

---

# Intégration de la CFAO pour l'usinage des matrices cylindriques

**NACEUR Mohamed - BEN YAHIA Nouredine - ZGHAL Ali**

*Unité de recherche en mécanique des solides, des structures, et des développements technologiques, ESSTT.*

*5 Av Taha Hussein, BP. 56 Bab Mnara, Tunis, Tunisie*

*[naceurmohamed\\_gm@yahoo.fr](mailto:naceurmohamed_gm@yahoo.fr), [cadyahia2000@yahoo.fr](mailto:cadyahia2000@yahoo.fr), [ali.zghal@esstt.rnu.tn](mailto:ali.zghal@esstt.rnu.tn)*

---

*RÉSUMÉ. Actuellement, l'emploi de l'outil informatique en terme de conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) est fortement recommandé. L'intégration de la CFAO dans un processus de fabrication se traduit par la prise en compte du savoir faire de fabrication dès la phase de conception.*

*Dans ce papier on propose une méthodologie pour le choix du processus le plus adéquat pour l'usinage d'une matrice d'emboutissage cylindrique dans le but d'améliorer sa qualité.*

*Il s'agit de modéliser la pièce en 3D, de simuler son usinage sous CATIA selon plusieurs processus possibles puis il reste d'interpréter les résultats de la simulation et de décider quel processus retenir pour usiner cette pièce.*

*ABSTRACT. Currently, the use of the tool in terms of design and computer aided manufacturing (CAD/CAM) is strongly recommended. The integration of CAD/CAM in a manufacturing process resulting in the incorporation of skill manufacturing from the design phase.*

*In this paper we propose a methodology for the selection of the most appropriate process for machining of a die for cylindrical stamping with the aim of improving its quality.*

*This is the part model in 3D, simulate the machining under CATIA according to several possible processes then it remains to interpret the results of the simulation and decide what process for the best machining piece.*

*MOTS-CLÉS : CFAO ; temps d'usinage ; hauteur de crête ; poche cylindrique ; stratégie d'usinage.*

*KEYWORDS: CAD/CAM; Time Machine; Peak height; cylindrical pocket; machining strategy.*

---

## 1. Introduction

Les besoins en termes de fabrication mécanique sont de plus en plus originaux et divers. Actuellement il est absurde souvent de lancer une présérie pour fabriquer un nombre réduit de pièces. Car la concurrence sur le marché ne le permet pas parfois (H'mida et al., 2001).

La qualité d'usinage est un vecteur ayant trois composantes essentielles, le cout, le délai et la qualité de surface. Certainement que l'amélioration de ces trois composantes vas améliorer la qualité globale d'usinage.

L'intégration de la CFAO est la solution rapide pour améliorer la qualité et certainement elle doit être efficace. Plusieurs auteurs ont cherché à intégrer la CFAO pour la fabrication des pièces mécanique (Abassi et al., 2005). D'autres ont cherché à optimiser le choix des ressources tel que le choix des machins outil (Ben Khalifa et al., 2005), et des outils de coupe (Ben Khalifa et al., 2006).

Le problème qu'on veut résoudre ici c'est comment choisir un processus d'usinage parmi plusieurs en se basant sur la simulation d'usinage (Bonnefoy H. et al., 2004) sous CATIA tout en garantissant la bonne qualité des matrices avec un pouvoir compétitif sur le marché. Pour atteindre ce but, on va essayer de varier les processus d'usinage d'une matrice en faisant varier le choix des outils de coupe, le choix des trajectoires d'outil et parmi les combinaisons possibles, on retiendra le processus d'usinage le plus adéquat et qui répond à un certain nombre de critères de choix.

