



**HAL**  
open science

# Contribution à l'étude de la reconnaissance de familles de pièces en fabrication mécanique

Abdennebi Talbi

► **To cite this version:**

Abdennebi Talbi. Contribution à l'étude de la reconnaissance de familles de pièces en fabrication mécanique. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Paul Verlaine - Metz, 1989. Français. NNT : 1989METZ009S . tel-01776885

**HAL Id: tel-01776885**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776885v1>**

Submitted on 24 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**THESE**

présentée à

L'U.F.R. MATHEMATIQUE, INFORMATIQUE,  
AUTOMATIQUE, MECANIQUE

en vue de l'obtention du

DIPLOME DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE METZ

Option : Production Automatisée

par

Abdennebi TALBI

Ingénieur - Institut Supérieur des Matériaux et de la  
Construction Mécanique.

---

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA  
RECONNAISSANCE DE FAMILLES DE  
PIECES EN FABRICATION MECANIQUE

---

Soutenue le 20 Décembre 1989 devant le jury composé de :

Président : Mr. B. MUTEL (L.R.P.S. - STRASBOURG)

Rapport

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE DE METZ



022 420318 6

é de Reims  
- METZ)

Examina

R. - CANADA)  
Etablissement de Senlis).



BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE - METZ	
N° inv.	19890185
Cote	S/M3 89/9
Loc	Magasin

## AVANT PROPOS

Cette étude a été réalisée dans le cadre des activités du Laboratoire d'Automatique et d'Electronique Industrielles (L.A.E.I.) de l'Université de Metz sous la direction de Monsieur le Professeur B.MUTEL. Je lui exprime ma sincère gratitude pour les conseils et la bienveillance qu'il n'a cessé de m'accorder au cours de ces années d'études.

J'exprime ma vive reconnaissance à Monsieur le Professeur C.LAURENT, Directeur du L.A.E.I. qui s'est toujours rendu disponible et qui a accepté de juger ce travail en tant que rapporteur et membre du jury.

Nous sommes très reconnaissants à Monsieur C.COUET, Professeur à l'Université de Reims d'avoir accepté de juger ce travail en tant que rapporteur et membre du jury.

Nous tenons à remercier Monsieur le Professeur D.AIT KADI pour les idées et conseils qu'il nous a apportés et pour l'attention donnée à ce travail par sa participation au jury.

Nous sommes très honorés par la présence dans ce jury de Monsieur P.PADILLA, chef du département Production Mécanique au Centre Technique des Industries Mécaniques (C.E.T.I.M.), qui a accepté de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements amicaux à Monsieur S.GRUBERT, Ingénieur ENSAIS, pour avoir participé au recueil des données industrielles et à tous les camarades du Laboratoire, pour les échanges constructifs et l'atmosphère amicale qu'ils ont contribué à faire régner.

## Table des matières:

	<u>pages</u>
I- Introduction :	
1-1- Mutation des systèmes de production . . . . .	3
1-2- Approche par la Technologie de Groupe . . . . .	6
1-3- Présentation de cette étude . . . . .	7
II- La Technologie de Groupe :	
2-1 - Evolution de la Technologie de Groupe . . . . .	11
2-2 - Les objectifs de la Technologie de Groupe . . . . .	15
A- Au Bureau d'Etudes . . . . .	15
B- Au Bureau des Méthodes . . . . .	15
C- A l'Atelier . . . . .	15
D- Au Service Commercial . . . . .	15
2-3- La mise en oeuvre de la T.G. . . . .	17
2-3-1 - Recueil et codage des données . . . . .	18
A - Recueil des données . . . . .	18
B - Codage des données . . . . .	22
1- Code Multi-M . . . . .	23
2- Code Opitz . . . . .	23
3- Code CETIM-PMG . . . . .	24
2-3-2- Recherche de familles de produits . . . . .	26
A- Techniques et notion de similarité . . . . .	26
B- Identification des familles . . . . .	27
C- Interprétation des résultats . . . . .	27
1- La représentation graphique . . . . .	28
2- Les profils des familles . . . . .	28
2-3-3- Création des gammes . . . . .	30
2-3-4- Création des flots . . . . .	33
2-4- Les avantages . . . . .	34
2-5- Conclusion . . . . .	36

