

# 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 :

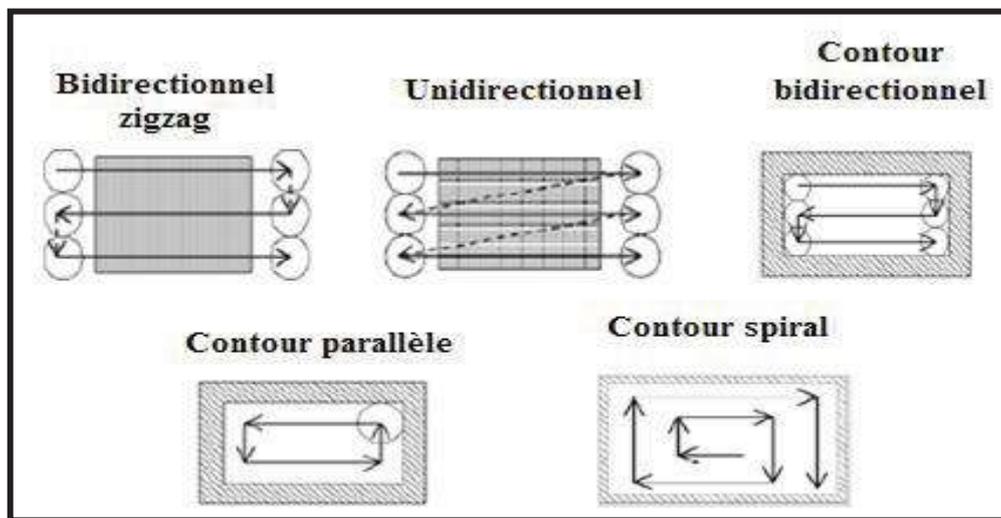
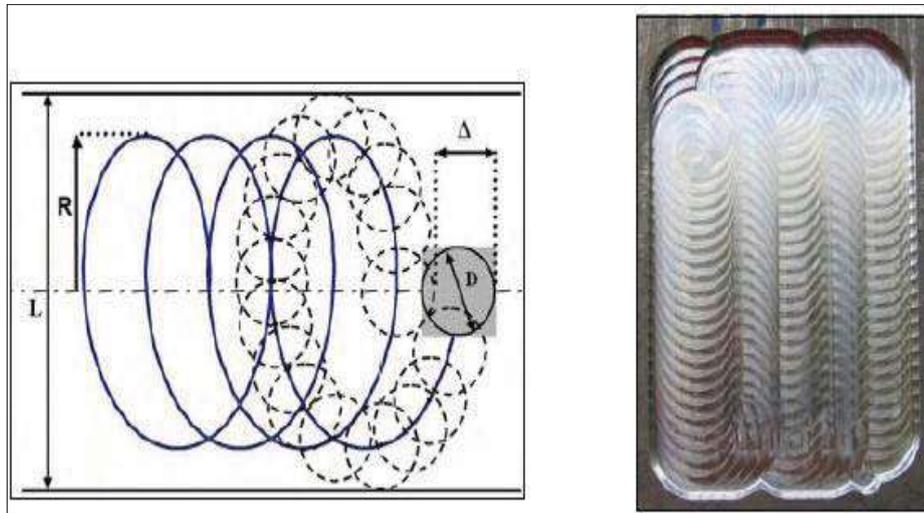


Figure 2.1. Différente stratégie d'usinage

#### 2.2.2. Présentation de l'usinage trochoïdal

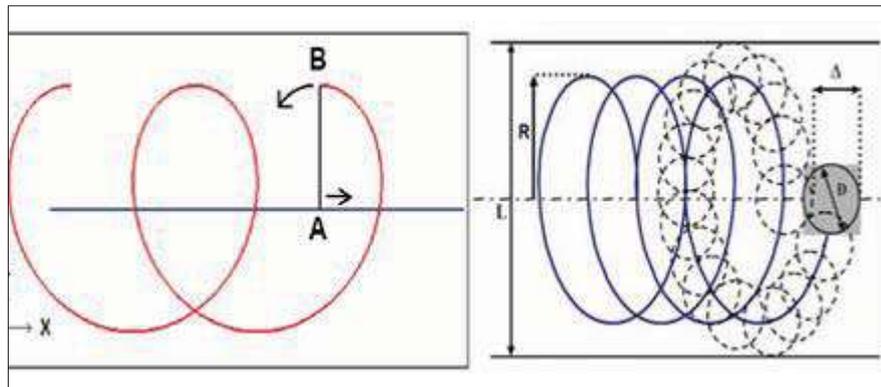
L'usinage trochoïdal consiste à la description par l'outil de coupe d'une courbe trochoïdale (combinaison d'un mouvement circulaire uniforme et d'un mouvement linéaire uniforme) de courbure continue évitant ainsi le travail pleine matière qui est représenté sur la figure 2.2.

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 2.2.** Trajectoire outil trochoïdale et pièce usinée

Les caractéristiques de l'usinage trochoïdal sont les suivantes :



**Figure 2.3.** Mouvement trochoïdal et trajectoire trochoïdale

### 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.

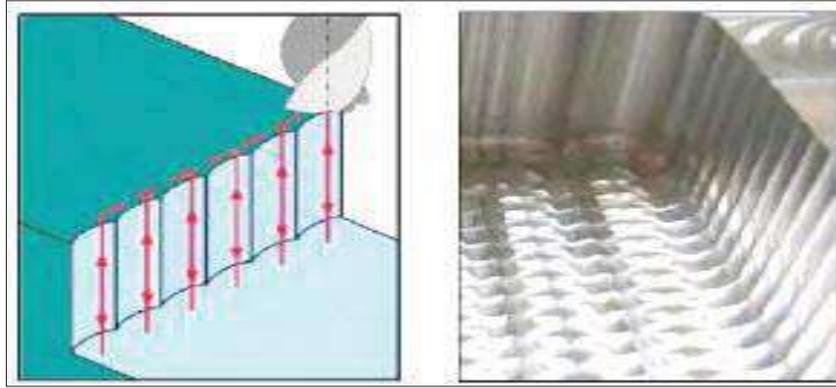


Figure 2.4. Trajectoire outil de tréfilage et pièce usinée

Les caractéristiques du tréfilage sont les suivantes :

