Application à l'usinage trochoïdal et au tréfilage

Dans le cas du fraisage, on va présenter Les principales stratégies proposées sont les suivantes :

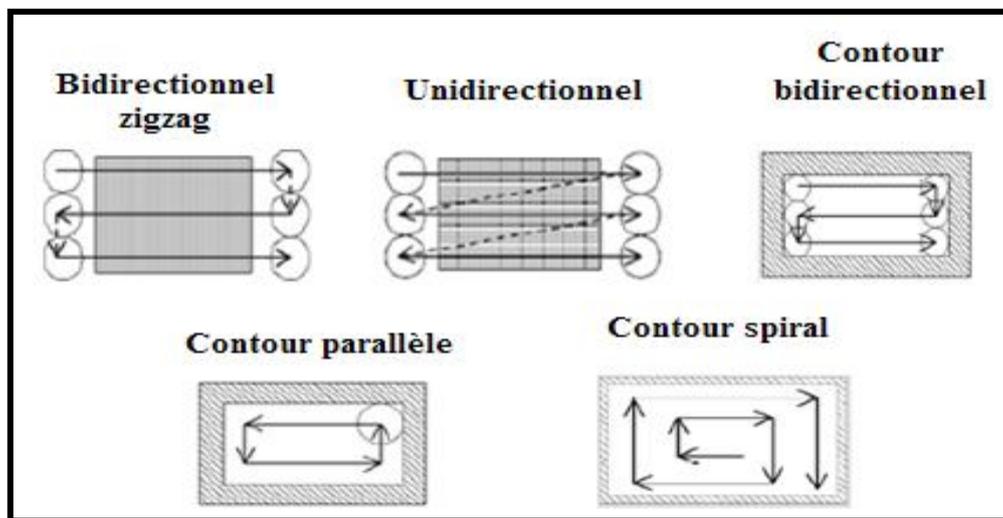


Figure 2.13. Différente stratégie d'usinage [8]

2.2.2. Présentation de l'usinage trochoïdal

L'usinage trochoïdal consiste à la description par l'outil de coupe d'une courbe trochoïdale (combinaison d'un mouvement circulaire uniforme et d'un mouvement linéaire uniforme) de courbure continue évitant ainsi le travail pleine matière qui est représenté sur la figure 2.2.

Il est ainsi possible de contrôler l'engagement axial de l'outil pour une meilleure gestion des efforts de coupe. C'est en cela qu'il est bien adapté aux usinages difficiles, en particulier de matériaux durs.

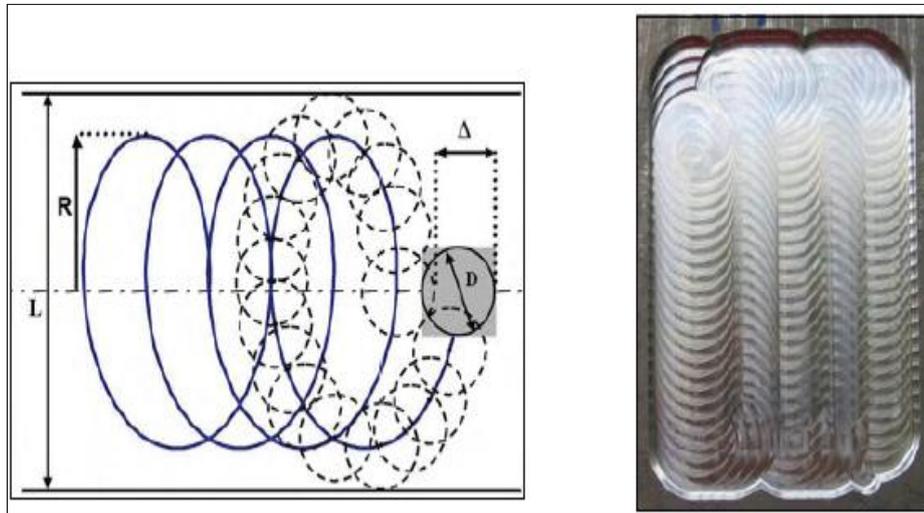


Figure 2.14. Trajectoire outil trochoïdale et pièce usinée

Les caractéristiques de l'usinage trochoïdal sont les suivantes :

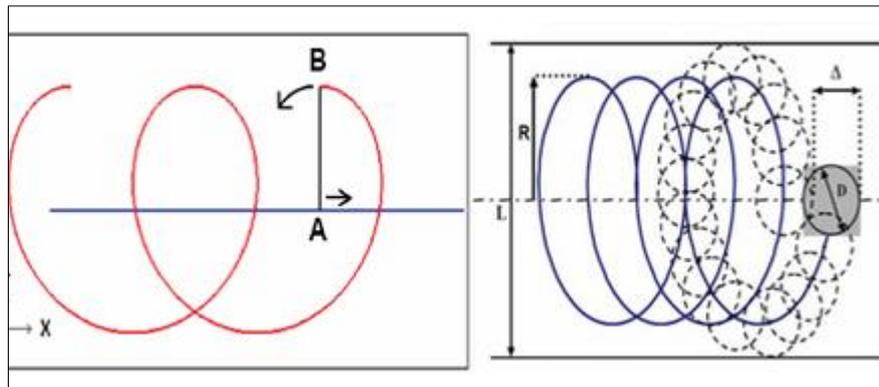


Figure 2.15. Mouvement trochoïdal et trajectoire trochoïdale [8]

2.2.3. Présentation du tréfilage

L'opération de tréfilage (en référence aux empreintes en forme de tréfiles laissées par l'outil sur la pièce) consiste en une succession de plongées axiales comme est présenté sur figure 2.4. Les principal avantage du tréfilage est le travail de l'outil suivant son axe, c'est-à-dire suivant sa configuration la plus rigide, Cela permet de limiter la flexion d'outil.

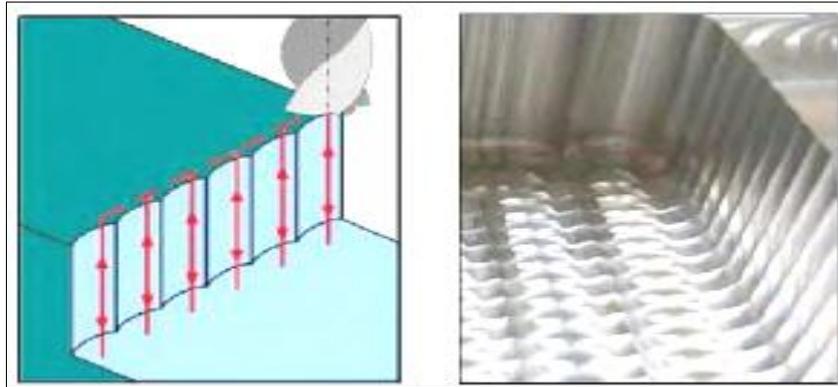


Figure 2.16. Trajectoire outil de tréfilage et pièce usinée

Les caractéristiques du tréfilage sont les suivantes :

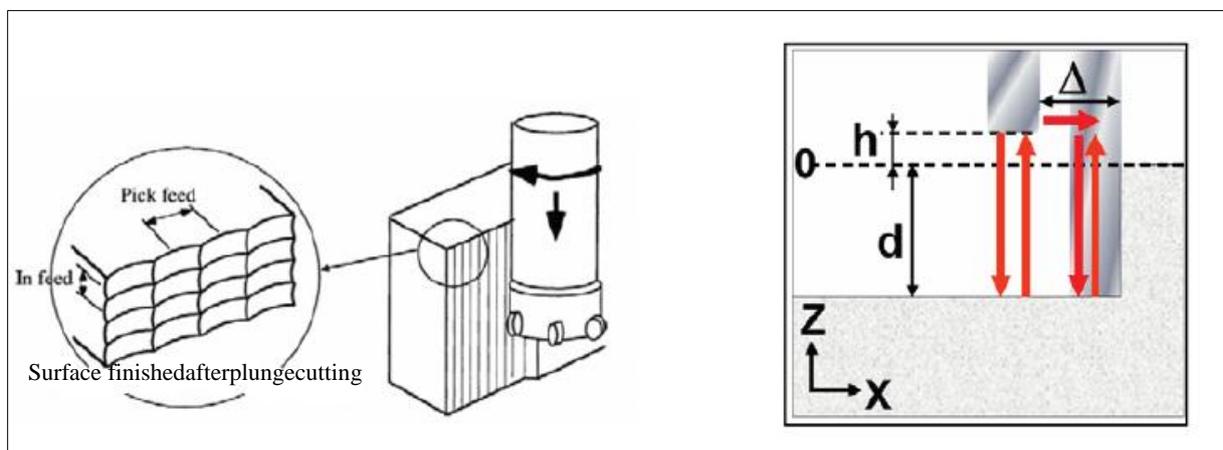


Figure 2.17. Principe et paramètres influents en tréfilage[8]

2.3. SolidCAM

2.3.1. Définition SolidCAM

Fondé en 1984 par son directeur le Dr Emil Somekh, SolidCAM est un logiciel de FAO entièrement intégré à SolidWorkset Autodesk Inventor, avec des trajectoires d'outils complètement associatives avec le modèle SolidWorks. SolidCAM supporte le Fraisage 2.5axes, le Fraisage 3D et l'Usinage Grande Vitesse, le Fraisage 4 et 5 axes, le Tournage, le Tournage-Fraisage pour les CN multi-broches et multi-tourelles, ainsi que l'électro-érosion[9].

2.3.2. Stratégies d'usinage

La section de la technologie vous permet de choisir l'ébauche et la finition stratégie à appliquer. Les stratégies suivantes sont disponibles:

a. Stratégies d'ébauche

- Ebauche Contour
- Ebauche de repos

b. Stratégies de finition

- Constant Z usinage
- Usinage horizontal

- Usinage linéaire
- Usinage Radial
- Usinage en spirale

c. Les stratégies combinées

- Z constant avec usinage horizontal
- Z constant avec usinage linéaire

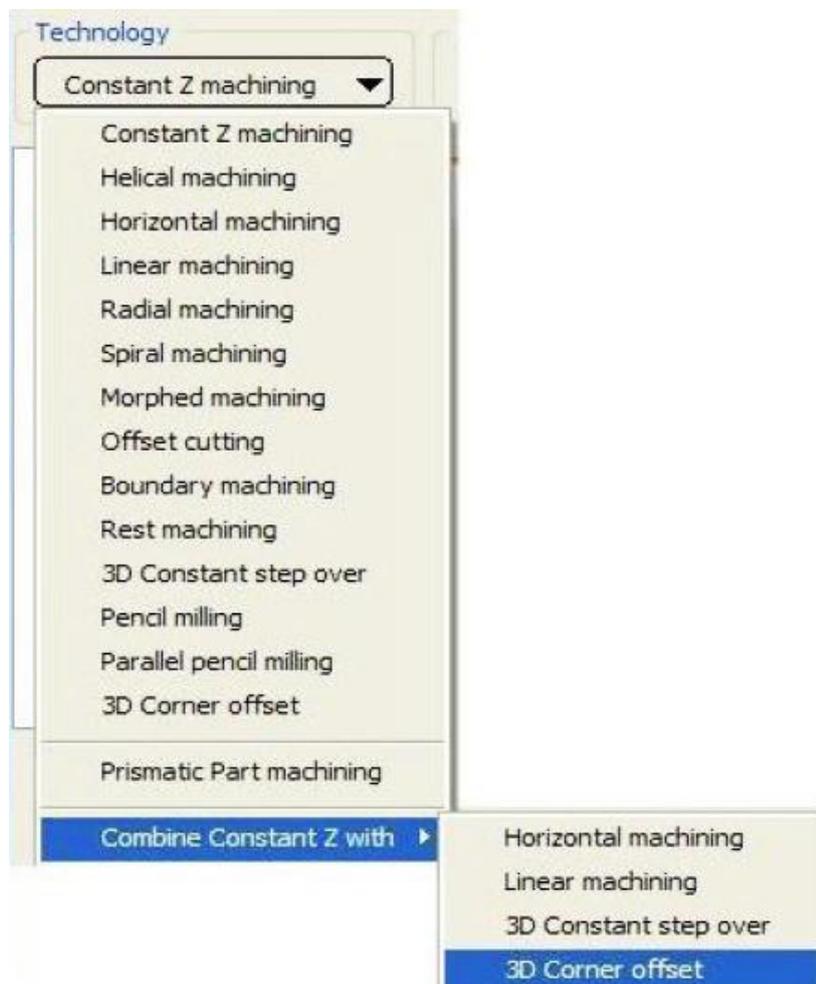


Figure 2.18. Différentes stratégie pour SolidCAM [10]

2.3.2.1. Ebauche de Contour

Avec la stratégie d'ébauche des contours, SolidCAM génère une trajectoire d'outil de poche de style pour un ensemble de sections générée aux niveaux Z défini par l'étape indiquée en bas (Voir Fig.2.7).

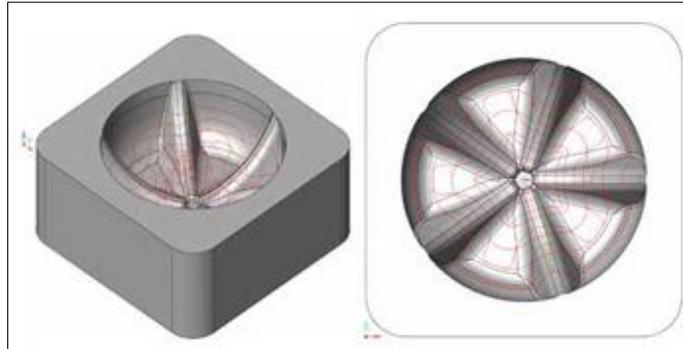


Figure 2.19. Stratégie ébauche de contour [10]

2.3.2.2. Ebauche de repos

La stratégie d'ébauche de repos détermine les zones où le matériau reste non usiné après les précédentes opérations (le reste de la matière) et génère une trajectoire d'outil pour l'usinage de ces zones.

L'image suivante illustre le parcours d'ébauche réalisée avec un outil de $\varnothing 20$ qui est représenté sur la figure 2.8.

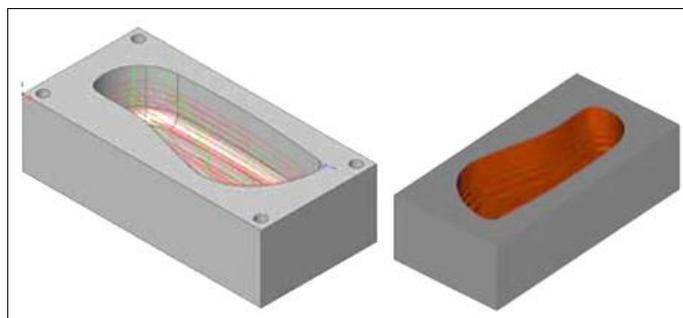


Figure 2.20. Une opération d'ébauche sans repos [10]

Après l'ébauche de la trappe, une opération d'ébauche de repos est réalisée avec une fraise en bout de $\varnothing 10$ (Fig.2.9). La trajectoire de l'outil est générée de la manière d'ébauchage du contour.

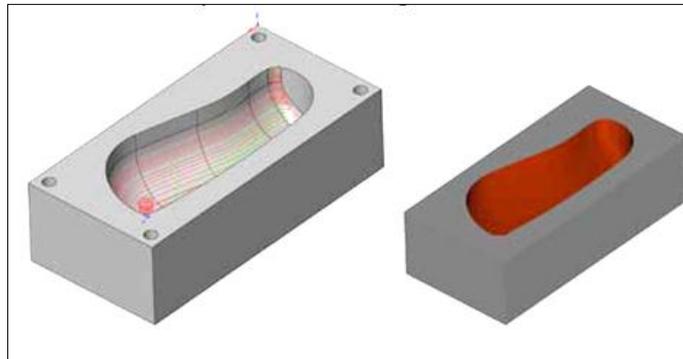


Figure 2.21. Une opération d'ébauche avec repos [10]

2.3.2.3. Usinage hélicoïdal

Cette stratégie est jointe dans une rampe descendante continue pour générer la trajectoire d'outil d'usinage en spirale comme illustre la figure 2.10. La trajectoire d'outil générées par la stratégie d'usinage hélicoïdal est commandé par deux paramètres principaux: *Step down et Max. angle de la rampe.*

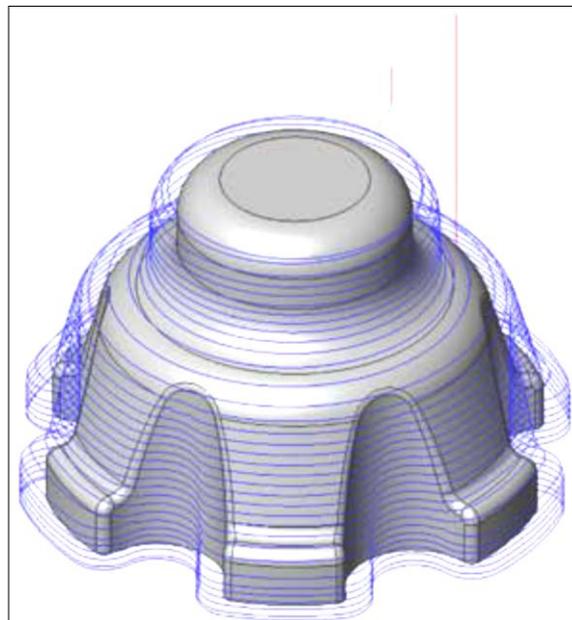


Figure 2.22. Stratégie d'usinage hélicoïdal

2.3.2.4. Usinage horizontal

Cette stratégie génère un style de poche (un certain nombre de profils équidistants) de trajectoire d'outil directement sur les faces horizontales (parallèle au plan XY). La distance entre chaque deux passage adjacent est déterminée par les paramètres de décalage (voir la Fig. 2.11).

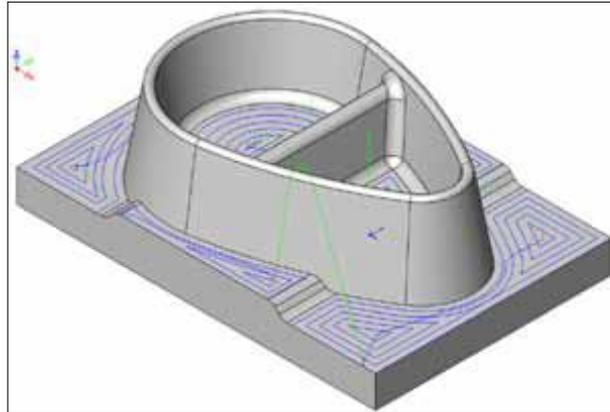


Figure 2.23. Stratégie d'usinage horizontal

2.3.2.5. Usinage linéaire

Usinage linéaire génère une trajectoire d'outil consistant en un ensemble de passages parallèles à un angle défini par la distance entre les passages comme est illustré la figure 2.12.

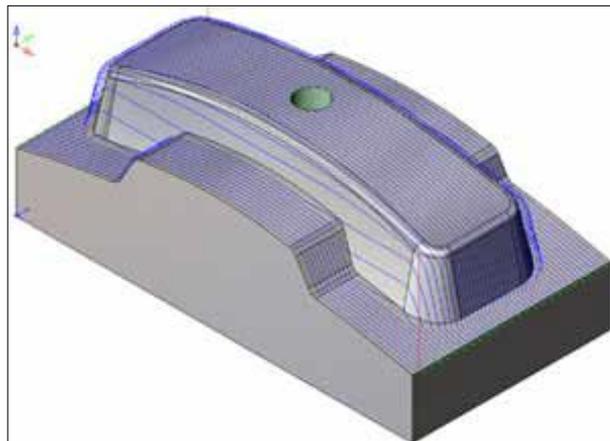


Figure 2.24. Stratégie d'usinage linéaire [10]

2.3.2.6. Usinage radial

La stratégie d'usinage Radial permet de générer un modèle radial de passes mis en rotation autour d'un point central. Les parcours convergent vers le centre de la pièce ce qui est présenté sur la figure 2.13.

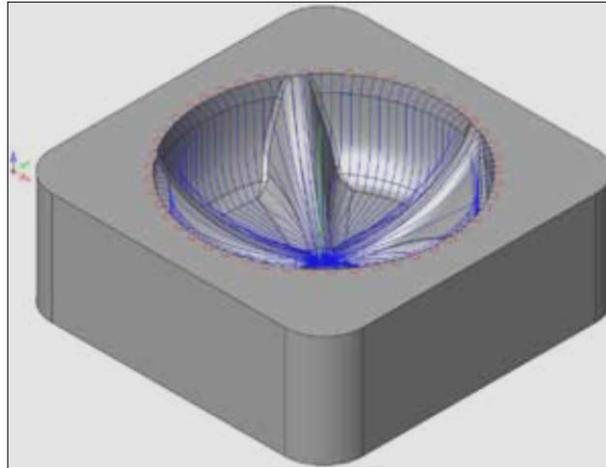


Figure 2.25. Stratégie d'usinage radial

2.3.2.7. Usinage en spirale

La stratégie d'usinage en spirale permet de générer une trajectoire d'outil 3D spirale sur le modèle. Cette stratégie est optimale pour les zones modèles établis par les pièces de la révolution.

La trajectoire de l'outil est produite par projection d'une spirale plane (situé dans le plan XY) sur le modèle (voir Fig.2.14).

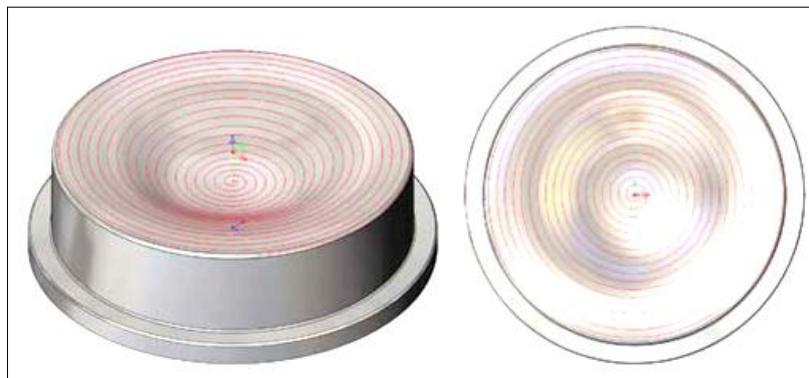


Figure 2.26. Stratégie d'usinage en spirale [10]

2.4. CAMWorks

CAMWorks est une solution FAO 3D intelligente et intuitive qui permet aux industriels d'augmenter leur productivité et leur rentabilité en utilisant les meilleures technologies d'automatisation et de flexibilité pour maximiser les performances des machines tout en restant simple d'utilisation [11].