### III- Recherche de familles d'objets

3-1 - <u>Rappel des méthodes de classification automatique</u>	38
3-1-1 - <u>Méthodes d'analyse factorielle</u>	38
A- Analyse en composantes principales	39
B- Analyse factorielle des correspondances	39
C- Analyse en composantes principales d'un tableau de distances	40
3-1-2 - <u>Méthodes de classification</u>	40
A- Méthodes monothétiques	40
B- Méthodes polythétiques	40
3-1-2-1 - Méthodes hiérarchiques	42
A- Méthodes générant une famille de partitions	
1- Hiérarchique ordinale	42
2- Hiérarchique non ordinale	42
B- Méthodes générant une famille de recouvrements	
3-1-2-2 - Méthodes non hiérarchiques	43
A- Méthodes de réallocation	43
B- Méthodes de recherche de densité	44
C- Méthodes directes	44
D- Méthodes de réduction dimensionnelle	44
3-2 - <u>Comparaison des différentes méthodes</u>	45
3-3 - <u>La classification ascendante hiérarchique</u>	46
3-3-1 - Principe de la C.A.H.	46
3-3-2 - La mesure de similarité	47
3-3-2-1 - Mesures appliquées aux codes	49
A - Distance de khi-deux	49
B - Distance euclidienne	50
3-3-2-2 - Mesures appliquées aux gammes	52
A - Distance de Dice Czekanowski	52
B - Distance de Jaccard	52
C - Distance de Sokal Sneath	52
D - Distance de khi-deux	53
3-3-2-3 - Traitement simultané des gammes et des codes	53
3-3-3 - Agrégation des objets	54
3-3-4 - Les critères de classification	56
3-3-5 - Exemple académique	59

## IV- Logiciel C.A2.D.I.

4-1 - Présentation du logiciel . . . . .	66
4-1-1 - Structure générale . . . . .	66
4-1-2 - Module de filtrage des données . . . . .	69
4-1-2-1 - Organisation des données . . . . .	69
4-1-2-2 - Présentation du module de filtrage . . . . .	70
4-1-2-3 - Critères de filtrage des données . . . . .	71
A - A partir du code . . . . .	72
B - A partir de la gamme . . . . .	73
C - A partir du nombre de pièces par lot . . . . .	75
D - A partir du temps d'exécution de la pièce . . . . .	75
E - A partir de la référence réelle de la pièce . . . . .	76
F - A partir de la date de lancement . . . . .	76
G - Méthode ABC . . . . .	77
4-1-3 - Module de gestion des données . . . . .	78
4-1-3-1 - Présentation du module de gestion . . . . .	78
4-1-3-2 - Organisation des données . . . . .	79
A - Les fichiers gammes . . . . .	79
B - Les fichiers codes . . . . .	80
4-1-3-2 - Manipulation des données . . . . .	80
A - Affichage des données . . . . .	80
B - Création de la matrice de données . . . . .	81
C - Modification de la matrice de données . . . . .	81
D - Transfert de fichiers . . . . .	81
E - Pondération des données . . . . .	82
1- Pondération des individus . . . . .	82
2- Pondération des variables . . . . .	82
F - Transformation des entiers en binaires . . . . .	84
G - Transcodage des données . . . . .	84
1- Transcodage du code . . . . .	85
2- Transcodage des gammes . . . . .	87
4-1-4 - Module de calcul des ressemblances . . . . .	90
4-1-4-1 - Présentation du module . . . . .	90
4-1-4-2 - Définition du code . . . . .	90
4-1-4-3 - Choix de la mesure de ressemblance . . . . .	91

- IV -

4-1-5 - Module de C.A.H. . . . .	93
4-1-5-1 - Présentation du module . . . . .	93
4-1-5-2 - Choix des données à traiter . . . . .	93
4-1-5-3 - Choix du nombre de classes . . . . .	97
4-1-6 - Module d'interprétation des résultats . . . . .	98
4-1-6-1 - Présentation du module . . . . .	98
4-1-6-2 - Description des classes . . . . .	99
A - Profil des partitions sur les codes . . . . .	99
B - Profil des partitions sur les gammes . . . . .	102
4-1-6-3 - Recherche des formes fortes . . . . .	103
4-2- Mise en oeuvre . . . . .	106