## 2. Présentation de la méthode

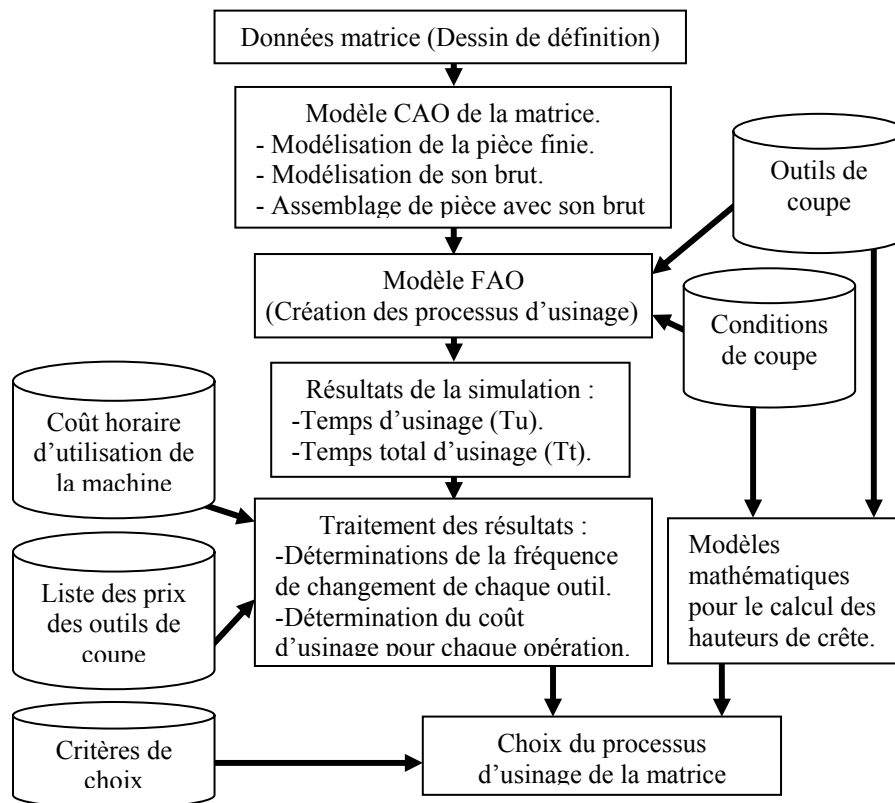
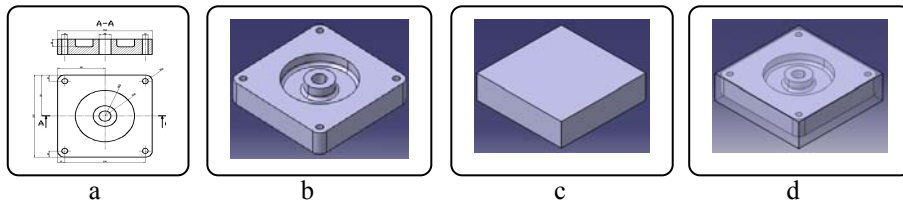


Figure 1. Organigramme descriptif de la méthodologie proposée.

La méthodologie proposée est basée essentiellement sur l'exploitation du logiciel CATIA et surtout son module d'usinage. La figure 1 présente la démarche adoptée pour aboutir enfin à faire le choix entre les différents processus possibles.

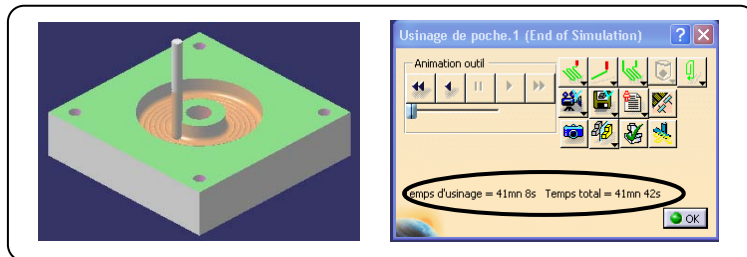
### 2.1. Degrés d'intégration avec CATIA:

L'utilisation du logiciel CATIA se fait en deux phases différentes. En premier lieu crée les modèles CAO de la matrice considéré (figure 2). On a besoin ici de créer trois fichiers CAO dont le premier constitue un modèle 3D de la matrice selon son dessin de définition (figure 2.a,2.b), le deuxième constitue un modèle 3D du brut (figure 2.c) et le dernier est un assemblage des deux (figure 2.d). En deuxième lieu, on crée un fichier FAO pour chaque processus d'usinage en se basant sur l'assemblage créé précédemment. Ici nous avons besoin d'introduire dans ce type de fichier les paramètres de coupe, la géométrie et les dimensions des outils utilisés et le type de la trajectoire de chaque outil si on a des choix multiples. L'introduction de ces données se fait manuellement à travers les boîtes de dialogues propres au logiciel.