CAMWorks fut la première solution FAO créée pour fonctionner dans SolidWorks de façon totalement intégrée et la première également à proposer la programmation automatique intelligente et associative s'appuyant sur une base de savoir faire et sur la reconnaissance de formes et de fonctions technologiques.

2.4.1. Avantages CAM Works

CAMWorks est totalement intégrée SolidWorks et travaille au sein de SolidWorks environnement. À la suite de l'intégration de SolidWorks et CAMWorks, vous pouvez:

- Intégration totale et parfaite à SolidWorks,
- Très grande rapidité de programmation grâce aux automatismes basés sur la reconnaissance de formes et de fonctions paramétrées,
- Gain de temps et diminution du risque d'erreurs en éliminant les transferts et les reprises grâce à l'associativité totale au modèle CAO,
- Capitalisation et préservation du savoir faire en s'appuyant sur une base de connaissances permettant d'enregistrer et de réutiliser vos meilleures stratégies d'usinage,
- Grande qualité des parcours d'usinage pour tirer le meilleur parti des performances de vos machines,
- Éliminer les transferts de fichiers utilisant des formats de fichiers standards chronophages comme IGES, SAT et Parasolid. Interface simple et intuitif,
- Un seul et même fichier SolidWorks pour enregistrer les données CAO et FAO.
- Générer des trajectoires qui sont associatif avec SolidWorks. Cela signifie que si le modèle géométrique est modifié, les parcours sont modifiés automatiquement ceci permet l'élimination du temps perdu pour remettre à jour les opérations d'usinage [11].

2.4.2. Différentes stratégies d'usinage pour CAMWorks

Dans CAM Works il existe sept stratégie talque : *Spiral In*, *SpiralOut*, *Pocket In*, *Pocket Out*, *Zig*, *Zigzag* et *Plonge Rough*.

2.4.2.1.Spiral Out

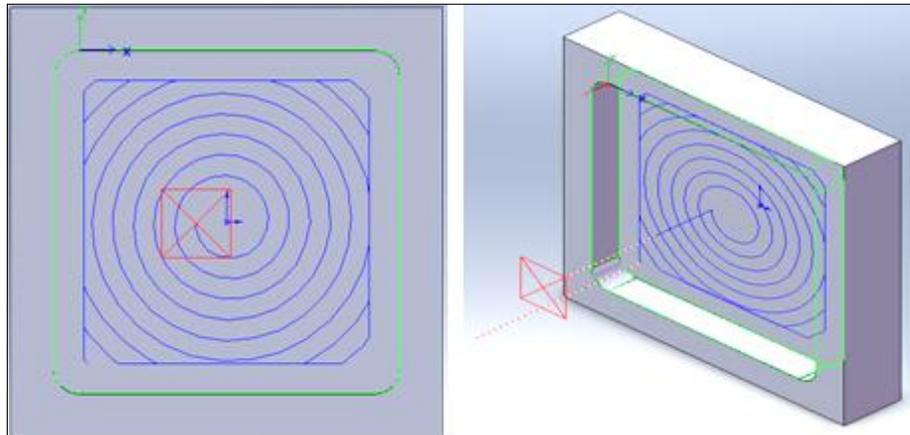


Figure 2.27. Parcours d'outil en Spiral Out

2.4.2.2.Spiral In

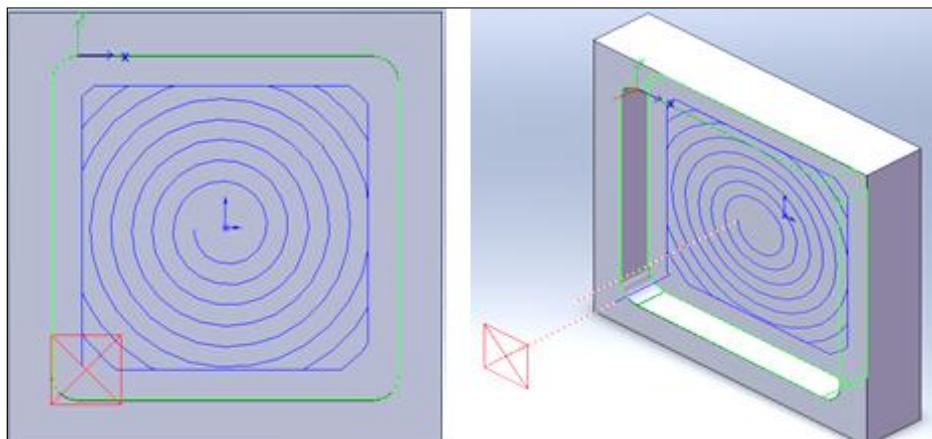


Figure 2.28. Parcours d'outil en Spiral In

2.4.2.3.Zigzag

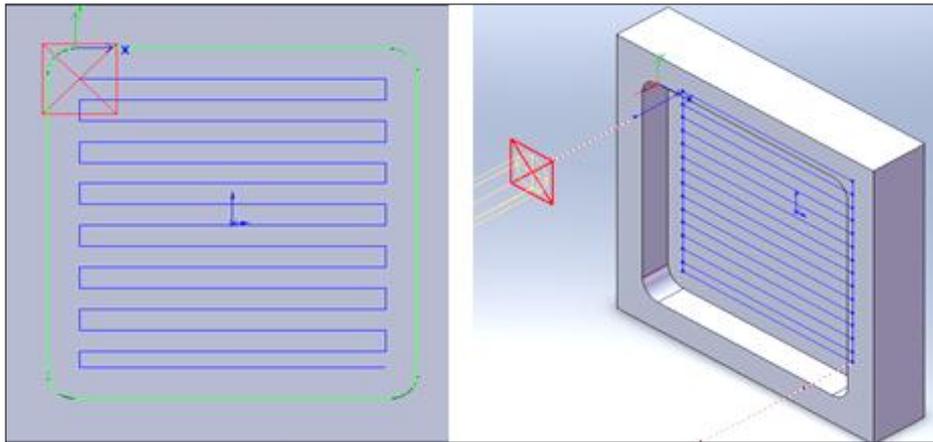


Figure 2.29. Parcours d'outil en Zigzag

2.4.2.4.Zig

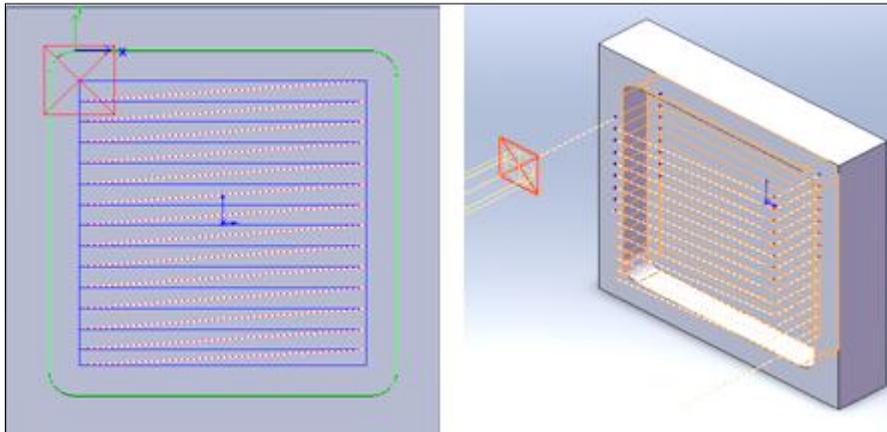


Figure 2.30. Parcours d'outil en Zig

2.4.2.5.Pocket In

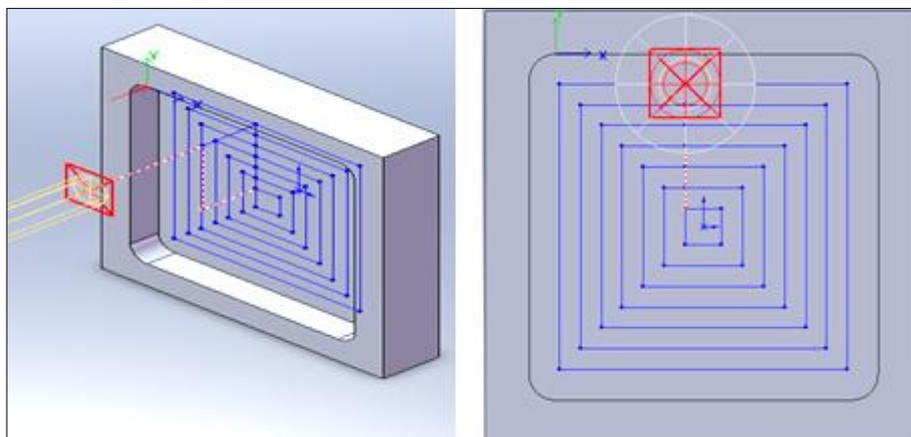


Figure 2.31. Parcours d'outil en Pocket In

2.4.2.6. Pocket Out

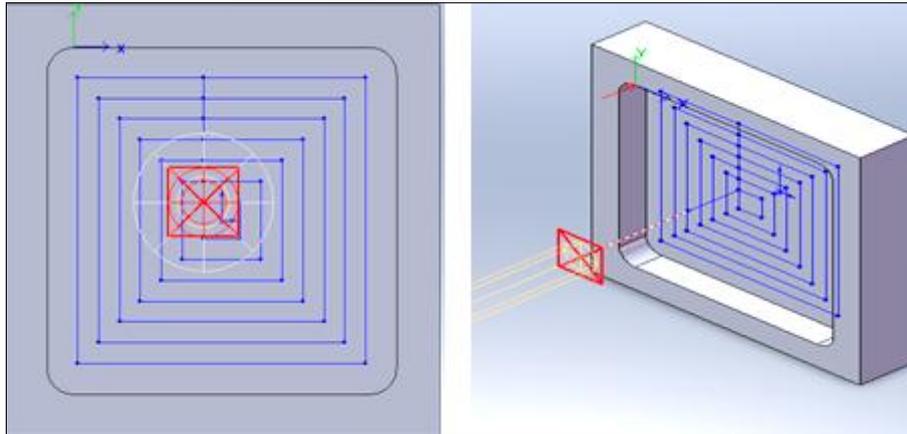


Figure 2.32. Parcours d'outil en Pocket Out

2.4.2.7.Plunge Rough

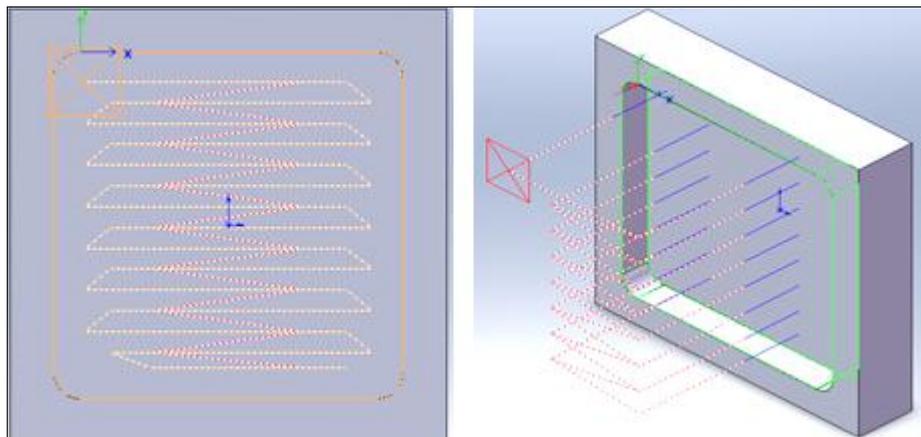


Figure 2.33. Parcours d'outil en Plunge Rough

2.5. Mastercam

Mastercam est né en 1984, aux USA, de la volonté de 2 frères, Jack et Mark Summers, de créer un logiciel de programmation de machines-outils à commande numérique facile à utiliser et fonctionnant sur PC [12]. Mastercam est un logiciel utilisé pour la programmation de machines-outils (CNC) servant à l'usinage. Sa compatibilité avec la majorité des équipements à commande numérique et des logiciels de dessin 3D fait de cette interface la plus populaire sur le marché [13]. La FAO (fabrication assistée par ordinateur) est un incontournable pour les manufacturiers d'où une forte demande pour la main-d'œuvre qualifiée dans ce domaine. De plus :

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

Mastercam offre toutes les fonctions nécessaires pour faire soi-même de la géométrie en 2D et en 3D. Les dessins sont facilement échangeables avec d'autres systèmes de CAO/FAO. Tels que : DXF, DWG, IGES, STEP et les interfaces directes telles que ParaSolid, SolidEdge et SolidWorks. CATIA et PRO-E peuvent être obtenus en option [14].

2.5.1. Différentes stratégies d'usinage pour Mastercam

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

2.5.1.1. Poche

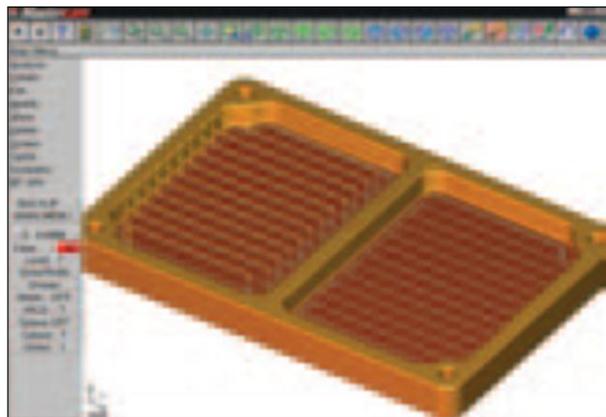


Figure 2.34. Poche unidirectionnelle (zig) et en zigzag [15]

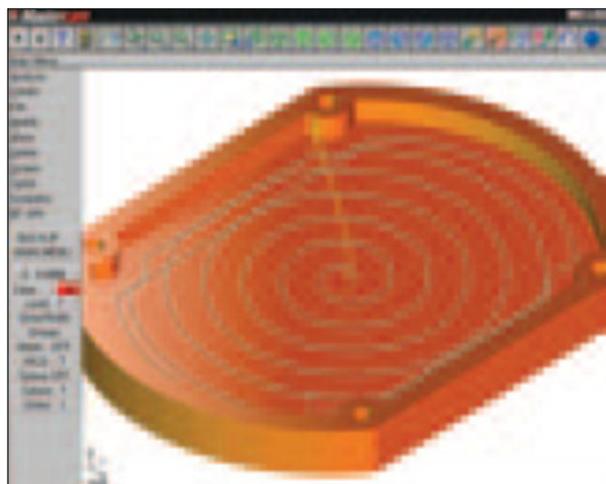


Figure 2.35. Poche en Spiral [15]

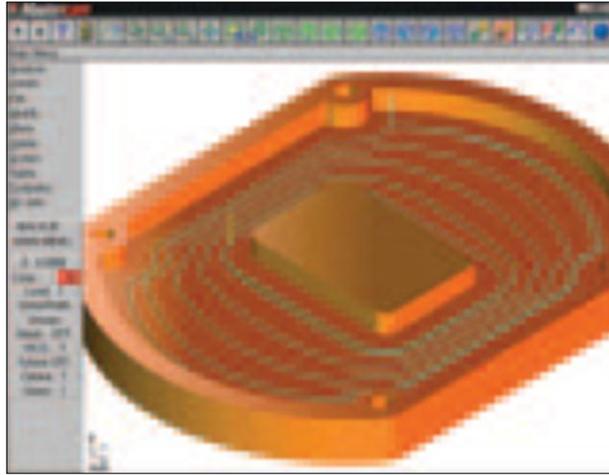


Figure 2.36. Poche par spirale en morphisme



Figure 2.37. Poche et îlots de différentes hauteurs, dépeignées [15]

2.5.1.2. Contournage

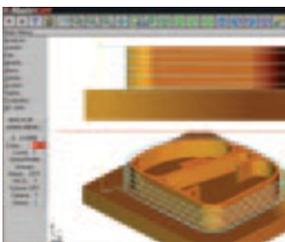


Figure 2.38. Contournage hélicoïdal

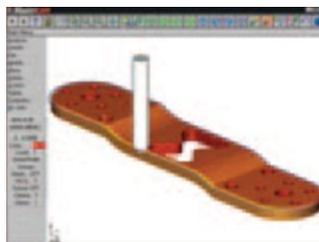


Figure 2.39. Contournage 3D

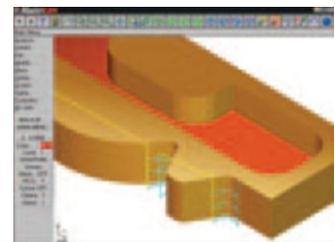


Figure 2.40. Reprise de contour

2.6. Rhinocéros

Rhinocéros 3D est un logiciel de conception assistée par ordinateur, développé par Robert McNeel&Associates. Permet de créer, modifier, analyser et traduire des courbes, des surfaces et des solides NURBS dans Windows.

RhinoCAM est une application FAO intégrée 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 Visual MILL 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.

2.6.1. Avantages de Rhino CAM

RhinoCAM permet l'utilisation d'un 5ème axe continu et indexé dans Visual Mill. Elle possède des stratégies d'usinage avancé tel que l'usinage de surface normale, etc., sans sacrifier la facilité d'utilisation. Convient pour les besoins d'usinage de très haute précision aéronautique, fabrication de moules de pointe, industrie du travail du bois [16].

- Usinage sur 5 axes
- Création / Géométrie d'outils d'édition
- Traducteurs de fichiers (IGES, STEP, STL, DXF ...)
- Simulation des parcours d'outils
- Générateur de Post Processeur (FANUC, NUM, SINUMERIK, FAGOR, HEIDENHAIN...)
- Précision.

2.6.2. Différentes stratégie d'usinage

2.6.2.1. Ebauche horizontal

L'ébauche horizontale est la principale méthode de dégrossissage de RhinoCAM où le matériau est ébauché en couches horizontale avec des passes constante selon l'axe Z comme présenté sur la figure 2.29. Ce type d'usinage est très efficace pour enlever de grandes quantités de matériau, et est généralement effectuée avec un gros outil. L'ébauche est généralement suivie par une semi-finition ou une finition.

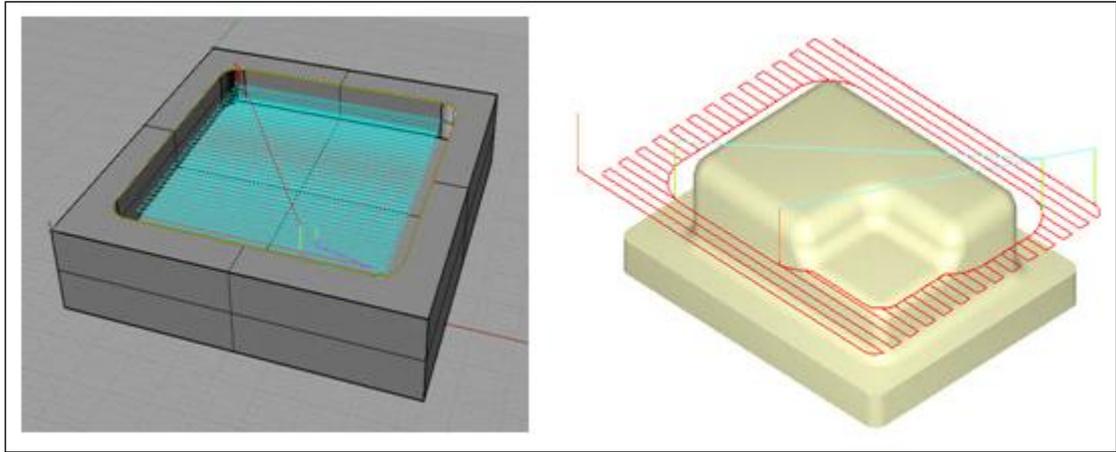


Figure 2.41. Ebauche horizontale [17]

2.6.2.2.Ebauche plongeon

L'outil peut couper dans la direction Z, et non en X et Y comme est illustré la figure 2.30. L'outil fait une série de chevauchement qui plonge pour enlever les bouchons cylindriques de matériau.

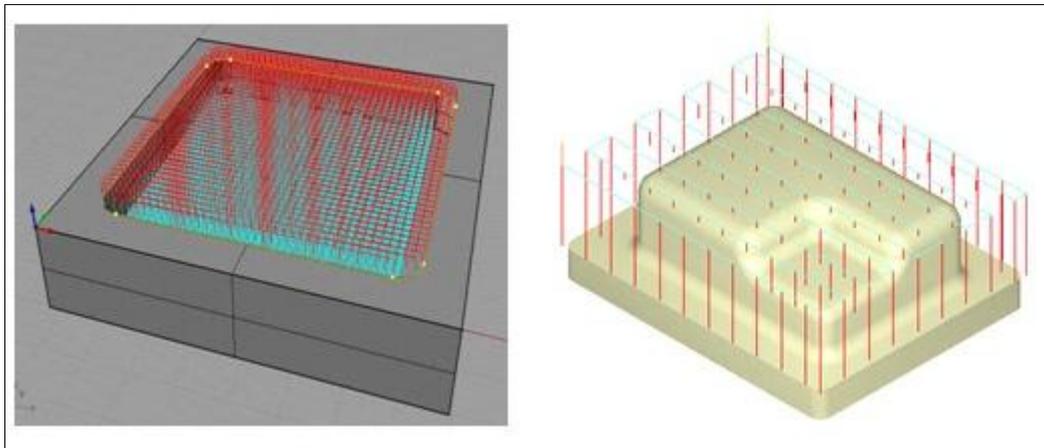


Figure 2.42. Ebauche plongeon[17]

2.6.2.3.Usinage radial

Cette méthode est utilisée comme une opération de finition pour les zones qui ont des poches annulaires. L'outil se déplace radialement à partir du centre de gravité de ces régions (Voir Fig.2.31).

