

# Génération automatique de processus d'usinage

E. LEFUR, F. VILLENEUVE, P. BOURDET \*

## RÉSUMÉ

L'article propose une étude sur le choix automatique de processus d'usinage. A partir de la forme à usiner, les auteurs exposent une méthode qui permet de remonter par étapes successives de l'usinage à l'état initial de la pièce.

Un tableau de primitives d'usinage fournit un ensemble de solutions, qui est ensuite trié par l'application de règles technologiques et économiques.

## INTRODUCTION

La génération de gammes d'usinage nécessite la parfaite connaissance des processus d'usinage, c'est-à-dire l'ensemble des informations nécessaires à l'élaboration du programme CN et à la préparation des outils.

Chaque processus d'usinage réalise un ensemble de surfaces géométriques élémentaires définissant une entité volumique (alésage, rainure, tenon...) appelée dans cet article modèle géométrique d'usinage.

Un modèle géométrique d'usinage est caractérisé par un certain nombre de paramètres, la connaissance de plusieurs d'entre eux permet de générer l'ensemble des processus d'usinage possibles. L'application de règles concernant les autres paramètres permet ensuite de trier et de sélectionner un processus d'usinage optimal.

Cette réflexion s'appuie, dans le paragraphe 1, sur l'analyse faite dans l'article de IVF 1, résultats qui exposent le principe de l'amélioration séquentielle de la qualité.

Nous appliquons ce nouveau concept à l'usinage sur centre d'usinage, d'un alésage de diamètre 10 mm, de qualité H8 et d'état de surface Ra 1,6 d'une pièce en acier.

Dans les paragraphes 2 et 3, nous proposons des moyens d'exploiter ces résultats afin de les trier pour mieux en organiser l'ordonnement au sein de la phase d'usinage.

Les outils couramment utilisés sur centre d'usinage pour les opérations d'alésage sont représentés, dans la suite de cet article, par les abréviations suivantes :

- FH : Foret hélicoïdal.
- FPC : Foret à plaquettes carbure.
- FCC : Fraise 2 tailles à coupe au centre.
- FRIC : Fraise ravageuse en interpolation circulaire.
- FDIC : Fraise à denture décalée en interpolation circulaire.
- MAP : Fraise à redresser. Utilisée sur machine à pointer.
- FA : Foret alésé.
- AHA : Alésoir Heli Armor.
- AC : Alésoir carbure.
- AD : Alésoir Dihart.
- TA2G : Tête à aléser 2 grains.
- TA1G : Tête à aléser 1 grain.
- F3T : Fraise 3 tailles.

## 1. PRINCIPE DU « TABLEAU DES PRIMITIVES D'USINAGE »

### 1.1. LE PRINCIPE DE L'AMÉLIORATION SÉQUENTIELLE DE LA QUALITÉ

Dans tout usinage, deux objectifs sont à atteindre du point de vue technologique :

- enlever de la matière ;

- améliorer progressivement, au fur et à mesure des dernières passes, la qualité.

Ces deux notions évoluent de manière séquentielle. On obtient la qualité et la forme finale exigée en passant par des états successifs. On passe d'un état à l'autre par une opération d'usinage.

Dans le cas du modèle géométrique d'usinage : Alésage, on retient parmi l'ensemble des paramètres représentés figure 1, les quatre paramètres suivants :

- la matière ;
- le diamètre ;
- l'intervalle de tolérance (IT) sur le diamètre ;
- l'état de surface (Ra).

Pour un matériau-pièce donné, l'état (i) sera caractérisé par la connaissance des 3 paramètres suivants :

- le diamètre D ;
- l'intervalle de tolérance IT ;
- l'état de surface Ra.

L'évolution de l'état (i) à l'état (i + 1) entraîne une évolution des paramètres (voir figure 2) :

- augmentation du diamètre par enlèvement de matière ;
- diminution de l'IT } par amélioration de la qualité ;
- diminution du Ra.

