Revue française de Gestion industrielle
N° 6 - 1994

Modélisation des données techniques des systèmes de production du type ligne de fabrication des familles de produits

G. Shiko - GSP/GRPI
IUT Cergy-Pontoise, Dépt O.G.P.

Revue française de Gestion industrielle 0242-9780/94/06/13/$ 4.00/© AFGI

1. INTRODUCTION.

La ligne de fabrication des familles de produits est un système de production constitué de postes de travail regroupés dans un atelier pour permettre la fabrication d'une ou plusieurs familles de produits subissant tout ou partie du même processus de fabrication. La Technologie de Groupe permet le regroupement de produits ou de composants variés en familles, ayant des similitudes de fonctions, de formes et/ou de gammes de production. En effet, la première étape dans l'étude de mise en place d'une ligne de fabrication des familles de produits est l'analyse du programme de production et sa partition en famille de produits ayant des gammes de fabrication similaires. L'étape suivante consiste à la création de la gamme standard , appelée également "gamme-mère", "gamme-enveloppe" ou "gamme type" pour chaque famille. La gamme standard de fabrication d'une famille de produits est une gamme virtuelle, qui satisfait aux conditions suivantes :

- du point de vue de sa composition, la gamme standard est l'union des gammes des produits de la famille. (Elle contient, donc, toutes les phases présentes dans les gammes des produits de cette famille).

- du point de vue de l'ordre de ces phases, la gamme standard est telle que la gamme de tout produit de la famille s'obtient par enlèvement des phases inutiles et décalage des phases restantes.

On doit donc regrouper les postes de travail nécessaires à la fabrication des produits appartenant à la même famille, de façon à minimiser les temps de stockage, manutention et de transport. Ces postes de travail sont ordonnés en fonction de l'ordre des phases correspondantes à l'intérieur de la gamme standard. Reste à déterminer, à ce point, la capacité de ces postes de travail, par exemple le nombre des machines-outils réalisant la même phase.

Or ces deux notions, la famille des produits et la gamme standard, propres à la ligne de fabrication des familles de produits, représentent deux moyens supplémentaires de modélisation des données techniques de ce type de système de production. La modélisation des donnés techniques en vue de création des familles est traitée en détail dans deux publications précédentes (Shiko 83 et 92). La méthode repose sur l'application de la classification hiérarchique avec contraintes à l'analyse de la similitude, au regroupement des gammes de fabrication et, par conséquent, aux produits fabriqués à partir de ces gammes.

Elle propose des solutions aux problèmes importants tels que :

- la détermination d'une métrique d'évaluation de la similitude des gammes de fabrication,
- l'étude de l'agrégation de deux gammes de fabrication et de la création de la gamme standard,
- la détermination des hiérarchies partielles qui partage le programme de production en famille de produits.

La validation de la méthode crée un ensemble de familles. Les "formes fortes" de cet ensemble constituent la partition définitive du programme de production en famille de produits.

Le bilan des recherches relatives à la modélisation des données techniques des systèmes ligne de fabrication de familles de produits, nous permet de constater qu'il y a très peu de résultats dans ce domaine.

Dans cette publication nous allons présenter nos recherches menées dans le domaine de la modélisation des données techniques concernant le processus de fabrication. Les hypothèses de l'étude sont les suivantes :

- dans un premier temps nous analyserons les systèmes de production des pièces détachées,

- nous avons pris en considération une ligne de fabrication des familles de produits en mécanique générale mais les mêmes principes peuvent être utilisées dans les autres types de processus de production.

2. MODELISATION DES DONNEES INITIALES

Nous appelons données initiales les données décrivant le produit. En production mécanique, elles se classent généralement en trois catégories :

- les données géométriques et dimensionnelles,
- les données relatives aux tolérances et à l'état de surface,
- les données physiques et mécaniques du matériau.

Le nombre des données étant très élevé, même pour des produits relativement simples, la modélisation des données initiales devient très lourde.

Une des solutions de ce problème est de considérer une partie des données initiales comme étant des constantes. Elles seront les paramètres communs à la famille qui prennent des valeurs identiques ou similaires. Les données restantes constituent les variables caractérisant chacun des produits, membres de la famille.