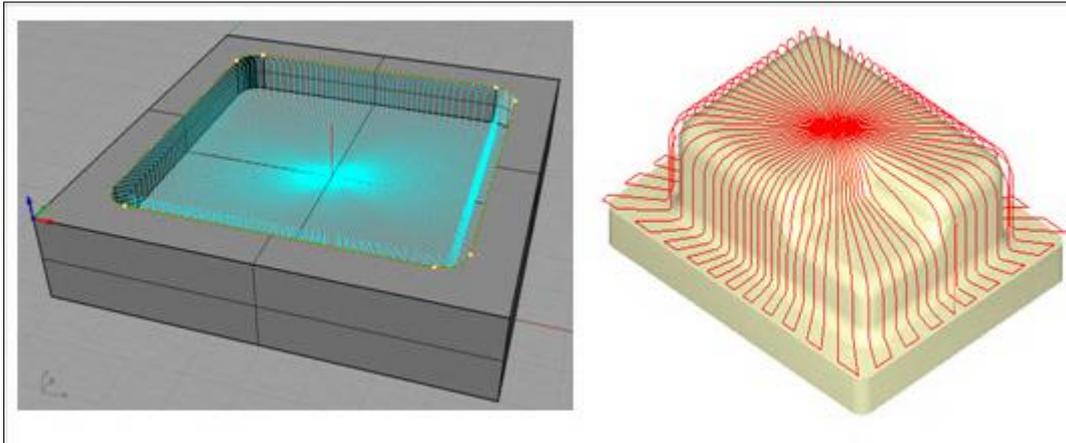


Figure 2.43. Usinage radial[17]

2.6.2.4. Usinage en spirale

Cette méthode est utilisée pour les zones qui présentent des caractéristiques circulaires ou Semi-circulaire, comme la finition fonds de poche. L'outil se déplace dans un motif en spirale sur la base du centre de gravité de ces régions qui est représenté sur la figure ci-dessous.

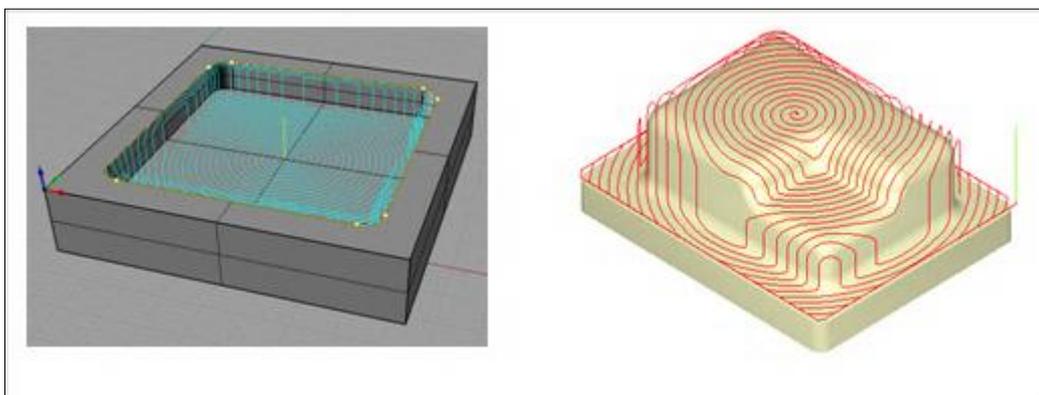


Figure 2.44. Usinage en spirale [17]

2.7. Paramètre des stratégies d'usinages

2.7.1. Offset

Le paramètre offset définit la distance de décalage entre le passage d'ouverture et le extérieur /profils intérieurs comme est illustré la figure 2.33.

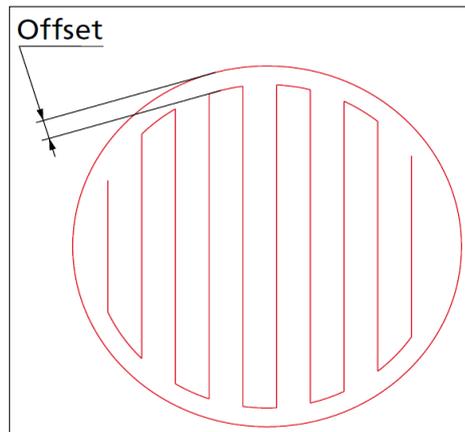


Figure 2.45. Paramètre offset sur stratégie d'usinage horizontal [10]

2.7.2. Step down

Ce paramètre définit la hauteur de l'espacement passes le long de l'axe de l'outil ou la distance sur l'axe Z entre deux passes successive comme présenté sur la figure 2.34., la stratégie d'usinage hélicoïdal est adaptée pour les zones escarpées usinage.

2.7.3. Max. angle de la rampe

Ce paramètre définit l'angle maximal (mesuré à l'horizontale). L'angle de descente de l'hélice montée ne sera pas supérieur à cette valeur comme est présenté sur cette figure ci-dessous.

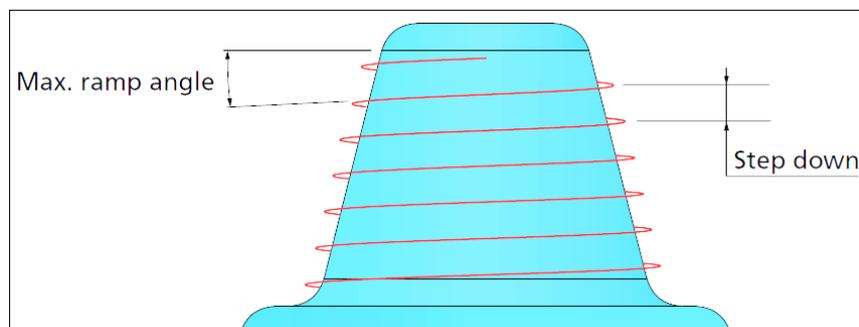


Figure 2.46. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage hélicoïdal

2.7.4. Step over

Ce paramètre est l'espacement entre les passes le long de la circonférence du cercle comme est présenté sur la figure 2.35.

2.7.5. Center

Les passes radiales se commencer ou se terminer par ce point central comme est illustré la figure ci-dessous.

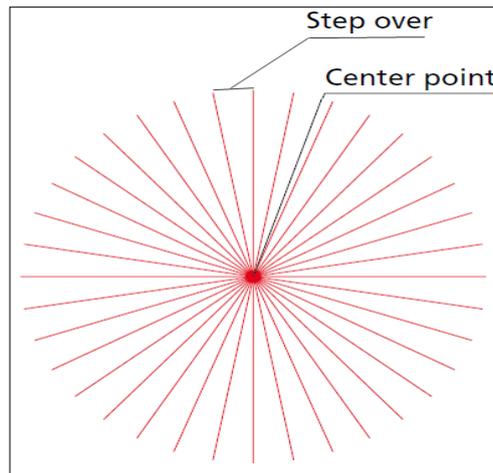


Figure 2.47. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage Radial [10]

Sur la trajectoire de la Spiral on peut définir « Step over » comme la distance entre deux spires adjacentes sur le plan XY comme est représenté sur la figure 2.36.

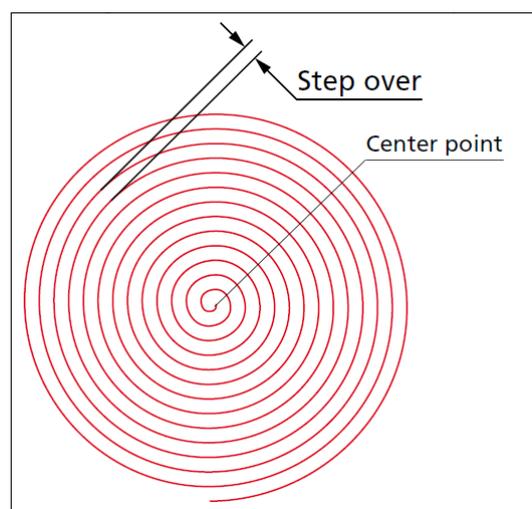


Figure 2.48. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage Spiral [10]

2.7.6. Clockwise direction, Counter clockwise direction

Ce paramètre définit le sens de la spirale comme est présenté sur la figure 2.37. Une trajectoire de l'outil en spirale dans le sens horaire ou une trajectoire en spirale dans le sens anti-horaire (sens inverse des aiguilles horaire).

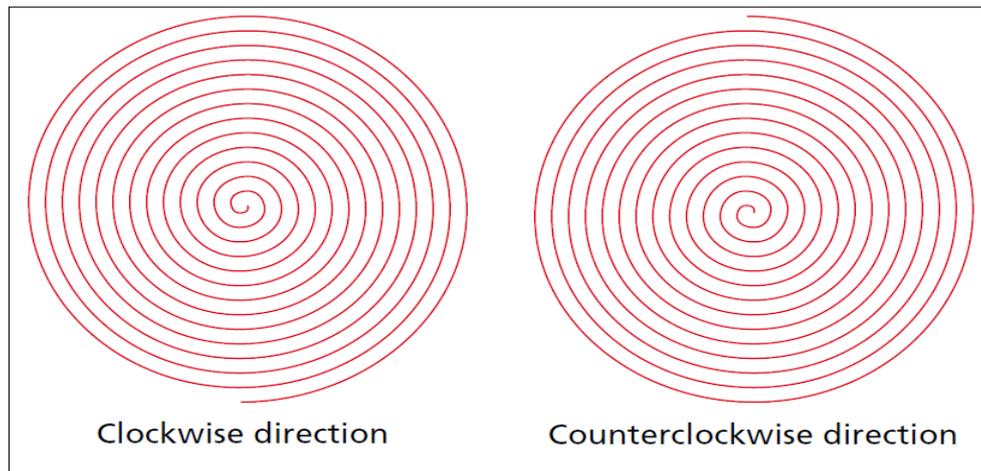


Figure 2.49. Une trajectoire d'outil en spirale dans le sens horaire et dans le sens inverse

2.7.7. Machiningpass, linkingpass

- Bidirectionnelle: Chaque passage est usiné dans la direction opposée à la passe précédente comme est illustré la figure ci-dessous. Une reliant mouvement (passage en vert) relie les deux extrémités ce qui est souvent appelé usinage en zigzag.

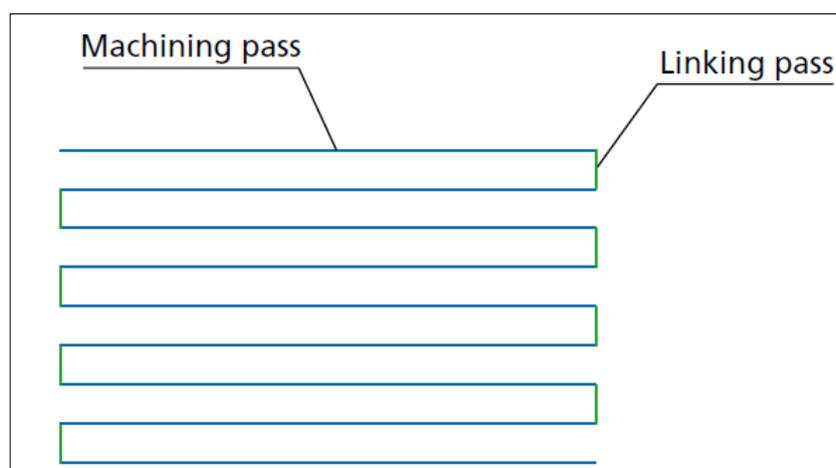


Figure 2.50. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage zigzag [10]

▪ Unidirectionnelle : L'usinage est effectué dans un sens, a un chemin de façon a beaucoup de rétractations. Après l'usinage passé l'outil effectuer le mouvement de l'air vers le point de début de la ligne suivante (en rouge) ce qui est souvent appelé usinage en zig comme est présenté sur la figure 2.39.

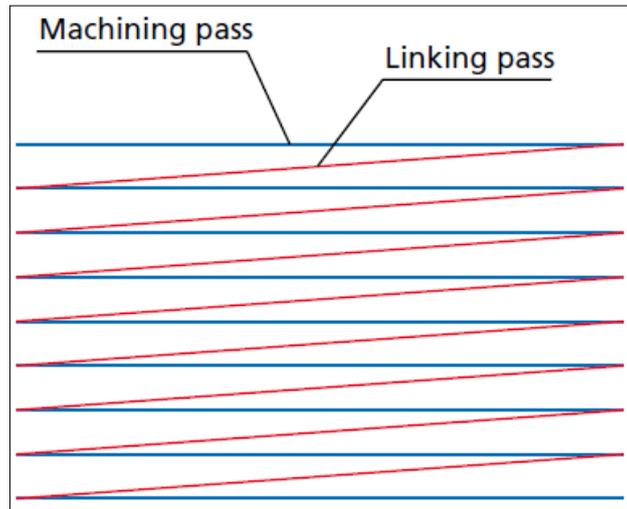


Figure 2.51. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage zig [10]

2.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté quelques notions des stratégies d'usinage de système FAO et CFAO appliquées aux systèmes RhinoCAM, MasterCAM, CAMWorks et SolidCAM, ensuite définie les Paramètres de stratégie. Dans le chapitre suivant nous allons exposer la FAO du logo UABT et les différentes stratégies d'usinages par utilisation du système CAMWorks.

Chapitre -03-

FAO du logo UABT par différente stratégie de CAMWorks

3.1. Introduction

Le cahier de charge de ce travail est de concevoir une solution 3D réalisable à partir de l'image 2D du logo. Pour cela, dans ce chapitre on va utiliser l'application SolidWorks 2007 intégré avec CAMWorks 2007 en anglais pour concevoir et générer le programme de fabrication pour le logo UABT.

Pour la conception on va utiliser l'outil de conception SolidWorks 2007 parce qu'il est capable de réaliser les différentes formes de notre logo (les arcs, l'écriture de texte, l'extrusion l'enlèvement de matière etc.), pour la génération de programme de fabrication on va utiliser le système CAMWORKS parce qu'il supporte les différentes formes de notre logo (arcs, texte, etc.), et le très important générer les différentes stratégies d'usinage de notre logo.

3.2. Présentation du logo et esquisses 2D

L'image du logo qu'on veut réaliser est représentée sur la (Fig.3.1)

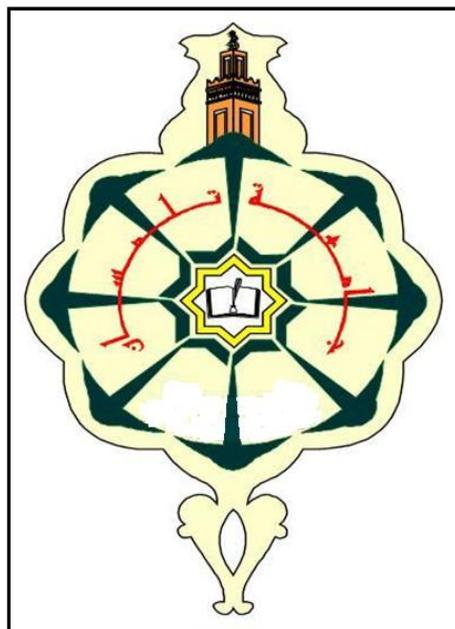


Figure 3.52. Photo du logo de l'université de Tlemcen [18]

A partir de la (Fig.3.1) on a déterminé les dimensions de différentes formes géométriques (lignes et arcs) comme illustre la figure .3.2.

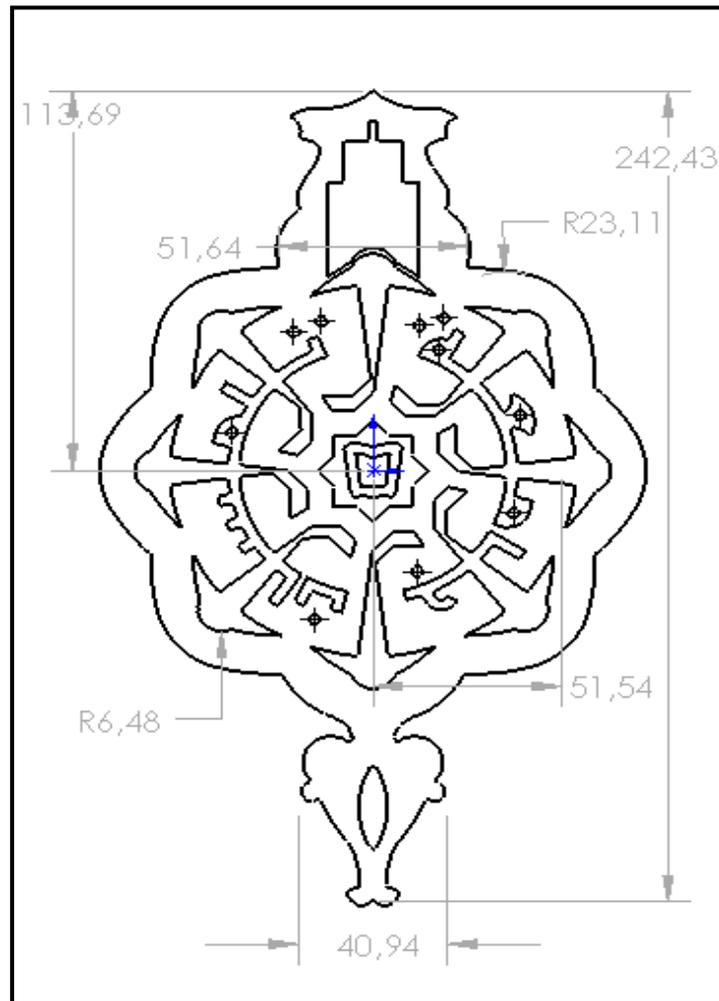


Figure 3.53. Dimensions de la géométrie 2D de base du logo [18]

3.3. Présentation de l’outil CAO

Pour la conception assistée par ordinateur des géométries des solutions 3D proposées on utilise l’outil de CAO “SolidWorks 2007”.

3.3.1. SolidWorks 2007[19] [20] [21]

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes.

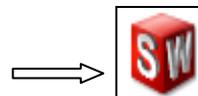
SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique paramétrée basée sur des fonctions, associatif, il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : Pièce, assemblage et mise en plan.

- **Modèle géométrique** : le plus complet utilisé dans les systèmes de CAO, utilisant les informations qui relient les géométries du modèle entre elles (exemple : telle surface se rencontre avec telle arête).
- **Paramétrique** : les cotes et les relations utilisées pour créer une fonction sont saisies et stockées dans le modèle ; ce qui permet de les changer rapidement et sans difficulté, (Changement de la cote 68 en 118 par exemple).
- **Basée sur des fonctions**, en effet un modèle SolidWorks est formé d'éléments individuels appelés fonctions. Ce sont des fonctions géométriques telles que les bossages, les enlèvements de matière, les perçages, les nervures, les congés, les chanfreins et les dépouilles.

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.

3.3.2. Procédures de conceptions des géométries

- Au début on lance l'application SolidWorks



- Lors de l'ouverture, cliquer sur nouveau document apparition de l'écran de démarrage (3 possibilités sont proposées) :

1. Pièce
2. Assemblage (de pièces)
3. Mise en plan (de pièces ou d'assemblage de pièces)

- Sélectionner Pièce puis OK

- Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner :

(Un rectangle  de longueur 300mm et de largeur 200mm)

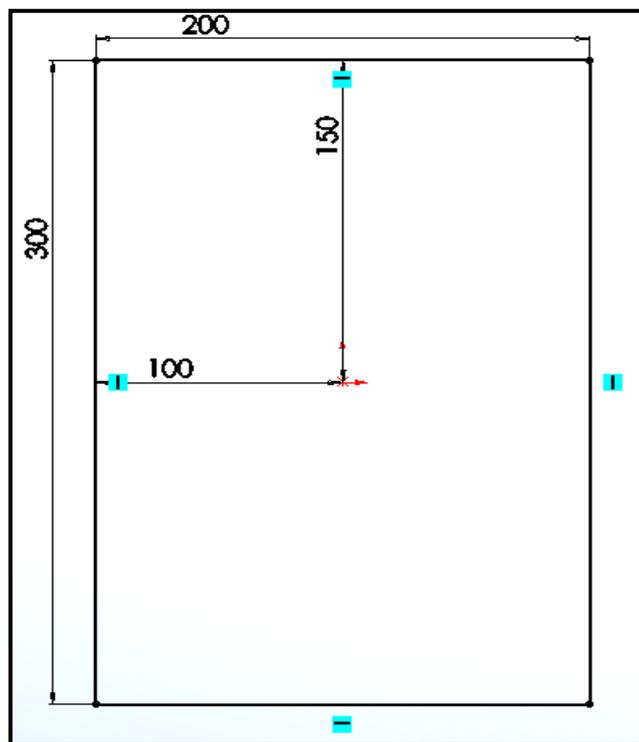


Figure 3.54. Esquisse un rectangle

- Cliquer sur fonction “Base/bossage extrudé” et d’épaisseur de l’extrusion (20.00mm) comme montre sur la figure 3.4.