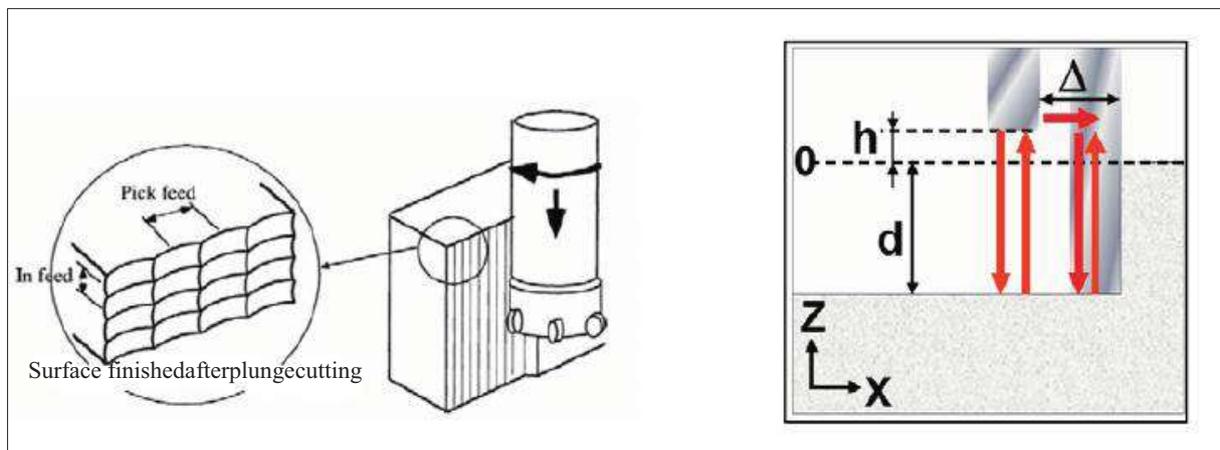


Figure 2.5. Principe et paramètres influents en tréfilage

## 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 SolidWorks et Autodesk Inventor, avec des trajectoires d'outils complètement associatives avec le modèle SolidWorks. SolidCAM supporte le Fraisage 2.5 axes, 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.

### 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

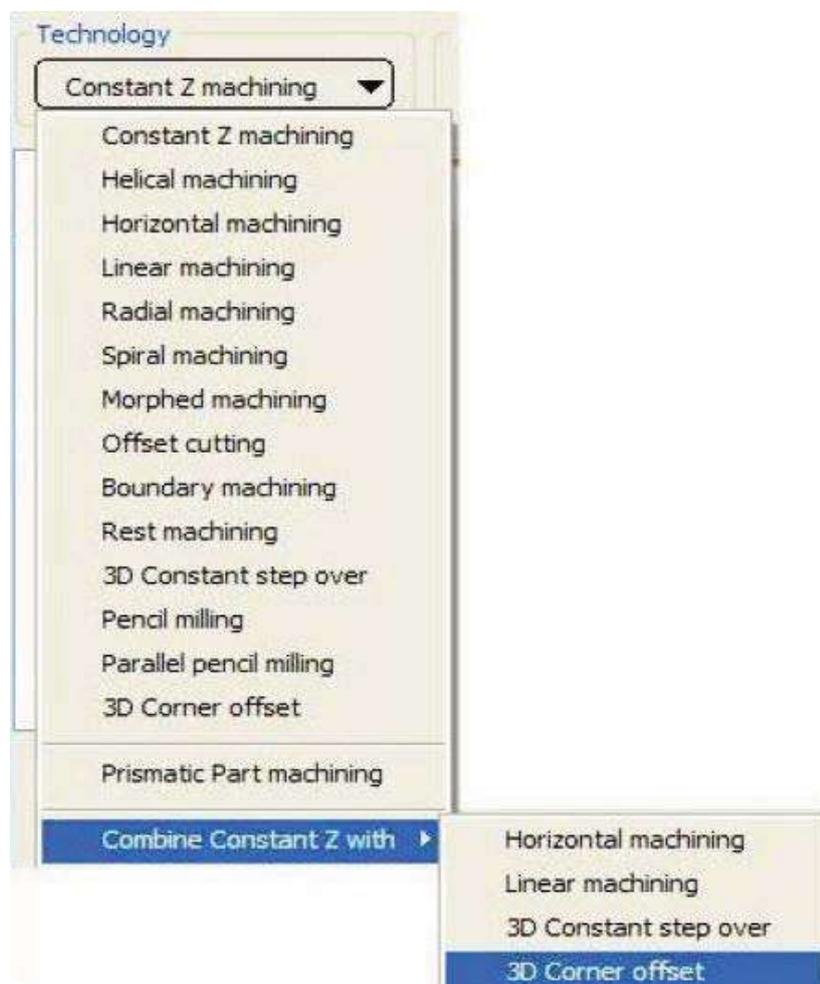
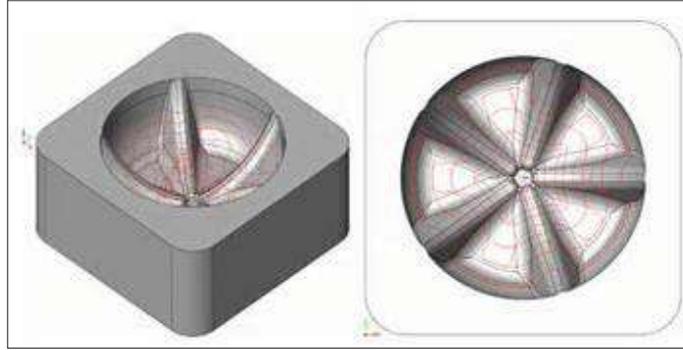


