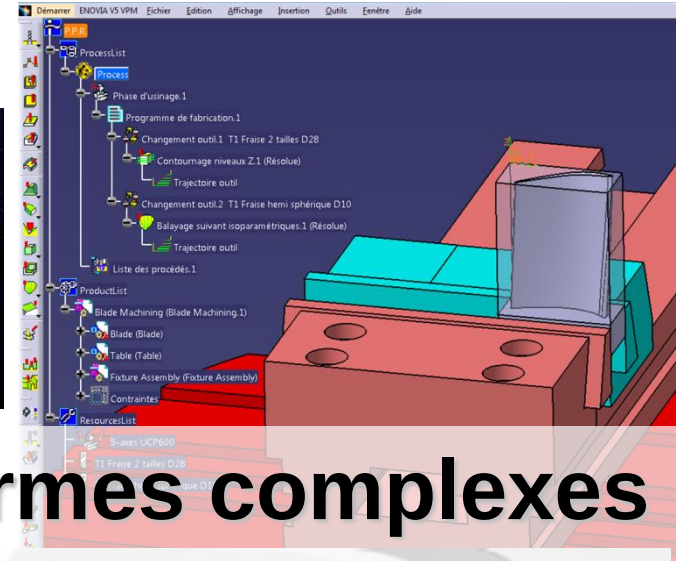
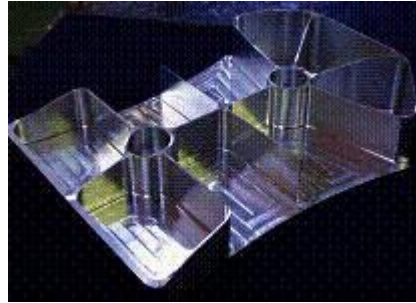
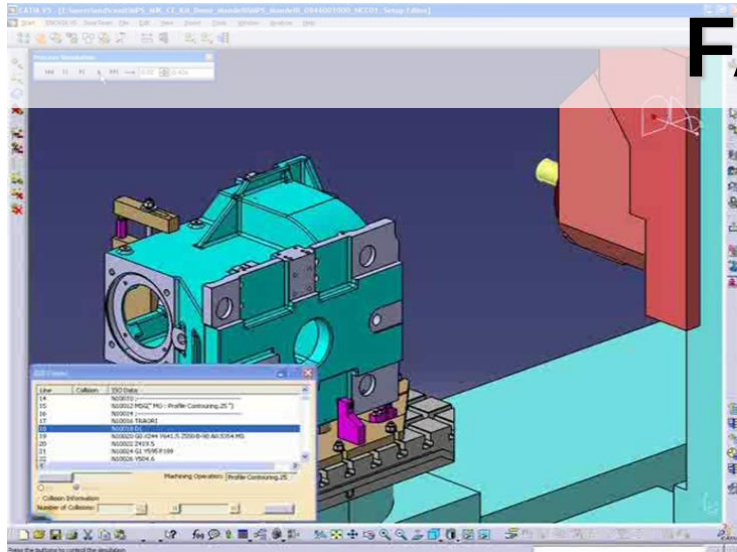




# Concevoir - Usinage formes complexes





# Présentation des modules FAO de CATIA 3 / 36

Opération d'usinage

The screenshot displays the CATIA FAO (CAM) interface. On the left, a vertical toolbar contains various icons for machining operations. The main workspace is divided into three hierarchical trees: ProcessList, ProductList, and ResourcesList. The ProcessList tree shows a sequence of operations: Phase d'usinage.1, Programme de fabrication.1, Changement outil.1 (T1 Fraise 2 tailles D28), Contournage niveaux Z.1 (Résolue), Trajectoire outil, Changement outil.2 (T1 Fraise hemi sphérique D10), Balayage suivant isoparamétriques.1 (Résolue), and Trajectoire outil. The ProductList tree shows the assembly structure: Blade Machining (Blade Machining.1), Blade (Blade), Table (Table), Fixture Assembly (Fixture Assembly), and Contraintes. The ResourcesList tree lists the resources: 5-axes UCP600, T1 Fraise 2 tailles D28, and T1 Fraise hemi sphérique D10. On the right, a table lists the components of the assembly, including Machining Assembly, Fixture Assembly, Process1, Vice, Vice Jaw, Table, Blade, and Blade surface. A 3D model of a complex part is visible in the background.

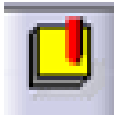
| Nom                           | Modifié le       | Type            | Taille   |
|-------------------------------|------------------|-----------------|----------|
| Machining Assembly.CATProduct | 02/11/2004 00:27 | Produit CATIA   | 62 Ko    |
| Fixture Assembly.CATProduct   | 01/11/2004 23:18 | Produit CATIA   | 51 Ko    |
| Process1.CATProcess           | 14/10/2012 14:05 | Processus CATIA | 1 547 Ko |
| Vice.CATPart                  | 01/11/2004 23:13 | Pièce CATIA     | 283 Ko   |
| Vice Jaw.CATPart              | 01/11/2004 23:13 | Pièce CATIA     | 295 Ko   |
| Table.CATPart                 | 01/11/2004 23:18 | Pièce CATIA     | 371 Ko   |
| Blade.CATPart                 | 14/10/2012 14:05 | Pièce CATIA     | 578 Ko   |
| Blade surface.CATPart         | 21/03/2001 21:42 | Pièce CATIA     | 55 Ko    |

**Gamme de fabrication**  
Chang. d'outil et opérations d'usinage

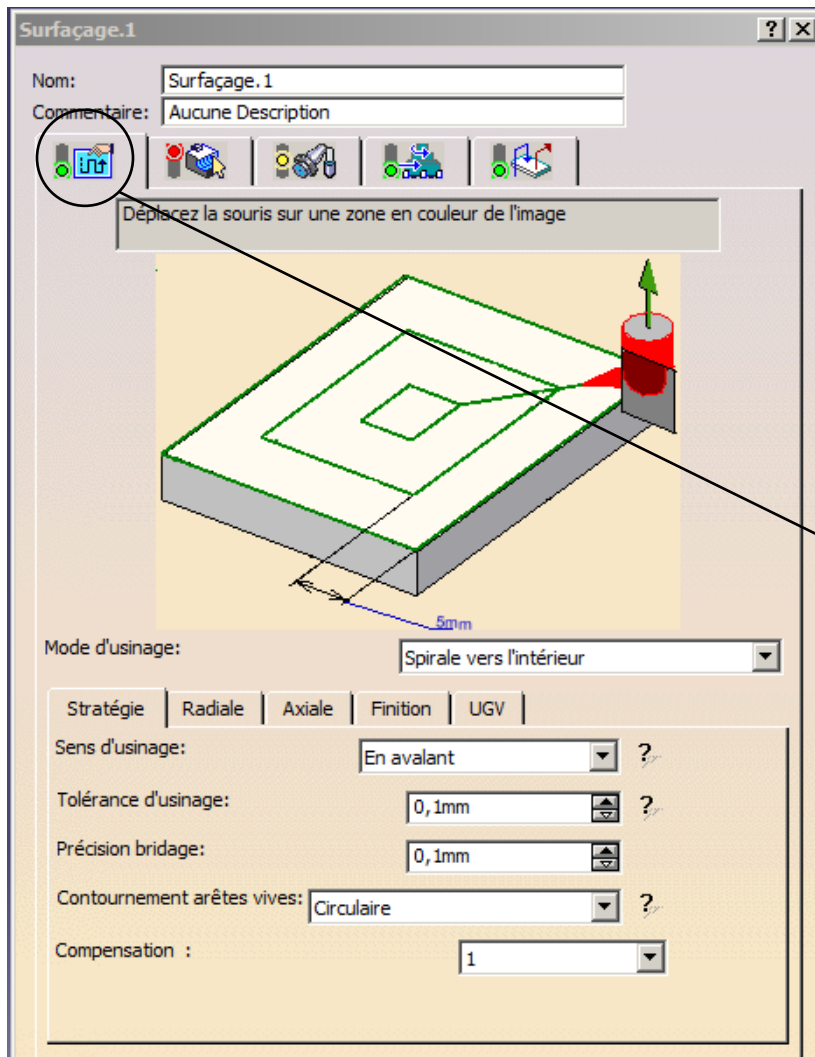
**Géométrie**  
Pièces et Assemblages

**Ressources**  
Machines et outils

# Présentation des modules FAO de CATIA 4 / 36

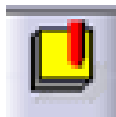


Exemple pour l'opération de 'Surfaçage'

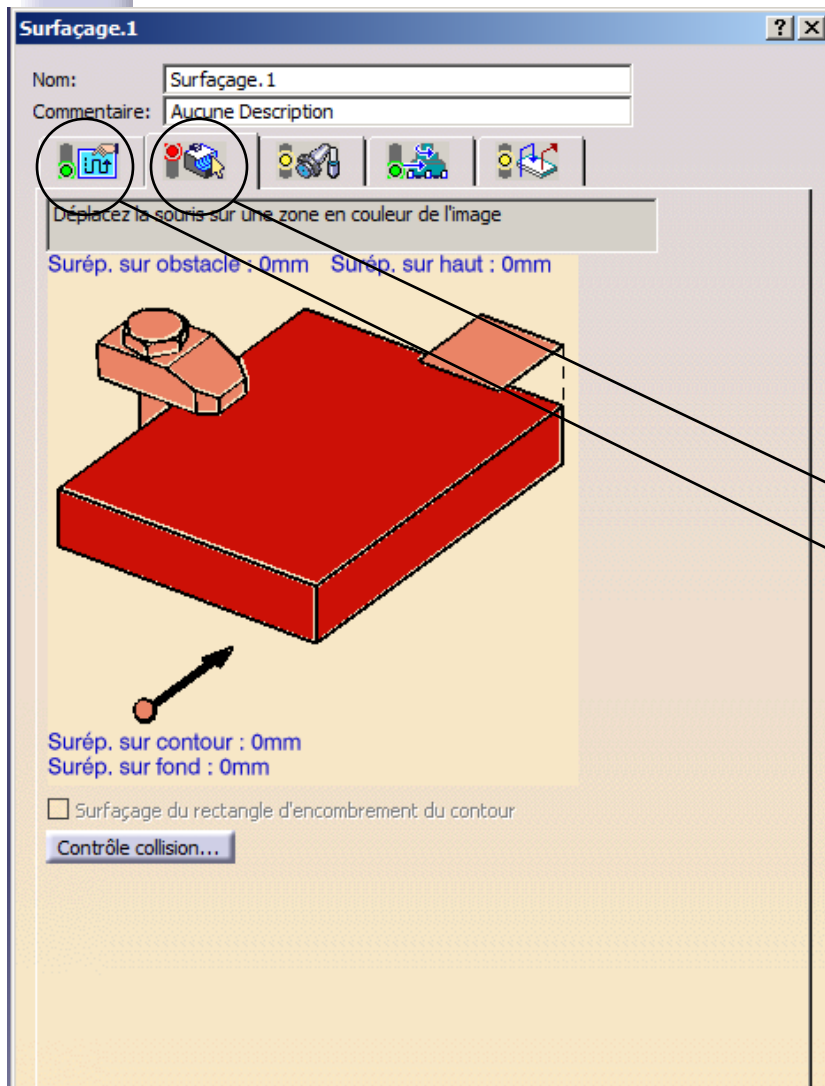


Stratégie d'usinage

# Présentation des modules FAO de CATIA 5 / 36

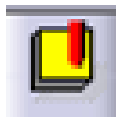


Exemple pour l'opération de 'Surfaçage'