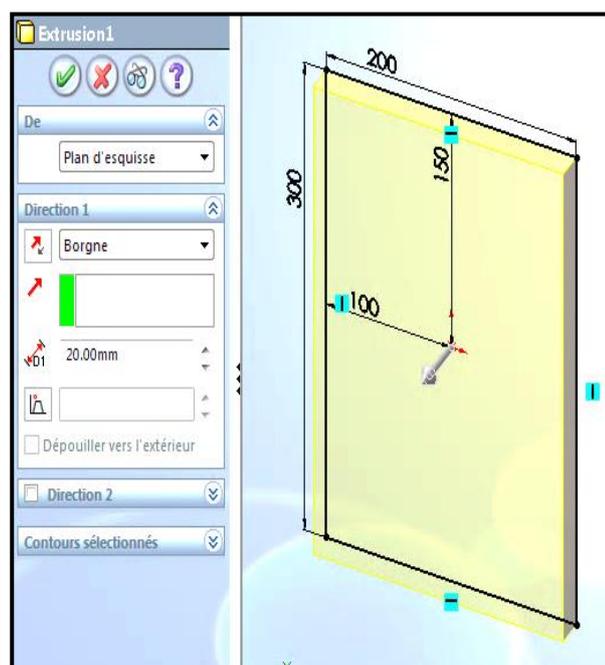


Figure 3.55. Rectangle extrudé

- **Conception du contour externe du logo**

On sélectionne la face avant du rectangle et on ouvre une deuxième esquisse (esquisse2) pour dessiner le contour externe du logo. Ce logo est symétrique, donc pour gagner le temps on dessine un seul côté (Fig.3.5) qui est composé de 12 éléments et on fait la symétrie par rapport à l'axe vertical. Les composants de chaque élément sont comme suite :

- 1) 2 arcs opposés de rayons différents
- 2) Un seul arc
- 3) 5 arcs de rayons différents
- 4) un seul arc
- 5) 3 arcs avec l'arc intermédiaire différent
- 6) Le même que l'élément 5
- 7) Le même que l'élément 5
- 8) 3 arcs de rayons différents
- 9) 3 arcs avec l'arc intermédiaire différent
- 10) 2 lignes parallèles et un arc au milieu
- 11) 3 arcs et une ligne
- 12) 3 arcs de rayons différents

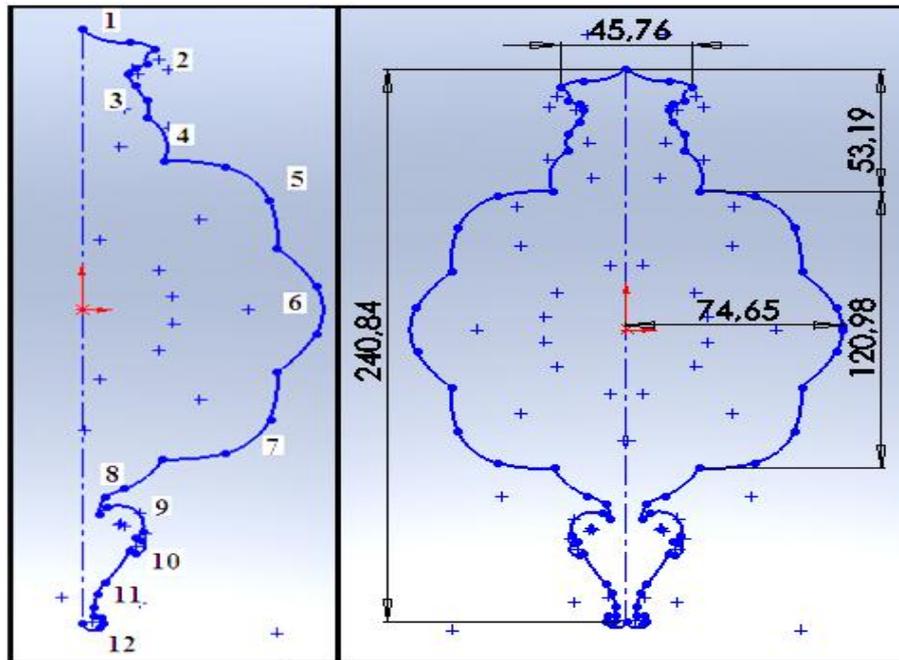


Figure 3.56. Eléments composants de contour externe du logo

On utilise la fonction Base /Bossage extrudé de contour externe (Fig.3.6), et d'épaisseur de l'extrusion (5.00mm).

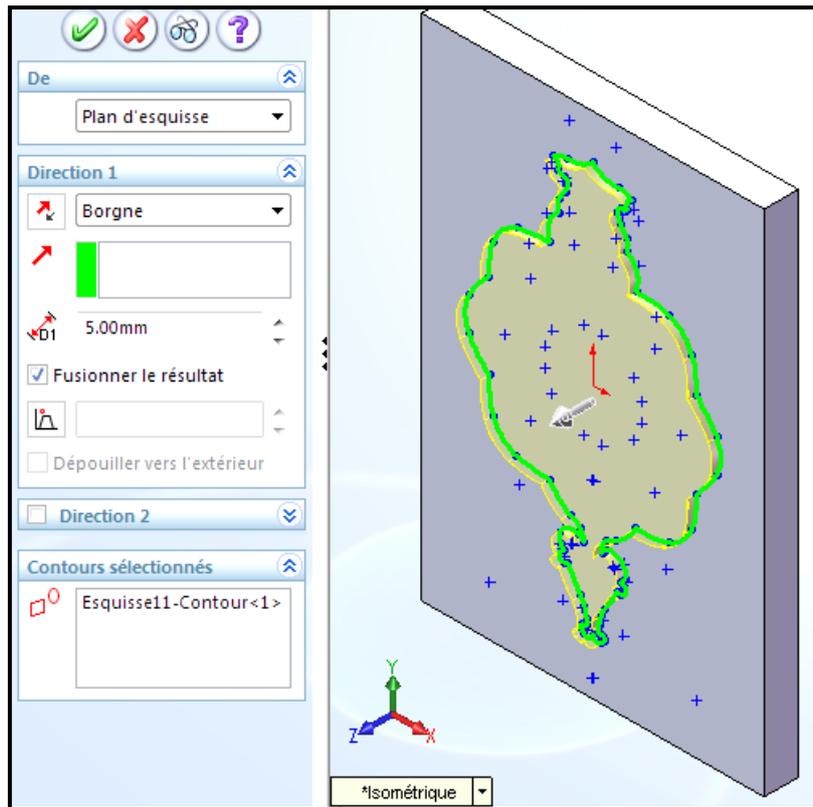


Figure 3.57. Extrusion du contour externe du logo

On crée une autre esquisse (esquisse3) pour dessiner un des contours répétés comme illustre la figure3.7, puis on utilise la commande de répétition circulaire d’esquisse et on donne la valeur 8 qui désigne le nombre de répétition comme est représenté sur la figure 3.8.

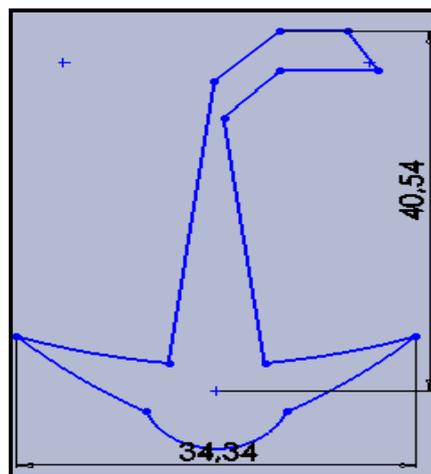


Figure 3.58. Esquisse à répéter

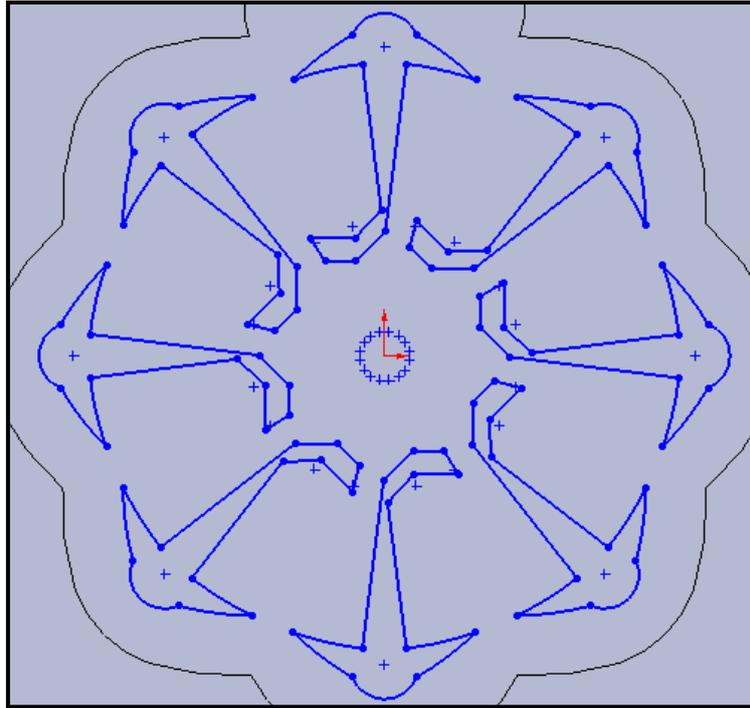


Figure 3.59. Répétition circulaire d'esquisse

On crée la quatrième esquisse pour dessiner les contours qui restent (Fig.3.9) (contour du minaret, contour de l'étoile).

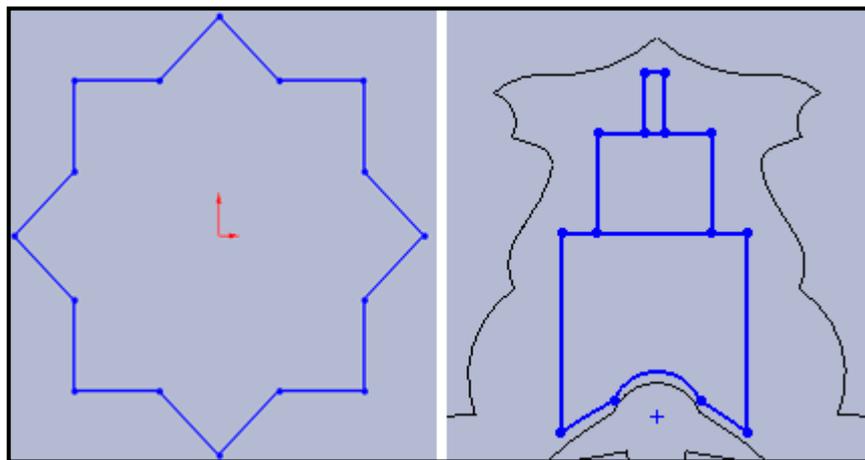


Figure 3.60. Esquisses du minaret, l'étoile

- **Conception de l'écriture en arabe**

On ouvre une autre esquisse (esquisse5) qui va être utilisée pour la gravure de l'écriture en arabe. On dessine les contours de l'écriture en arabe : l'option de l'écriture existe mais seulement en français et anglais, donc pour écrire en arabe il faut utiliser les éléments géométriques de bases et faire l'ajustement entre eux, (Fig.3.10).

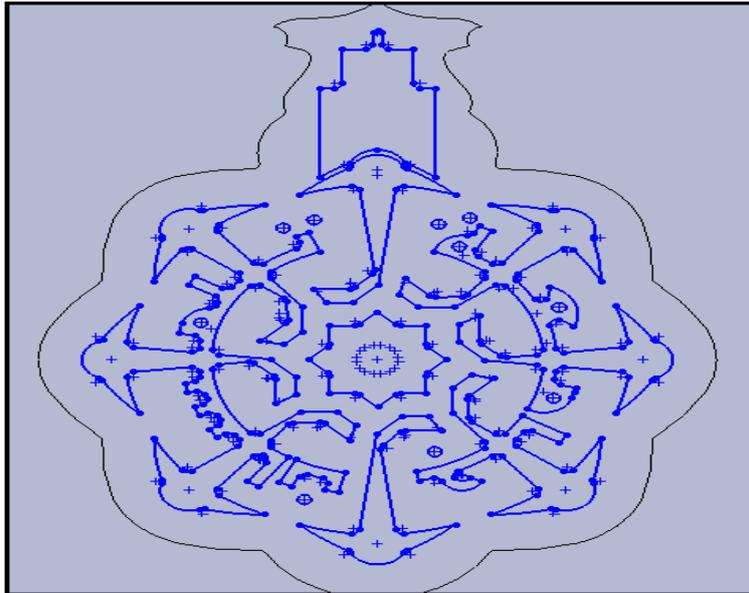


Figure 3.61. Esquisse des contours internes

Sélection tous les contours internes et on utilise la fonction Base /Bossage extrudé (Fig.3.11), et d'épaisseur de l'extrusion (10.00mm).

La Fig.3.11 montre l'extrusion des contours en 3D.

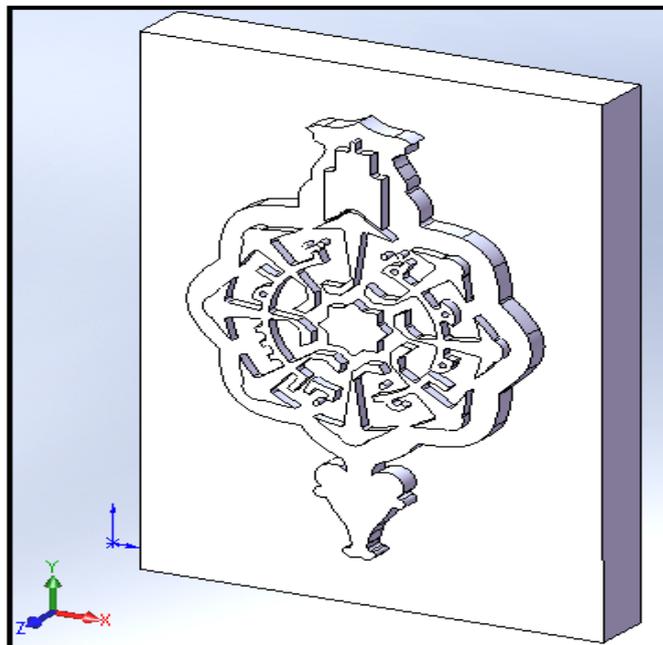


Figure 3.62. Vue 3D après extrusion des contours

La sixième esquisse est le dernier, contour de livre et les deux arcs comme est illustré la figure ci-dessous, et on fait l'opération enlèvement de la matière des contours (Fig.3.13).

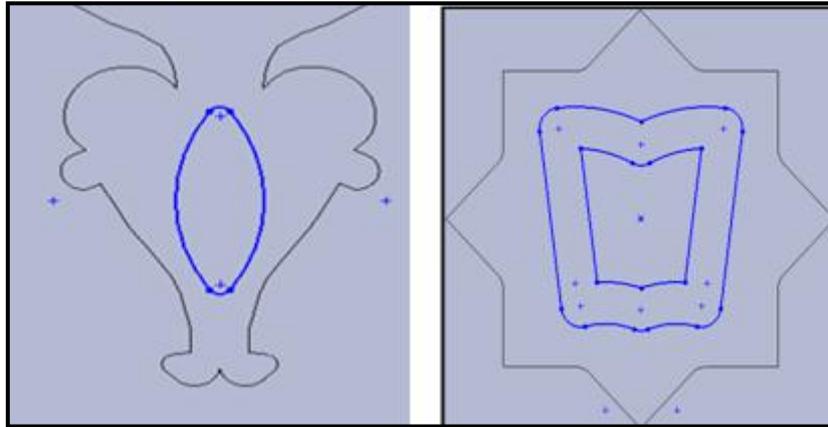


Figure 3.63. Esquisses livre et les arcs

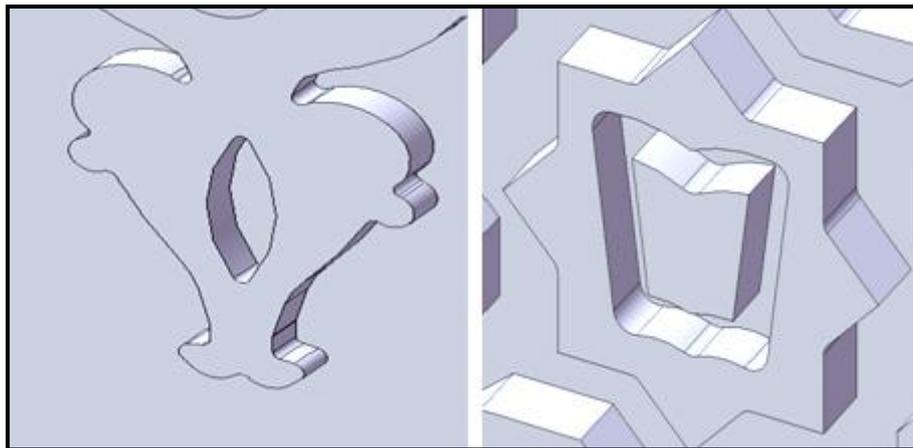


Figure 3.64. Vue 3D après enlèvement de matière

La forme finale du logo obtenu est donnée sur la fig.3.14

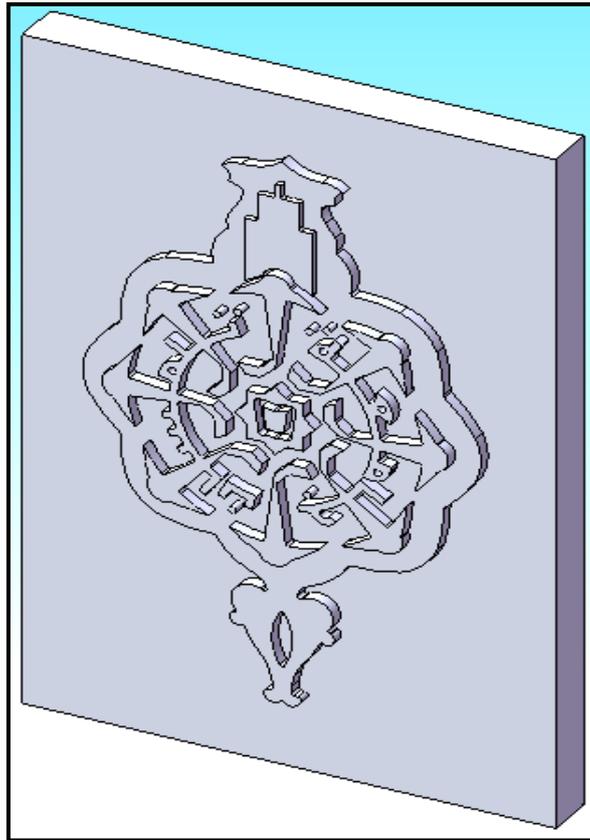


Figure 3.65. Vue 3D du logo de l'université de Tlemcen

3.4. Présentation de l'outil FAO

Pour la fabrication de solution on utilise l'application CAMWorks 2007 en anglais intégré avec SolidWorks 2007 parce qu'il est capable de réaliser les différentes stratégies d'usinage de notre logo notamment: *spiral*, *zigzag* et *Pocket*.

3.4.1. CAMWORKS 2007

CAMWorks 2007 c'est un système 3D de fabrication assistée par ordinateur (FAO) qui aide les industriels à accroître leur productivité et leur rentabilité grâce à des outils d'automatisation adaptables perfectionnant l'usinage.

Cette application est choisie pour les raisons suivantes :

- Utilisation de systèmes CFAO dans le même environnement SolidWorks.
- Supporte les géométries 3D compliquées.
- Détection automatique des formes de base de la géométrie telle que des trous, des poches,...etc.

- Fonctionnement sous base de données technologique.
- Permet 3 concepts de fraisage et qui sont : Fraisage 2.5 axes, Fraisage 3 axes, Fraisage multiaxes.
- Permet la reconnaissance automatique des formes AFR.
- Permet la reconnaissance interactive des formes IFR.
- Génère plusieurs stratégies d'usinages telles que : Spiral, Zig, Zigzag...

3.4.2. Procédure CAMWORKS fraisage

La barre d'outils CAMWorks comme est illustré la figure ci-dessous

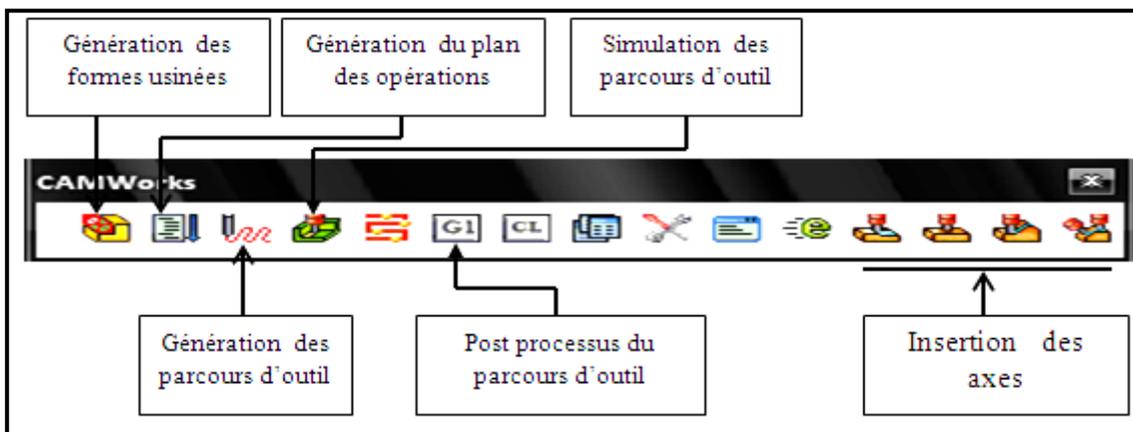


Figure 3.66. Barre d'outils CAMWorks

A. Ouvrir le fichier de la pièce à simuler

1. Cliquer sur le menu « fichier »
2. Cliquer sur la commande « ouvrir »
3. Cliquer sur le fichier à ouvrir
4. Cliquer sur le bouton « ouvrir »

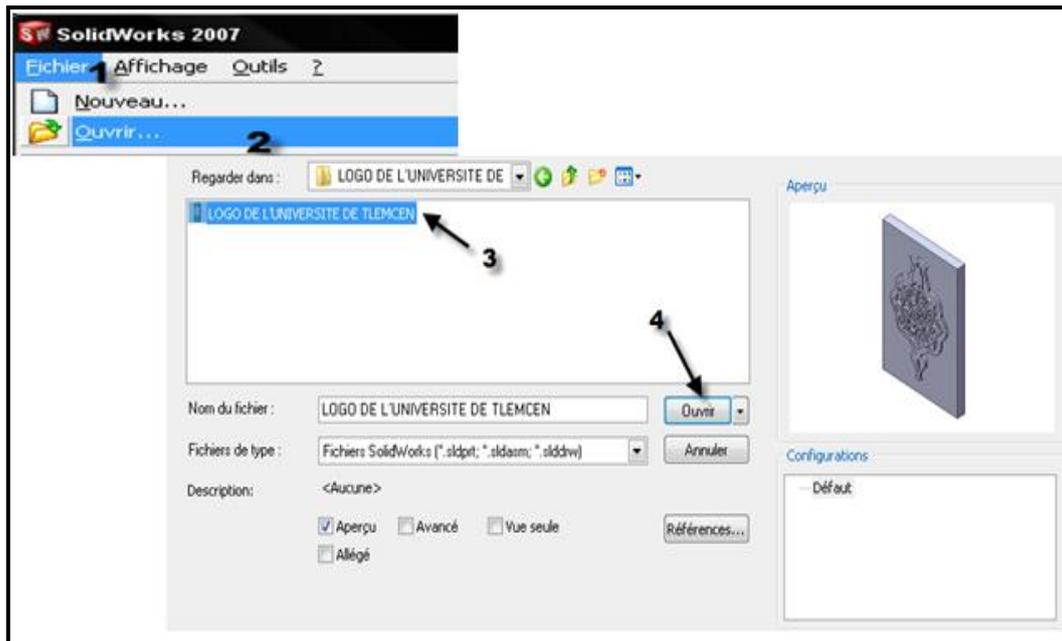


Figure 3.67. Ouverture le dessin du logo de l'université de Tlemcen

B. Accéder à l'arbre des formes (Fig.3.17)

1. Cliquer sur l'icône CAMWorks à la base de l'arbre de création
2. L'arbre des formes qui apparait permet de visualiser toutes la forme usinable de la pièce ainsi que les informations concernant la pièce brute et la fraiseuse qui seront utilisées.