Figure 2.6. Différentes stratégie pour SolidCAM

### 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).

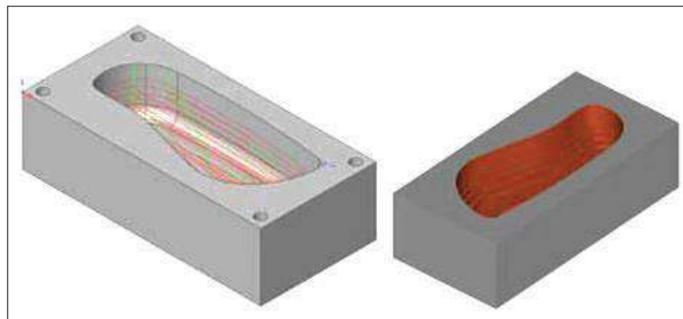


**Figure 2.7.** Stratégie ébauche de contour

### 2.3.2.2. Ebauche de repos

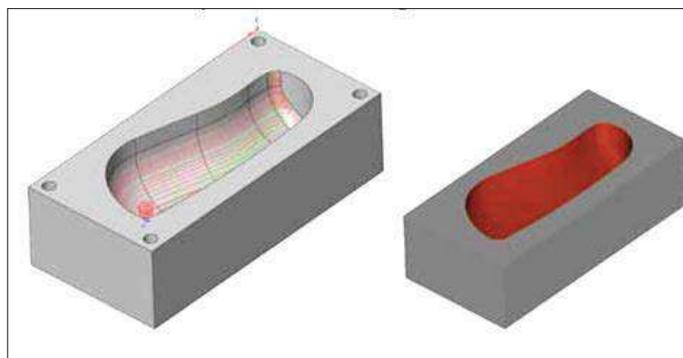
La stratégie d'ébauche de repos détermine les zones où le matériau reste non usiné après les précédentes opérations (le reste de la matière) et génère une trajectoire d'outil pour l'usinage de ces zones.

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



**Figure 2.8.** Une opération d'ébauche sans repos

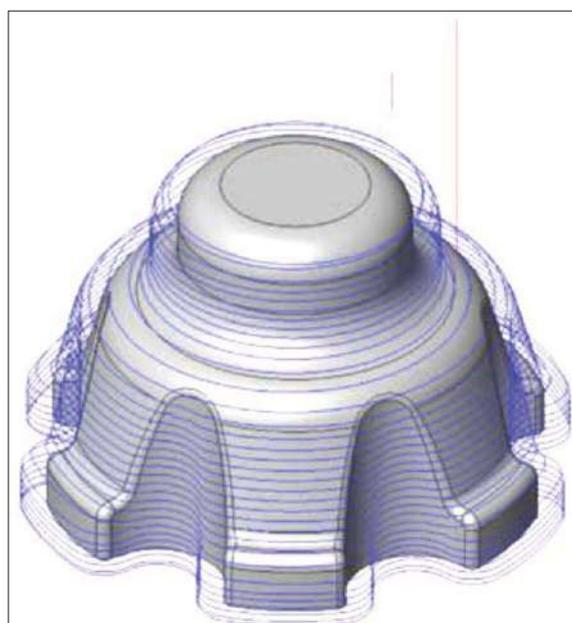
Après l'ébauche de la trappe, une opération d'ébauche de repos est réalisée avec une fraise en bout de  $\varnothing 10$  (Fig.2.9). La trajectoire de l'outil est générée de la manière d'ébauchage du contour.



**Figure 2.9.** Une opération d'ébauche avec repos

### 2.3.2.3. Usinage hélicoïdal

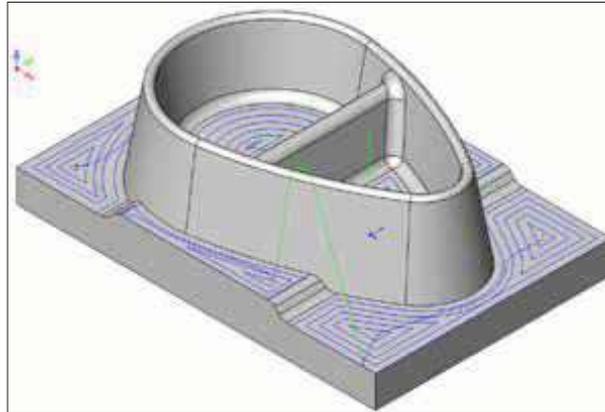
Cette stratégie est jointe dans une rampe descendante continue pour générer la trajectoire d'outil d'usinage en spirale comme illustre la figure 2.10. La trajectoire d'outil générées par la stratégie d'usinage hélicoïdal est commandé par deux paramètres principaux: *Step down et Max. angle de la rampe.*



**Figure 2.10.** Stratégie d'usinage hélicoïdal

#### 2.3.2.4. Usinage horizontal

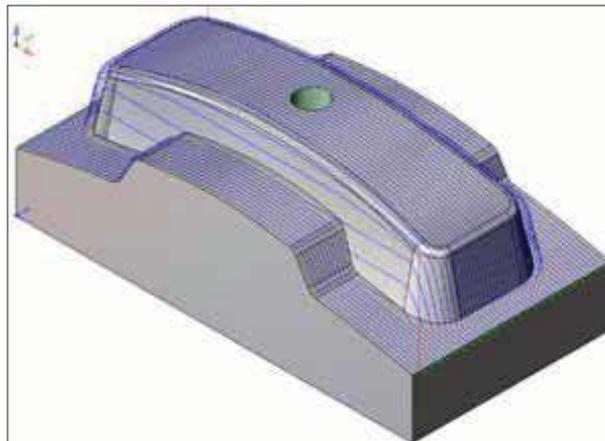
Cette stratégie génère un style de poche (un certain nombre de profils équidistants) de trajectoire d'outil directement sur les faces horizontales (parallèle au plan XY). La distance entre chaque deux passage adjacent est déterminée par les paramètres de décalage (voir la Fig. 2.11).



**Figure 2.11.** Stratégie d'usinage horizontal

#### 2.3.2.5. Usinage linéaire

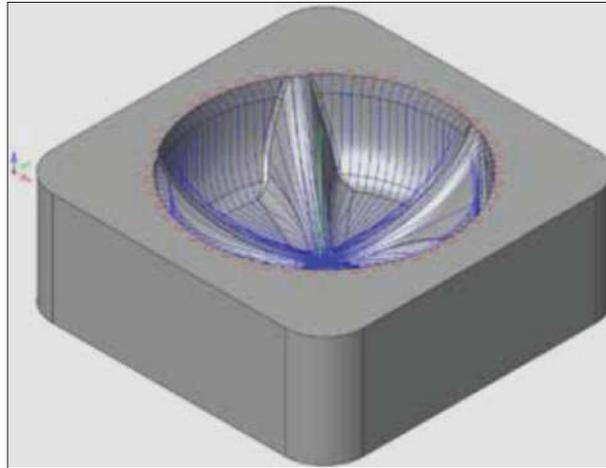
Usinage linéaire génère une trajectoire d'outil consistant en un ensemble de passages parallèles à un angle défini par la distance entre les passages comme est illustré la figure 2.12.