Connaissant le diamètre  $D_i$ , l'IT  $i$  et le  $Ra_i$  d'un état (i), il s'agit de :

- trouver l'ensemble des outils capables d'atteindre l'état (i) ;
- déterminer, pour chacun de ces outils, les caractéristiques de l'état (i - 1) précédent.

Par récursivité, on obtient l'ensemble des processus d'usinage susceptible de réaliser un modèle.

Voyons comment passer de l'état i à l'état (i) à l'état (i - 1) à l'aide du « tableau des primitives d'usinage » dans lequel sont représentées les connaissances de fabrication.

### 1.2. LA REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES : LE « TABLEAU DES PRIMITIVES D'USINAGE »

Soit l'état (i) suivant :  $D_i = 10$  mm,  $IT_i = 8$ ,  $Ra_i = 1,6$

En allant à la ligne n° 8 du tableau, on voit que la fraise à redresser (MAP) est capable de réaliser l'état (i). En allant dans la colonne correspondant à la plage de diamètre n° 2 ( $8 \leq 10 < 15$ ), on obtient 3 nouveaux paramètres : 0,25 = la surépaisseur d'usinage au rayon ; 12 = l'IT de l'état précédent ; 6,3 = le Ra de l'état précédent.

Comme  $D_{i-1} = D_i - (2 \times \text{surépaisseur au rayon})$  on obtient ainsi, à partir de l'état (i), l'état (i - 1) qui a pour caractéristiques :

état i - 1 :  $D_{i-1} = 9,5$  mm ;  $IT_{i-1} = 12$  ;  $Ra_{i-1} = 6,3$

\* Chercheurs au L.U.R.P.A. (Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée), E.N.S. Cachan, 81, avenue du Président-Wilson, 94230 Cachan, tél. : 46.64.15.51, poste 415.



**Surépaisseur au rayon IT précédent Ra précédent**

Ligne	CODE OUTIL	IT	Ra	1		2		3		4		5				
				Dm = 2	DM = 8	Dm = 8	DM = 15	Dm = 15	DM = 30	Dm = 30	DM = 50	Dm = 50	DM = 300			
1	1 FH	11 - 13	6,3-12,5	- 1		- 1		- 1		- 1						
2	2 FPC	11 - 13	6,3-12,5													
3	3 FCC	9 - 13	3,2-6,3	- 1		- 1		- 1								
4	4 FR- IC	10 - 12	8-12,5					- 2	13	12	- 2	13	12			
5	5 FD IC	8 - 10	3,2-8					- 3	11	8	- 3	11	8			
6	6 FF IC	8 - 10	1,6-6,3			- 4	11	8	- 4	11	8	- 4	11	8		
7	7	7	1,6-3,2			0,25	11	6,3	0,3	11	6,3					
8	MAP	8	1,6-3,2			0,25	12	6,3	0,3	12	6,3					
9		9	1,6-3,2			0,25	13	6,3	0,3	13	6,3					
10	8 FA	9	3,2-6,3	0,3	10	6,3	0,5	11	6,3	1	11	6,3				
11		10	3,2-6,3	0,3	11	6,3	0,5	11	6,3	1	11	6,3				
12		11	5-6,3	0,3	12	8	0,5	12	8	1	12	8				
13	9 AHA	6	1,6-3,2	0,2	8	5	0,35	8	5							
14		7	1,6-3,2	0,2	9	5	0,35	9	5	0,5	9	5				
15		8	1,6-3,2	0,2	10	5	0,35	10	5	0,5	10	5				
16		9	1,6-3,2	0,2	11	5	0,35	11	5	0,5	11	5				
17	10 AC	7	1,6-3,2	0,12	9	5	0,15	9	5							
18		8	1,6-3,2	0,12	10	5	0,15	10	5							
19		9	1,6-3,2	0,12	11	5	0,15	11	5							
20	11 AD	6	1,6-3,2					0,2	8	5						
21		7	1,6-3,2					0,2	9	5	0,3	9	5			
22		8	1,6-3,2					0,2	10	5	0,3	10	5			
23	12 TA2G	9	3,2-8													
24		10	3,2-8					4	13	8	6	13	8			
25		11	3,8-8					4	13	8	6	13	8			
26	13 TA1G	6	1,6-3,2													
27		7	1,6-3,2				0,4	8	3,2							
28		8	1,6-3,2				0,5	10	5	0,6	10	5	0,7	10	5	6,3
29		9	3,2-6,3				0,6	12	6,3	0,7	12	6,3	0,7	12	6,3	
30	10	3,2-6,3				1	13	8								