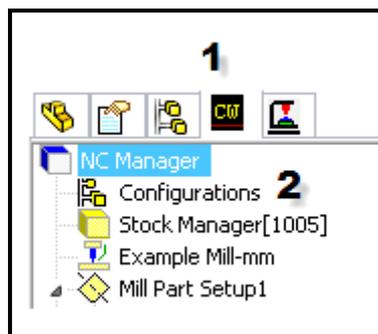


Figure 3.68. Arbre des formes

C. Génération des formes usinées (Figure.3.18)

1. Pour compléter l'arbre des formes, il est nécessaire d'extraire les formes usinables
2. Cliquer sur l'icône « extraire les formes usinables »

3. L'arbre des formes est complet par les différentes géométries qui seront usinées dans la pièce brute avec une désignation particulière pour chacune d'elle (poche irrégulière, trou...).

4. On cliquant sur chacune des formes désignées, la géométrie correspondante se met en surbrillance sur la pièce.

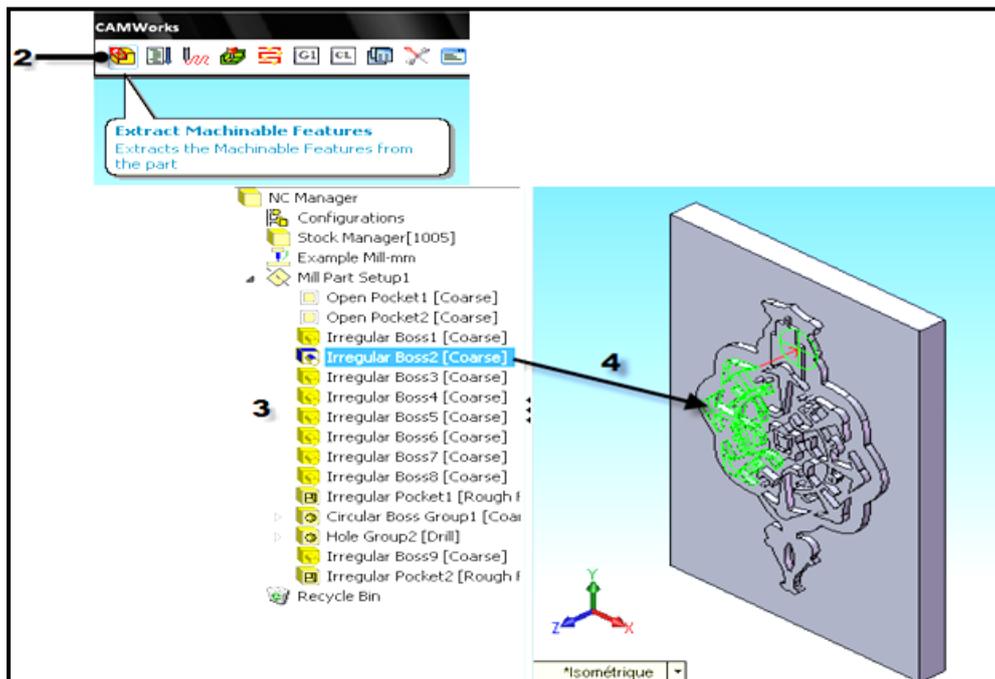


Figure 3.69. Génération des formes usinées

D. Accéder à l'arbre des opérations (Figure 3.19)

1. Cliquer sur l'icône pour accéder à l'arbre des opérations.

2. Tout comme l'arbre des formes, l'arbre des opérations est vide au démarrage et nécessite la génération du plan d'opération qui générera la séquence d'usinage des différentes formes usinables.

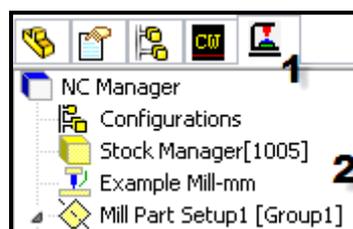


Figure 3.70. Arbre des opérations

E. Génération plan d'opération (Fig.3.20)

1. Cliquer sur l'icône « génération plan d'opération ».

2. L'arbre des opérations est généré : quatre ébauches (*Rough Mill*), quatorze contours (*Contour Mill*), centrage et un perçage (Center Drill, Drill) comme est illustré la figure 3.20.

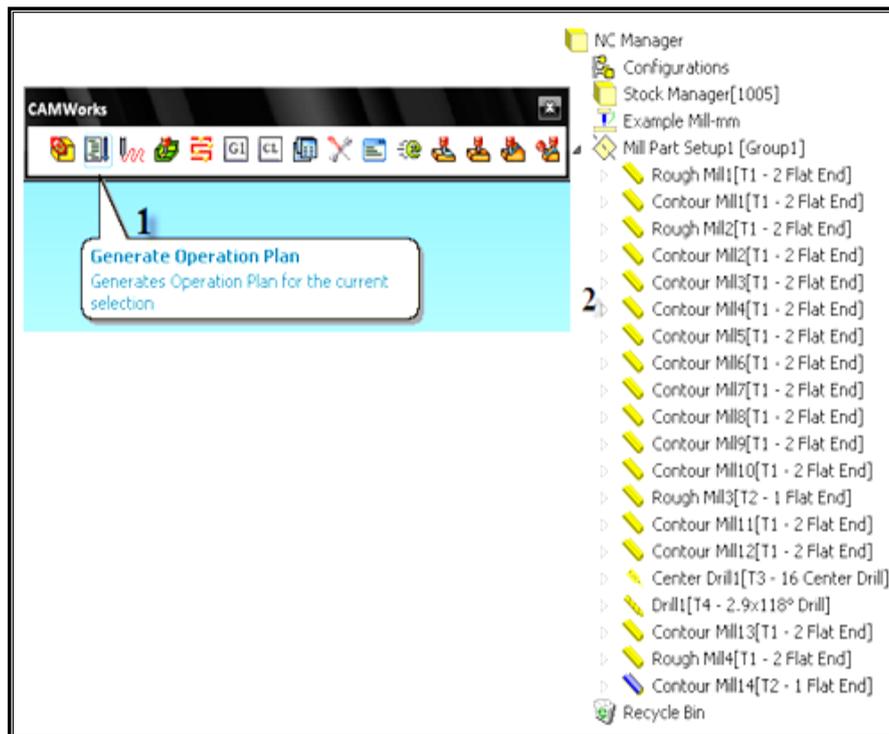


Figure 3.71. Génération du plan d'opération

F. Choisir la machine « la fraiseuse » (Fig.3.21)

Sélection dans la liste « Machine disponible » la CN qui sera utilisé (par exemple : MILL TUTORIAL) commande FANUC ce qui est montré sur la figure ci-dessous.

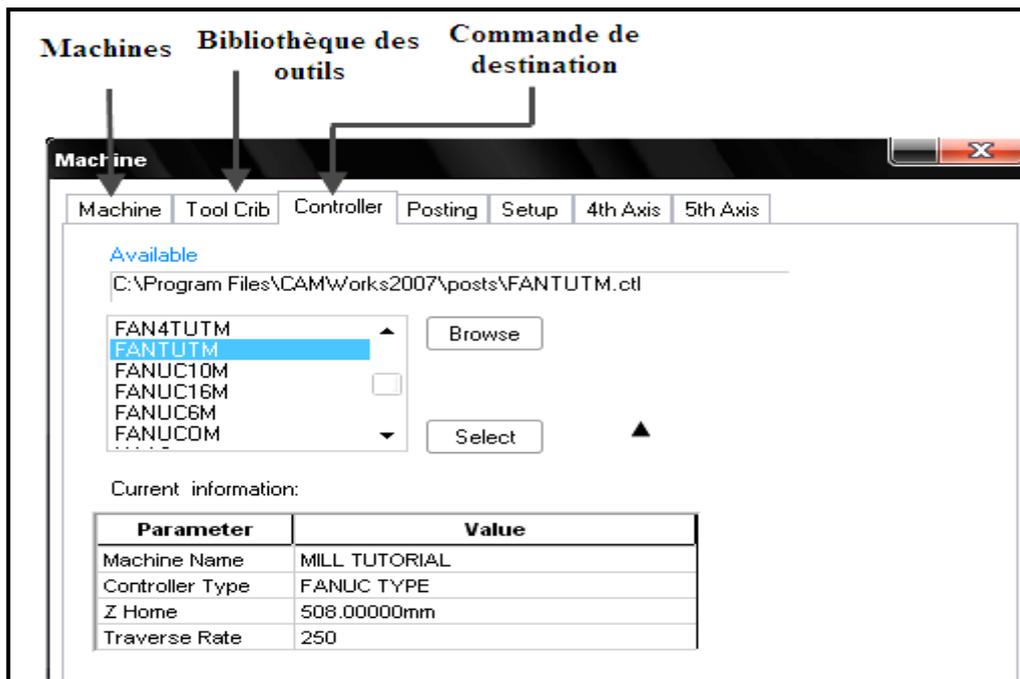


Figure 3.72. Choisir de la machine

G. Définir la pièce brute (Fig.3.22)

Le brute est défini à partir de dimensions extérieures de la pièce dessinée

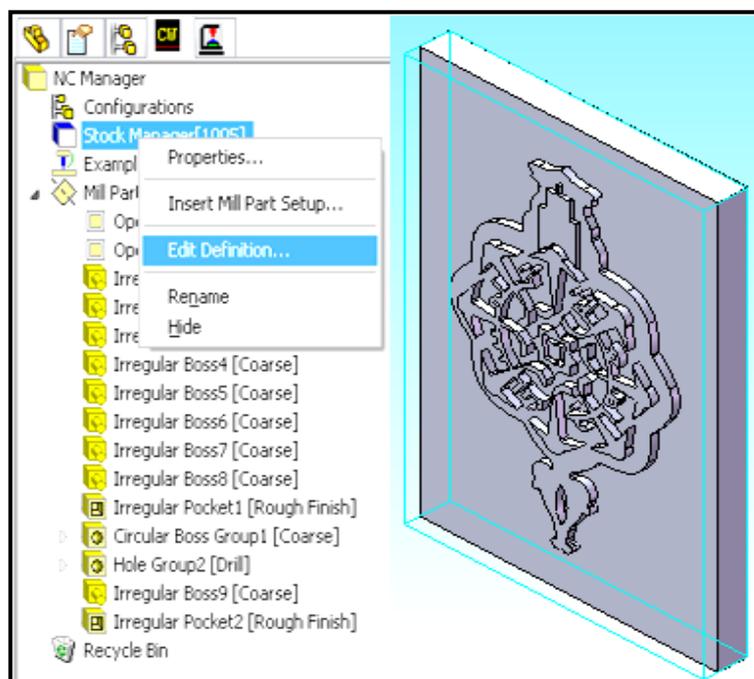


Figure 3.73. Définir la pièce brute

H. Définie les origines dans CAMWorks (Fig.3.23)

A l'aide de la souris, sur le schéma en perspective, en place le repère d'origine au sommet du brut.

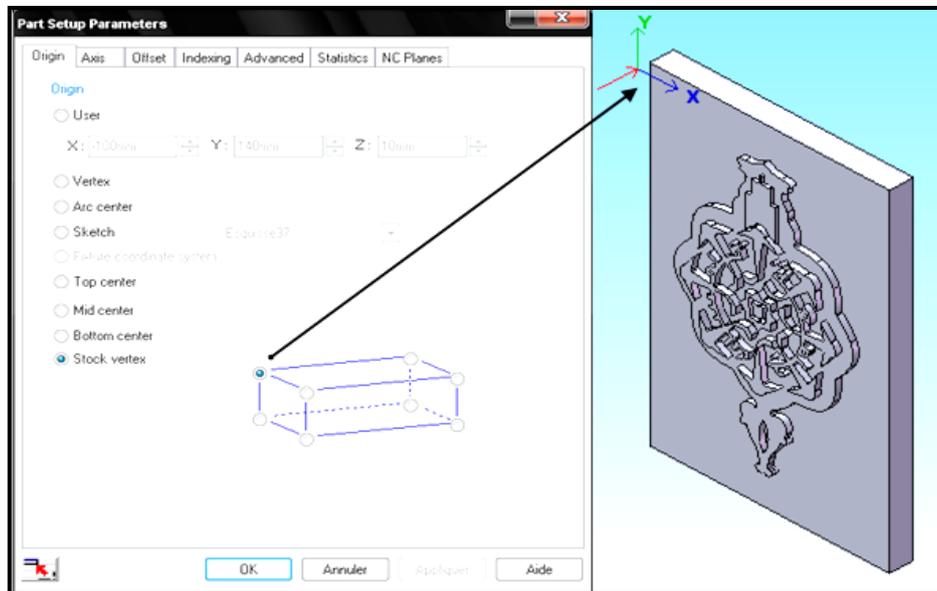


Figure 3.74. Définie les origines

I. Les paramètres de coupe

Dans le menu bibliothèque des outils (Fig.3.24) on choisit outil de type Flat End de diamètre 2 mm, puis on introduit les paramètres CN tel que la vitesse de rotation et la vitesse d'avance comme montre la figure 3.25.

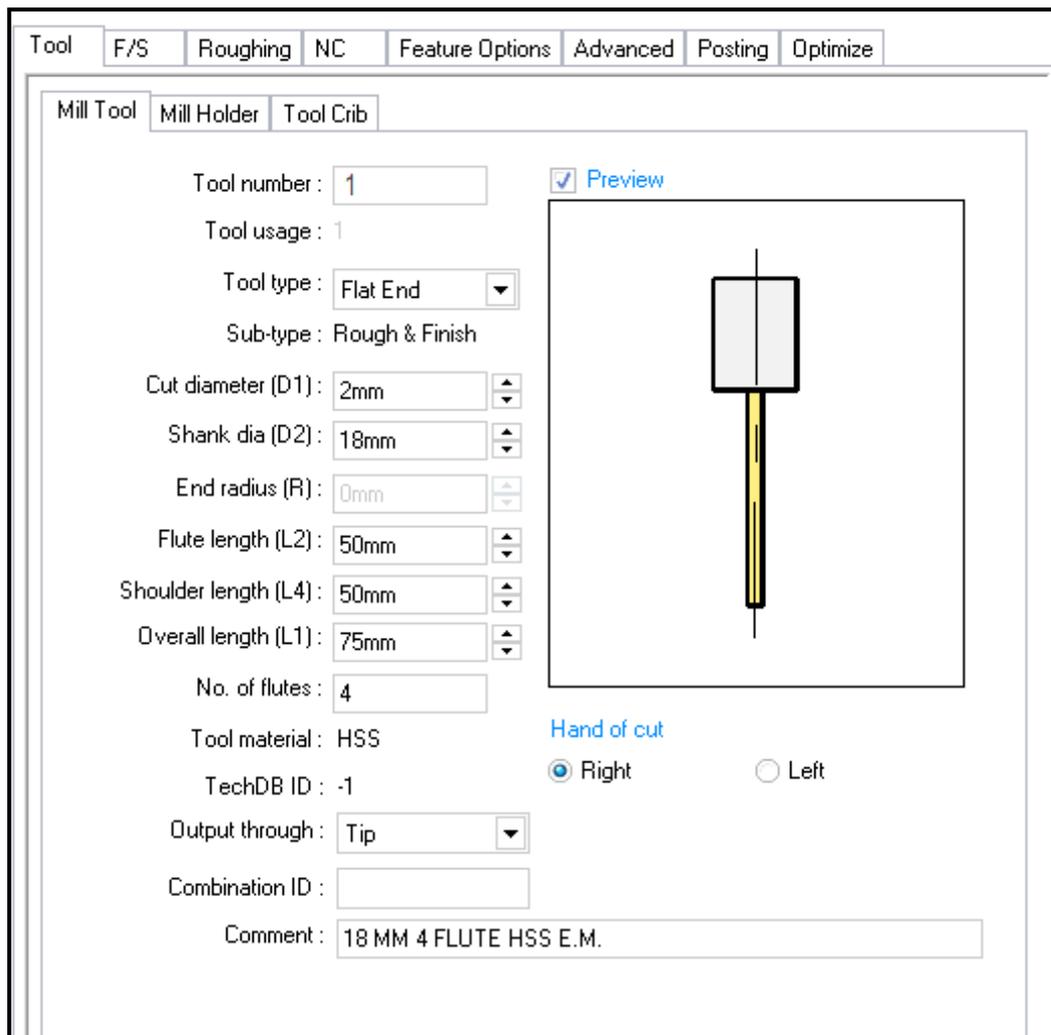


Figure 3.75. Choix de l'outil de coupe

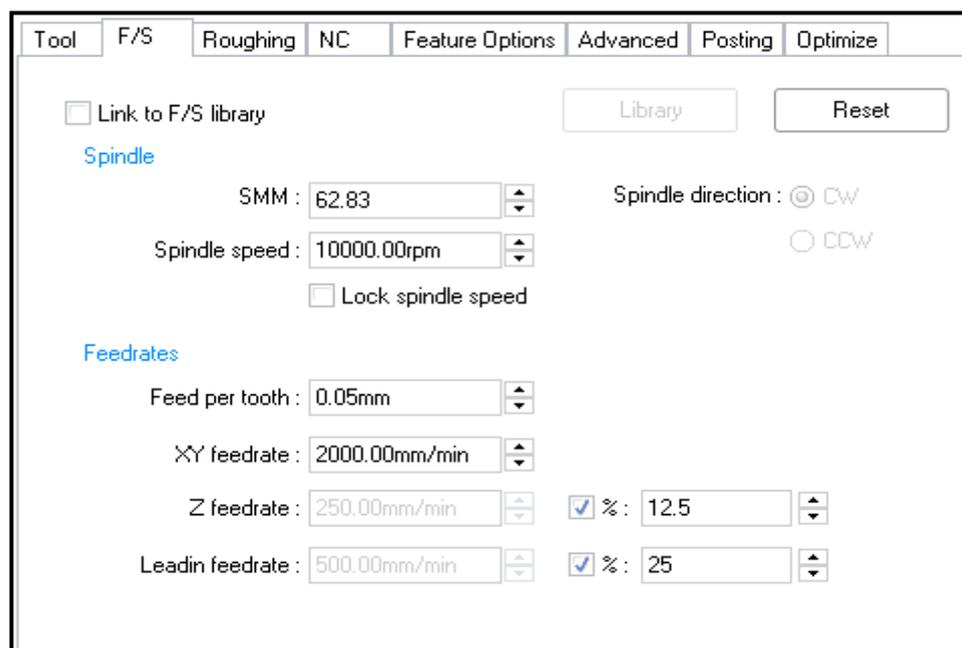


Figure 3.76. Fenêtre des paramètres CN

J. Générer le fichier ISO d'usinage

1. Dans la barre de menu CAMWorks, sélection le bouton « G1 » du post processus du parcours d'outil.
2. Une fenêtre sortie post-processeur vide s'ouvre, sélection le bouton flèche bleus « Play » pour lancer le calculateur. Le programme de codes ISO et la taille de fichier (Bytes) de ce programme est donné automatiquement comme est présenté sur cette figure ci-dessous.