**Figure 2.12.** Stratégie d'usinage linéaire

### 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.

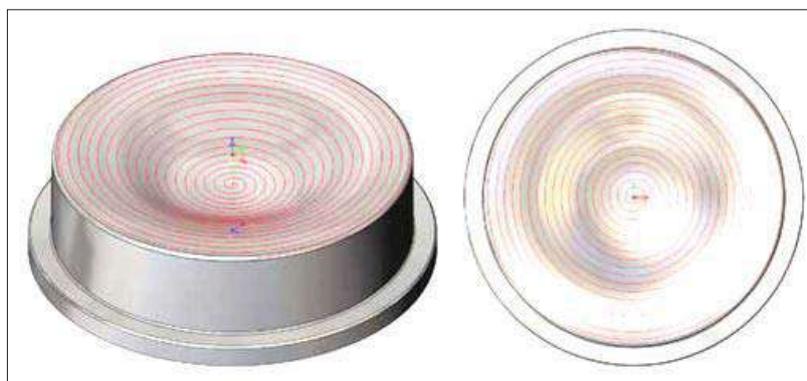


**Figure 2.13.** Stratégie d'usinage radial

### 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 2.14.** Stratégie d'usinage en spirale

## 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 .

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 .

## 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

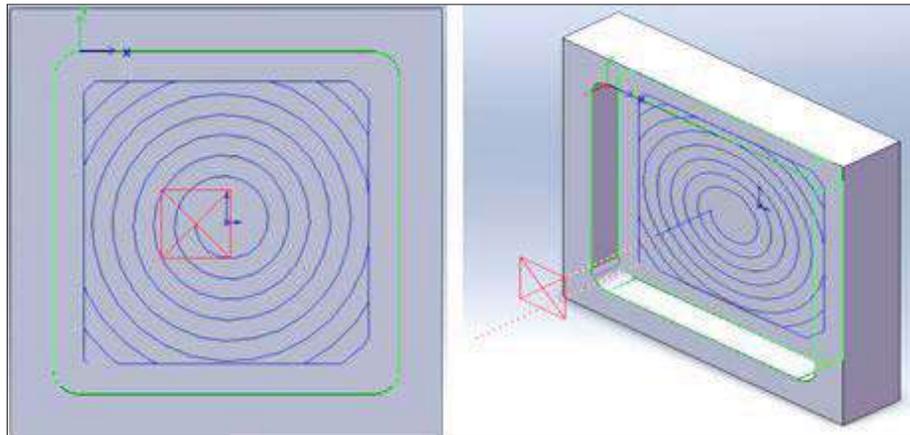


Figure 2.15. Parcours d'outil en Spiral Out

### 2.4.2.2.Spiral In

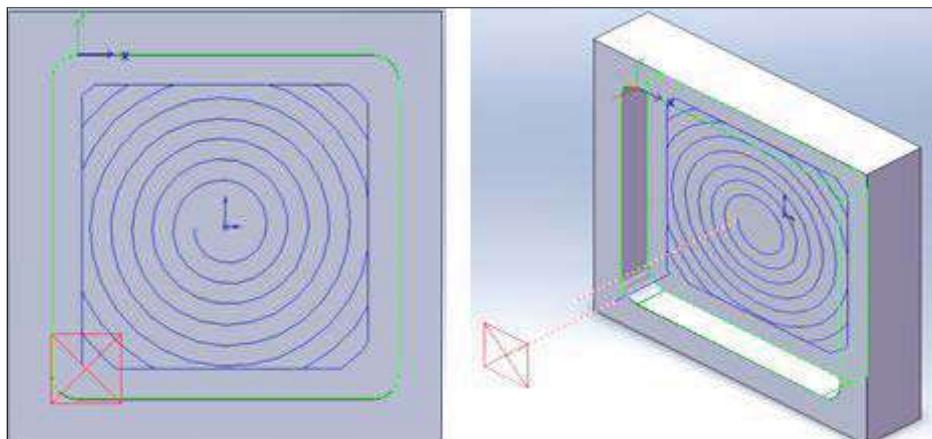


Figure 2.16. Parcours d'outil en Spiral In

2.4.2.3.Zigzag

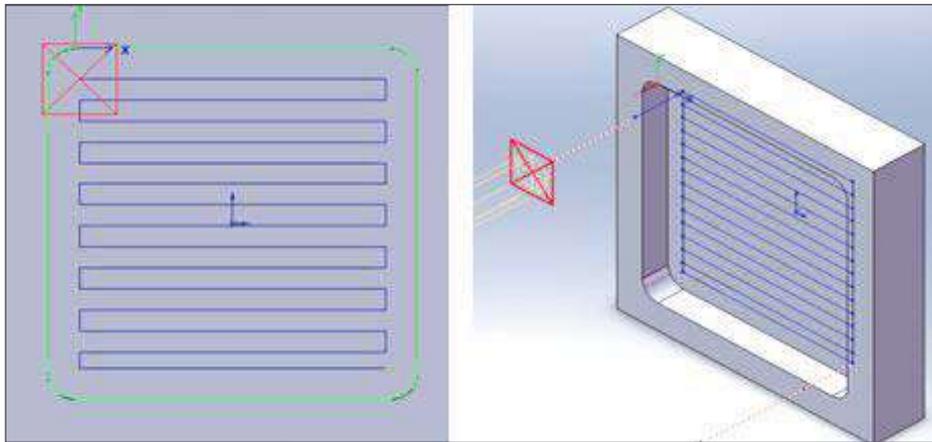


Figure 2.17. Parcours d’outil en Zigzag

2.4.2.4.Zig

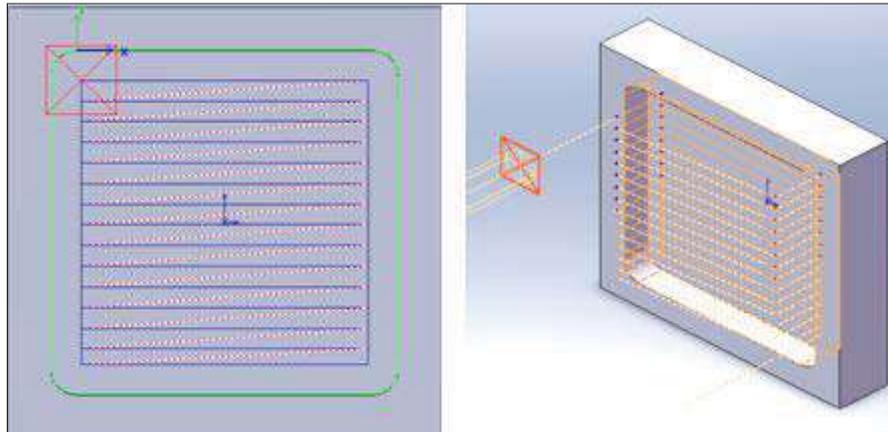


Figure 2.18. Parcours d’outil en Zig