↑ Numéro de la ligne  
 ↑ Plage de diamètre N°2 :  $8\text{mm} \leq D < 15\text{mm}$   
 ↑ Plage des états de surfaces (Ra) réalisables  
 ↑ Plage ou valeur de l'Intervalle de Tolérance (IT) réalisable  
 ↑ Code des outils utilisés pour l'usinage du modèle géométrique d'usinage : Alésage

**Remarques relatives au tableau présenté**

- Les outils considérés dans ce tableau font partie des outils couramment utilisés pour les opérations d'alésage. Cette liste n'est pas exhaustive.
- Pour des commodités de présentation, les valeurs de profondeur de passe à prendre en compte ont été inscrites en clair. Il est évident que par le traitement informatique, elles font l'objet d'un calcul annexe. Les valeurs précédées d'un signe - représentent des codes.
- Pour les mêmes raisons, les 5 plages de diamètre sont communes à tous les outils. Le traitement informatique permet facilement d'adapter les plages de diamètres à chaque outil.
- Pour des raisons économiques, on a fixé un maximum pour les IT et les Ra réalisables par chaque outil.  
En effet, l'outil 13 (TA1G) n'est pas capable de réaliser un état de surface (Ra) de 6,3, alors qu'il peut faire un Ra de 3,2. Cette valeur limite supérieure signifie que l'expert ne se sert pas de cet outil pour usiner des alésages dont l'état de surface n'est pas soigné.
- Les trois premières lignes du tableau sont un peu particulières. En effet, les trois outils considérés sont des outils de perçage qui travaillent en pleine matière, donc il n'y a ni IT précédent, ni Ra précédent nécessaires. Le code - 1 signifie que l'état précédent est donc « la matière pleine ».
- Les valeurs numériques présentées dans ce tableau ont été établies à partir de [1] avec l'aide du bureau de fabrication de la Manufacture Nationale d'Armes de Tulle.