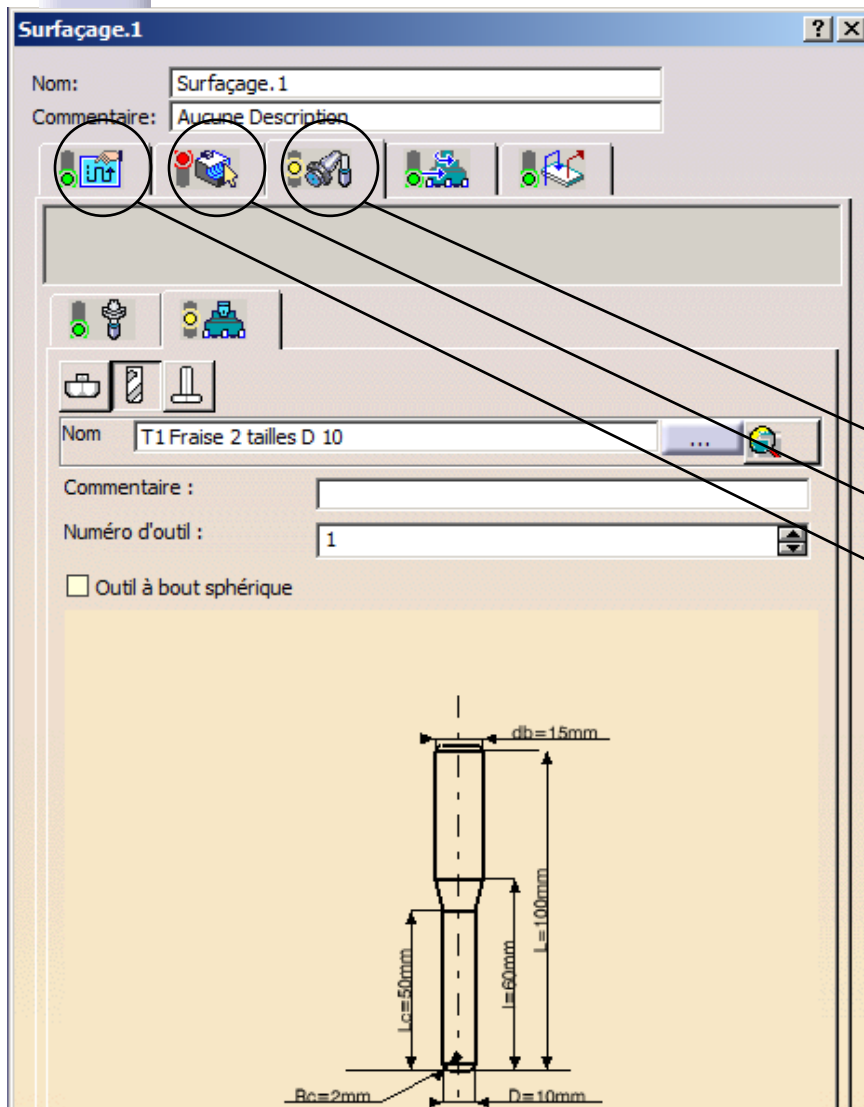


Géométries à usiner  
Stratégie d'usinage

# Présentation des modules FAO de CATIA <sup>6 / 36</sup>



Exemple pour l'opération de 'Surfaçage'

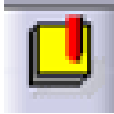


Outil et paramètres de coupe

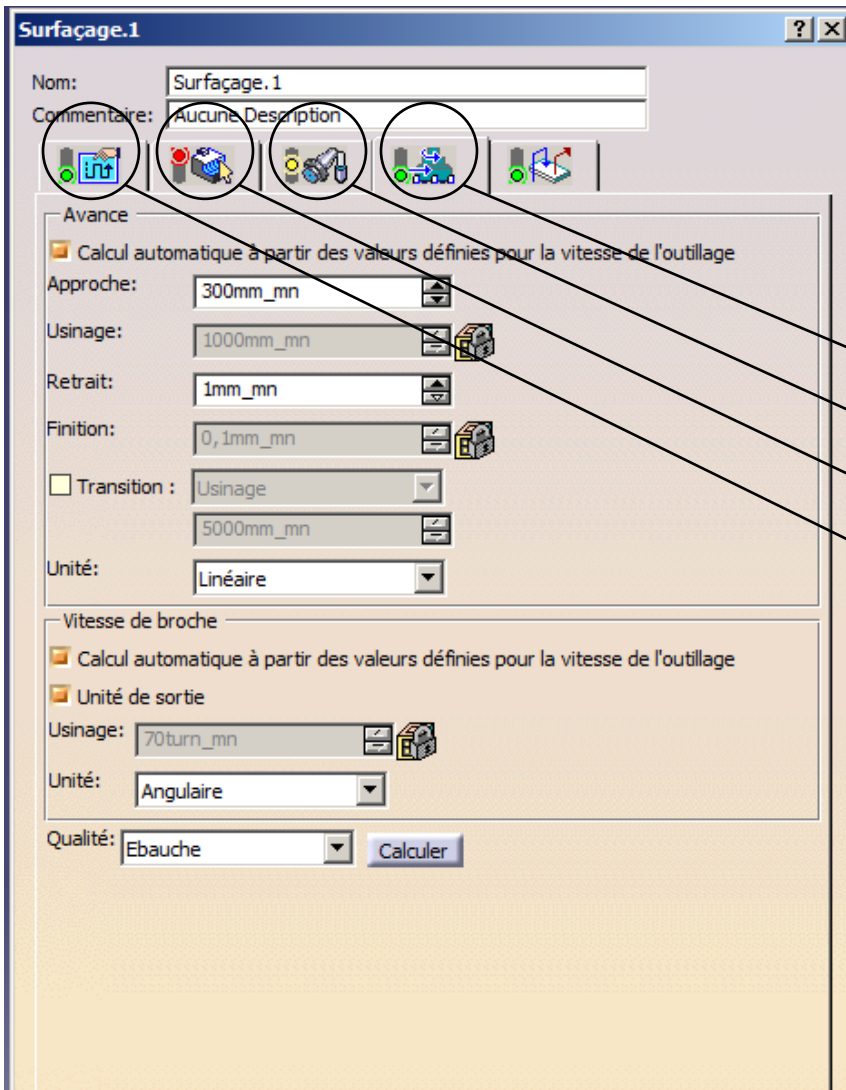
Géométries à usiner

Stratégie d'usinage

# Présentation des modules FAO de CATIA <sup>7 / 36</sup>



Exemple pour l'opération de 'Surfaçage'



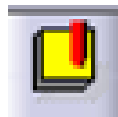
Paramètres opératoires

Outil et paramètres de coupe

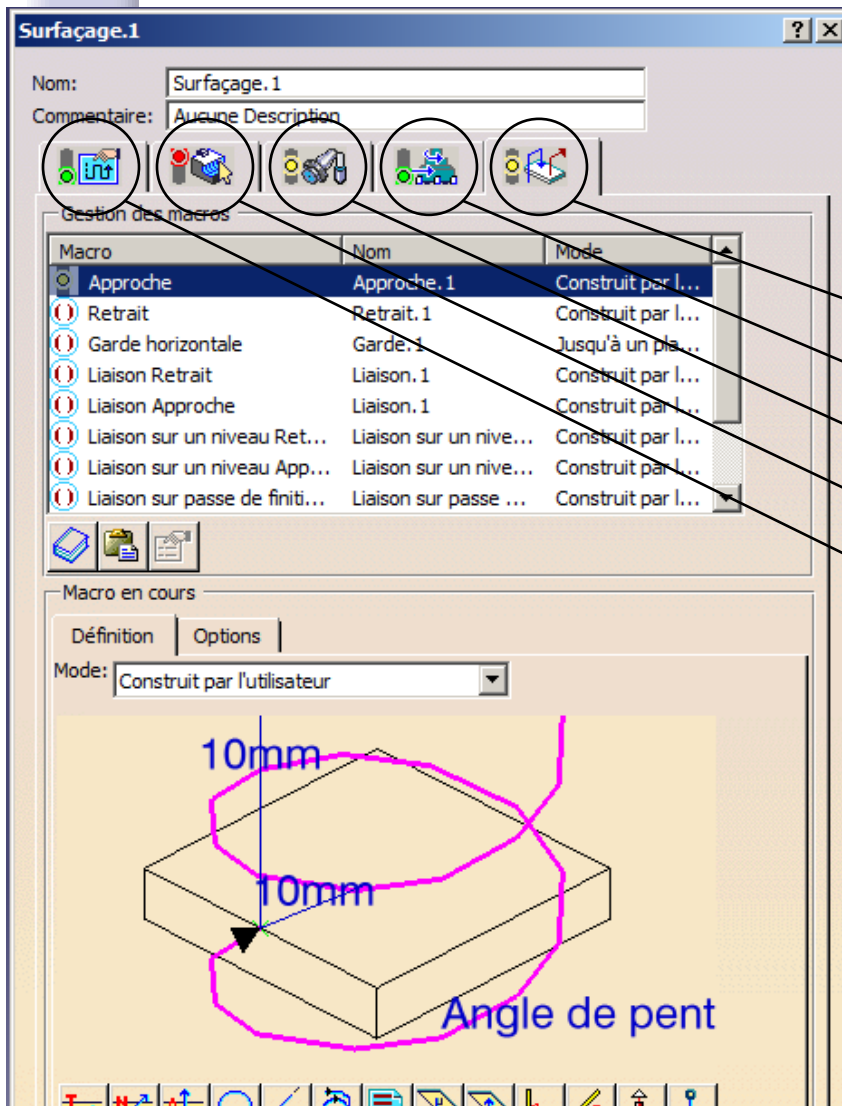
Géométries à usiner

Stratégie d'usinage

# Présentation des modules FAO de CATIA 8 / 36



Exemple pour l'opération de 'Surfaçage'



Trajectoires d'approche, de retrait, de dégagement....