Alors, l'ensemble des données $\{D_j\}$ d'un produit *j*, membre de la famille *i*, peut être considéré comme l'union des deux sous-ensembles :

$$\{D_j\} = \{C_i\} \cup \{P_{ij}\}$$

où :

$\{C_i\}$ est le sous-ensemble des données constantes de la famille *i*,

$\{P_{ij}\}$ est le sous-ensemble des données variables, spécifiques au produit *j* de la famille *i*.

Les considérations théoriques mentionnées ci-dessus sont utilisées dans la construction du modèle des données initiales. La partie géométrique du modèle utilise le principe du "produit représentatif" de la famille. Les constantes du modèle sont la morphologie principale ainsi qu'une partie des données des autres catégories. Les variables sont constituées par les cotes des surfaces usinées et leurs cotes de positionnement, la présence d'un élément géométrique particulier, etc. La figure 1 donne le schéma du produit représentatif d'une famille de pistons de moteurs. Les composants du modèle sont toutes les surfaces usinées ou influençant la fabrication du produit, telles que la surface cylindrique extérieure (D_1), l'alésage (D_3), la surface de référence (D_2), etc.

Les paramètres d'entrée du modèle sont constitués par les valeurs de toutes les cotes, par exemple, D_1, L_1, etc. Les relations entre les composants sont déterminées par les valeurs des cotes de positionnement des surfaces.

Le fonctionnement du modèle obéit aux règles suivantes :

1. Si une valeur d'entrée est égale à zéro, alors l'élément géométrique particulier, déterminé par cette valeur, est enlevé du modèle.
2. Le paramètre lié à un élément constant du modèle ne peut pas prendre la valeur zéro, parce que l'élément en question caractérise la famille et, par conséquent, ne peut pas être enlevé du modèle.

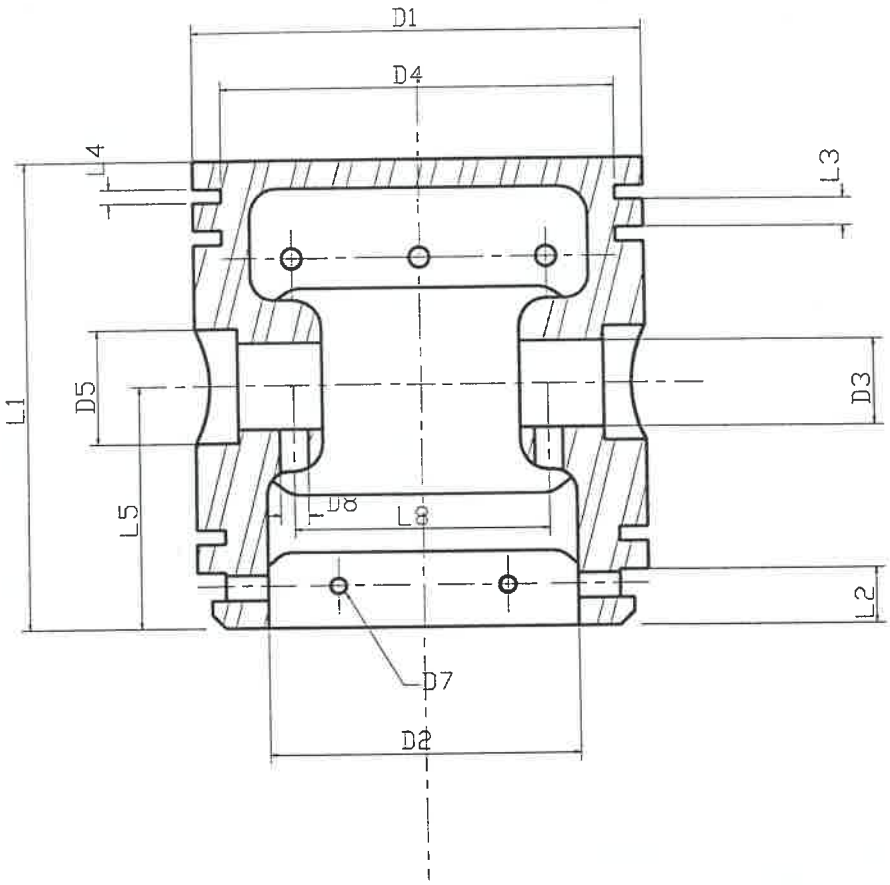

Figure 1

3. STRUCTURATION DES DONNEES TECHNOLOGIQUES.

Nous pensons que la structure la plus adéquate est la structure arborescente. Les données sont placées dans les noeuds, tandis que les branches décrivent les relations entre elles (figure 2).