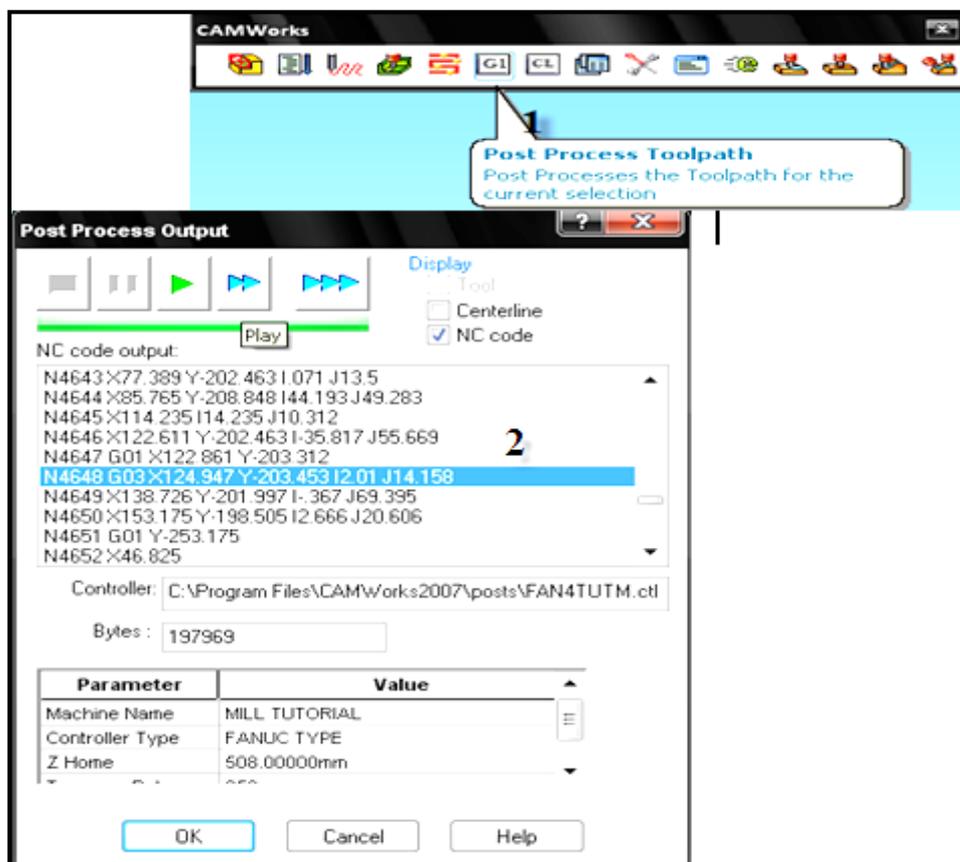
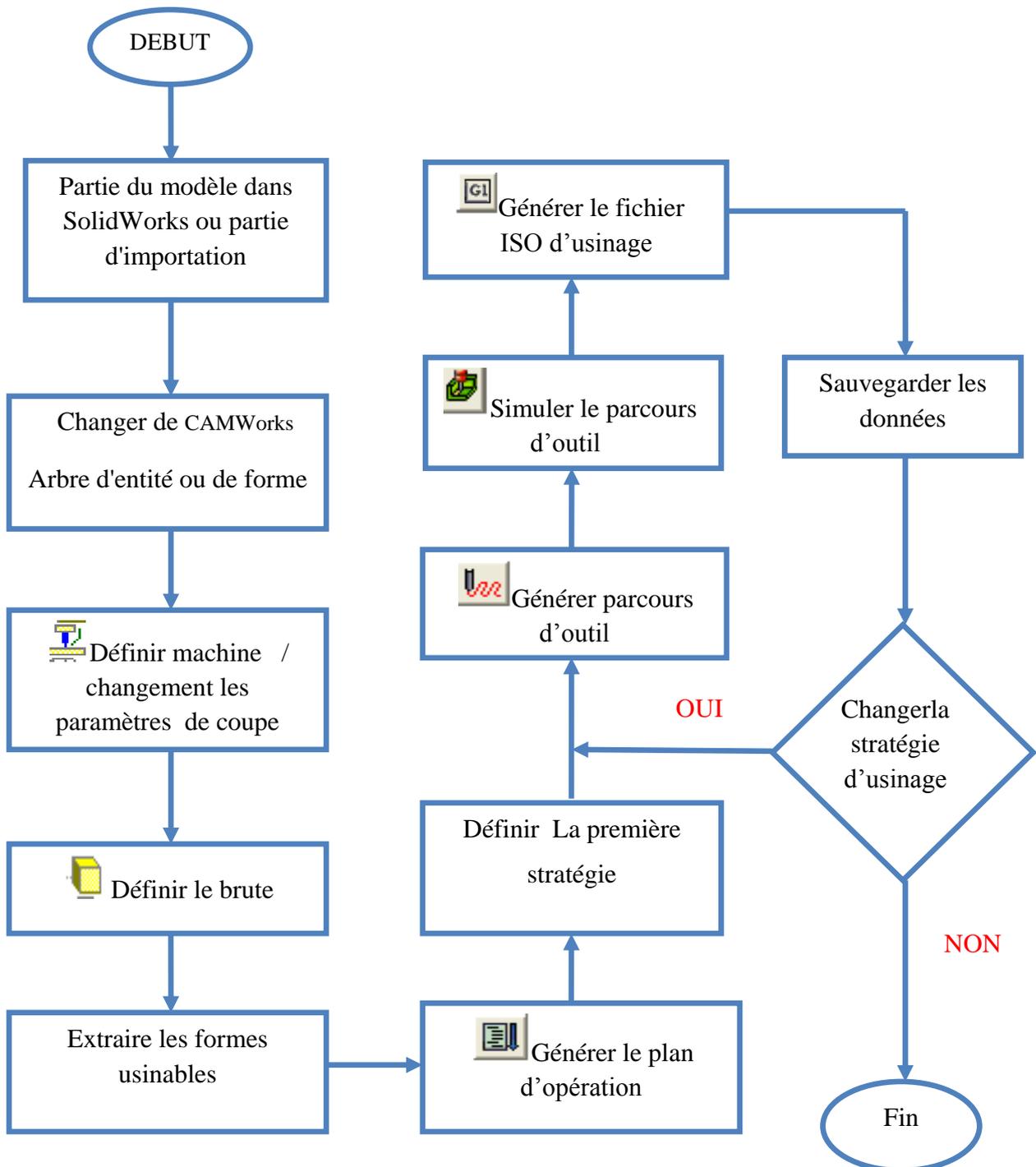


Figure 3.77. Générer le fichier ISO d'usinage

3.5. Différentes stratégies d'usinage

Pour obtenir les différentes stratégies d'usinage sur CAMWorks on va suivre les étapes qui ont montrée sur organigramme suivant :



Dans CAMWorks il existe sept stratégies d'usinages telles que: *Pocket In*, *Pocket Out*, *Spiral In*, *Spiral Out*, *Zig*, *Zigzag* et *Plunge Rough* qui a montrée sur la figure 3.27. On a changé les stratégies d'usinages seulement sur ébauche fraisage (rough Mill) et pour le contour et pressage reste la même stratégie, donc le changement de stratégie se fait seulement sur l'ébauche fraisage (rough Mill).

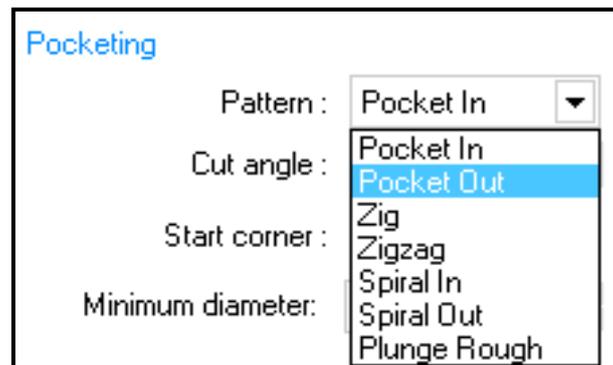


Figure 3.78. Différentes stratégies d'usinage

3.5.1. Stratégie une (Pocket In)

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

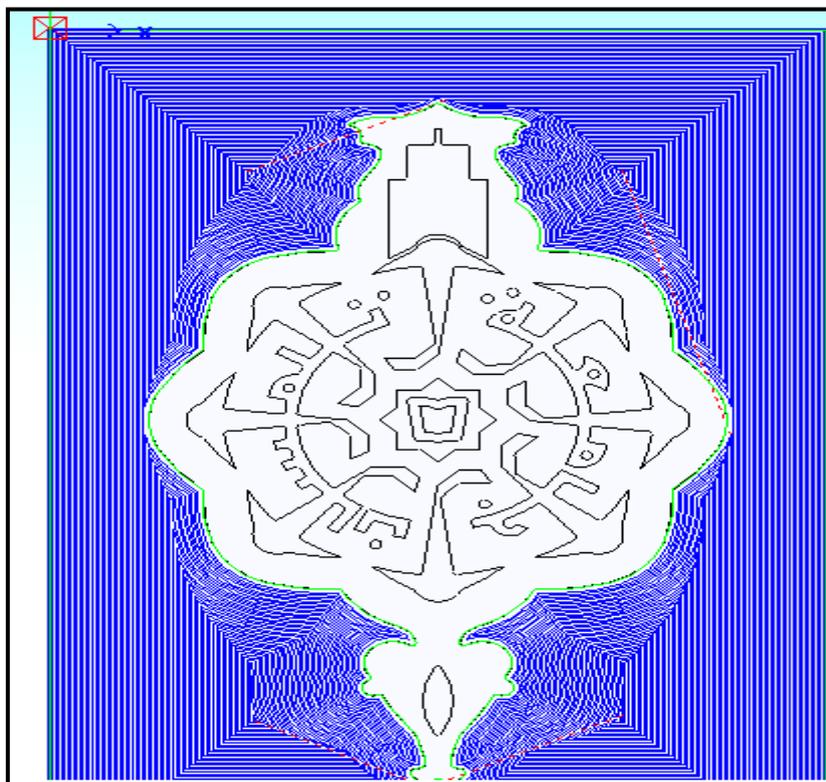


Figure 3.79. Parcours d'outil d'usinage Pocket In

Le tableau 3.1 présente les résultats globaux concernant ce parcours d'outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-A-).

Tableau 3.3. Paramètres du parcours d'outil d'usinage *Pocket In*

Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
130491,01	124,586	197585	6100

3.5.2. Stratégie deux (Pocket Out)

Pocket Out c'est l'usinage de poche horizontale en sortant, usinage commencé à l'intérieur de la pièce jusqu'à l'extérieur.

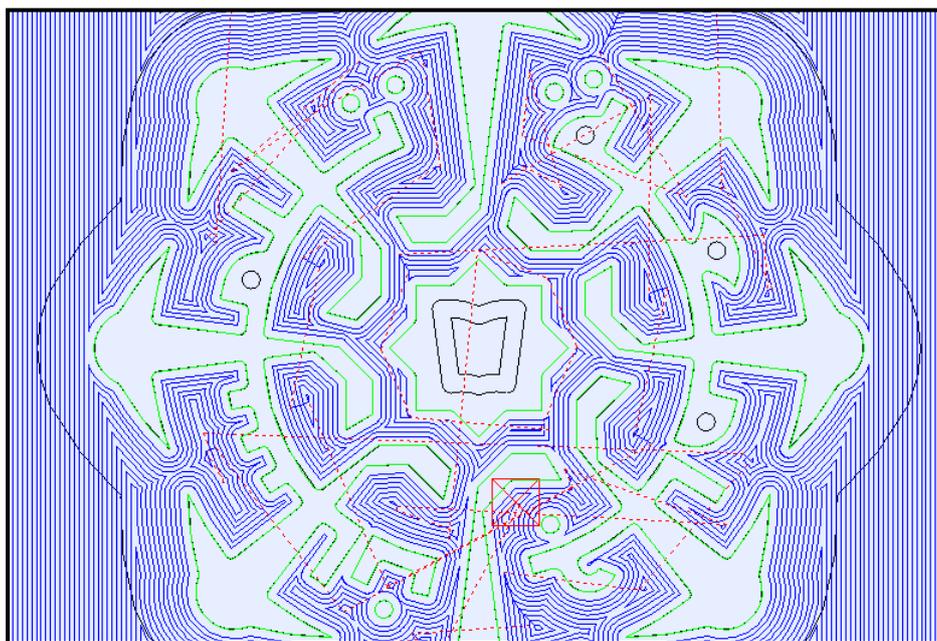


Figure 3.80. Parcours d'outil d'usinage *Pocket Out*

Le tableau 3.2 présente les résultats globaux concernant ce parcours d'outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-B-).

Tableau 3.4. Paramètres du parcours d'outil d'usinage *Pocket Out*

Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
130459,61	124,57	197687	6096

3.5.3. Stratégie trois (Zig)

La stratégie *Zig* c'est usinage horizontale une seule direction avec un seule sens (usinage unidirectionnelle), l'outil se déplace en ligne droite. La trajectoire en rouge c'est avance rapide ou dégagement rapide et en bleu parcours d'outil en usinage.

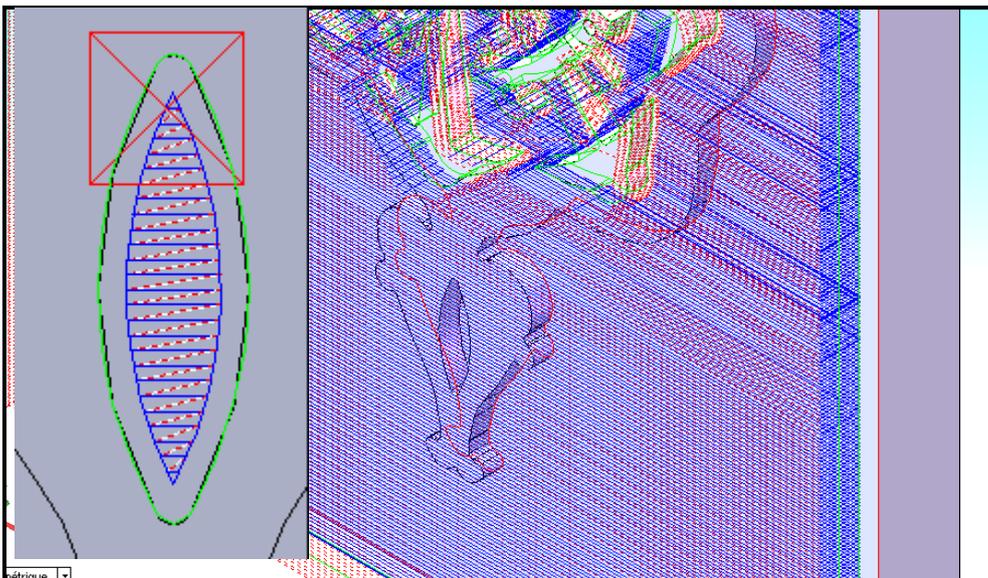


Figure 3.81. Parcours d'outil d'usinage en Zig

Le tableau 3.3 présente les résultats globaux concernant ce parcours d'outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-C-).

Tableau 3.5. Paramètres du parcours d'outil d'usinage en *Zig*

Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
302947,31	157,775	215652	9790

3.5.4. Stratégie quatre (*Zigzag*)

Stratégie *Zigzag* c'est usinage horizontale une seule direction avec deux sens (usinage bidirectionnelle), l'outil se déplace en ligne droite.

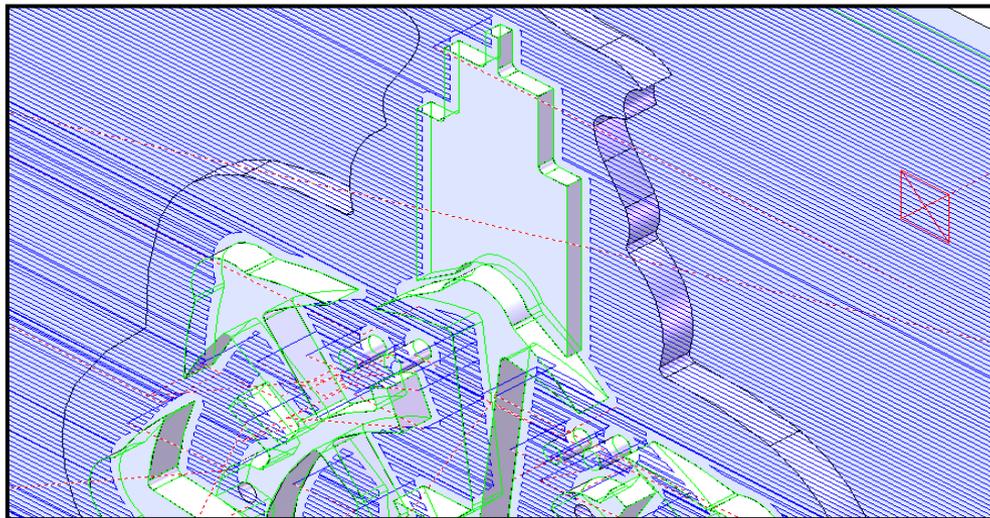


Figure 3.82. Parcours d'outil d'usinage en *Zigzag*

Le tableau 3.4 présente les résultats globaux concernant ce parcours d'outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-D-).

Tableau 3.6. Paramètres du parcours d'outil d'usinage en *Zigzag*

Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
139371,9	130,251	146281	5981

3.5.5. Stratégie cinq (Spiral In)

La stratégie d'usinage en *Spirale* génère un parcours d'outil en spirale depuis un point donné. L'outil se déplace dans un motif en spirale sur la base du centre de gravité de ces régions.

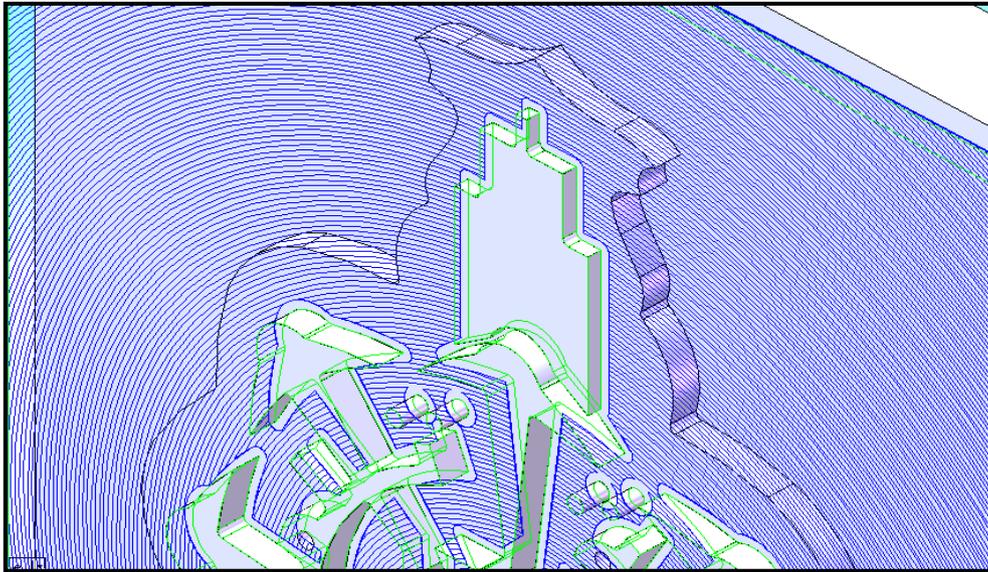


Figure 3.83. Parcours d'outil d'usinage Spiral In

Le tableau 3.5 présente les résultats globaux concernant ce parcours d'outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-E-).

Tableau 3.7. Paramètres du parcours d'outil d'usinage Spiral In

Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
604917,94	601,023	2581997	74683

3.5.6. Stratégie six (Spiral Out)

La stratégie *Spiral Out* c'est l'usinage en spirale sortant (usinage commencé à l'intérieur de la pièce jusqu'à l'extérieur).

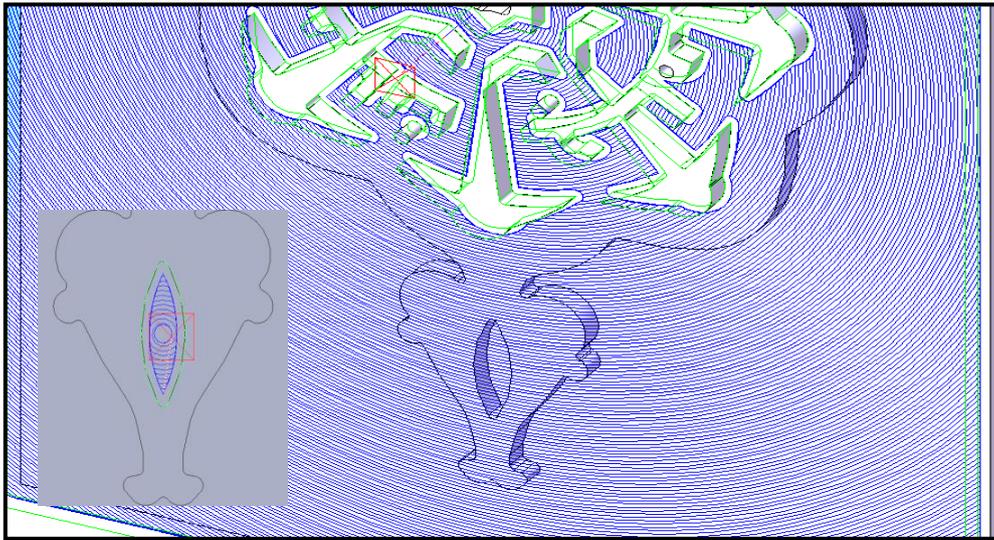


Figure 3.84. Parcours d’outil d’usinage *Spiral Out*

Le tableau 3.6 présente les résultats globaux concernant ce parcours d’outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-F-).

Tableau 3.8. Paramètres du parcours d’outil d’usinage *Spiral Out*

Distance du parcours de l’outil (mm)	Temps d’usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
604917,94	601,023	2581997	74683

3.5.7. Stratégie sept (*Plunge Rough*)

Trajectoire *Plunge Rough* consiste une succession de plongées axiales, l’outil peut couper dans la direction Z, et non en X et Y. L’outil fait une série de chevauchement plonge pour enlever les bouchons cylindriques de matériau.

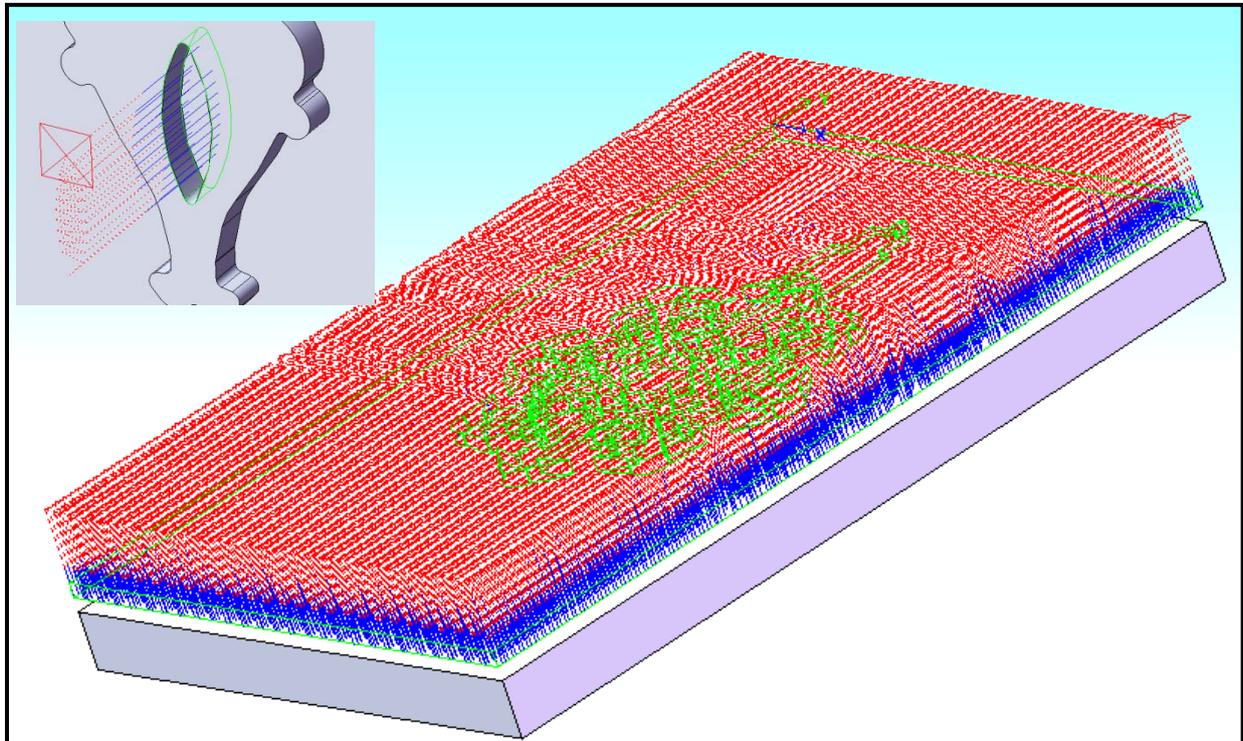


Figure 3.85. Parcours d’outil d’usinage Plunge Rough

Le tableau 3.7 présente les résultats globaux concernant ce parcours d’outil (les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE-G-).