Paramètres opératoires

Outil et paramètres de coupe

Géométries à usiner

Stratégie d'usinage

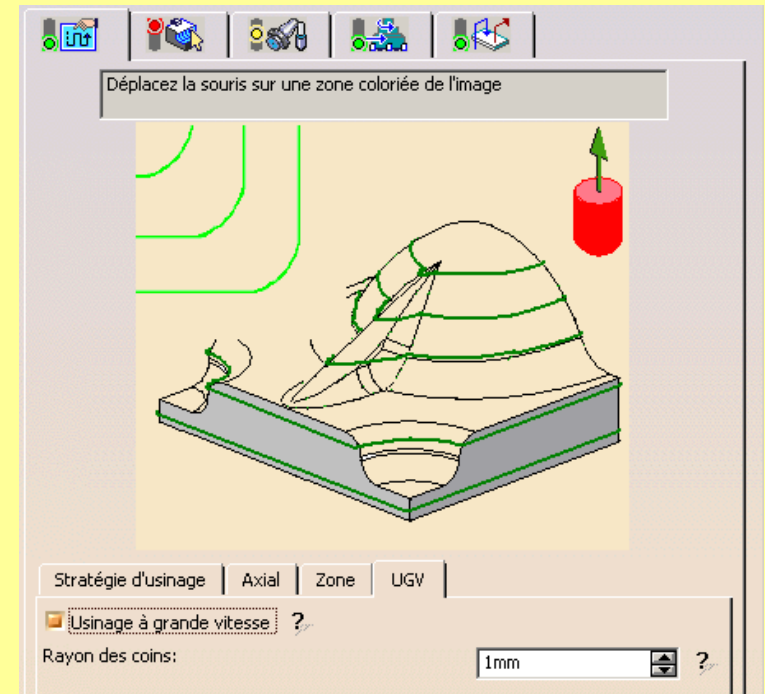
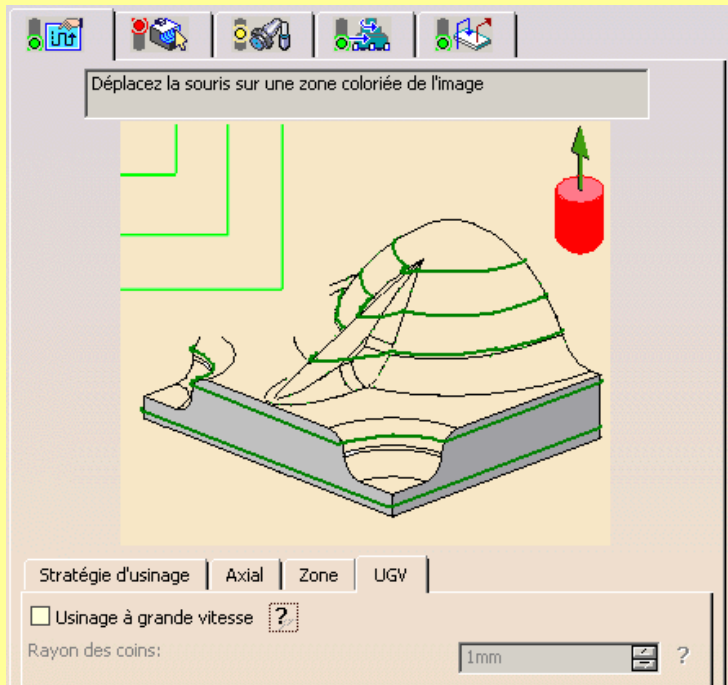
# Stratégies pour l'UGV

## Trajectoires

Les trajectoires doivent garantir le plus possible une évolution continue des sollicitations mécaniques (effort de coupe – ébauche – ou effet dynamique – finition).

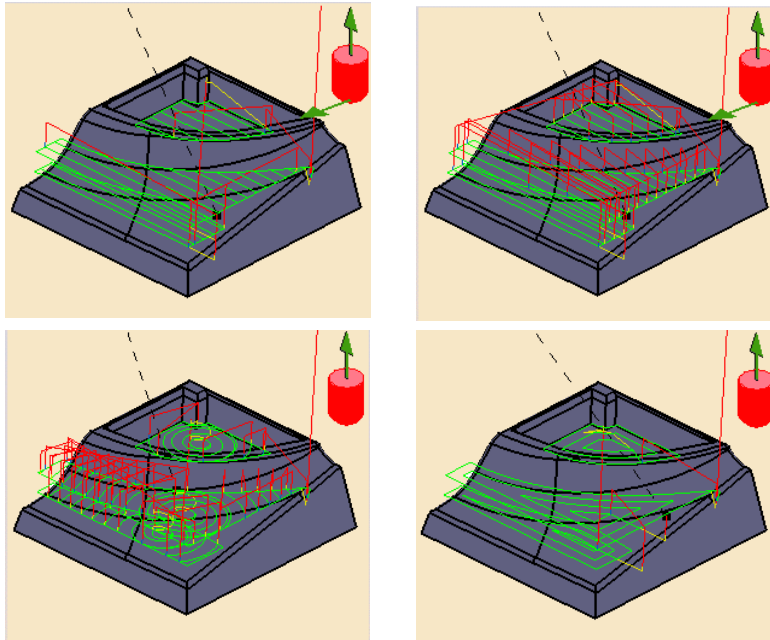
⇒ Pas de changement de direction brutal, entrée dans la matière de manière continue, ..

### - configuration de la FAO CATIA -



# Type d'usinage

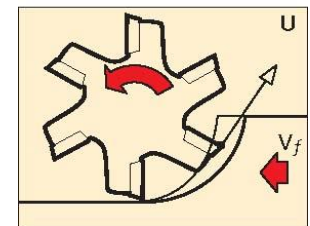
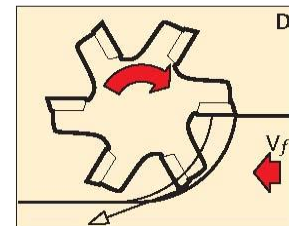
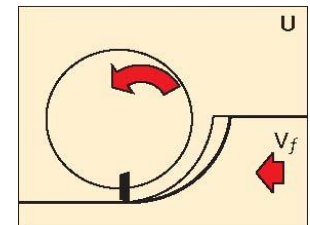
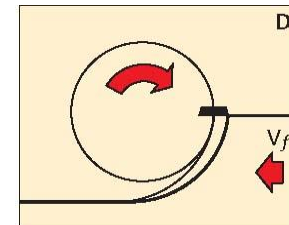
## Mode de balayage



## Usiner en avalant

**Avalant**  
(down milling)  
(climb milling)

**Opposition**  
(up milling)  
(conv. mill.)



### - configuration de la FAO CATIA -

Mode de balayage:

☐ Balayage distinct dans les poches

Tolérance d'usinage:

Sens d'usinage:

Progression hélicoïdale:

Hélicoïdal

Aller+retour

Aller simple

Zig-zag

Spirale

Suivant contour

Concentrique

Hélicoïdal

Par surépaisseur sur la pièce en aller simple

Par surépaisseur sur la pièce en Zig-Zag

### - configuration de la FAO CATIA -

Sens d'usinage:

En avalant

Progression hélicoïdale

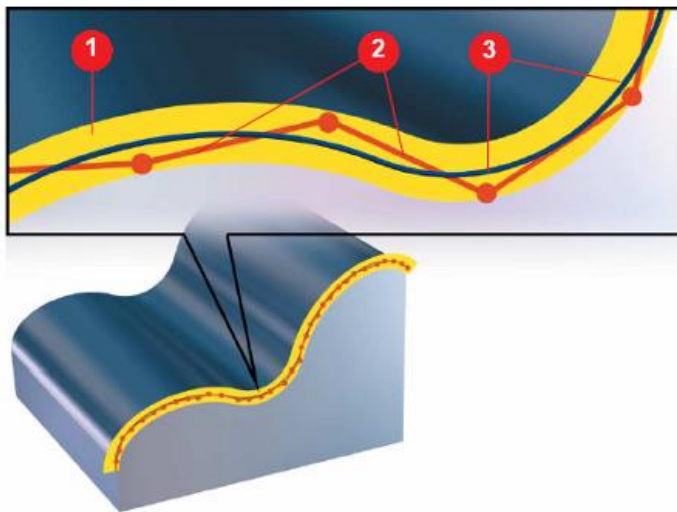
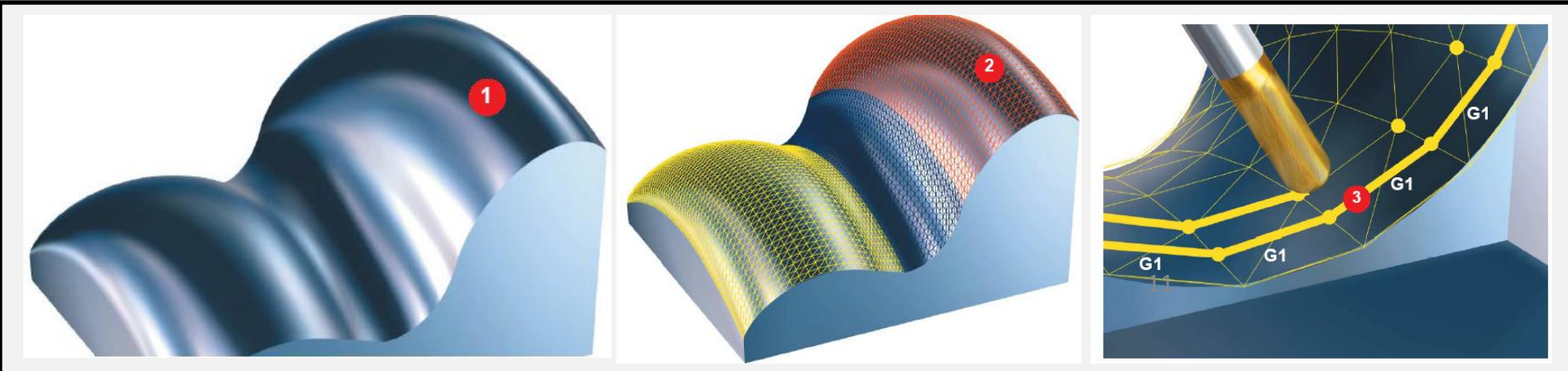
En avalant

Mixte

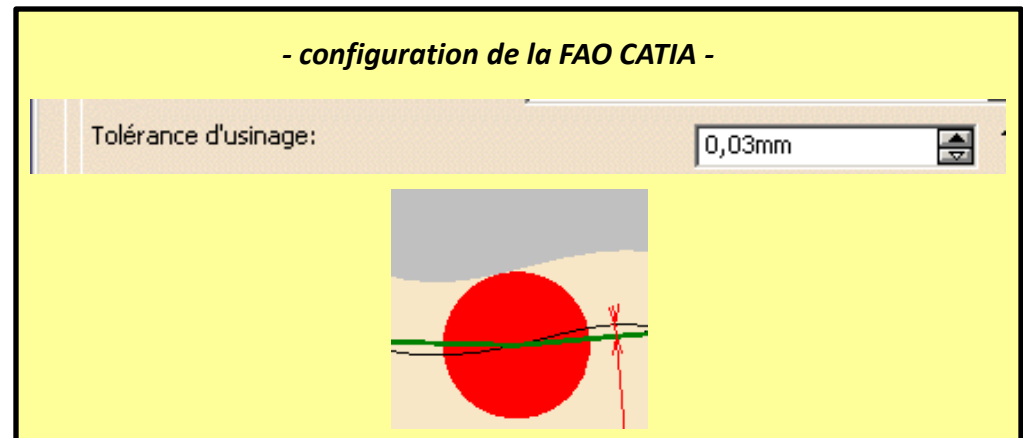
En opposition

# Discrétisation de la trajectoire

Les trajectoires créées par la FAO sont liées aux surfaces (arêtes ou points) du modèle numérique de la pièce. Mais, sauf cas particulier, **les trajectoires sont discrétisé en segments de droite** (code G01).