Chaque famille de produit a son arborescence. Dans la racine sont placées les données propres à la famille telles que leur code et le modèle des données initiales. D'un coté l'arborescence est liée à l'ensemble des produits, membres de la famille, et de l'autre à l'ensemble des gammes d'usinage qui fabriquent ces produits. Une branche particulière, la première à gauche dans la figure, est liée à la gamme standard de la famille.

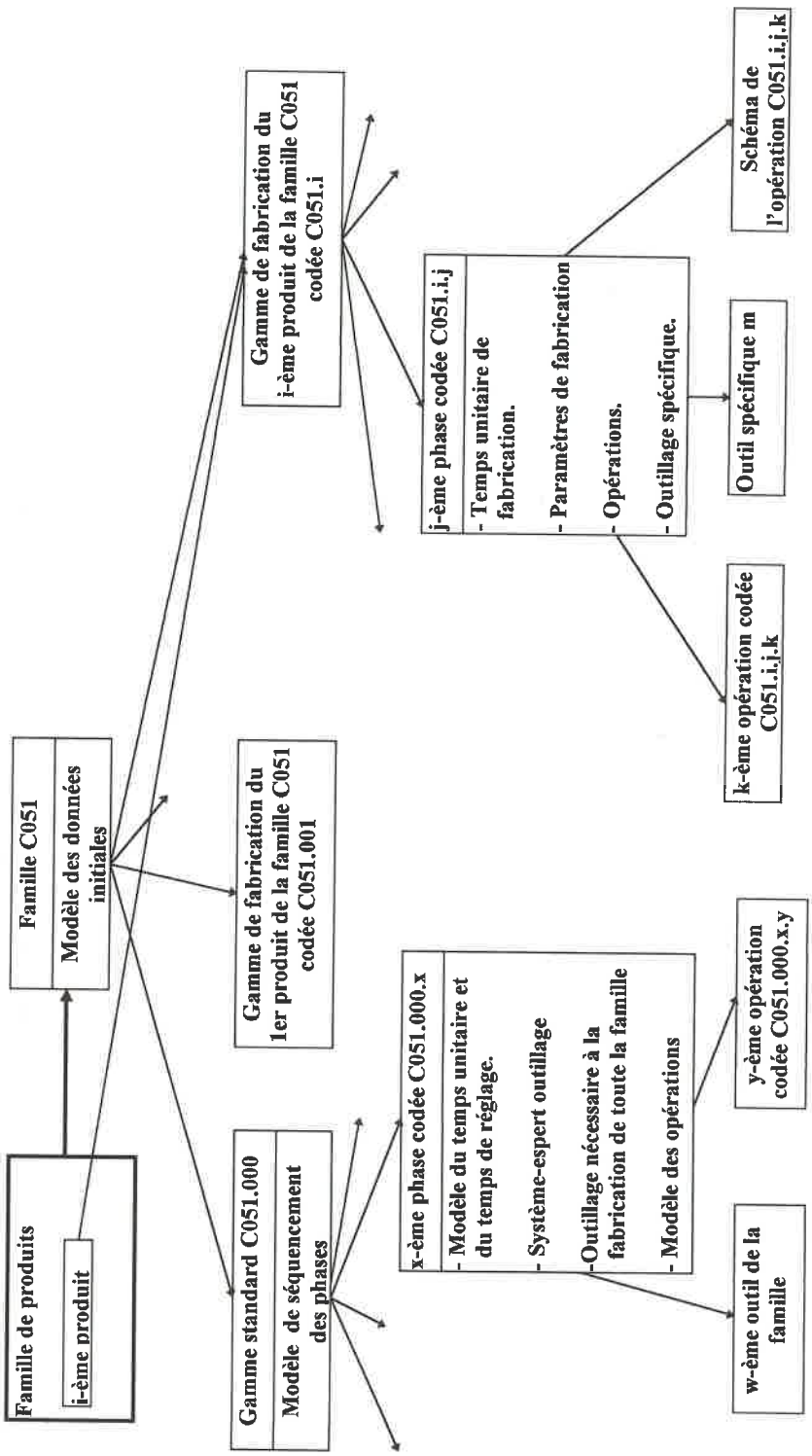

Figure 2. Modélisation des données technologiques.