Tableau 3.9. Paramètres du parcours d’outil d’usinage Plunge Rough

Distance du parcours de l’outil (mm)	Temps d’usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Nombre de ligne du programme CN (commande FANUC)
604808,83	600,97	2581760	74662

Le résultat de simulation de ces parcours d’outil donne même qualité d’usinage comme est illustré la figure 3.35, sauf usinage *Plunge Rough* donne la plus mauvaise qualité comme est présenté sur la figure 3.36.

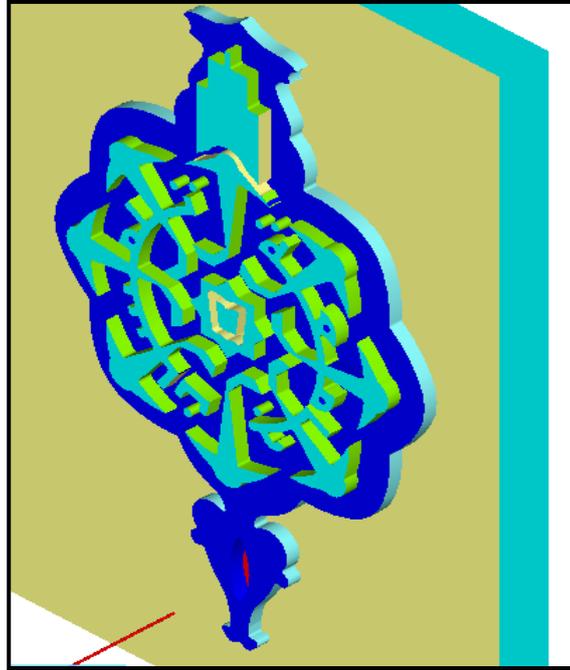


Figure 3.86. Résultat de simulation

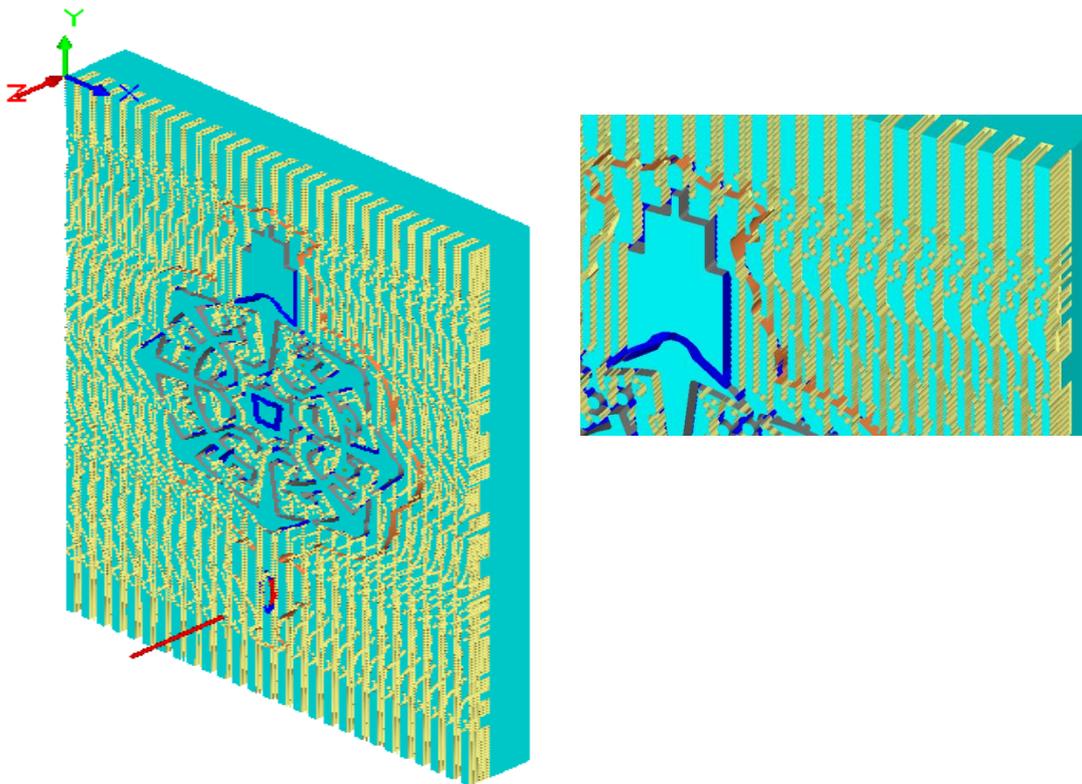


Figure 3.87. Résultat de simulation pour la stratégie Plunge Rough

3.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les procédures de conception et de fabrication du logo par l'utilisation de plusieurs stratégies d'usinage du système CFAO SolidWorks/CAMWorks. Ensuite on a présenté plusieurs stratégies d'usinage qui existent dans ce système (*Pocket In*, *Pocket Out*, *Spiral In*, *Spiral Out*, *Zig*, *Zigzag*, et *Plunge Rough*) et on a obtenu les différents résultats pour chacune.

Dans le chapitre suivant on va faire une étude comparative des résultats de simulation des différentes stratégies utilisées dans le but de choisir la stratégie optimale.

Chapitre -04-

Etude comparative des stratégies d'usinage

4.1. Introduction

Dans le chapitre précédent on a présenté les procédures de fabrication du logo par l'utilisation de plusieurs stratégies d'usinage du système CFAO SolidWorks/CAMWorks et le résultat pour chacune d'elle.

Dans ce chapitre on va comparer les temps de fabrication des différentes stratégies, ainsi que la taille de fichier, distance du parcours de l'outil, nombre de ligne du programme CN, et le coût de chacune d'elle dans le but de choisir la stratégie optimale.

4.2. Comparaison entre les différentes stratégies

Le tableau ci-dessous donne la traduction anglais-français pour les stratégies d'usinages.

Tableau 4.10. Traduction anglais-français

Mots en anglais	Traduction en français
Plunge Rough	Ebauche en plongeon
Pocket In	Usinage de poche horizontale en entrant (usinage parallèle)
Pocket Out	Usinage horizontale en sortant de poche (usinage parallèle)
Zig	Usinage horizontale une seule direction avec un seule sens(usinage unidirectionnelle)
Zigzag	Usinage horizontale une seule direction avec deux sens (usinage bidirectionnelle)
Spiral In	Usinage en spiral entrant
Spiral Out	Usinage en spiral sortant

Le tableau 4.2 présente les résultats global des motifs principaux du logo qui a donnée par du système CAMWorks.

Tableau 4.11. Comparaison entre les différentes stratégies

Stratégies	Temps d'usinage (min)	Taille de fichier (Octet)	Distance du parcours de l'outil (mm)	Nombre de ligne du programme CN pour la commande FANUC
Plunge Rough	33h 13min (1992,853min)	302037	1150291,66	18211
Pocket In	2h 5min (124,586min)	197585	130491,01	6100
Pocket Out	2h 5min (124,57min)	197687	130459,61	6096
Zig	2h 38min (157,775min)	215652	302947,31	9790
Zigzag	2h 10min (130,251min)	146281	139371,9	5981
Spiral In	10h 1min (601,023min)	2581997	604917,94	74683
Spiral Out	10h 1min (600,97min)	2581760	604808,83	74662

D'après ce tableau, les résultats des motifs principaux du logo diffèrent d'une stratégie à l'autre. Nous avons remarqué que la stratégie *Pocket In* et *Pocket Out* sont égales et même pour les deux stratégies *Spiral In* et *Spiral Out*. La stratégie d'usinage *Zig* et *Zigzag* presque égales.

A partir de tableau 4.2 on tracer les différents diagrammes qui a donné par les figure 1, 2, 3,4.

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

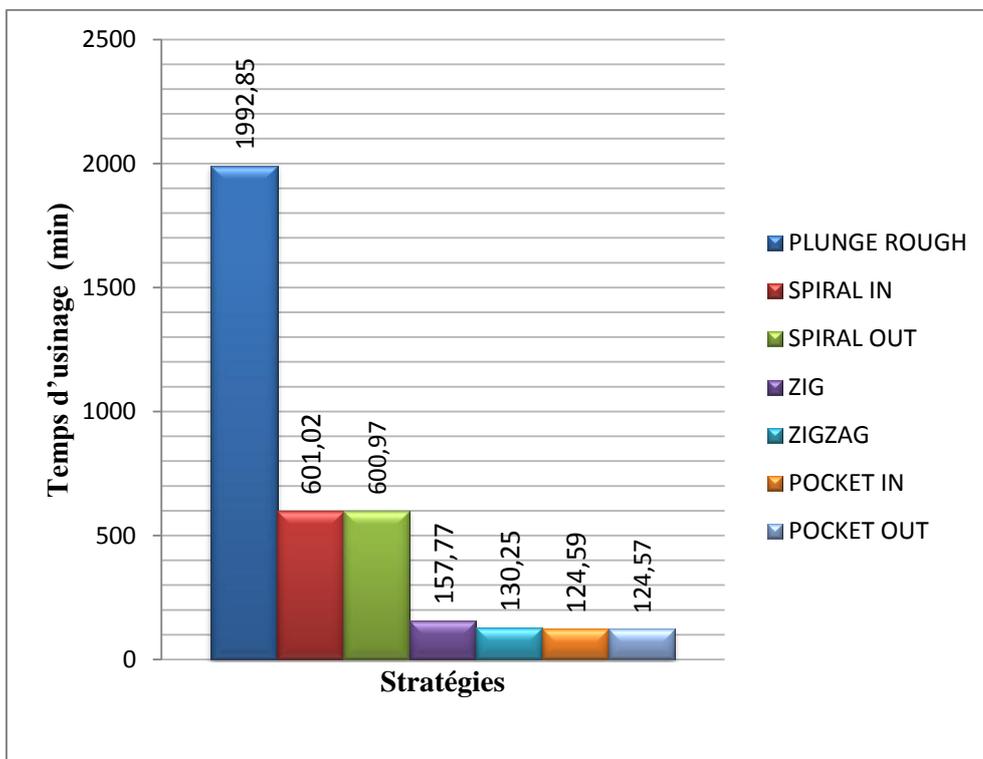


Figure 4.88. Comparaison du temps d'usinage de la simulation

L'utilisation de la stratégie usinage *Pocket* nous donne le temps le plus court par contre la stratégie *Plunge Rough* donne le temps d'usinage le plus long.

4.2.2. Comparaison des différentes stratégies du point de vue du nombre de lignes du programme CN

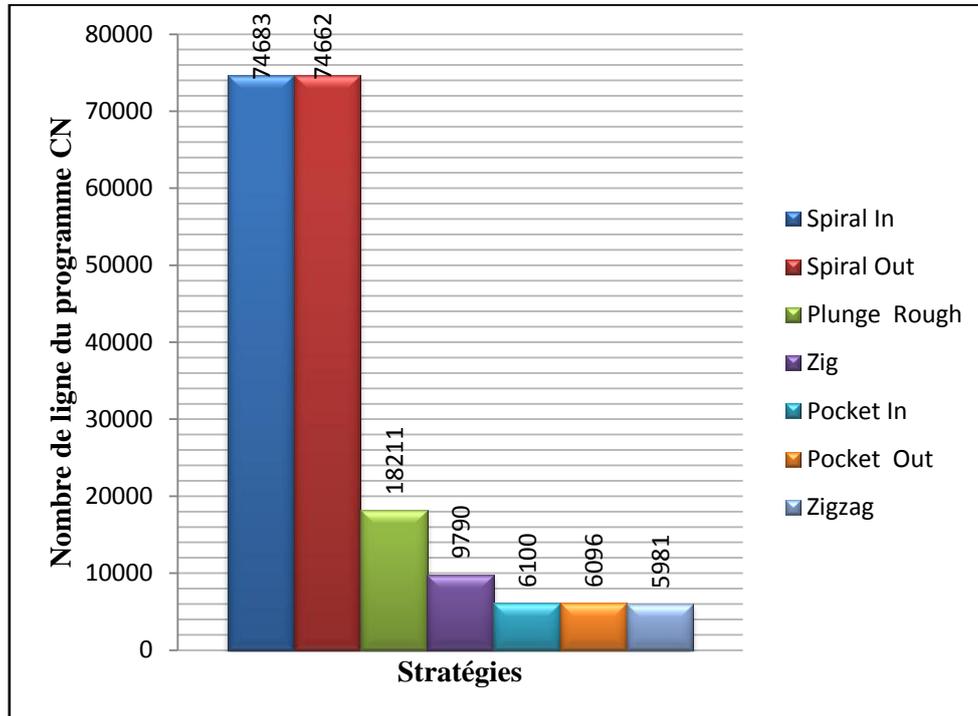


Figure 4.89. Comparaison du nombre des lignes du programme CN

4.2.3. Comparaison des différentes stratégies du point de vue de la taille de fichier

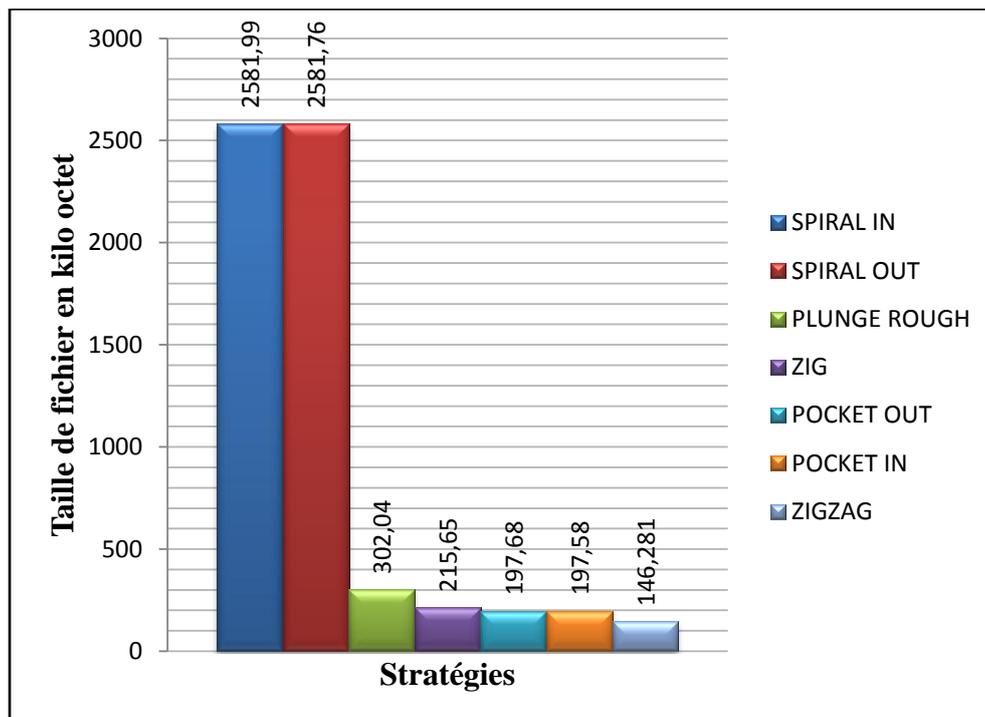


Figure 4.90. Comparaison de tailles du fichier

La taille de fichier de la stratégie *Spiral In* et *Spirale Out* sont égales, et elles sont plus élevées que les stratégies *Pocket In* et *Pocket Out*. La stratégie d'usinage *Zigzag* c'est la meilleure du point de vue taille de fichier, et la stratégie *Spiral* est celui qui a la plus mauvaise stratégie.

4.2.4. Comparaison des différentes stratégies du point de vue de la distance du parcours de l'outil

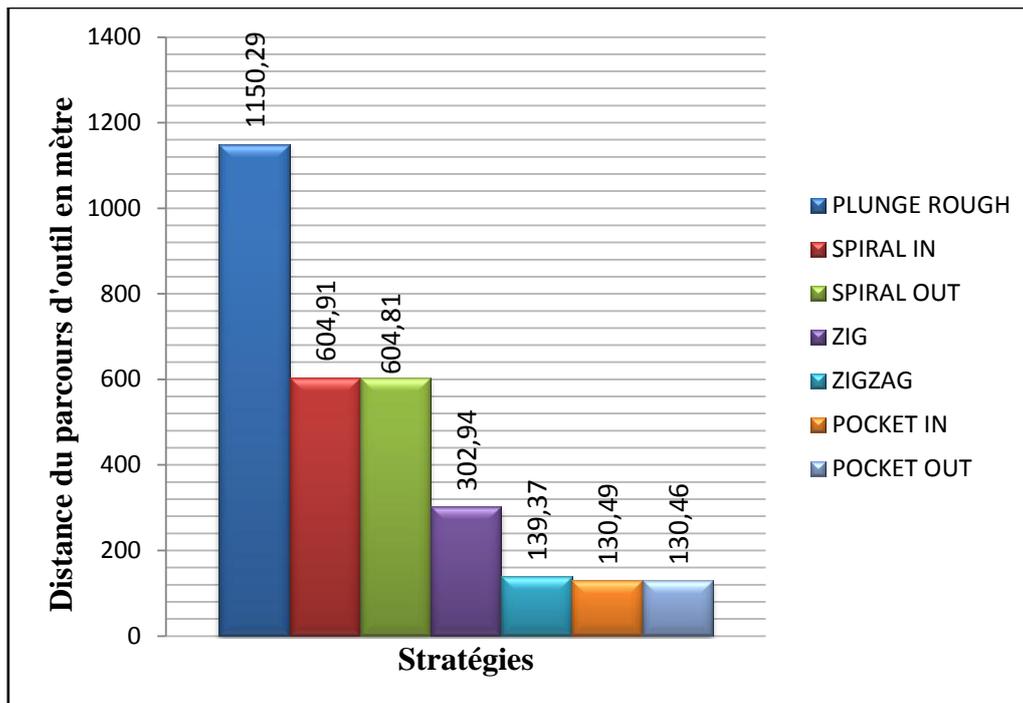


Figure 4.91. Comparaison de la distance du parcours d'outil

La distance du parcours d'outil de *Spiral In* et *Spiral Out* sont égales et même pour les stratégies *Pocket In* et *Pocket Out*, le *Zig* et *Zigzag* sont différents. La stratégie *Pocket* est la meilleure du point de vue la distance du parcours d'outil, la stratégie *Plunge rough* est celui qui a la plus mauvaise stratégie.

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

Le tableau 4.3 présente le temps de fabrication de chaque stratégie, et le coût d'usinage en prenant par exemple le coût horaire de fabrication comme 1000 Da.

Tableau 4.12. Cout d'usinage des différentes stratégies

Stratégies	Temps d'usinage (min)	Cout d'usinage (DA)
Plunge Rough	33h 13min (1992,853min)	33214.21
Pocket In	2h 5min (124,586min)	2076.43
Pocket Out	2h 5min (124,57min)	2076.43
Zig	2h 38min (157,775min)	2629.58
Zigzag	2h 10min (130,251min)	2170.85
Spiral In	10h 1min (601,023min)	10017.05
Spiral Out	10h 1min (600,97min)	10016.16

A partir du tableau précédent, on a tracé le diagramme suivant:

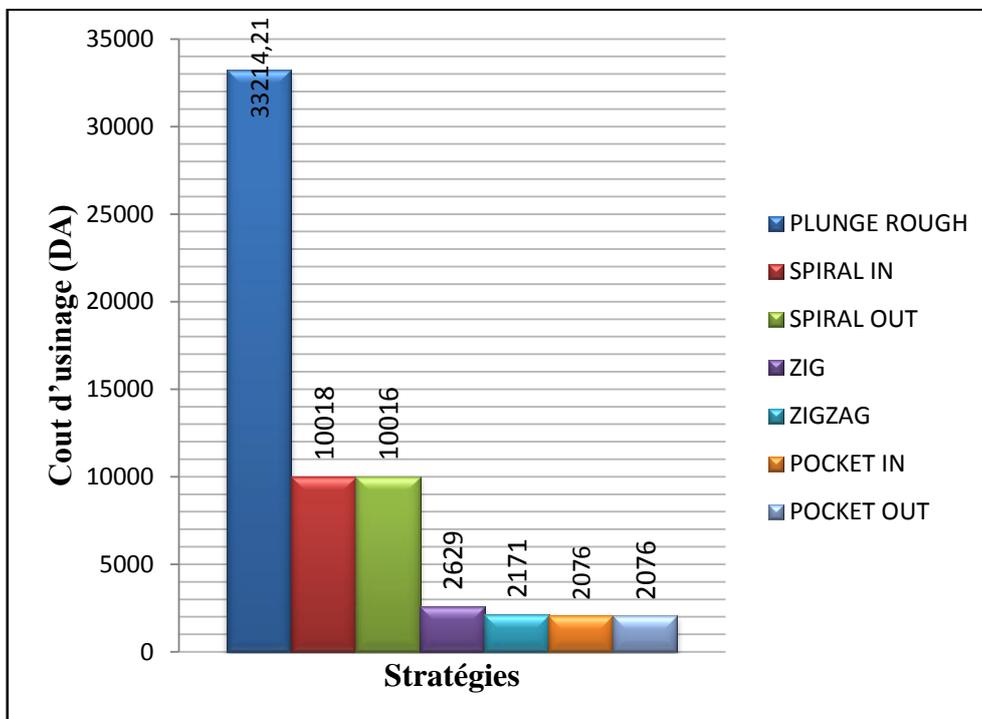


Figure 4.92. Comparaison du cout d'usinage

La stratégie *Pocket* reste la meilleure du point de vue le cout d'usinage, la stratégie *Plunge Rough* est celui qui a la plus mauvaise stratégie.