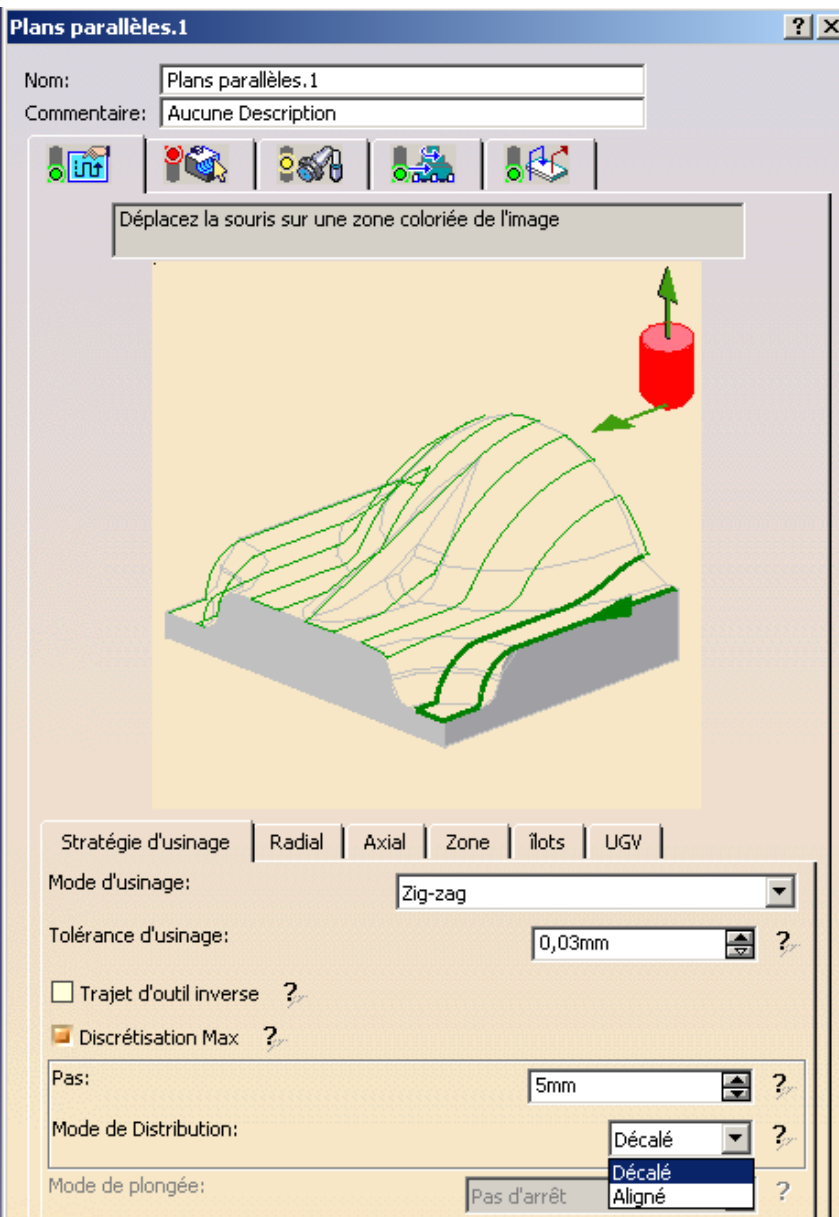


=> Erreur de corde

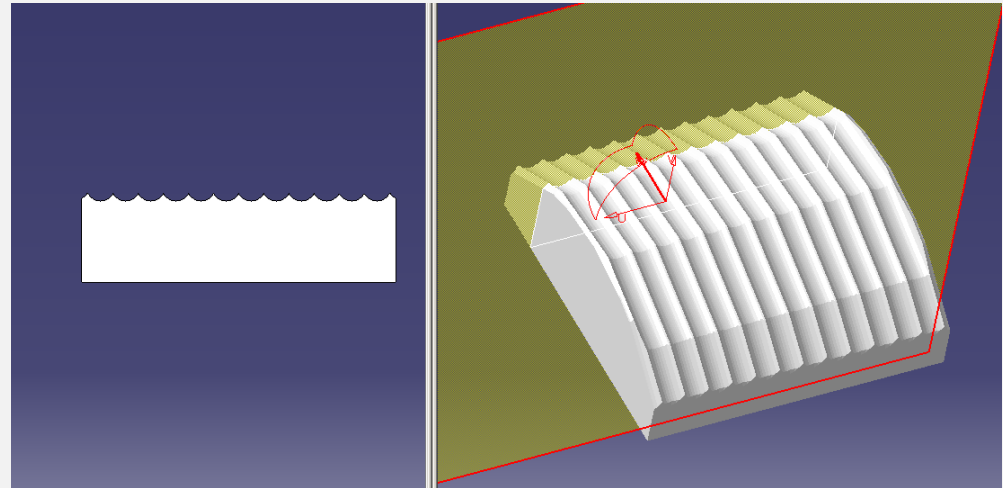


# Discrétisation de la trajectoire

12 / 36

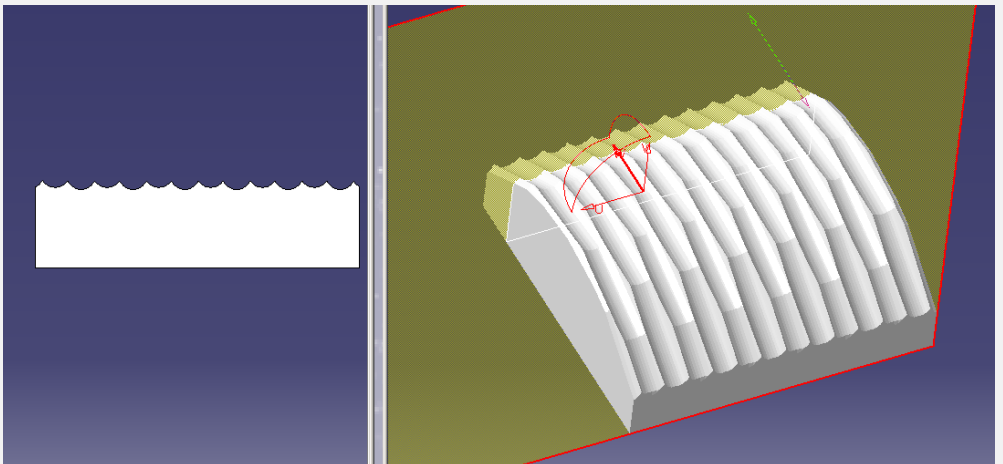


## Aligné



=> Facettisation de la surface

## Décalé



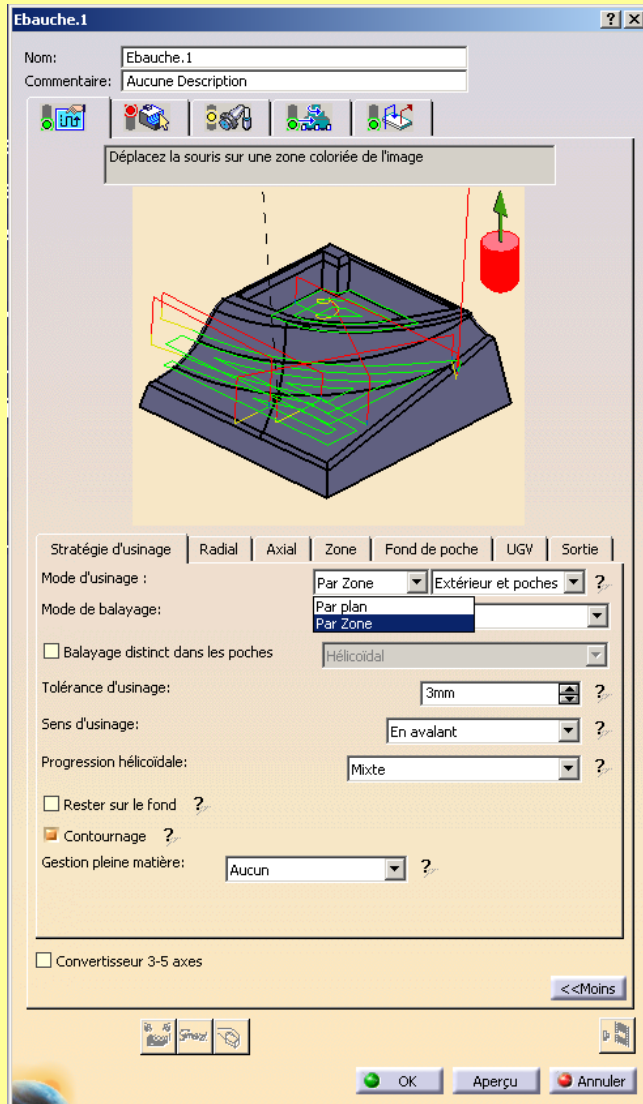
=> Hauteur de crêtes plus importante

# Stratégies en ébauche

# Stratégies en ébauche

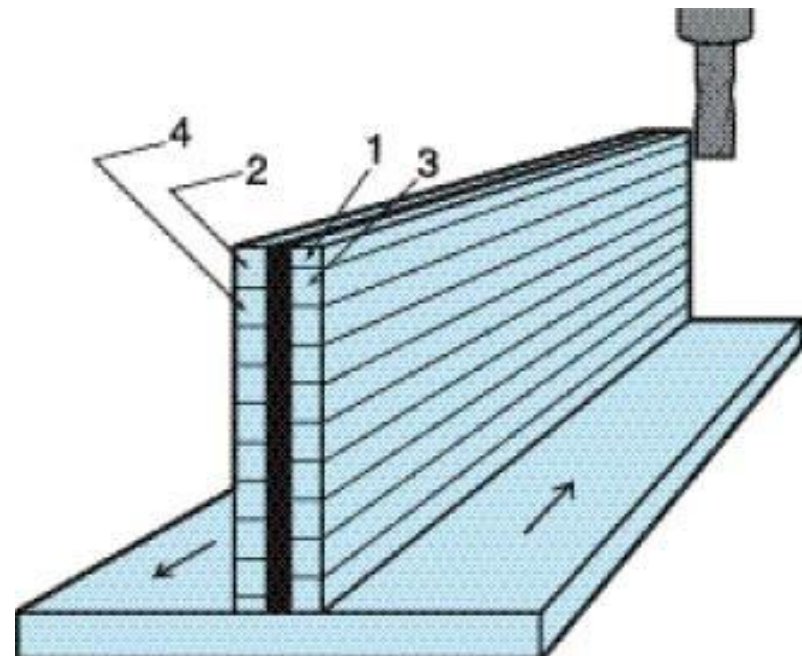
**Stratégie** : balayage dans des plans à altitude constante.