**Figure 2.** Créations des fichiers CAO.

Après la création du modèle FAO, avec une saisie manuelle des différents paramètres, on passe à la simulation d'usinage (figure 3). Le simulateur nous renseigne visuellement sur la trajectoire de l'outil et il nous renvoie les temps alloués pour chaque opération d'usinage.



**Figure 3.** Simulation d'usinage.

On copie manuellement les résultats (temps d'usinage et temps total) pour les traiter ultérieurement.

## 2.2. Elaboration du modèle théorique :

Le modèle théorique en structure de tableau présenté par la figure 4, doit être rempli en trois phases différentes :

– Les sept premières colonnes sont remplies avant l'utilisation du module d'usinage du logiciel CATIA car elles vont servir comme données à introduire lors de la création d'un fichier FAO sauf que la colonne "durée de vie T" sert à la détermination de la fréquence de changement d'outil par la suite. Les paramètres de coupe sont établis en se référant aux tableaux de condition de coupe.

	Opérations	Outils	Vc (m/ mn)	T (mn)	f (mm /tr)	ap (mm)	Temps d'usinage Tu (mn)	Temps total d'usinage Tt (mn)	Fréquence de changement de l'outil en nbre de pièces (np)	Coût d'usinage	Qualité de surface
1											
2											
3											

**Figure 4. Modèle théorique.**

– Les deux colonnes "temps d'usinage" et "temps total d'usinage" sont remplies en récupérant manuellement les résultats de la simulation déjà établie.

– Les formules [1] et [2] servent à remplir respectivement les colonnes "fréquence de changement d'outil np" et "cout d'usinage"

$$np = \frac{T}{T_u} \quad [1]$$

$$\text{coût} = cm \sum_{i=1}^n T_{t_i} + \sum_{j=1}^m (co_j / np_j) \quad [2]$$

Où :

cm : coût horaire d'utilisation de la machine.

co : prix d'un outil neuf.

n : nombre des opérations d'usinage.

m : nombre des outils de coupe.

np : fréquence de changement de l'outil j en nombre de pièces.

– La colonne qualité de surface est remplie selon le mode d'usinage (en bout, en roulant), selon le type de l'outil (ahmed ben youssef, 2007) (Tournier et al., 2003) et selon la nature de la surface usinée (Bouaziz Z., 2003), (Boujelbene et al., 2003)

En effet les formules [3], [4], [5] et [6] listées ci-dessous seront utilisées pour calculer la hauteur de la crête qui caractérise l'état de surface. Et donc ça va nous aider à améliorer la qualité d'usinage par la suite.

- Cas d'une surface perpendiculaire à l'axe de l'outil (figure 5.a) :

$$h \approx \frac{p^2}{8r} \quad [3]$$

- Cas d'une surface concave (figure 5.b) :

$$h \approx \frac{p^2(R-r)}{8 R r} \quad [4]$$

- Cas d'une surface convexe (figure 5.c) :

$$h \approx \frac{p^2(R+r)}{8 R r} \quad [5]$$

- Cas du fraisage en roulant (figure 5.d) (Barlier et al.) :

$$h = \frac{f_z^2 Z^2}{8 r} \quad [6]$$

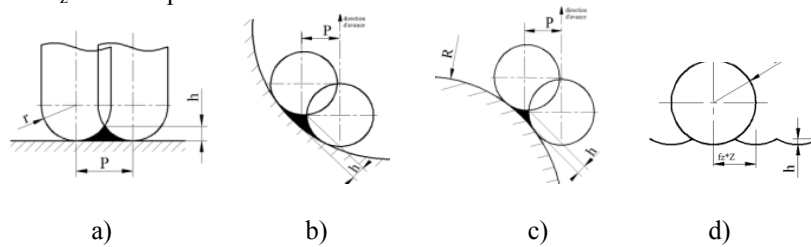
Où : h : la hauteur de crête qui est donné en mm selon les formules suivantes.

p : pas transversal en mm.

r : rayon de l'outil en mm.