4.3. Choix de la stratégie optimale

Pour choisir la stratégie optimale on a éliminé les stratégies *Plunge Rough* car ils nous donnent un résultat assez long et une qualité d'usinage très mauvaise comme illustre-la figure 3.34, et on a choisi une seule stratégie entre *Spiral Out et Spiral In*, aussi entre *Pocket Out et Pocket In* car elles sont égales. Et on remplace sur le tableau suivant :

Tableau 4.13. Choix de la stratégie optimale

Stratégies	Temps d'usinage (min)	Distance du parcours de l'outil (mm)	Taille de fichier (Octet)
Pocket	2h 5min (124,586min)	130491,01	197585
Zig	2h 38min (157,775min)	302947,31	215652
Zigzag	2h 10min (130,251min)	139371,9	146281
Spiral	10h 1min (601,023min)	604917,94	2581997

A partir du tableau précédent, on a tracé les deux diagrammes correspondant :

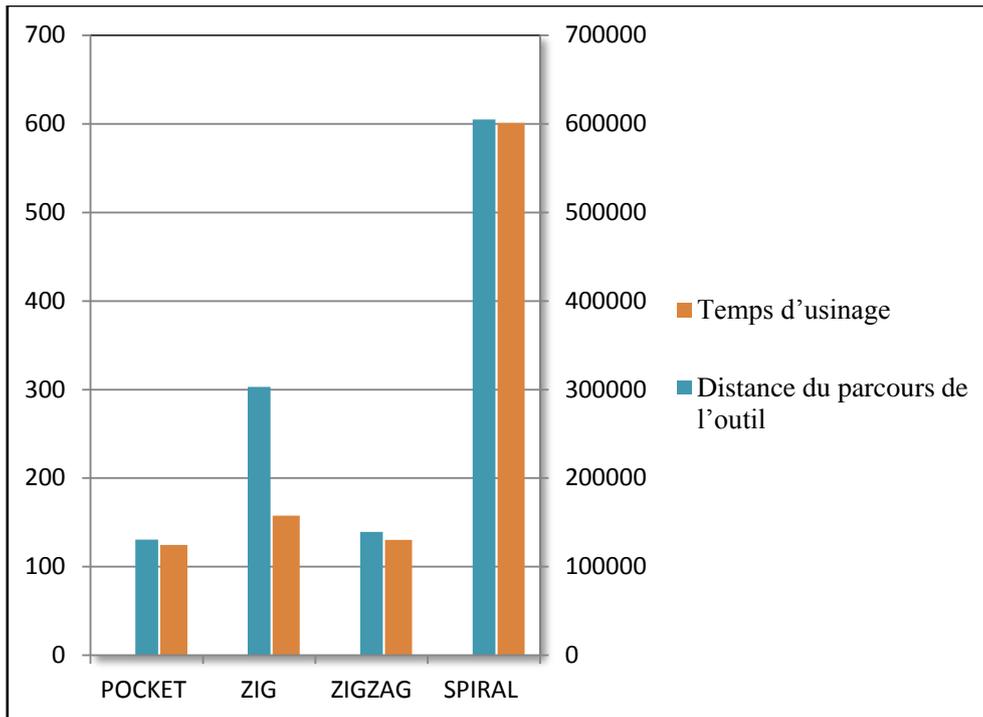


Figure 4.93. Comparaison entre la distance du parcours d'outil et le temps d'usinage

D'après la figure 4.6, on a remarqué que la stratégie Pocket est la meilleur car elle donne le temps le plus court, et que la stratégie Spiral est la plus mauvaise de point de vue le temps d'usinage et la distance du parcours de l'outil.

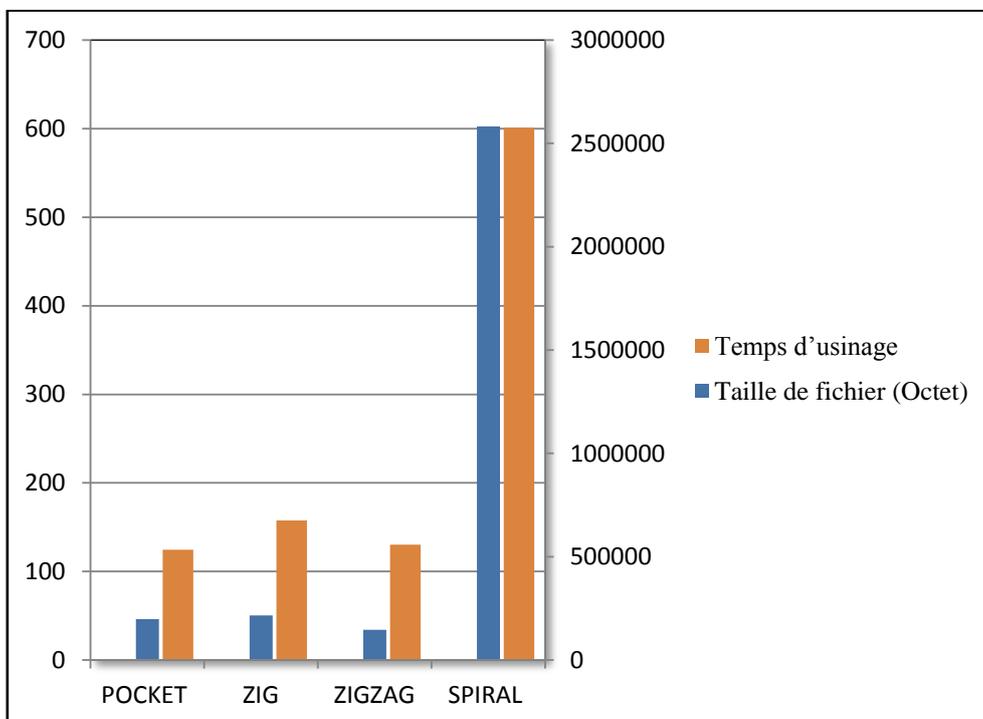


Figure 4.94. Comparaison entre le temps d'usinage et la taille du fichier

D'après la figure 4.7, on a remarqué que la stratégie *Zigzag* est la meilleur de point de vue de la taille de fichier, et que la stratégie du *Spiral* est la plus mauvaise de point de vue temps d'usinage et la taille de fichier.

Si on prend en compte uniquement le temps d'usinage dans le choix de la stratégie optimale, le résultat de cette comparaison montre que la stratégie d'usinage la plus performante en temps d'usinage est le *Pocket*.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une étude comparative des différentes stratégies d'usinage *Pocket In*, *Pocket Out*, *Zigzag*, *Zig*, *Spiral In*, *Spiral Out* et *Plunge Rough*.

On a remarqué que la taille de fichier, le temps de fabrication, la distance du parcours de l'outil, le cout d'usinage, et nombre de ligne du programme CN sont différents d'une stratégie à l'autre. L'étude comparative des stratégies d'usinages nous a permis de déterminer la stratégie d'usinage optimale.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est l'étude comparative entre les différentes stratégies d'usinage pour la fabrication d'un logo 3D de l'université *Abou Berk Belkaid de Tlemcen* par l'utilisation d'un système de conception et de fabrication assistées par ordinateur intégré (SolidWorks/CAMWorks) afin de choisir la stratégie d'usinage optimale. Pour atteindre cet objectif il est nécessaire de suivre une série d'étapes.

Ce travail donc, nous a permis d'avoir une idée générale sur état de l'art sur la commande numérique et la programmation CN assistée par ordinateur et sur les stratégies d'usinage de système FAO et CFAO. Ensuite on a fait la conception du logo par l'outil SolidWorks qui est capable de réaliser les différentes formes de notre logo. Puis on a utilisé l'outil de FAO (CAM Works) pour générer le programme de fabrication et la simulation d'usinage pour les différentes stratégies d'usinage de l'application CAMWorks qui sont sept: *Pocket In, Pocket Out, Zigzag, Zig, Spiral In, Spiral Out, Plunge Rough*.

En fin on a comparé les sept parcours d'outils de point de vue la taille de fichier, le temps de fabrication, la distance du parcours de l'outil, le cout d'usinage et le nombre de lignes du programme CN. L'étude a fait ressortir que la stratégie *Pocket* est la plus optimale sur la base de l'ensemble des paramètres.

En perspective on souhaite que cette étude soit vérifiée par une étude expérimentale réelle dans le futur si les moyens le permettent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. EL BARKANY, 2009, Commande numérique des machines-outils, Note de cours, Université de Fes, Morocco.
- [2] CHAPELAIN, 2004, Programmation avancée des machines-outils, cour sur MOCN, Université de Nantes, France.
- [3] J. BENYOUNES, 2004, Fabrication assistée par ordinateur, Note de cours, Université de Tunis, Tunis.
- [4] I. KACIMI, 2012, Conception et fabrication assistées par ordinateur du logo du laboratoire de recherche IS2M, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Algérie.
- [5] A. CHEIKH, 2012, Cours de CFAO1, Université de Tlemcen, Algérie.
- [6] C. CHEVROT, 2010, MOCN ET PROGRAMMATION, Note de cours, Université de Paris, France.
- [7] J. PIERRE URSO, 2002. Memotech Commande numérique programmation Educative, Edition castilla.
- [8] R. LAGUIONIE, 2007, Programmation avancée des machine outils : Implémentation de l'usinage trochoïdal et du tréfilage dans la chaine numérique STEP_NC, Mémoire de Master, Université de Nantes, France.
- [9] http://www.solidcam.com/fileadmin/International/FR/Documentation/T%C3%A9moignages_clients/SolidCAM_Termoignage-Arcom_web.pdf.
- [10] http://www.solidcam.com/fileadmin/downloads/SolidCAM/doc/EN/2011/SolidCAM_2011-HSM-HSR.
- [11] <http://2012.industrie-expo.com/~CAMWORKS/fiche-exposant~ohrslsdyb~49915>.
- [12] <http://www.mastercam-france.eu/presentation.php>.
- [13] <http://www.cgpvicto.qc.ca/formation-collegiale/adultes--entreprises/cours-et-ateliers/dessin-assiste-par-ordinateur/mastercam-debutant.aspx>.
- [14] <http://www.cadmec.com/fr/mastercam/mastercam.aspx>.
- [15] http://e.dauvilliers.free.fr/app/mastercam/Fraisage_X7.pdf.
- [16] <http://www.neos3d.com/rhinocam/182-rhinocam-2012-premium.html>.
- [17] <http://www.rhinocam.com/Downloads/RhinoCAMTutorial.pdf>.

- [18]** M. MAROUDI, 2012, Conception et fabrication assistées par ordinateur du logo de l'Université de Tlemcen, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Algérie.
- [19]** Prise en main de SolidWorks PDF (Académie d'Orléans-Tours).
- [20]** N.CHEIKH, 2012, Cours modélisation par outils CAO2, Université de Tlemcen, Algérie.
- [21]** 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.
- [22]** <http://www.solidxperts.com/fra/produits/partenaires/113-platinum>.

ANNEXE A

	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	52292,89	51,923		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	69053,85	67,322		
Contour Mill2	2793,2	1,548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	380,17	0,164		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	222,17	0,169		
Contour Mill14	117,61	0,043		
Total	130491,01	124,586	6100	197585

ANNEXE B

	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	52292,89	51,923		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	69053,85	67,322		
Contour Mill2	2793,2	1,548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	380,17	0,164		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	222,17	0,169		
Contour Mill14	117,61	0,043		
Total	130459,61	124,57	6096	197687

ANNEXE C

	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	124568,27	64,753		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	168333,34	87,284		
Contour Mill2	2793,2	1,548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	554,3	0,236		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	980,87	0,51		
Contour Mill14	117,61	0,043		
Total	302947,31	157,775	9790	215652

ANNEXE D

	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	53816,44	52,67		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	76427,49	72,262		
Contour Mill2	2793,2	1,548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	400,2	0,163		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	217,24	0,164		
Contour Mill14	0,043	0,043		
Total	139371,9	130,251	5981	146281

ANNEXE E

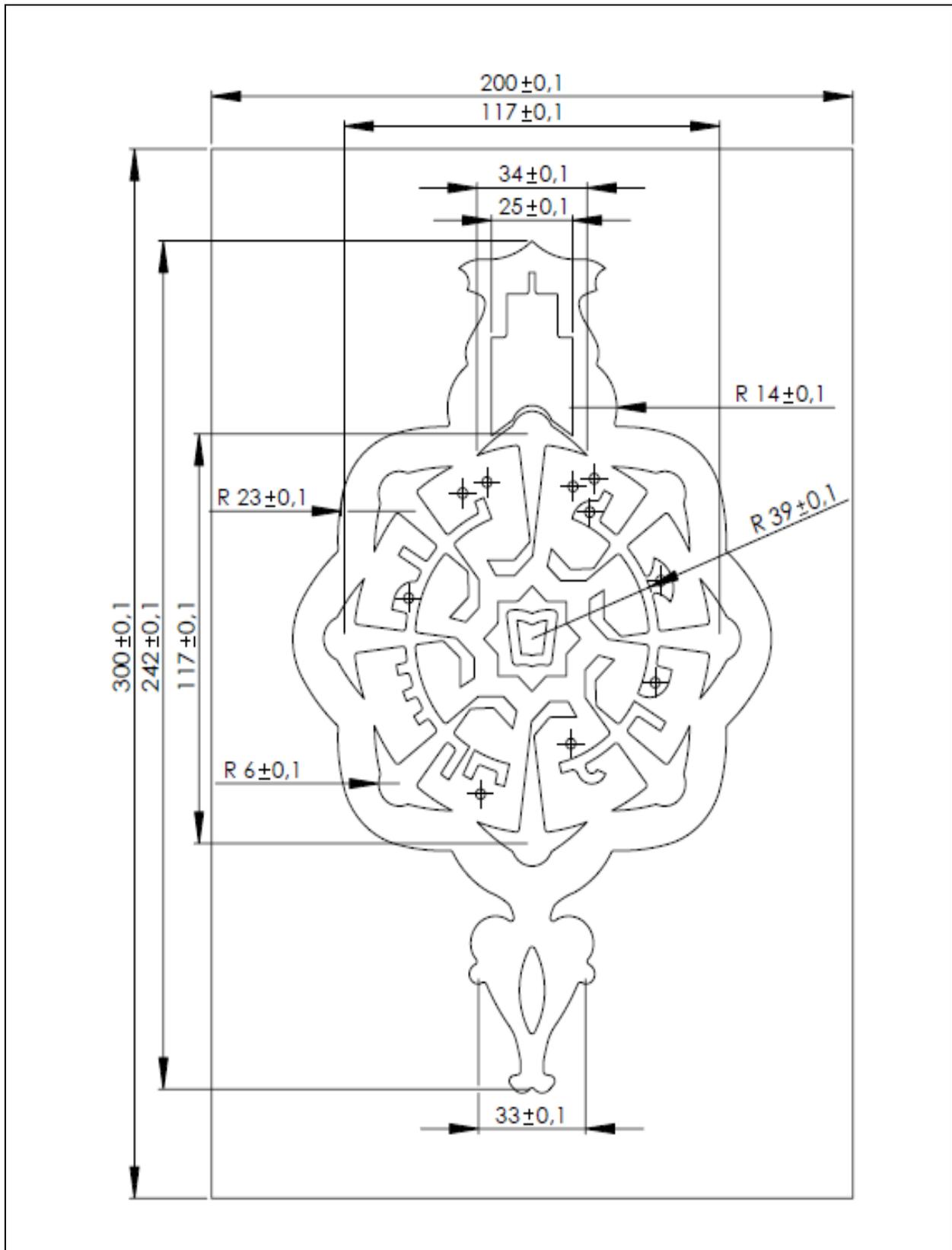
	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	228631,34	228,578		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	366940,83	366,892		
Contour Mill2	2793,2	1,548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	318,36	0,144		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	516,88	0,417		
Contour Mill14	117,61	0,043		
Total	604917,94	601.023	74683	581997

ANNEXE F

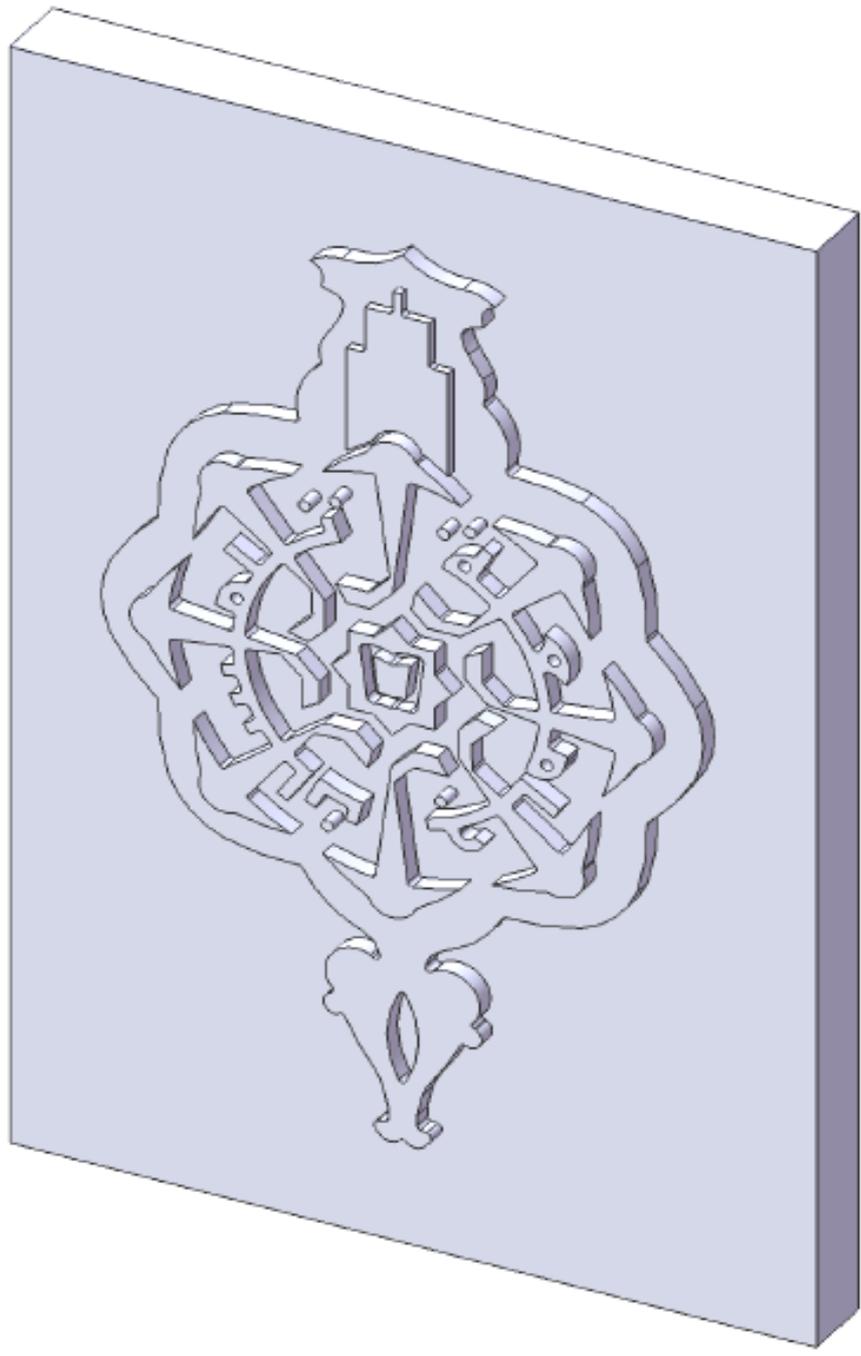
	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	228631,34	228,578		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	366940,83	366,892		
Contour Mill2	2793,2	1,548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	209,25	0,091		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	516,88	0,417		
Contour Mill14	117,61	0,043		
Total	604691,263	600,97	74662	2581760

ANNEXE G

	Distance du parcours de l'outil (mm)	Temps d'usinage (min)	Nombre de ligne du programme CN (FANUC)	Taille de fichier (Octet)
Rough Mill1	526258,83	225,271		
Contour Mill1	803,83	0,501		
Rough Mill2	613009,41	214,945		
Contour Mill2	2793,2	1548		
Contour Mill3	220,18	0,115		
Contour Mill4	775,55	0,485		
Contour Mill5	554,84	0,338		
Contour Mill6	326,13	0,186		
Contour Mill7	235,65	0,125		
Contour Mill8	235,65	0,125		
Contour Mill9	115,13	0,045		
Contour Mill10	169,35	0,081		
Rough Mill3	685,12	0,206		
Contour Mill11	183,18	0,078		
Contour Mill12	789,27	0,128		
Center Drill1	184,75	0,413		
Drill1	202,38	0,28		
Contour Mill13	803,83	0,501		
Rough Mill4	516,88	0,417		
Contour Mill14	1428,5	0,613		
Total	1150291,66	1992,853	18211	302037



Echelle 2:3	Université Abou Bekr BELKAID-Tlemcen	GM-ISM
KAHOUADJI-Amin	Géométrie 2D de base du logo UABBT	2012-2013
		A4



Echelle 2:3	Université Abou Bekr BELKAID-Tlemcen	GM-ISM
KAHOUADJI-Amin	Vus 3D du logo UABBT	2012-2013
	↓	A4