## - configuration de la FAO CATIA -



- **Travail par zone** : évite des va-et-vient entre les différentes zones

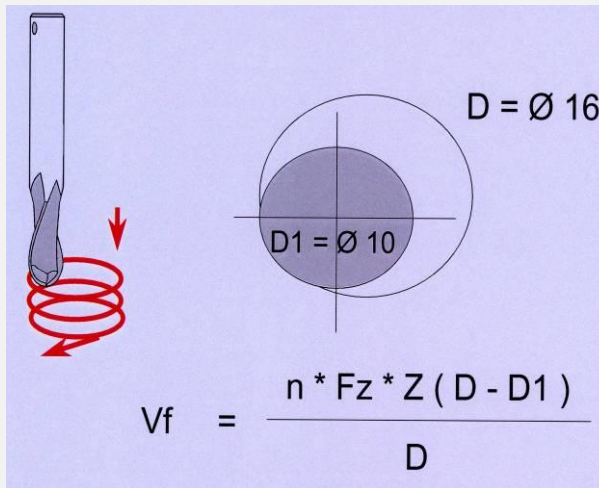
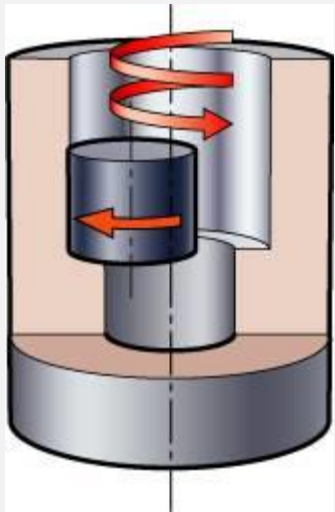
- **Travail par plan** : équilibre les déformations de la pièce (paroi mince)



# Stratégies en ébauche

## *Stratégie pour l'entrée et sortie de la matière*

Pour garantir la continuité des sollicitations mécaniques appliquées à l'outil, il faut utiliser une stratégie d'entrée en pleine matière en « **colimaçon** » (**spirale**) ou en « **feuille morte** » (**ramping**).



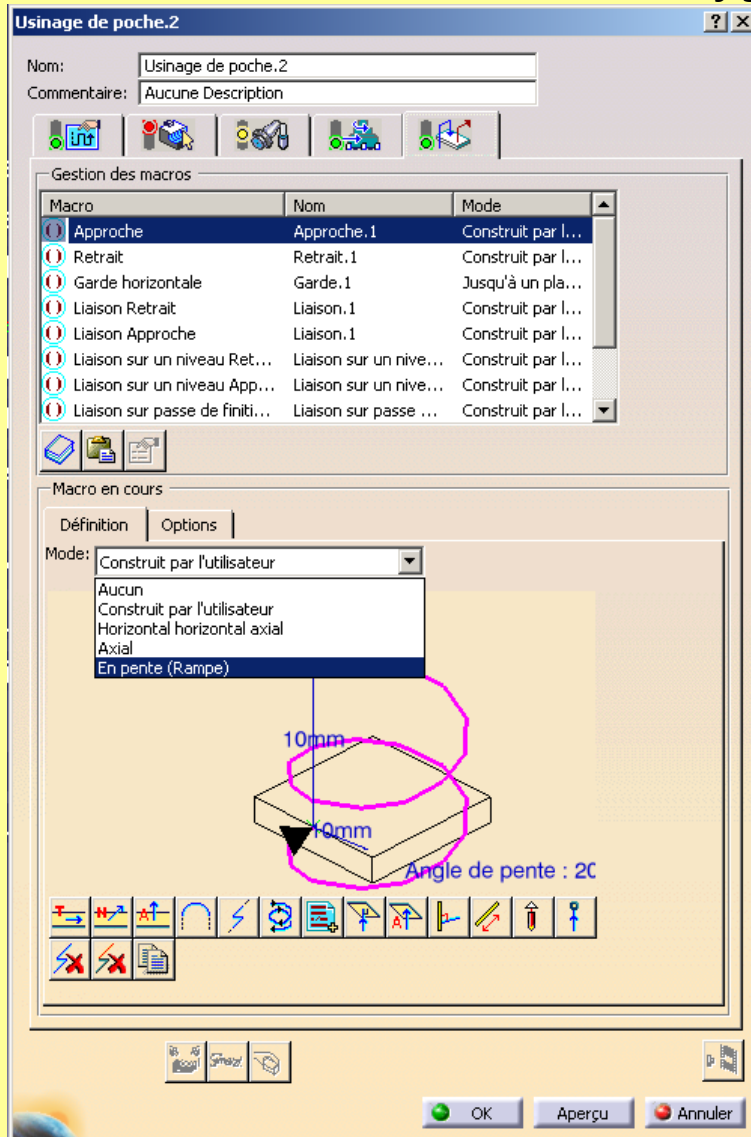
Entrée en spirale



# Stratégies en ébauche

## Stratégie pour l'entrée et sortie de la matière

- configuration de la FAO CATIA -



Attention : il faut activer la Macro pour qu'elle soit prise en compte.

| Macro             | Nom       |
|-------------------|-----------|
| Approche          |           |
| Retrait           |           |
| Garde horizontale |           |
| Liaison Retrait   | Liaison.1 |
| Liaison Approche  | Liaison.1 |

Activer

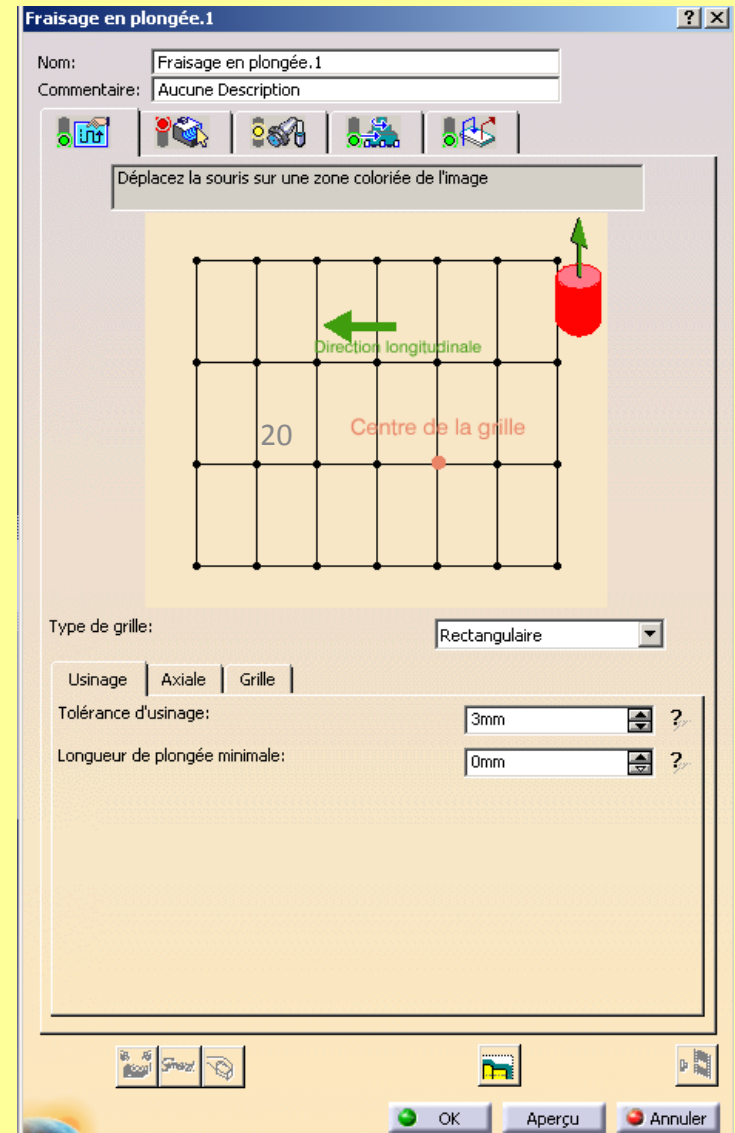
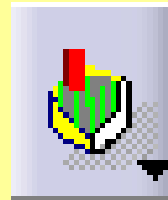
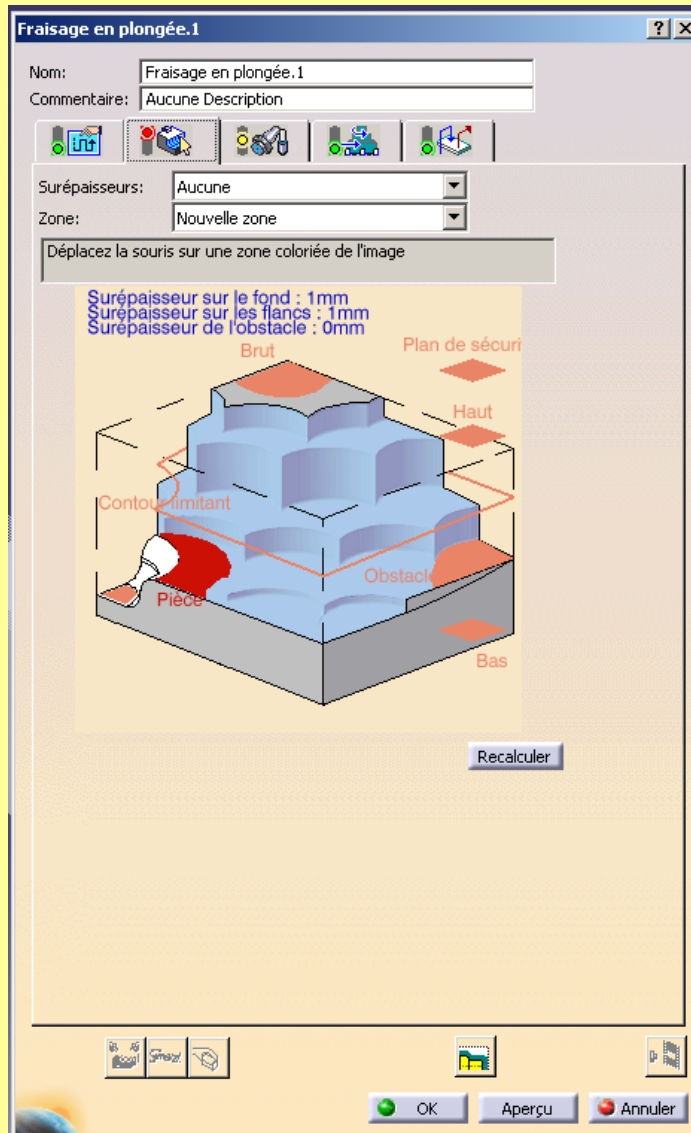
Sauvegarder