R : rayon de courbure de la surface usinée

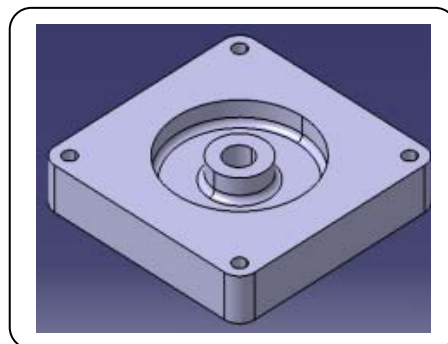
$f_z$  : avance par dent et Z : nombre de dents



**Figure 5.** Modélisation de la hauteur de crête

### 3. Application de la méthode proposée.

En vue d'évaluer la méthode proposée nous avons essayé de l'appliquer à un cas simple d'une matrice d'emboutissage cylindrique donnée par la figure 6.



**Figure 6.** Dessin 3D de la matrice

Le tableau ci-dessous constitue un processus d'usinage parmi plusieurs.

Opérations		Outils
1	Surfaçage de la face supérieure	Fraise à surfacer D50
2	Contournage extérieur (ébauche)	Fraise 2T D10
3	Pointage des 5 trous	Foret à pointer D10
4	Perçage des 4 trous de diamètre 10mm	Foret D10
5	Perçage du trou de diamètre 20mm	Foret D20
6	Evidement de la poche	Fraise à bout sphérique D8
7	Contournage extérieur ( finition )	Fraise 2T D10
8	Contournage intérieur ( finition )	Fraise à bout sphérique D8
9	Contournage de l'ilot ( finition )	Fraise à bout sphérique D8
10	Chanfreinage du contour extérieur	Fraise conique D10

**Tableau 1.** Exemple de processus d'usinage

– Pour l'opération numéro 1 (surfaçage de la face supérieure) nous avons le choix entre 3 modes d'usinage :

- Cycle aller retour.
- Cycle spirale.
- Cycle allé simple.

– Pour l'opération d'évidement de poche, nous avons le choix entre 2 modes d'usinage :

- Cycle aller retour.
- Cycle spirale.

La combinaison entre ces différents choix nous donne 6 processus d'usinage différents et si on varie le diamètre de l'outil à bout hémisphérique pour l'usinage de la poche, on multiplie ainsi le nombre de processus d'usinage possibles. Ici nous avons utilisé 3 diamètres différents ce qui fait que le nombre de processus d'usinage est égal à 18 et notre problème quel processus convient mieux pour obtenir une bonne qualité de surface avec un coût minimal dans un délai minimal.

L'opération d'évidement de poche est la plus dominante dans ces processus, c'est elle qui influe plus sur le temps d'usinage de cette matrice et pour cela nous avons limité l'étude à cette opération et d'où nous avons 6 processus relatives à l'évidement de la poche.

### 3.1. Résultats :

Les résultats regroupés dans le tableau 2, sont établis pour un acier au Mn+Si. Ce matériau est caractérisé par son usinabilité amélioré.

Ce tableau représente à la fois les résultats relatifs aux 6 processus d'évidement de la poche et pas un seul processus.