2.4.2.5.Pocket In

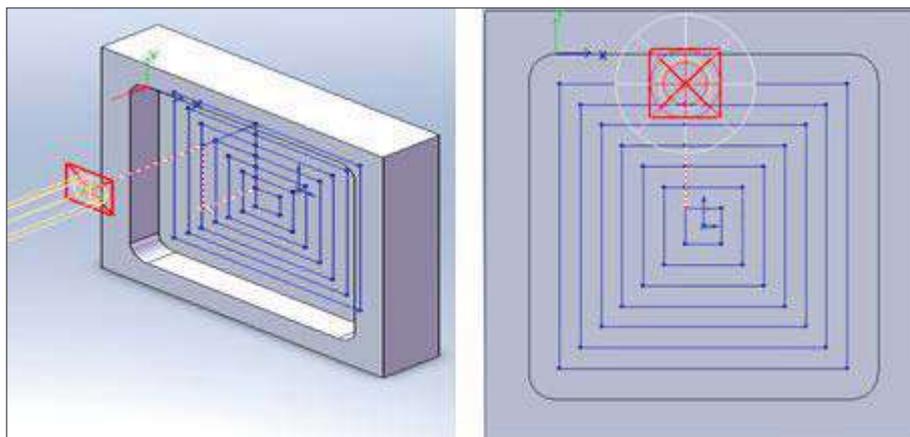
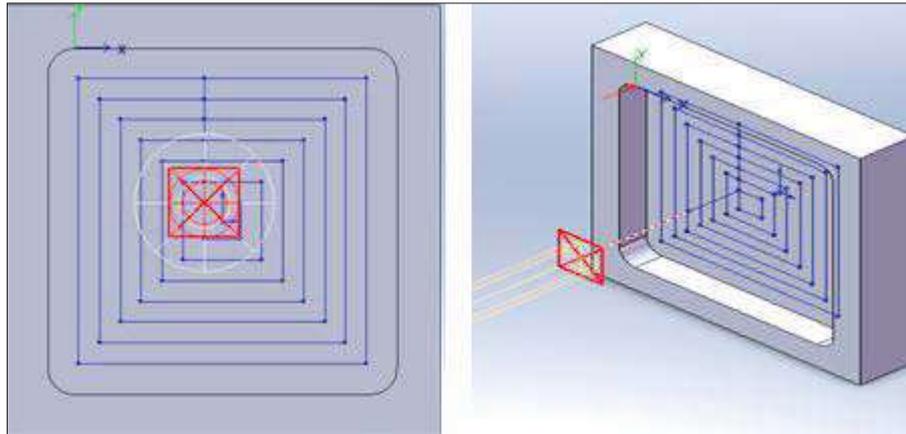


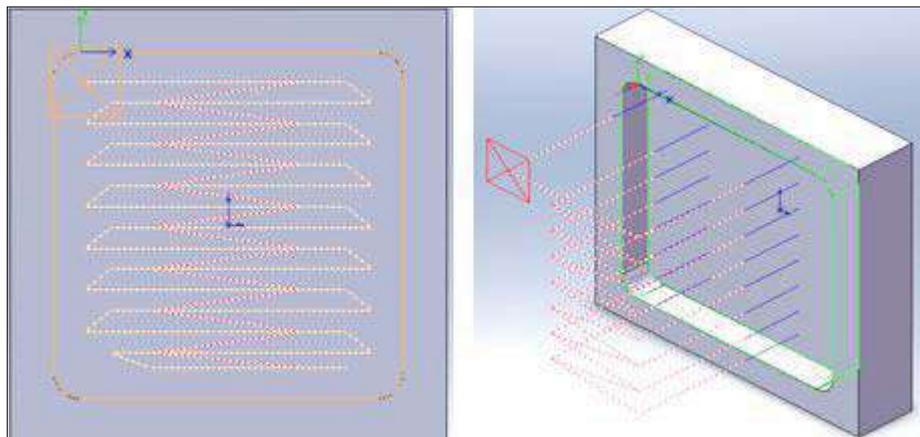
Figure 2.19. Parcours d’outil en Pocket In

#### 2.4.2.6. Pocket Out



**Figure 2.20.** Parcours d'outil en Pocket Out

#### 2.4.2.7.Plunge Rough



**Figure 2.21.** 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 . Mastercam est un logiciel utilisé pour la programmation de machines-outils (CNC) servant à l'usinage. Sa compatibilité avec la majorité des équipements à commande numérique et des logiciels de dessin 3D fait de cette interface la plus populaire sur le marché . La FAO (fabrication assistée par ordinateur) est un incontournable pour les manufacturiers d'où une forte demande pour la main-d'œuvre qualifiée dans ce domaine. 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 .