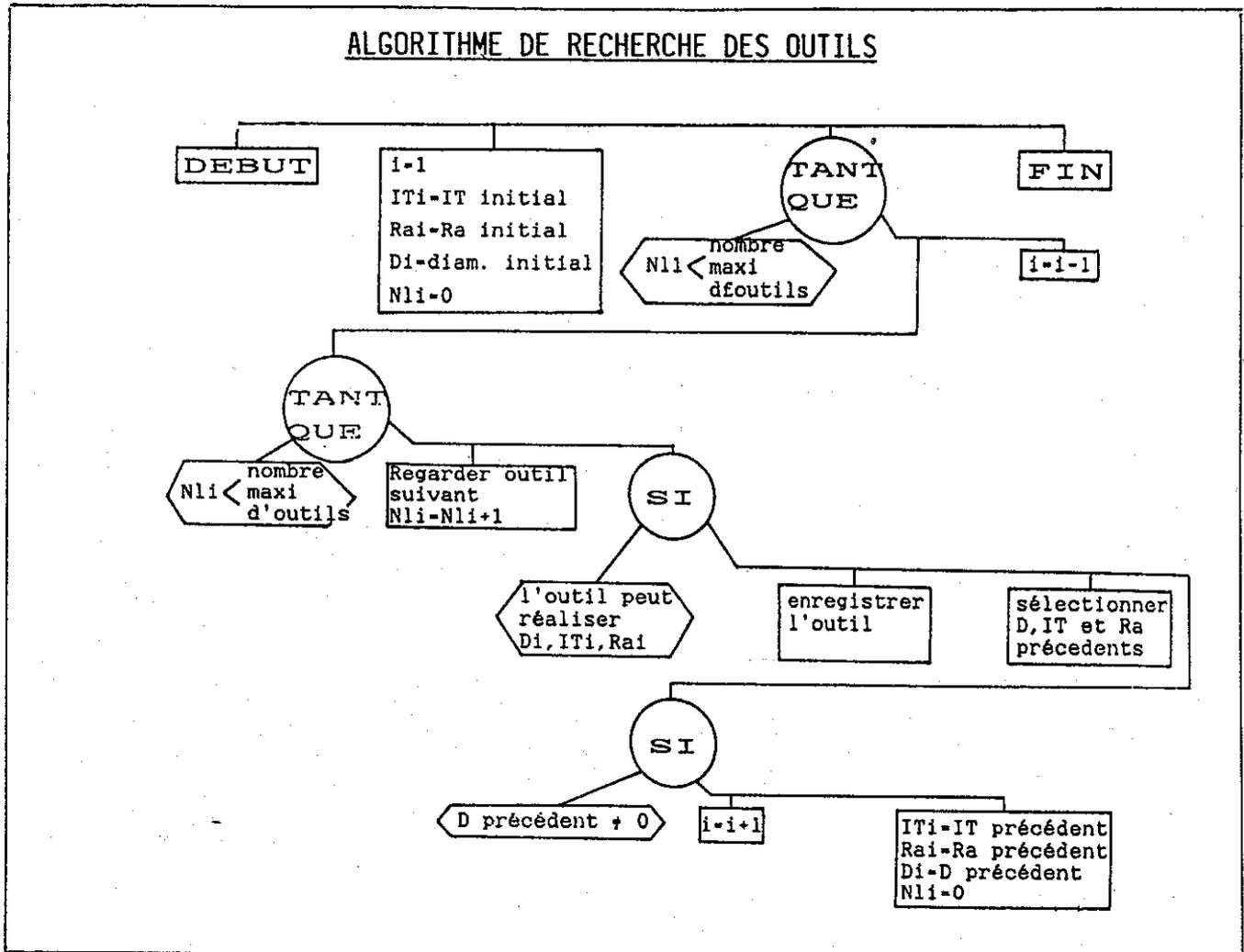
**1.3. ALGORITHME DE RECHERCHE DES PROCESSUS D'USINAGE GÉNÉRÉS PAR LE « TABLEAU DES PRIMITIVES D'USINAGE »**

Nous proposons, sur un exemple, de rechercher dans le tableau l'ensemble des processus d'usinage. Exemple : alésage de diamètre 10 mm, IT 8, Ra 1,6 (Ø 10 H8).  
En suivant l'algorithme de la figure 3, on trouve les résultats représentés en figure 4.  
Il s'agit d'une arborescence simple. Chaque nœud représente un état i, chaque branche représente l'outil capable de passer d'un état à l'autre.  
L'état 1 (Ø 10 H8 Ra 1,6) est le tronc. Les dernières branches représentent des outils de perçage 1, 2 ou 3 qui sont, en fait, les premiers utilisés dans le processus d'usinage.

**1.4. L'ANALYSE DES AVANTAGES IMMÉDIATS**

Le « tableau des primitives d'usinage » est une représentation directe de la réalité technologique. C'est-à-dire qu'il permet :  
 - le choix d'outil ;  
 - la détermination de la surépaisseur d'usinage ;  
 - l'ordre d'utilisation des outils.  
 Ainsi, à l'aide d'un module de calcul des conditions de coupe, on peut en déduire les valeurs de tous les paramètres des macro-instructions d'usinage. On élabore ainsi le programme CN.  
 L'ensemble des outils que le tableau considère peut varier [2]. Il peut être un sous-ensemble d'un standard-machine, d'un standard-atelier, d'un standard entreprise.