# Stratégies en ébauche

## Stratégie pour l'ouverture d'une poche

- configuration de la FAO CATIA -



# Stratégies en ébauche

## Usinage trochoïdal

L'usinage trochoïdal permet :

- d'éviter de trop engager l'outil (UGV, matériaux durs)
- avoir un engagement constant dans les coins
- avoir une entrée et une sortie de l'outil en douceur

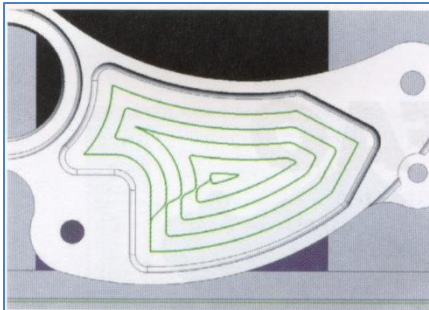
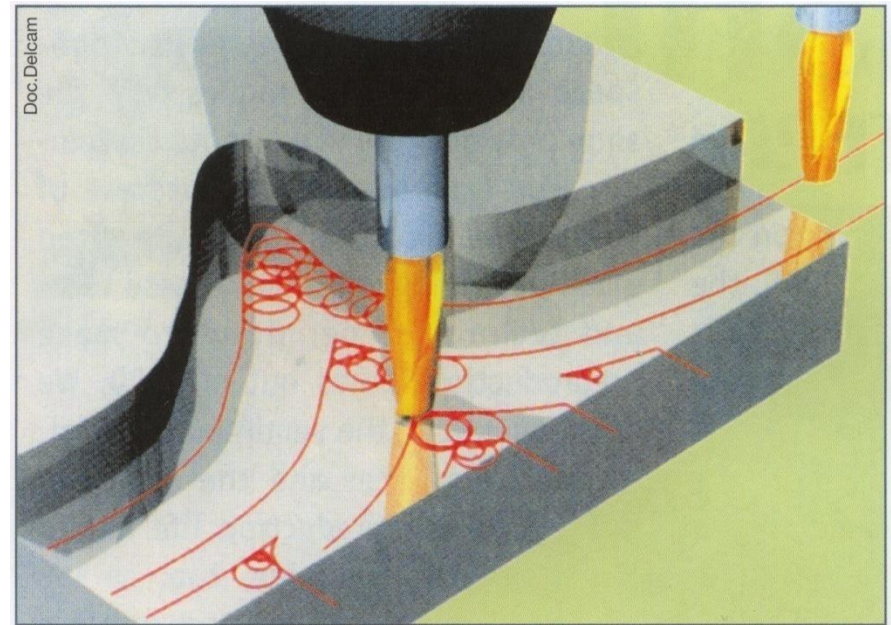
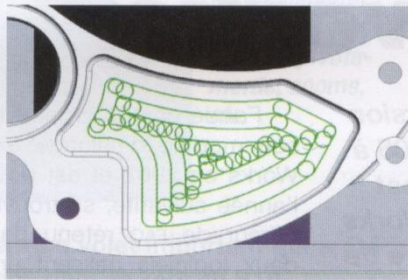


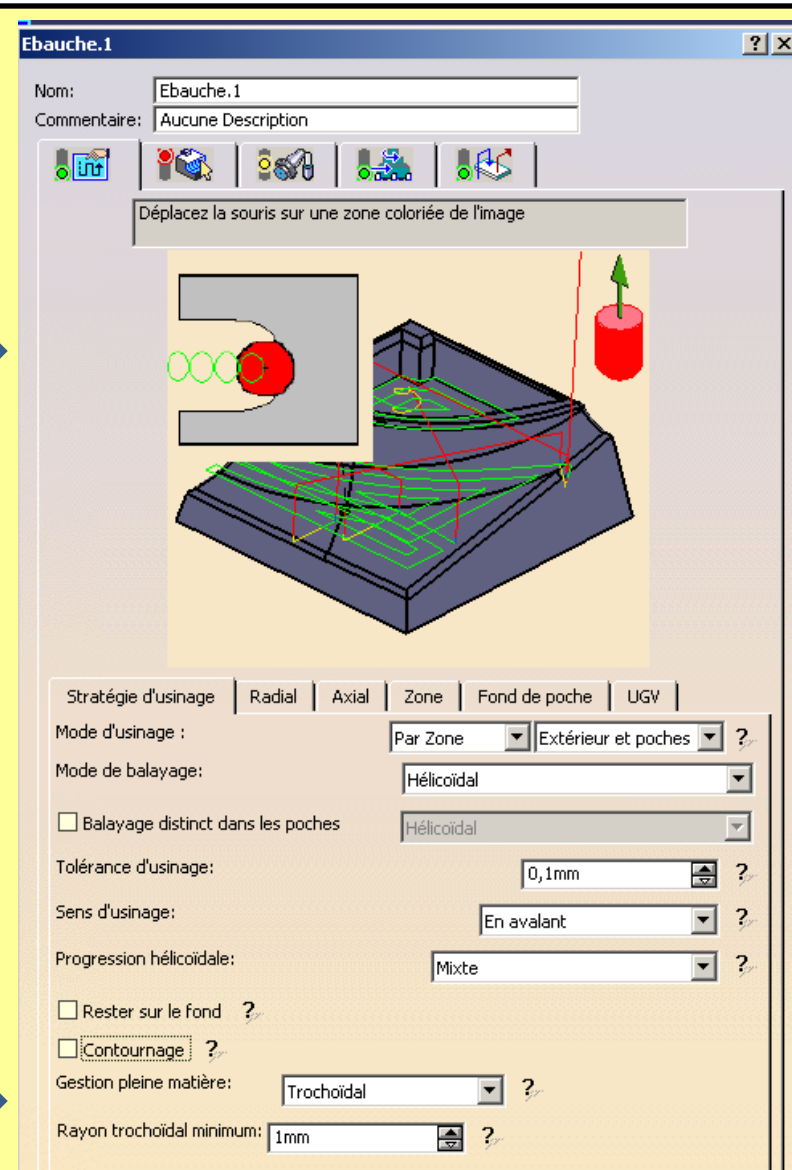
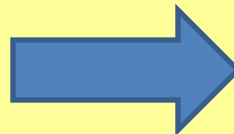
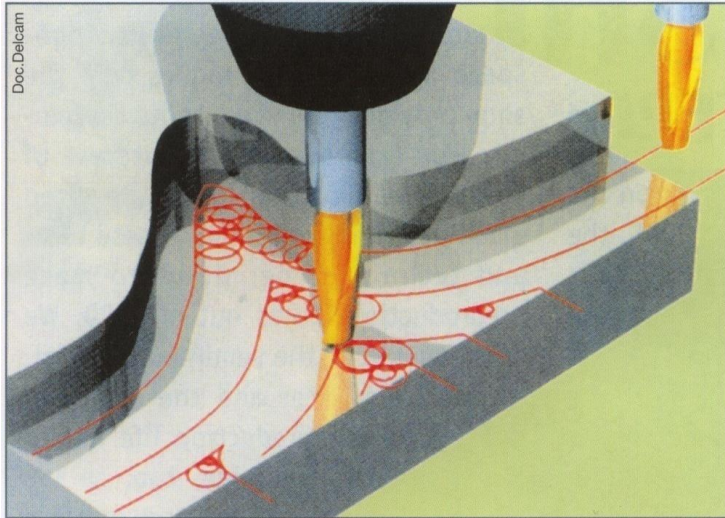
*Fig. 3 - Un exemple de balayage concentrique "pur" avec recouvrement réglable des passes de l'outil travaillant en bout.*

*Fig. 4 - Même pièce, mais cette fois en trochoïdal "pur". Dans la réalité, il faudra mixer les deux types de parcours. Le travail de calcul à grande vitesse pour la CNC n'est pas du tout le même, surtout en avance optimisée.*



# Stratégies en ébauche

## Usinage trochoïdal

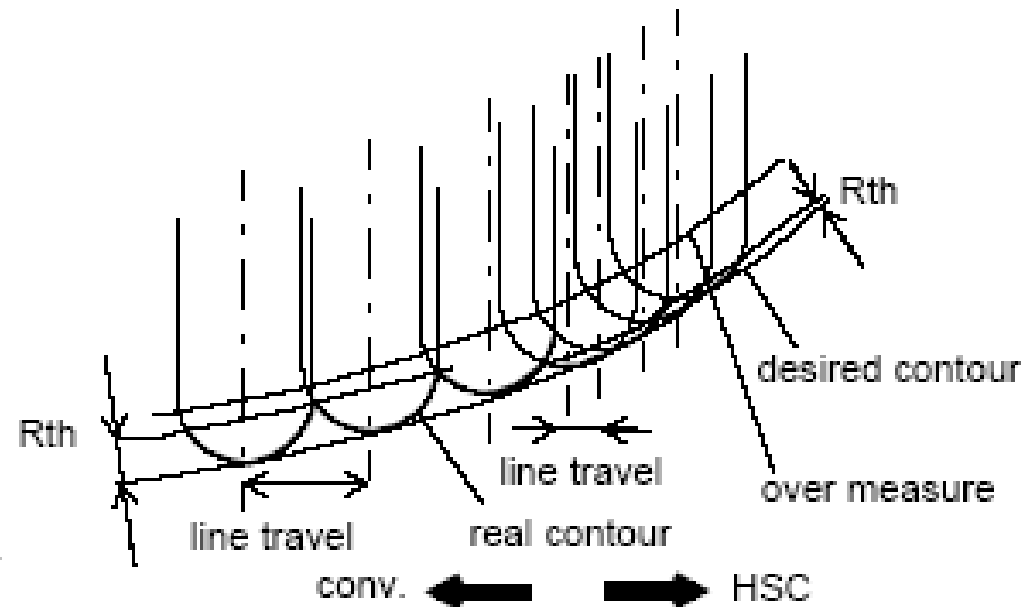
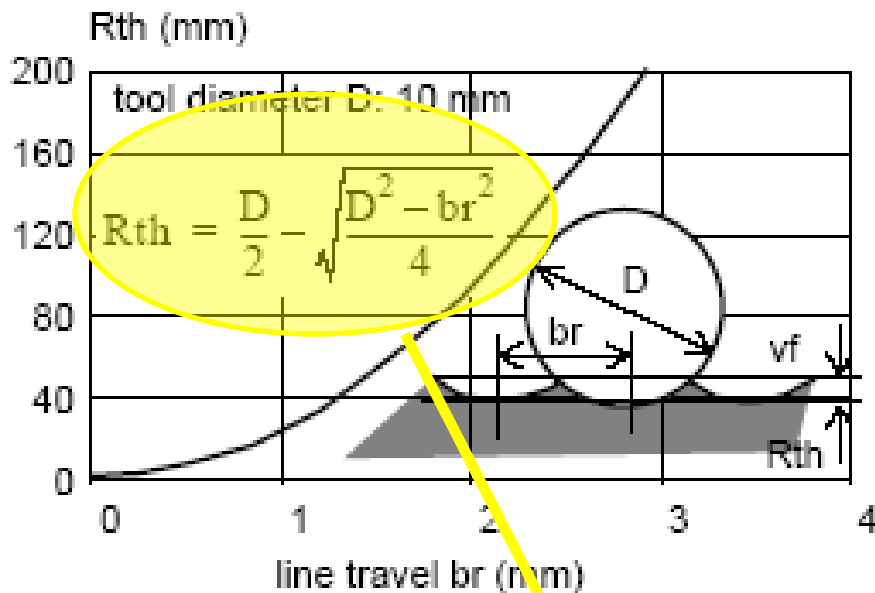