Dans le noeud du premier niveau nous avons placé le code de la gamme spécifique. Le deuxième niveau contient les données relatives à la phase telle que sa nature, son temps d'exécution et les paramètres de fabrication (par exemple, les cotes d'usinage). Le troisième niveau contient des données relatives aux opérations et à l'outillage utilisé.

La gamme standard constitue une branche particulière qui part de la racine. Elle se différencie des autres branche du fait qu'elle contient des modèles et des données concernant toute la famille. Ainsi, le noeud de la gamme contient le modèle du séquencement des phases. Ensuite, le noeud de la phase contient le modèle de calcul du temps d'exécution de l'opération, le temps de réglage, le modèle des opérations, l'outillage utilisé par toute la famille et le modèle de recherche de l'outillage spécifique à un produit donné dans la phase correspondante.

Il faut noter que la structure des données technologiques comporte des liaisons internes transversales telles que les liaisons des phases d'une gamme ou celles des opérations d'une phase. Le codage des données est du type monocode, bien adapté à la structure arborescente.

4. LA MODELISATION DU SEQUENCEMENT DES PHASES.

Le modèle du séquencement des phases est une formalisation de la gamme standard de la famille. Il est constitué de trois éléments :

- les actions (les phases),
- leurs relations (la séquence),
- les arguments déterminant les actions.

Les actions peuvent être provisoires ou définitives. Les actions définitives sont les phases qui réalisent les formes géométriques principales, donc les constantes géométriques du modèle des données initiales. Par exemple, dans le modèle du séquencement des phases de la famille des pistons des moteurs, les phases de l'usinage de la surface cylindrique extérieure, de la surface de référence et de l'alésage sont des actions définitives. Le modèle n'accepte pas l'élimination des actions définitives. En effet, l'élimination de ces actions veut dire que le produit en question ne contient pas tout le sous-ensemble des données constantes de la famille, par conséquent, il ne peut pas être classé dans la famille considérée.

Les actions provisoires sont les phases qui réalisent les éléments complémentaires à la forme géométrique principale, donc les variables géométriques du modèle des données initiales. Elles ne caractérisent pas la famille et, en général, leur nombre augmente avec la taille de la famille. Par exemple, toujours dans le modèle de séquencement de la famille des pistons des moteurs, les phases de perçage des trous débouchant dans l'alésage (D_8) ou la phase de fraisage de la surface cylindrique extérieure sont des actions provisoires. Les actions

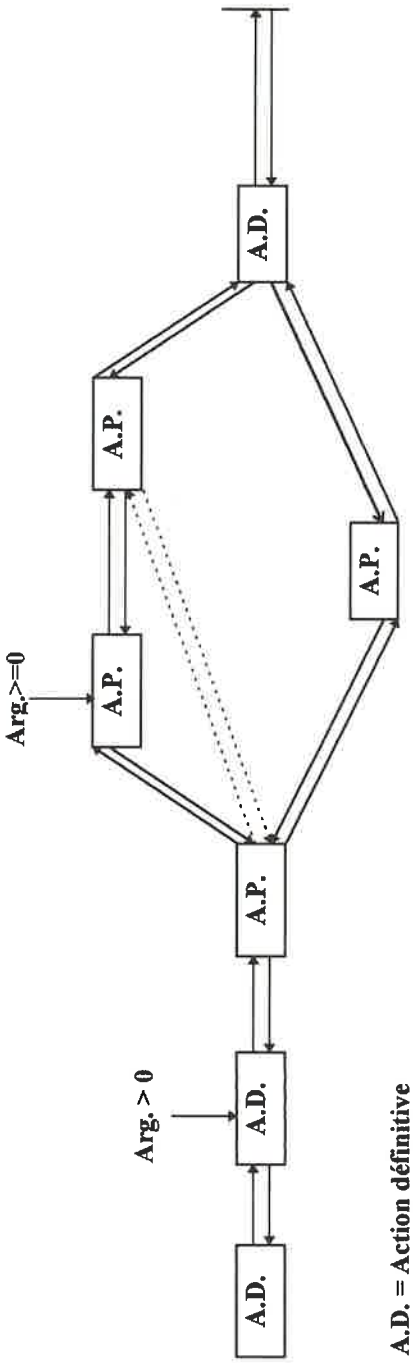

Figure 3. Modèle du séquencement des phases

provisoires peuvent être éliminées du modèle lors de la conception de la gamme d'un produit déterminé.