## ALGORITHME DE RECHERCHE DES OUTILS



**Figure 3**

L'indice  $i$  est représentatif de l'état du modèle en cours d'usinage.  $i$  égal à 1 correspond à l'état du modèle d'usinage désiré.  $Nli$  est le numéro de la ligne scrutée dans l'état  $i$ .  $ITi$ ,  $Rai$  et  $Di$  sont respectivement l'intervalle de tolérance, l'état de surface et le diamètre à respecter dans l'état  $i$ .

trois-d'entre-eux sert à générer les solutions. Pour le  $\varnothing 10 H8$ ,  $Ra 1,6$ , on a vu sur la figure 4 que 15 processus d'usinage étaient envisageables. L'objet de ce paragraphe consiste à en faire le tri. Nous nous appuierons toujours sur le même exemple.

### a) Élimination des solutions redondantes

On peut facilement éliminer les solutions 5, 7, 8, 10, 12, 13 parce qu'elles contiennent des processus utilisant moins d'outils.

Ainsi 5 est éliminée par 1, 7 est éliminée par 4, 8 est éliminée par 6, 10 est éliminée par 1, 12 est éliminée par 9, 13 est éliminée par 11.

Après ce premier tri, on obtient les solutions suivantes :

PROCESSUS	CODE	OUTIL
1	FFIC	FH
2	MAP	FH
3	MAP	FCC
4	AHA	FCC
5	AHA	FFIC
6	AHA	FA
7	AHA	FA
8	AHA	FA
9	AC	FCC
10	AC	FFIC
11	AC	FA
12	AC	FA
13	AC	FA
14	TA1G	FH
15	TA1G	FCC

**Figure 4** : Solutions générées par le « tableau des primitives d'usinage » pour  $\varnothing 10 H8$ ,  $Ra 1,6$ .

PROCESSUS	CODE	OUTIL
1	FFIC	FH
2	MAP	FH
3	MAP	FCC
4	AHA	FCC
6	AHA	FA
9	AC	FCC
11	AC	FA
14	TA1G	FH
15	TA1G	FCC

**Figure 5** : Solutions restantes après le tri des solutions redondantes.

## 2. EXPLOITATION DES RÉSULTATS DONNÉS PAR LE « TABLEAU DES PRIMITIVES D'USINAGE » APPLIQUÉS AU MODÈLE GÉOMÉTRIQUE D'USINAGE : ALÉSAGE

### 2.1. NOTIONS DE PRIORITÉ TECHNOLOGIQUE

Parmi les nombreux paramètres du modèle géométrique d'usinage, dans l'exemple de l'alésage en figure 1, la connaissance de

### b) Prise en compte des autres paramètres

La considération des autres paramètres du modèle géométrique d'usinage peut s'effectuer soit sur le même principe (en généralisant le « tableau des primitives d'usinage »), soit à l'aide de règles expertes.

L'introduction d'un quatrième paramètre dans ce tableau peut s'avérer délicate.

Nous proposons donc une approche par règles expertes. Certaines règles élimineront des solutions (règle 1 et règle 2), d'autres permettront l'enrichissement d'une solution par insertion d'une opération supplémentaire (règle 3).

Exemple : Ø 10 H8, Ra 1,6 ; trou non-débouchant.

**Règle 1 (élimination) :** SI trou non-débouchant, ALORS éliminer les solutions contenant AHA.

Effectivement, l'hélice de cet outil (alésoir héli-armor) tend à pousser le copeau vers le fond de l'alésage.  
L'application de la règle 1 entraîne l'élimination des solutions 4 et 6.