- configuration de la FAO CATIA -

# Stratégies en finition

# Pas de balayage

## Choix du pas de balayage



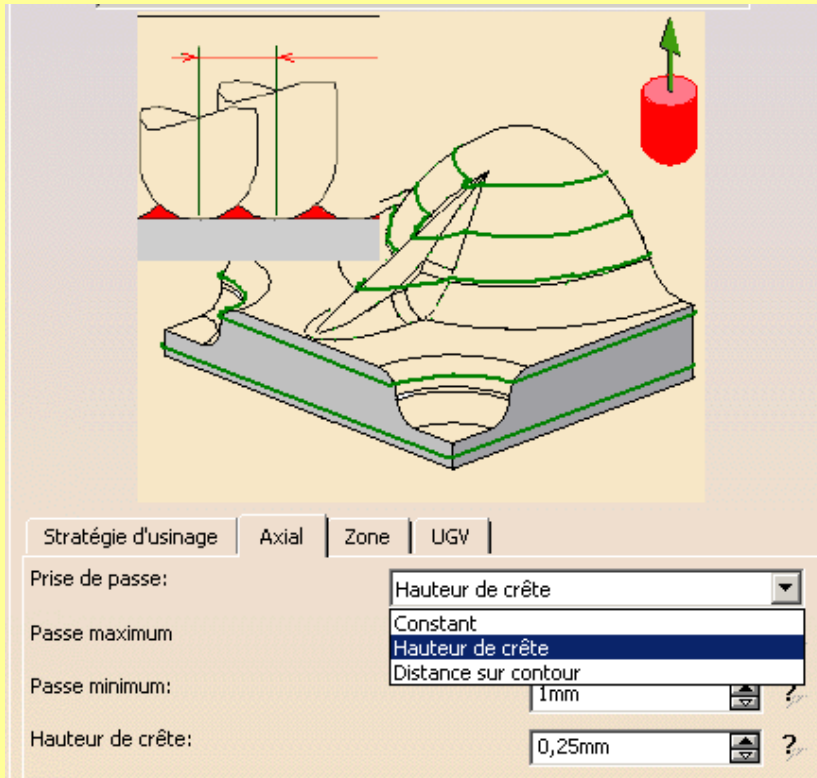
$$R_{th} = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{br}{D}\right)^2} \approx \frac{br^2}{4D}$$

⇒ La diminution de la hauteur des crêtes est une fonction carrée du pas de balayage

# Pas de balayage

## Choix du pas de balayage

- configuration de la FAO CATIA -



Attention :

La hauteur de crête est respectée que si la passe reste entre les deux valeurs extrêmes (maximum et minimum).

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Passe maximum     | 1mm    |
| Passe minimum:    | 1mm    |
| Hauteur de crête: | 0,05mm |

# Stratégies en finition

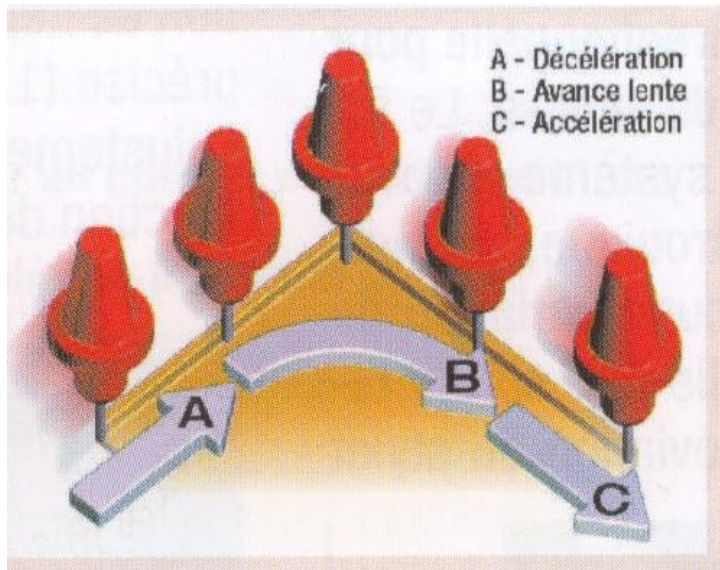
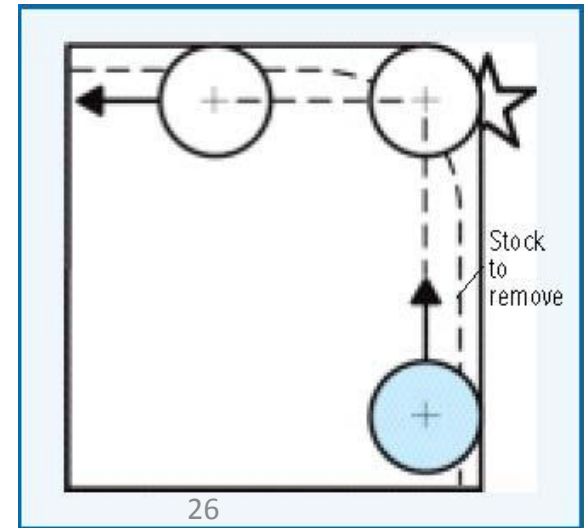
## *Amélioration de l'état de surface dans les coins*

Variation de la section du copeau au niveau des arcs de raccordement.

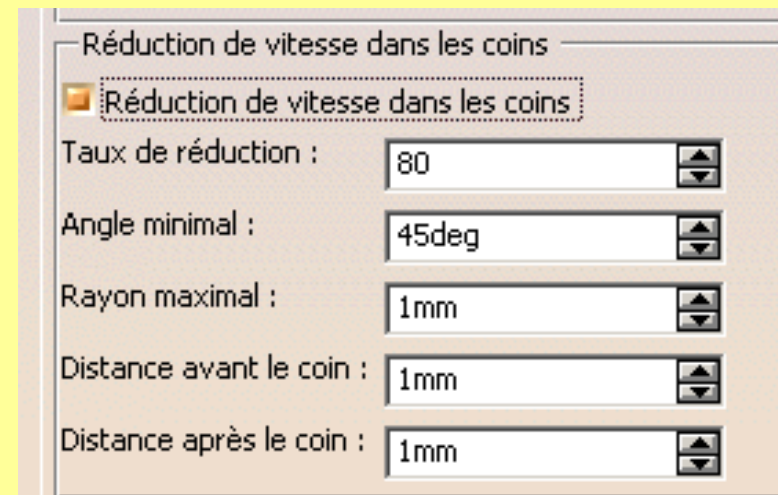
=> Choc, vibration

**Solution**

=> Diminution de l'avance dans les angles



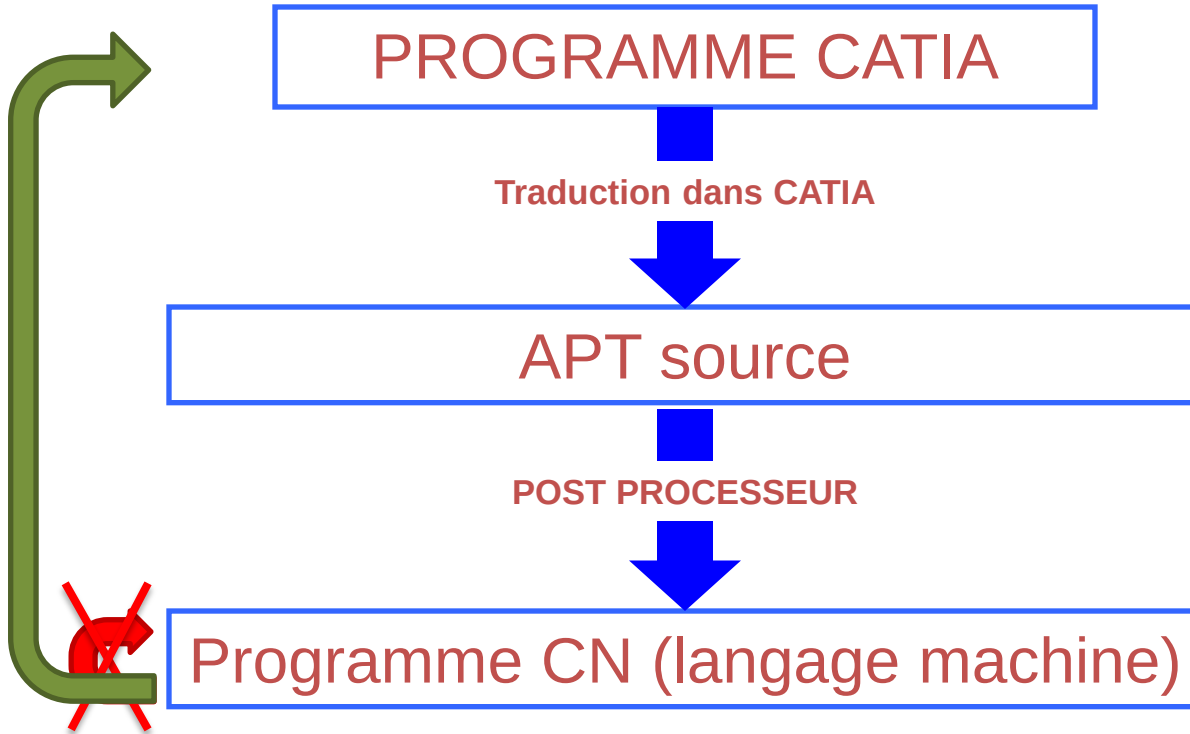
### *- configuration de la FAO CATIA -*



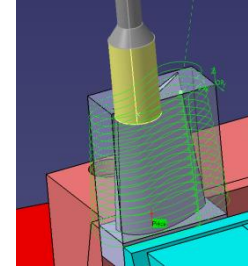
# Génération du code CN

# Ecriture du programme CN

28 / 36



Langage CATIA



Format neutre au standard APT

```
FEDRAT/ 1000.0000,MPPM  
GOTO / 29.57462, 3.89485, 0.50028,  
GOTO / 32.69592, 5.66495, 0.50028,  
GOTO / 35.85733, 7.21086, 0.50028,  
GOTO / 38.95174, 8.46326, 0.50028,  
GOTO / 41.61099, 9.32679, 0.50028,  
GOTO / 44.31773, 10.00665, 0.50028,  
GOTO / 46.55351, 10.41741, 0.50028,
```

Format iso ou autre

```
N16 G0 Z3.3  
N17 G0 Z1.7  
N18 G1 Z0.5 F300  
N19 X24.535 Y2.109  
N20 G3 X26.192 Y1.741 I25.548 J2.753  
N21 G1 X28.575 Y2.885 F1000
```