Pour chacune des actions nous avons construit deux liaisons : une "en avant" avec l'action suivante et une "en arrière" avec l'action précédente (figure 3). Ainsi, toute action, exception faite pour les actions située aux extrémités, peuvent être parcourues dans les deux sens. La caractéristique du fonctionnement des liaisons est la création de nouvelles liaisons dans le cas d'élimination d'une action provisoire. Dans la figure les nouvelles liaisons sont représentées en pointillé.

Les arguments sont les paramètres du travail dans une phase déterminée du modèle. Dans l'exemple de la famille des pistons ils seront constitués par les cotes du dessin de définition des surfaces usinées à l'intérieur d'une phase. Ils peuvent être uniques ou répétitifs, par exemple les arguments des phases de l'ébauche et de la finition d'une même surface. Les arguments peuvent prendre des valeurs positives ou égales à zéro. Dans le premier cas ils constituent les données d'entrée du modèle, tandis que une valeur nulle de l'argument déclenche la procédure d'élimination de l'action provisoire correspondante.

Du point de vue structure, le modèle du séquencement des phases est composé d'une "coquille" vide où l'on peut placer les actions selon une séquence déterminée, des "portes" d'entrée des arguments et des mécanismes d'acheminement dans le modèle, d'élimination de l'action provisoire et de création des nouvelles liaisons.

5. LE MODELE DE L'ESTIMATION DU TEMPS UNITAIRE DE FABRICATION.

Le but de l'étude est de munir le modèle général des données techniques d'un module d'estimation du temps unitaire de fabrication. La méthode choisie est une combinaison de l'estimation statistique et de la démarche technologique, toutes les deux adaptées aux conditions de la technologie de groupe. Les données d'entrée de l'étude sont les gammes de fabrication de produits avec un historique relativement long. De ces gammes nous pouvons extraire les temps unitaires et les paramètres de travail pour chaque phase.

Le point de départ de l'étude est de déterminer la relation physique entre le temps et les paramètres de travail. Cette relation dépend de la nature de travail et sa détermination relève de l'expérience de l'opérateur ou du gestionnaire de la ligne de fabrication des familles de produits. Par exemple dans la ligne de production des pistons de moteurs, le temps de l'usinage est proportionnel au volume du copeau à enlever.

Afin de trouver la relation T = f(V), où T représente la variable expliquée, (le temps unitaire) et V la variable indépendante (le volume du copeau dans le cas de l'usinage mécanique), il faut éliminer la "perturbation" causée par le temps de réglage, incorporé dans les données d'entrée et qui n'est pas en relation avec la variable indépendante. Le temps de réglage par unité tend vers zéro si la taille du lot devient grande. La régression appliquée aux couples de valeur (T,V) concernant les produits fabriqués en grande série donne une courbe, appelée "courbe minimale", parce qu'elle représente l'enveloppe minimale du nuage des points (T,V). Toute déviation, naturellement positive, des valeurs T par rapport à la courbe minimale est provoquée par l'addition du temps de réglage reparti uniformément sur toute la série. Ce raisonnement nous donne également la possibilité d'estimer le temps de réglage moyen pour tout les produits de la famille.

6. LE MODELE DU CHOIX DE L'OUTILLAGE.

Le choix de l'outillage pour chaque phase de la gamme de fabrication est un problème spécifique. Il est basé sur l'exploitation du savoir-faire de l'agent des méthodes, donc les techniques algorithmiques classiques ne donnent pas de résultats satisfaisants. Nous avons donc opté pour les techniques de l'intelligence artificielle et parmi elles nous avons choisi le sytème-expert.

Les éléments principaux de notre système-espert sont la base des faits, la base des connaissances et le moteur d'inférence. La base des faits contient deux types de faits : les faits de l'ordre zéro et les faits de premier ordre. Dans les faits de l'ordre zéro tous les paramètres sont constants. Ils expriment une fonction déterminée de l'outil dans une ou plusieurs phases déterminées. La structure des faits de l'ordre zéro est illustrée par les données de l'alésoir utilisée dans la phase de l'usinage de l'alésage du piston qui porte le code C051.001.

code de la famille	C051	
code de la pièce	001	
code de la phase	02	
code de l'outil	04C5-023	
désignation de l'outil	alésoir	
quantité dans le schéma de réglage	1	
paramètre Ap	11,8	(diamètre)
paramètre Bp	65	(longueur)
paramètre	.....	