### 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

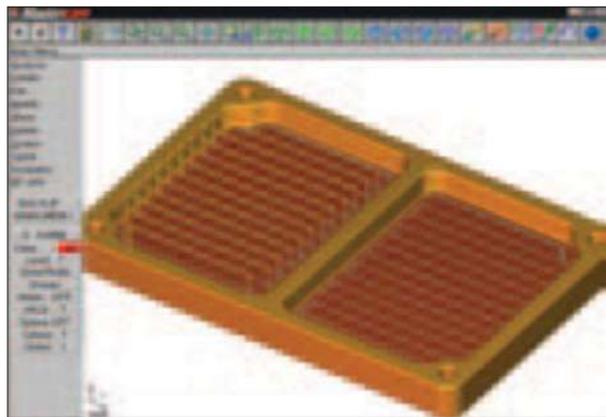


Figure 2.22. Poche unidirectionnelle (zig) et en zigzag

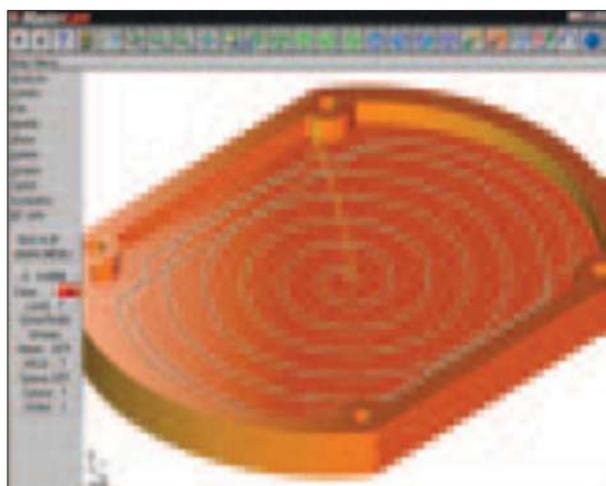
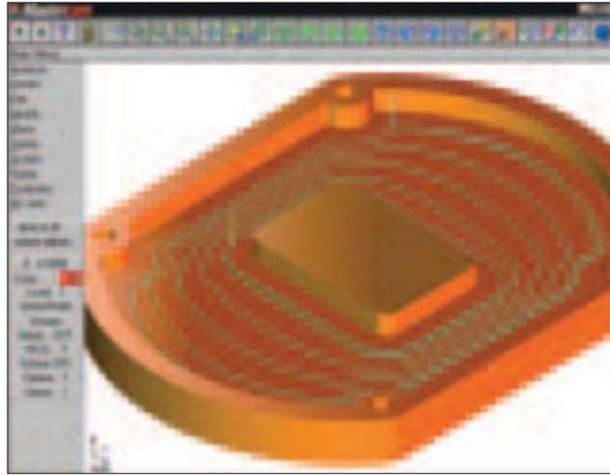


Figure 2.23. Poche en Spiral

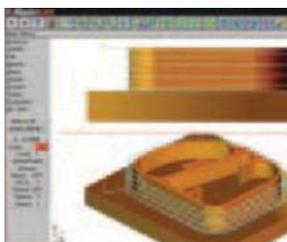


**Figure 2.24.** Poche par spirale en morphisme

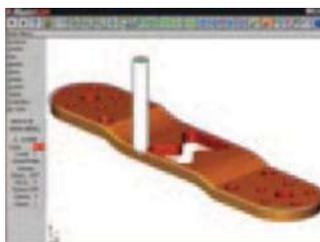


**Figure 2.25.** Poche et îlots de différentes hauteurs, dépeignées

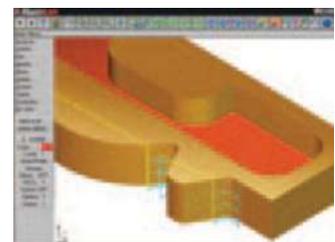
2.5.1.2. Contournage



**Figure 2.26.** Contournage hélicoïdal



**Figure 2.27.** Contournage 3D



**Figure 2.28.** 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 intégré complètement dans Rhinocéros pour former un logiciel CFAO puissant aide les utilisateurs de faire la CAO et la FAO dans le même environnement sans sortir de système Rhino, il est créé par Microsoft et basé sur Visuel 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

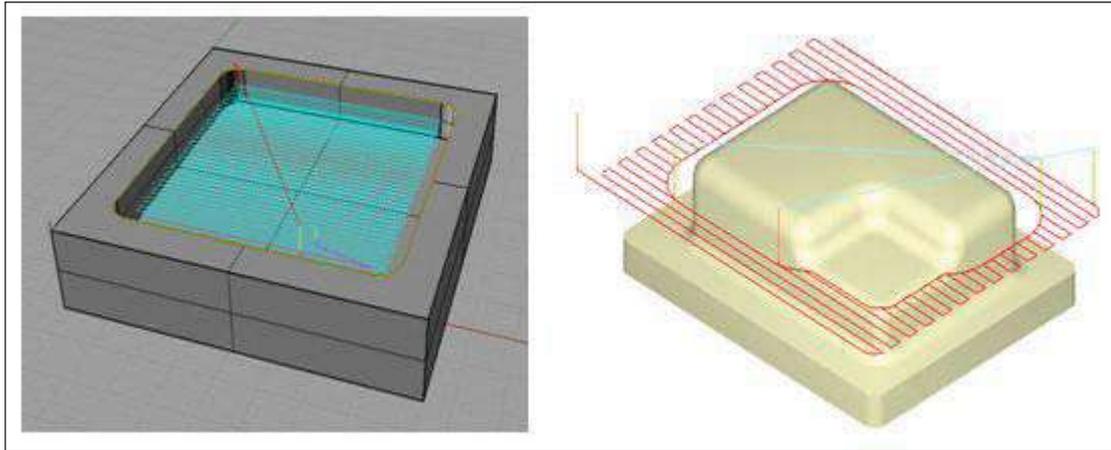
RhinoCAM permet l'utilisation d'un 5ème axe continu et indexé dans Visual Mill. Elle possède des stratégies d'usinage avancé tel que l'usinage de surface normale, etc., sans sacrifier la facilité d'utilisation. Convient pour les besoins d'usinage de très haute précision aéronautique, fabrication de moules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