PROCESSUS	CODE	OUTIL	
1	FFIC	FH	
2	MAP	FH	
3	MAP	FCC	
9	AC	FCC	
11	AC	FA	FH
14	TA1G	FH	
15	TA1G	FCC	

Figure 6 : Solutions restantes après l'application de la règle 1.

Exemple : Ø 10 H8, Ra 1,6 ; trou non-débouchant ; L = 30 mm.

**Règle 2 (élimination) :** SI longueur du trou supérieure à deux fois le diamètre, ALORS éliminer les solutions contenant FCC en premier outil.

Effectivement, pour des profondeurs importantes, cet outil n'ayant pas une bonne évacuation des copeaux, n'est pas adapté.  
L'application de la règle 2 entraîne l'élimination des solutions 3, 9 et 15.

PROCESSUS	CODE	OUTIL	
1	FFIC	FH	
2	MAP	FH	
11	AC	FA	FH
14	TA1G	FH	

Figure 7 : Solutions restantes après l'application de la règle 2.

Exemple : Ø 10 H8 ; Ra 1,6 ; trou non-débouchant ; L = 30 mm ;

⊕ 0,15 A-B

**Règle 3 (enrichissement) :** soit d le diamètre de la tolérance de positionnement de l'axe de l'alésage par rapport à 2 faces de références.

La considération de ce paramètre entraîne l'insertion de nouvelles opérations :

- pointage ;
- redressage avec MAP ;
- redressage avec TA1G ;
- prise d'origine par mesure ;
- première opération avec FCC ou F\*IC.

SI  $0,2 < d \leq 0,4$

et SI  $\overline{MAP} \cdot \overline{TA1G} \cdot \overline{FCC} \cdot \overline{F*IC}$  ALORS effectuer un pointage.

SI  $0,1 < d \leq 0,2$

et SI  $\overline{TA1G} \cdot \overline{MAP} \cdot \overline{F*IC}$  ALORS redresser avec MAP.

SI  $0,05 < d \leq 0,1$

et SI  $\overline{TA1G}$  ALORS redresser avec TA1G.

L'application de la règle 3 pour la plage  $0,1 < d \leq 0,2$  entraîne un redressage avec MAP de la solution 11.

PROCESSUS	CODE	OUTIL		
1	FFIC	FH		
2	MAP	FH		
11	AC	FA	MAP	FH
14	TA1G	FH		

Figure 8 : Solutions restantes après l'application de la règle 3.

On effectue à nouveau le tri (a) de redondance.  
La solution 11 est éliminée par 2.

PROCESSUS	CODE	OUTIL
1	FFIC	FH
2	MAP	FH
14	TA1G	FH

Figure 9 : Solutions restantes après le deuxième tri des solutions redondantes.

### Conclusion du paragraphe 2.1.

Pour l'exemple choisi : Ø 10 H8 ; Ra 1,6 ; trou non-débouchant ; L = 30 mm ; d = 0,15 de positionnement.

Les solutions 1, 2 et 14 conviennent du point de vue technologique.

L'utilisation des règles expertes est non-hiérarchique, par contre le tri (a) doit être nécessairement fait après l'application de la règle 3. Pour le reste, l'ordre d'application des règles est indifférent.

## 2.2. NOTION DE TRI ÉCONOMIQUE

Afin de faire un choix parmi les procédures restantes après l'analyse des priorités technologiques, il faut envisager l'aspect économique. Le critère à prendre en considération est à l'initiative de l'utilisateur : coût minimum du processus, production maximum, etc. Un choix économique n'est possible qu'une fois les conditions de coupe définies.

Ce calcul, parfois complexe, n'est envisageable que sur un nombre restreint de solutions. Il fait lui aussi appel à un critère économique.

Il existe de nombreux logiciels de détermination des conditions de coupe. Certains utilisent une banque de données, d'autres des modèles de calcul et un critère d'optimisation. Quelque soit le logiciel utilisé, il permettra toujours d'ordonner les solutions selon le critère retenu.