	Opérations	Outils	V <sub>c</sub> m/min	T mn	f mm/tr	ap mm	Tu mn	Tt mn	np	Coût d'usinage	h (μm)	Qualité
1	Evidement de poche (spirale)	Fraise à bout hémisphérique Φ8, Z=4	45	90	0.24	3	29'56"	30'11"	3	cm*T <sub>t1</sub> + co <sub>1</sub> /3	h <sub>1</sub> =0.12510 <sup>3</sup> h <sub>2</sub> =1.8 h <sub>3</sub> =1.8	-
2	Evidement de poche (aller-retour)	Fraise à bout hémisphérique Φ8, Z=4	45	90	0.24	3	26'23"	29'	3	cm*T <sub>t2</sub> + co <sub>1</sub> /3	h <sub>1</sub> =0.25 10 <sup>3</sup> h <sub>2</sub> =0.13 10 <sup>3</sup> h <sub>3</sub> =0.1 10 <sup>3</sup>	-
3	Evidement de poche (spirale)	Fraise à bout hémisphérique Φ12, Z=4	45	90	0.32	3	28'5"	28'18"	3	cm*T <sub>t3</sub> + co <sub>2</sub> /3	h <sub>1</sub> =0.08310 <sup>3</sup> h <sub>2</sub> =2.133 h <sub>3</sub> =2.133	-
4	Evidement de poche (aller-retour)	Fraise à bout hémisphérique Φ12, Z=4	45	90	0.32	3	23'54"	26'50"	3	cm*T <sub>t4</sub> + co <sub>2</sub> /3	h <sub>1</sub> =0.08 10 <sup>3</sup> h <sub>2</sub> =0.09 10 <sup>3</sup> h <sub>3</sub> =0.05810 <sup>3</sup>	-
5	Evidement de poche (spirale)	Fraise à bout hémisphérique Φ20, Z=4	45	90	0.53	3	17'	17'8"	5	cm*T <sub>t5</sub> + co <sub>3</sub> /5	h <sub>1</sub> =0.05 10 <sup>3</sup> h <sub>2</sub> =3.38 h <sub>3</sub> =3.38	+
6	Evidement de poche (aller-retour)	Fraise à bout hémisphérique Φ20, Z=4	45	90	0.53	3	12'22"	15'19"	7	cm*T <sub>t6</sub> + co <sub>3</sub> /7	h <sub>1</sub> =0.05 10 <sup>3</sup> h <sub>2</sub> =0.0610 <sup>3</sup> h <sub>3</sub> =0.02510 <sup>3</sup>	+
	Reprise de poche	Fraise à bout hémisphérique Φ8, Z=4	45	90	0.24	0.5	40"	40"	98	cm*T <sub>t7</sub> + co <sub>1</sub> /98	h=1.8	+
	Reprise de l'ilot					15"	15"					

h<sub>1</sub> : hauteur de crête sur le fond ; h<sub>2</sub> : hauteur de crête sur la surface latérale de la poche ; h<sub>3</sub> : hauteur de crête sur la surface latérale de l'ilot.

Le signe (+) signifie une qualité meilleure et le signe (-) signifie une qualité médiocre

**Tableau 2. Tableau des résultats**

Pour les processus 3, 4, 5, 6, les outils utilisés ne donnent pas le rayon d'arrondi désiré au fond de la poche. Ceci nécessite une reprise locale pour aboutir à la valeur souhaitée de l'arrondi. Ce qui explique la dernière ligne du tableau (noirci) où nous avons utilisé un outil de diamètre 8mm pour usiner les arrondis de rayons 4mm.

### 3.2. Interprétations des résultats :

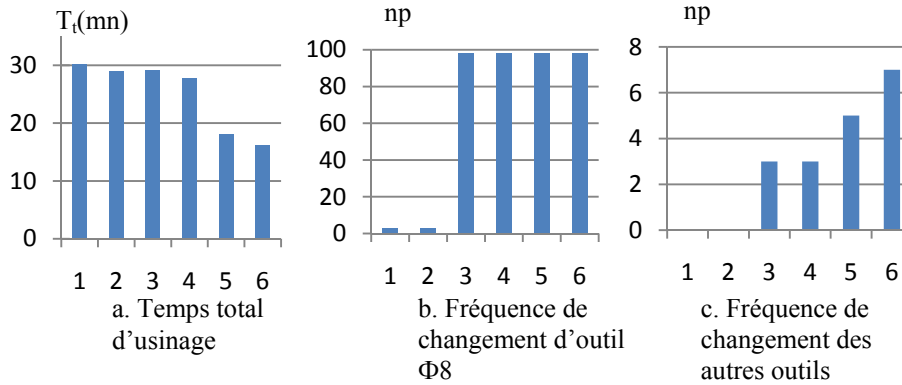
– Temps d'usinage :

- Il est remarquable que le temps d'usinage varie selon le type de la trajectoire de l'outil (Pateloup et al.,2003) ainsi que son diamètre (Hamza et al., 2005) (figure 7.a).