- 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

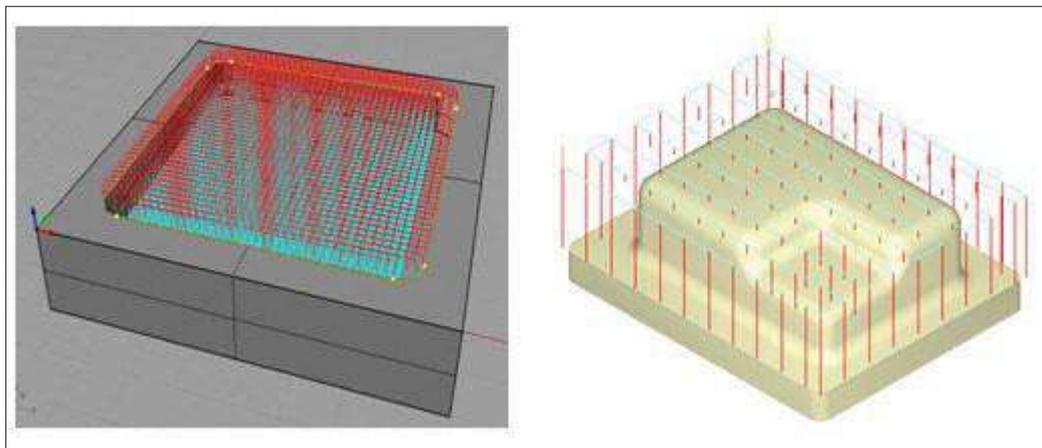
L'ébauche horizontale est la principale méthode de dégrossissage de RhinoCAM où le matériau est ébauché en couches horizontale avec des passes constante selon l'axe Z comme présenté sur la figure 2.29. Ce type d'usinage est très efficace pour enlever de grandes quantités de matériau, et est généralement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



**Figure 2.29.** Ebauche horizontal

### 2.6.2.2. Ebauche plongeon

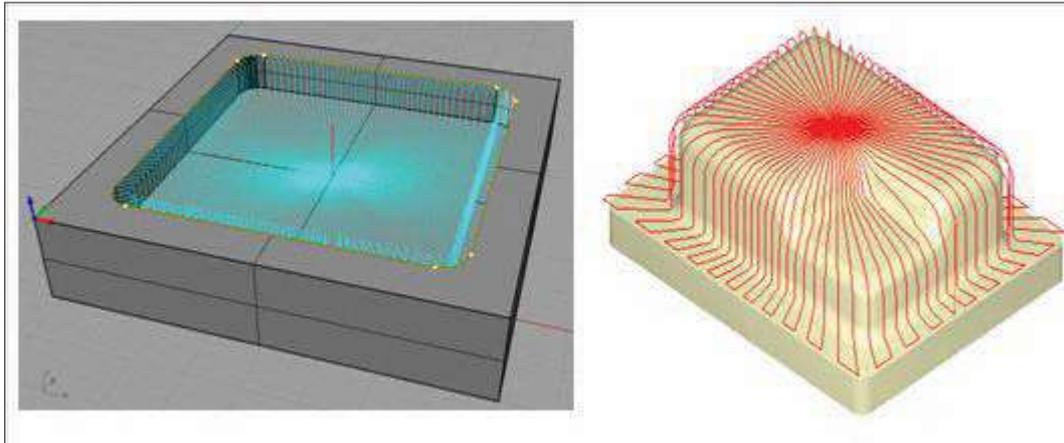
L'outil peut couper dans la direction Z, et non en X et Y comme est illustré la figure 2.30. L'outil fait une série de chevauchement qui plonge pour enlever les bouchons cylindriques de matériau.



**Figure 2.30.** Ebauche plongeon

### 2.6.2.3. Usinage radial

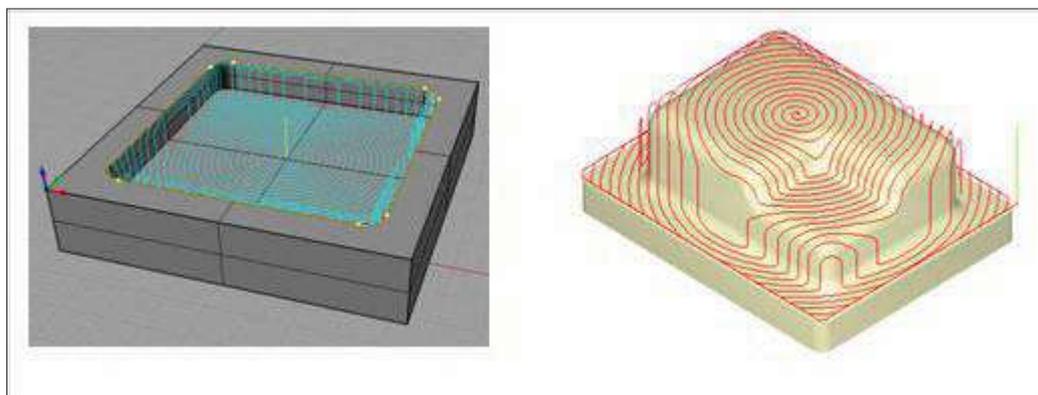
Cette méthode est utilisée comme une opération de finition pour les zones qui ont des poches annulaires. L'outil se déplace radialement à partir du centre de gravité de ces régions (Voir Fig.2.31).



**Figure 2.31.** Usinage radial

#### 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.

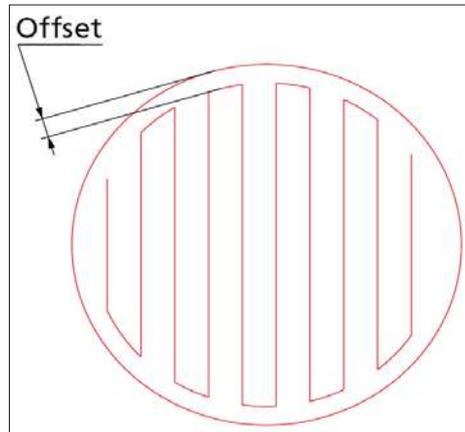


**Figure 2.32.** Usinage en spirale

## 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.



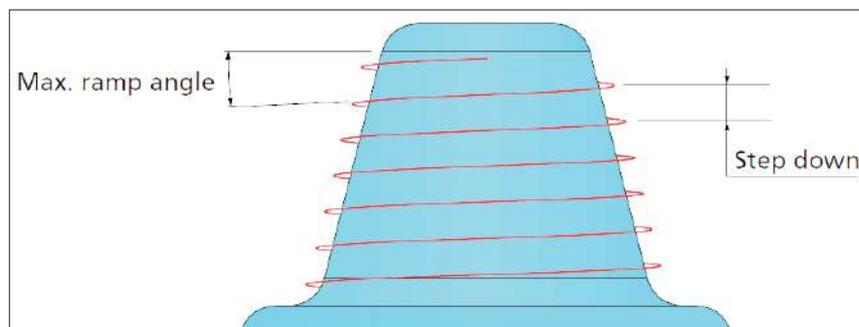
**Figure 2.33.** Paramètre offset sur stratégie d'usinage horizontal