Les faits de premier ordre sont les sous-ensembles d'outils utilisés dans le même type de phase. Donc un fait de premier ordre contient tout l'outillage du schéma de réglage d'une phase de la gamme standard. La formalisation du fait de premier ordre est réalisée par une

suite de structures semblables à celle du fait de l'ordre zéro dans lesquelles sont intégrés des variables.

La base des connaissances est constituée d'un ensemble de règles de production qui formalisent les savoir-faire de l'agent des méthodes, spécialiste du choix de l'outillage des gammes de fabrication. La règle a la forme classique suivante :

S'il se vérifie la CONDITION, ALORS on exécute l'ACTION.

Le moteur d'inférences est un programme spécifique. Il comporte les étapes suivantes : initialisation, extraction des faits, isolement des règles, interprétation, application de la règle, contrôle du cycle.

7. EXPLOITATION DES RESULTATS.

Les résultats acquis dans l'étape d'analyse et de modélisation sont exploités dans la conception et la réalisation d'un logiciel d'obtention des données techniques concernant les méthodes de production, à savoir toutes les données techniques structurées dans la gamme de fabrication. Ce logiciel réalise les tâches suivantes :

1. classement du produit nouveau dans une des familles déjà créées à partir des données géométriques et physiques communiquées par l'opérateur,

2. recherche des données technologiques déjà structurées, en vue de l'élaboration de la gamme spécifique de fabrication du produit nouveau,

3. estimation du temps unitaire de réalisation des phases ,

4. choix de l'outillage nécessaire à la réalisation de chaque phase,

5. rédaction et transmission de la gamme dans le format désiré.

Nous avons conçu et mis en oeuvre un logiciel de conception de gammes de la famille des pistons d'un entreprise de mécanique générale. Les figures 4 et 5 donnent un aperçu de la procédure de l'utilisation de ce logiciel.

KAT SICG CONCEPTION DES GAMMES D'USINAGE

SAISIE DES DONNEES DE LA PHASE 1

Diamètre de la tête : ? 62, +0.012, -0.01
Longueur du piston : ? 48, +0, -0,5
Diamètre de la surface de référence : ? 42, +0.2, -0.1
Longueur de la surface de référence : ? 7, 0.5, -0.1
Distance de l'alésage : ? 22, 0, 0

Figure 4

KAT SICG CONCEPTION DES GAMMES D'USINAGE

Code BE : 120-10151200 Code TG : C051180 Code phase : 01 C6432 Tour
Phase 1 Ebauche de la surface de référence Tu : 0.9186 Trég : 60

Alésage de surface de référence Dressage de la face Chaifrainage 0.5x45°	V = 300 s = 0.2 a = 2 Diamètre d'usinage 41.5 Profondeur d'usinage 7.1 Diamètre exterieur 62

Montages d'usinage

1	Cylindre	M.O.	1 G		
2	Mandrin	M.O.	1 G		
3	Mors	31C5-001	1		

Outils d'usinage

4	Outil tour	01C5-023	2		
5	Outil tour	A39-12	1		
6	Porte-outil			M.O.	1

Outils de contrôle

7	Pied à coulisse	125-0.02	1	G	
8	Pied à coulisse	200-0.02	1	G	
9	Jauge de profondeur	0-200	1	G	
10	Jauge	10C5-***	1		
11	Jauge de profondeur	15C5-***	1		

Figure 5

G outillage utilisé par la famille entière
*** outillage à concevoir.

BIBLIOGRAPHIE

1. FONTANILI, F. ; Systèmes de production flexible : Etat de l'art. Memoire DEA Production Automatisée Université de Nancy I - ENS Cachan. 1992.

2. MUTEL, B.; La Technologie de Groupe Assistée par Ordinateur (TGAO). Université de Tirana (Albanie), 1988.

3. SHIKO, G. Application de la Technologie de Groupe au Bureau de Méthodes. Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM Paris, 1983

4. SHIKO, G. A process planning-oriented approach to part family formation problem in group technology application. International Journal of Production Research, 1992, vol.30, n°8.

5. XIAOQING, T., DAVIES, B.J. ; Computer Aided Dimensional Planning. International Journal of Production Research, 1988,vol. 26, n° 2