Pour une trajectoire de type aller-retour le temps d'usinage est inférieur à celui d'une trajectoire spirale.

- La fréquence de changement d'outil varie selon les différents processus et on remarque que pour le processus 6 le nombre de pièces qu'on peut usiner sans changement d'outil est plus élevé. (Figure7.b, 7.c)

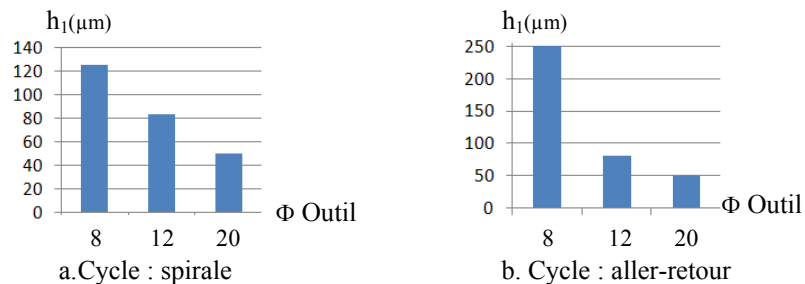
- Puisque le coût d'usinage dépend essentiellement du coût d'utilisation de la machine et du coût des outils alors le processus 6 convient mieux pour un usinage à un coût minimum.



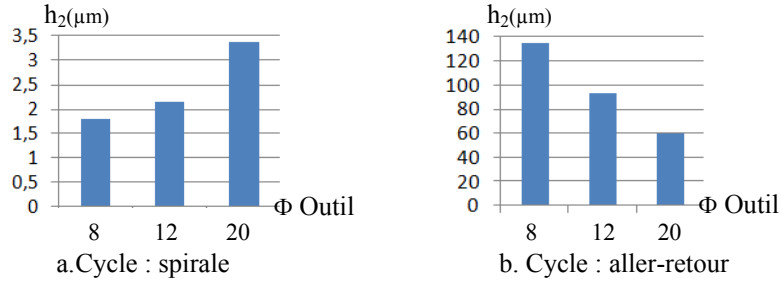
**Figure 7.** Qualification des temps d'usinage et d'usure des outils de coupe

– Qualité de surface :

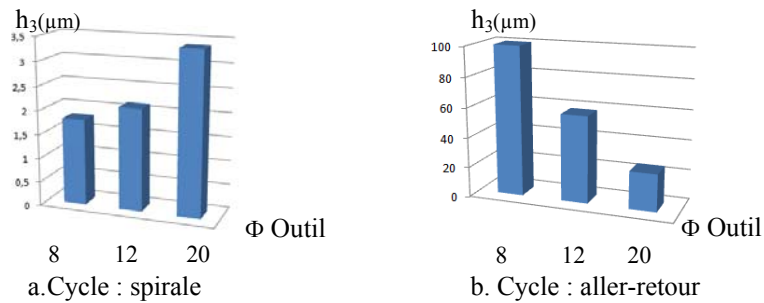
- La qualité de surface obtenue par un usinage spirale est beaucoup plus meilleure que celle obtenue par un cycle aller-retour. En effet, la valeur minimale de la hauteur de crête obtenue en usinage aller-retour (figure 9) est de l'ordre de  $60 \mu\text{m}$  tandis que la valeur maximale obtenue en usinage spirale est de l'ordre de  $3,38 \mu\text{m}$ .
- La qualité de surface varie en fonction du diamètre de l'outil :  
 Pour une surface plane (fond de la poche), la qualité de surface s'améliore en augmentant le diamètre de l'outil quelque soit le type de la trajectoire. (Figure 8).  
 Pour les surfaces latérales (figures 9 et 10), la qualité de surface s'améliore en augmentant le diamètre de l'outil pour une trajectoire de type aller retour mais pour les trajectoires de type spirale, il faut diminuer le diamètre de l'outil pour obtenir une surface meilleure.
- Pour les processus d'usinage où on a utilisé le cycle aller-retour, la qualité de surface est médiocre et elle est améliorée par une reprise de la poche et de l'ilot.