### 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.



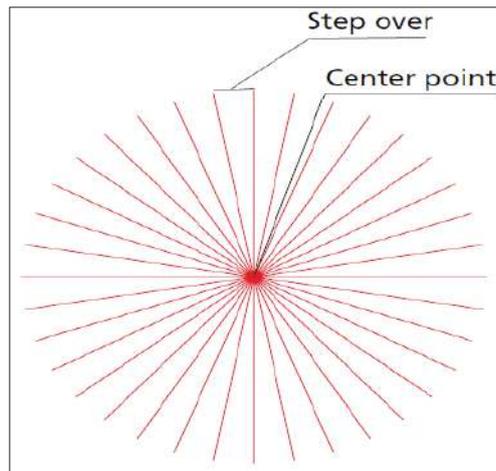
**Figure 2.34.** Paramètres principaux sur stratégie d'usinage hélicoïdal

### 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.

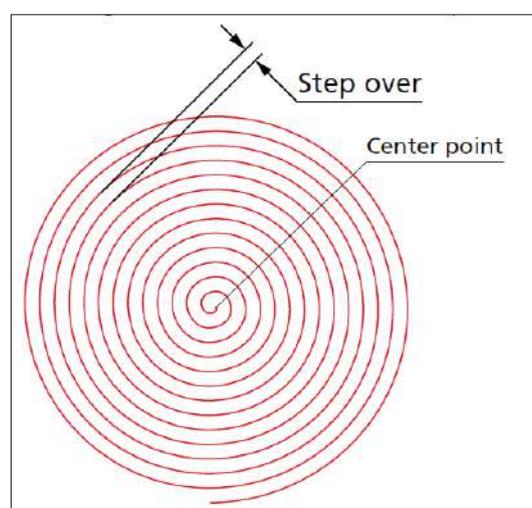
### 2.7.5. Center

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



**Figure 2.35.** Paramètres principaux sur stratégie d'usinage Radial

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 2.36.** Paramètres principaux sur stratégie d'usinage Spiral

### 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).

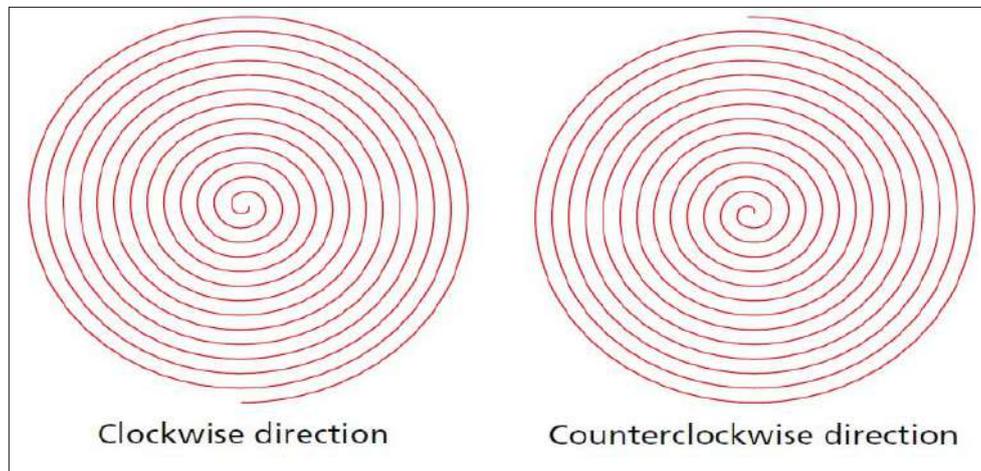


Figure 2.37. Une trajectoire d'outil en spirale dans le sens horaire et dans le sens inverse

### 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.

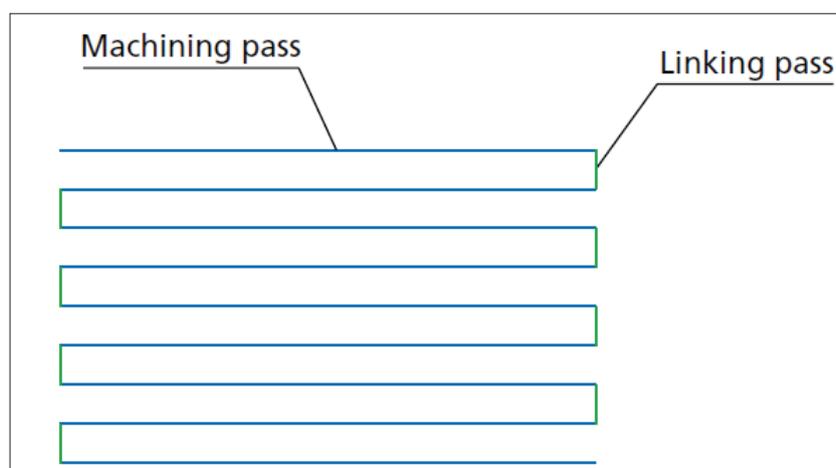
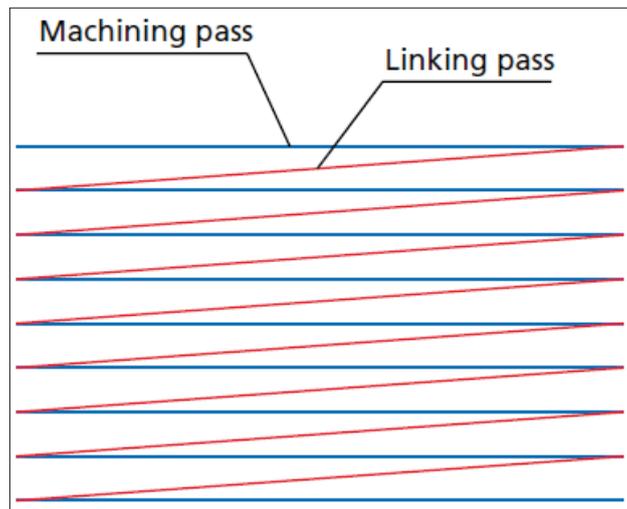


Figure 2.38. Paramètres principaux sur stratégie d'usinage zigzag

▪ 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 2.39.** Paramètres principaux sur stratégie d'usinage zig

## 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.