Pas de modification « au pied de la machine »

# Ecriture du programme CN

## APT Source

```

MSYS/ 0.83717, 0.54694, 0.00000, 1091.36447,$
0.00000, 0.00000, 1.00000, -756.89991,$
0.54694, -0.83717, 0.00000, -564.15320
$$CATIAV5-SGPOST.pptable-(NCISOFT)
PPRINT Phase d'usage.1
PARTNO Programme de fabrication.1
$$ OPERATION NAME : Changement outil.1
$$ Début de génération de: Changement outil.1
MULTAX/ON
$$ TOOLCHANGEBEGINNING
CUTTER/ 28.000000, 0.000000, 14.000000, 0.000000, 0.000000,$
0.000000, 50.000000
MODE/MILL
TPRINT/T1 Fraise 2 tailles D28
LOADTL/2
$$ TOOLCHANGEEND
$$ Fin de génération de: Changement outil.1
OPTYPE/3AXES_Contournage niveaux Z
PPRINT Contournage niveaux Z.1
$$ OPERATION NAME : Contournage niveaux Z.1
$$ Début de génération de: Contournage niveaux Z.1
$$ PPTABLE : NC_COMPENSATION 1
SPINDL/ 70.0000,RPM,CLW
RPM/ 70.0000
GOTO / 24.90375, 3.76862, 3.30028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
RAPID
GOTO / 24.90375, 3.76862, 1.70028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
FEDRAT/ 300.0000,MMPM
GOTO / 24.90375, 3.76862, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 24.53534, 2.10902, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
INTOL / 0.03000
OUTTOL / 0.00000
AUTOPS
INDIRV/ 0.53707, -0.84354, 0.00000
TCON,GOFWD/ (CIRCLE/ 25.54759, 2.75350, 0.50028,$
1.20000),ON,(LINE/ 25.54759, 2.75350, 0.50028,$
26.19207, 1.74125, 0.50028)
FEDRAT/ 1000.0000,MMPM
GOTO / 29.57462, 3.89485, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 32.69592, 5.66495, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 35.85733, 7.21086, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 38.95174, 8.46326, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 41.61099, 9.32679, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 44.31773, 10.00665, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 46.55351, 10.41741, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 49.13488, 10.73025, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 52.13315, 10.88408, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 55.33895, 10.81488, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 58.85936, 10.48475, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 61.96674, 9.99450, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 65.41061, 9.25747, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 68.83897, 8.33173, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 70.85900, 7.63799, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 71.98863, 7.11840, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 73.31569, 6.33349, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 74.59268, 5.40897, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 75.90653, 4.18669, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 77.09247, 2.77441, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 78.03877, 1.31423, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000
GOTO / 78.79521, -0.23309, 0.50028, 0.000000, 0.000000, 1.000000

```

## Langage ISO

```

% Process1_Programme_de_fabrication_1 G71
N1 G30 G17 X-10.226 Y-43.489 Z-85.058
N2 G90 G31 X80.321 Y11.488 Z0.5
N3 G80 A0 C0
N4 G80
N5;T2 T1 Fraise 2 tailles D28
N6;T3 T1 Fraise hemi sphérique D10
; Phase d'usage.1
N7 G0 Z450 M91
N8 G0 A0 C0 M91 M94
N9; T1 Fraise 2 tailles D28
N10 G17 T2 D14 S70
N11 G51 T3
; Contournage niveaux Z.1
N12 M3
N13 G80 A0 C0
N14 G0 A0 Q120 CQ122 M94
N15 G90 G40 G0 X24.904 Y3.769
N16 G0 Z3.3
N17 G0 Z1.7
N18 G1 Z0.5 F300
N19 X24.535 Y2
N20 G3 X26.192
N21 G1 X23.575
N22 X32.696 Y5.
N23 X35.857 Y7.
N24 X38.952 Y8.
N25 X41.611 Y9.
N26 X44.318 Y10
N27 X46.554 Y10
N28 X49.135 Y10
N29 X52.133 Y10
N30 X55.339 Y10
N31 X58.859 Y10
N32 X61.967 Y9.
N33 X65.411 Y9.
N34 X68.839 Y8.
N35 X70.859 Y7.
N36 X71.988 Y7

```

## Langage Heidenhain

```

0 BEGIN PGM process1_programme_de_fabrication_1 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-10.226 Y-43.489 Z-85.058
2 BLK FORM 0.2 X+80.321 Y+11.488 Z+0.5
3; Programme de fabrication.1
4 CYCL DEF 19.0 PLAN D'USINAGE
5 CYCL DEF 19.1 A+0 C+0
6 CYCL DEF 19.0 PLAN D'USINAGE
7 CYCL DEF 19.1
* -Phase d'usage.1
8 L X+450 FMAX M91
9 L A+0 C+0 FMAX M91
10 M94
11* -T1 Fraise 2 tailles D28
12 TOOL CALL 2 Z S70
13 TOOL DEF 3
* -Contournage niveaux Z.1
14 L M3
15 CYCL DEF 19.0 PLAN D'USINAGE
16 CYCL DEF 19.1 A+0 C+0
17 L A0 Q120 CQ122 FMAX M94
18 L X+24.904 Y+3.769 R0 FMAX
19 L Z+3.3 FMAX
20 L Z+1.7 FMAX
21 L Z+0.5 F300
22 L X+24.535 Y+2.109
23 CC X+25.548 Y+2.753
24 C X+26.192 Y+1.741 DR+
25 L X+29.575 Y+3.895 F1000
26 L X+32.696 Y+5.665
27 L X+35.857 Y+7.211
28 L X+38.952 Y+8.463
29 L X+41.611 Y+9.327
30 L X+44.318 Y+10.007
31 L X+46.554 Y+10.417
32 L X+49.135 Y+10.73
33 L X+52.133 Y+10.884
34 L X+55.339 Y+10.815
35 L X+58.859 Y+10.485
36 L X+61.967 Y+9.995

```

# Conclusion

**La FAO permet :**

- **De calculer les trajectoires des outils**
- **De vérifier l'accessibilité des outils/surfaces**
- **D'éviter les collisions outil/pièce, outil/montage, outil/machine**
- **De vérifier si la géométrie de la pièce usinée est correcte**
- **De connaître les temps d'usinage**
- **D'écrire le programme CN (via le postprocesseur)**

**Mais ne permet pas :**

- **De prédire l'état de surface**
- **De prévoir les phénomènes vibratoires (outil, machine, pièce)**
- **Le prise en compte de la déformation de la pièce/effort de coupe**
- **De valider les paramètres de coupe ( $a_p$ ,  $f$ ,  $V_c$ )**

# Conclusion

**Une optimisation des stratégies en FAO est impérative pour obtenir une haute qualité d'usinage et permettre d'obtenir un niveau élevé de productivité.**

**Mais il ne faut pas négliger pour autant le choix des outils et des paramètres opératoires (démarche COM).**



# Annexe

# Types d'opérations d'usinage

Les opérations d'usinage disponibles sous CATIA sont généralement utilisées être utilisées comme suit :

| Nom                 | Logo                                                                                | Axes |   |    | Type d'op. |     | Remarques                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---|----|------------|-----|-------------------------------|
|                     |                                                                                     | 2,5  | 3 | +3 | Eb.        | Fi. |                               |
| Ebauche prismatique |    | X    |   |    | X          |     |                               |
| Fraisage en plongée |    | X    |   |    | X          |     | Tréflage. Icône lié à Ebauche |
| Usinage de poche    |    | X    |   |    | X          | X   |                               |
| Surfaçage           |    | X    |   |    | X          | X   |                               |
| Contournage         |    | X    |   |    | X          | X   |                               |
| Suivi de courbes    |   | X    |   |    |            | X   |                               |
| Rainurage           |  | X    |   |    | X          | X   |                               |
| Point à point       |  | X    |   |    |            | X   |                               |
| Us. de poche 4 axes |  |      |   | X  | X          | X   | Position de l'axe automatique |

# Types d'opérations d'usinage

| Nom                                   | Logo                                                                                | Axes |   |    | Type d'op. |     | Remarques                                                                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---|----|------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       |                                                                                     | 2,5  | 3 | +3 | Eb.        | Fi. |                                                                                     |
| Power machining                       |    | X    |   |    | X          |     |  |
| Perçage, alésage...                   |    | X    |   |    | X          | X   |                                                                                     |
| Ebauche                               |    |      | X |    | X          |     |                                                                                     |
| Eb. par copiage                       |    |      | X |    | X          |     | <i>Icône lié à Ebauche</i>                                                          |
| Plans parallèles                      |    |      | X |    |            | X   |                                                                                     |
| Us. Suivant tube mutiaxes             |    |      |   | X  |            | X   | <i>Icône lié à Plans parallèles</i>                                                 |
| Balayage suivant courbes              |  |      | X |    |            | X   |                                                                                     |
| Bal. suivant courbes isoparamétriques |  |      | X |    |            | X   | <i>Icône lié à Balayage suivant courbes</i>                                         |
| Contour par guidage multiaxes         |  |      |   | X  |            | X   | <i>Icône lié à Balayage suivant courbes</i>                                         |

# Types d'opérations d'usinage

| Nom                                  | Logo                                                                                | Axes |   |    | Type d'op. |     | Remarques                              |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---|----|------------|-----|----------------------------------------|
|                                      |                                                                                     | 2,5  | 3 | +3 | Eb.        | Fi. |                                        |
| Surfaçage en spirale                 |    |      | X |    |            | X   | Surfaçage de toutes les surface planes |
| Surfaçage en spirale multiaxes       |    |      |   | X  |            | X   |                                        |
| Suivi de courbes multiaxes           |    |      |   | X  |            | X   | <i>Icône lié à Contournage</i>         |
| Contournage multiaxes                |    |      |   | X  |            | X   | <i>Icône lié à Contournage</i>         |
| Balayage 4 axes le long d'une courbe |    |      |   | X  |            | X   | <i>Icône lié à Plans parallèles</i>    |
| Trajet bitangent                     |   |      | X |    |            | X   |                                        |
| Contou. niveau Z                     |  | X    |   |    | X          | X   |                                        |
| Us. hélicoïdal multiaxes             |  |      |   | X  |            | X   |                                        |

# Gamme type (pièce 3 axes)

| Gamme      | Opérations                                                           | Outils                          | Remarques                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|
| Ebauche    | Ebauche                                                              | Fraise 2 tailles                | Profondeur de passe importante                 |
| ½ Finition | Ebauche                                                              | Fraise hémisphérique ou torique | Ap moins important (suppression des 'marches') |
| Finition   | Plans parallèles<br>ou<br>Contournage en Z +<br>Surfaçage en spirale | Fraise hémisphérique ou torique | Définir un hauteur de crête à respecter        |
|            | Balayage suivant courbes...                                          |                                 |                                                |
|            | + Trajet bitangent                                                   | Fraise hémisphérique            | Finition des congés de raccordement            |