**Figure 8.** Qualité de surface du fond de la poche



**Figure 9.** Qualité de la Surface latérale de la poche



**Figure 10.** Qualité de la Surface latérale de l'ilot

– le processus qui sera retenu pour l'usinage de cette pièce est le processus 6. On utilise un outil à bout hémisphérique de diamètre 20 mm pour l'évidement de la poche selon un cycle aller-retour ce qui permet de diminuer le temps d'usinage ensuite on fait une reprise locale avec un deuxième outil à bout hémisphérique de diamètre 8 mm dans le but de garantir le rayon de congé désiré (Hamza et al., 2005) et d'améliorer la qualité de surface.

#### 4. Conclusion.

Ce travail présente un comparatif de différents processus d'usinage en vue d'améliorer la qualité d'usinage des matrices et des moules en se basant sur la simulation d'usinage. Nous localisons par la méthodologie proposée le processus d'usinage qui permet de minimiser le temps d'usinage et surtout le cout d'usinage tout en respectant la qualité de surface souhaitée.

Cette étude sera suivie pour améliorer la manière de saisie des données et d'exploitation des résultats de la simulation. Ceci fait l'objet d'une interface de dialogue avec le logiciel CATIA pour arriver enfin à remplir le tableau d'une manière automatique.

## 5. Bibliographie.

- Abassi F., Ben Yahia N., Zghal A., « Intégration de la CFAO pour l'automatisation des processus d'emboutissage », *CPI'2005*
- Barlier C., Girardin L., *Mérotech en productique matériaux et usinage*, Collection A. Capeliez – 1995 – p136.
- Ben Khalifa R., Ben Yahia N., Zghal A., « Optimisation du choix des machines-outils par un système neuronal », *CPI'2005*
- Ben Khalifa R., Ben Yahia N., A. Zghal, « Optimisation du choix automatique des outils tournants par les réseaux de neurones artificiels » *MOSIM'06*, 2006
- Ben Youssef A., Ben Mohammed B. « modélisation de la hauteur de crete pour les fraises de formes complexes », *4th international conference on computer integrated manufacturing CIP'2007*,
- Bonnefoy H., Elmansori M., « Optimisation des stratégies d'usinage en grande vitesse à partir de simulation sur le logiciel CUTPRO », *10èmes Assises Européennes de Prototypage Rapide*, 14 & 15 septembre 2004
- Bouaziz Z., 2003, structuration d'un modèle d'entités technologiques, associé à un outillage et à la notion de coupe outil-matière, en vue de définir les devis des pièces usinées, Thèse de doctorat, ENIT 2003
- Boujelbene M., El Mansori M., Moisan A., « Utilisation de l'outil hémisphérique en fraisage multi-axes en finition », *16ème Congrès Français de Mécanique*, 2003
- Hamza I., Bouaziz Z., Haddar M., « Optimisation du choix des outils de coupe pour l'usinage des poches quadrilatères en 2D½ », *CPI2005*
- H'mida F., Martin P., Vernadat F. « Développement d'un cadre d'estimation des coûts en production mécanique base sur le concept entité coût », *3eme Conférence Francophone de Modélisation et Simulation*, 2001
- Pateloup V., Duc E. , Ray P. , « Optimisation de trajectoires d'évidement de poches pour l'usinage à grande vitesse », *16ème Congrès Français de Mécanique*, 2003
- Tournier Ch., Duc E., « Stratégies d'usinage et productivité en fraisage des surfaces complexes », *16ème Congrès Français de Mécanique Nice*, 1-5 septembre, 2003