Voici, pour l'exemple considéré et avec l'aide du logiciel TOOL [3], le coût des solutions restantes : 1, 2 et 14.

Outil	SOLUTION 1		SOLUTION 2		SOLUTION 14	
	Foret Micro	Fraise F*IC	Foret hélico	Fraise MAP	Foret hélico	Grain
Diamètre (mm)	9,2	9	9,5	10	9,8	R = 0,4
Vitesse de coupe (m/min)	13,67	26,30	13,73	10,37	13,67	56,55
Vitesse de rotation (tr/min)	480	930	480	330	500	1800
Vitesse d'avance (mm/dt)	0,056	0,02	0,054	0,017	0,059	0,14
Nombre de dents	2	4	2	6	2	1
Vitesse d'avance (mm/v)	54	74	50	33	59	252
Temps copeau (min)	0,56	0,42	0,80	0,91	0,51	0,12
Coût outil (F)	12	35	12	45	12	25
Coût horaire machine (F/min)	8	6	6	6	6	6
Durée de vie (mn)	14	30	14	30	14	15
Nombre de passes	1	3	1	1	1	1
Coût de l'opération (F)	3,84	9,03	4,11	6,83	3,50	0,92
Coût solution (F)		13		11		5

Nous retiendrons donc la solution 14.

## 3. EXTENSION DU CONCEPT

### 3.1. ÉLARGISSEMENTS A D'AUTRES MODÈLES GÉOMÉTRIQUES D'USINAGE : ALÉSAGE

Nous n'avons traité jusqu'à présent que le modèle géométrique d'usinage : alésage.

Le principe du « tableau des primitives d'usinage » est bien adapté à ce modèle, en particulier à cause du nombre important d'outils et par conséquent de procédures réalisant des alésages.

L'approche du « tableau des primitives d'usinage » peut être remise en question pour d'autres modèles :

Cas de la rainure débouchante :

- Le nombre d'outils utilisés est limité : FCC, FR, FD, FF, F3T.
- L'orientation de la broche par rapport à la pièce limite le choix d'outil (utilisation de la fraise 3 tailles).
- La tenue de l'intervalle de tolérance sur la cote de largeur dépend plus de la flexion de la fraise que de la dispersion de la cote précédente.
- Les processus d'usinage sont en nombre limité.

Pour ce modèle géométrique d'usinage : rainure débouchante, une approche par bibliothèque de processus paraît plus judicieuse. Le choix des outils pour le processus choisi est fonction des résultats de modules de calcul (rupture pour les fraises ravageuses, flexion maximale admissible pour les fraises de finition).

### 3.2. PRISE EN COMPTE DU PROCESSUS D'USINAGE AU NIVEAU DE LA PHASE

Nous avons présenté une démarche d'élaboration d'un processus d'usinage optimum pour un modèle d'usinage unique. Sur centre d'usinage l'objectif à atteindre est de réaliser le maximum de modèles géométriques d'usinage de la pièce dans la même phase. La réunion des processus optimaux de chaque modèle d'usinage n'est évidemment pas la solution optimale pour la phase.

L'analyse complète du problème est encore à faire. Toutefois, on peut dégager quelques directions de recherche.

1 — On conserve le processus optimal de chaque modèle géométrique d'usinage et on applique un ensemble de règles permettant de gérer l'ordre des opérations sur la phase. Il s'agit de linéariser un graphe d'antériorité.

Règle 4 : Faire les opérations qui vont déformer la pièce en premier.

Règle 5 : Grouper les opérations de même nature.

2 — On conserve l'ensemble des processus technologiquement viables de chaque modèle. Il faut linéariser le graphe d'antériorité selon un critère d'optimisation afin de choisir et d'ordonner les opérations de la phase.

#### Remarques

Soit  $n_i$  le nombre de processus d'usinage qui réalisent le modèle géométrique d'usinage. Pour une phase de  $k$  modèles, il faudra envisager :  $N = \prod_{i=1}^k n_i$  possibilités. Si l'on doit effectuer  $N$  calculs de coûts, on risque d'arriver très rapidement à un temps de calcul exagéré.

## CONCLUSIONS

1 — Nous avons vu les avantages et les limites du « tableau des primitives d'usinage ». On peut lui faire deux reproches principaux :

- sa spécialisation à un modèle géométrique d'usinage ;
- le fait qu'il ne prenne en compte que 4 paramètres, à savoir :
  - matière
  - diamètre
  - intervalle de tolérance
  - état de surface.

On peut envisager actuellement une autre démarche plus prometteuse. Il s'agirait de définir pour un type d'outil un inventaire complet de ses capacités ; cet inventaire comporterait des formules de calcul, des indications morphologiques, des conditions d'antériorité.

La recherche des processus d'usinage serait similaire avec toutefois l'avantage de considérer tous les paramètres simultanément. Cette « carte de visite » de l'outil pourrait être exploitée quelque soit le modèle géométrique d'usinage envisagé.

2 — Comment envisager cette génération automatique de processus dans un système expert de conception automatique des gammes d'usinage ?

Le « tableau des primitives d'usinage », ainsi que les règles du chapitre 2, représentent des connaissances technologiques qui peuvent être implantées sous forme de règles expertes. Il n'est donc pas nécessaire de valider l'objectivité de ces renseignements par des résultats d'essais puisque l'expérience des professionnels n'est pas ici remise en question.

Les gammes générées par intelligence artificielle 4 et 5 ne déterminent actuellement ni les outils, ni les conditions de coupe, et par conséquent ni les temps d'usinage ; cette dernière étape étant faite ultérieurement.

En précisant davantage les processus d'usinage élémentaires pendant l'élaboration de la gamme, il devient possible de mieux concevoir l'ordonnement en satisfaisant plus de contraintes technologiques.

La connaissance des outils susceptibles d'être utilisés pour les différents modèles géométriques d'usinage, permet dans une même phase de minimiser le nombre des outils.

La génération automatique de processus doit donc s'intégrer dans l'ordonnement hiérarchisé sous contraintes qu'est la gamme de fabrication.

..

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Verktogsval och operations Följd Vid Halbearbetning ». IVF Resultats, n° 77629, septembre 1977 (Suède).
- [2] L. MATHIEU : « Étude des limites des paramètres de coupe en vue d'un choix automatique des outils et des conditions de coupe ». Thèse de doctorat, L.U.R.P.A. (E.N.S. de Cachan), École Centrale, avril 1986.
- [3] « Base de données outils et conditions de coupe », Société TOOL, 69000 (Lyon).
- [4] D. BREGEARD, P. LE PIVERT : « Élaboration des règles de fabrication et expérimentation d'un programme de gammes automatiques par l'intelligence artificielle ». D.E.A. Mécanique appliquée à la construction, L.U.R.P.A. (E.N.S. de Cachan).
- [5] Y. DESCOTTE : « Représentation d'exploitation de connaissances « expertes » en génération de plans d'actions — Applications à la conception automatique de gammes d'usinage ». Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, I.N.P. Grenoble, décembre 1981.



vous propose une solution  
à tous vos problèmes  
de VIBRATIONS et de CHOCS

- SUSPENSION DES MASSIFS DE VOS MATÉRIELS D'ESSAIS
- PROTECTION DE VOS ÉQUIPEMENTS SENSIBLES : BAIES, ANALYSEURS, MICROSCOPES A BALAYAGE...

Parc d'activités de l'Églantier-Lisses - CE 2804 Lisses - 91028 Évry Cedex France  
Tél. : 33 (1) 64.97.70.70 - Téléc. : 600 872 F - Télécopieur : 33 (1) 64.97.50.28