## v- Applications industrielles

### 5-1- Exemple N° 1 :

5-1-1- Introduction . . . . .	109
5-1-2- Approches de la Technologie de Groupe . . . . .	110
5-1-3- Présentation des données . . . . .	114
5-1-4- Traitement des données . . . . .	117
5-1-5- Interprétation des résultats . . . . .	124
5-1-6- Conclusion . . . . .	129

### 5-2- Exemple N° 2 :

5-2-1- Introduction . . . . .	130
5-2-2- Présentation des données . . . . .	133
5-2-3- Traitement des données . . . . .	134
5-2-3-1- Approche A . . . . .	134
A- Partition sur les codes . . . . .	134
B- Partition sur les gammes . . . . .	136
C- Partition sur les formes fortes . . . . .	138
5-2-3-2- Approche B . . . . .	141
A- Partition sur les codes et les gammes . . . . .	141
B- Description des partitions . . . . .	144
5-1-4- Interprétation des résultats . . . . .	154
A- Interprétation des familles . . . . .	157
5-2-5- Conclusion . . . . .	159

VI - Conclusion . . . . . 161

VII - Bibliographie

A- Références bibliographiques . . . . . 165  
B- Bibliographie . . . . . 169

VIII - Annexes . . . . . 179

A- Annexe 1 :

Définitions

A - Technologie de groupe . . . . . A1.1  
B - Codification . . . . . A1.1  
C - Eléments de structure des codes . . . . . A1.2  
D - Systèmes de T.G.A.O. . . . . A1.4  
E - Notations . . . . . A1.5

B- Annexe 2 :

1- Mode de structuration des données brutes . . . . . A2.2  
2- Données industrielles . . . . . A2.3  
A- Matrice de données code . . . . . A2.4  
B- Matrice de données gammes . . . . . A2.7  
C- Structuration des modules . . . . . A2.10

CHAPITRE I

I N T R O D U C T I O N

## 1-Introduction :

### 1-1- Mutation des systèmes de production :

Avec l'évolution des nouvelles techniques, le monde industriel est entré dans une phase de compétition où chaque entreprise cherche à faire un maximum de profit et à acquérir des marchés prometteurs. Face à cette concurrence économique, aux conditions variables du marché, à la course au progrès technique, les entreprises sont obligées d'augmenter leur productivité, de s'adapter aux variations de la demande, de respecter les délais et la qualité, et d'ajuster les prix des produits afin de satisfaire le consommateur qui devient de plus en plus exigeant.

Devant ces contraintes, la nécessité de diminuer les coûts de conception et de fabrication devient incontournable, obligeant ainsi les entreprises à intensifier les mesures de rationalisation à tous les niveaux du processus de la production.

Une étude du CETIM [1] montre que 75% des pièces sont fabriquées en séries de moins de 50 unités et les tendances actuelles du marché confirment cette nécessité de fabriquer par petits lots car les clients demandent :

- des finitions différentes pour personnaliser le produit,
- des variantes pour répondre à des contraintes de fonctionnement particulières,
- des livraisons fréquentes mais par petites quantités, car eux-même gèrent leur production à "flux tendus".
- des systèmes à cycle de vie réduit afin d'assurer une évolution rapide du produit et d'éviter les risques d'investissement à long terme.

Ces facteurs créent un contexte dans lequel on conçoit la nécessité de produire en petites et moyennes séries, obligeant ainsi les entreprises à augmenter la flexibilité de leur systèmes de production afin de prendre en considération les exigences individuelles de chaque client.

D'autres études ont montré que le temps de cycle d'une pièce au sein d'un atelier conventionnel se décompose en 15 % de temps passé sur une machine et 85 % de temps de stockage et de transfert. Cette constatation autorise J.-P.Schmitt [2] à écrire: " A notre époque de technologie avancée, le vrai problème de la gestion de production n'est pas tellement de transformer la matière mais de la faire circuler ". Cette troisième contrainte à laquelle toutes les entreprises se trouvent confrontées est celle de la diminution des en-cours. Ainsi, la crise agit comme le révélateur de la sous productivité des ateliers. De ce fait, elle pousse à la transformation de la structure technico-organisationnelle de l'entreprise.

La recherche de la productivité conduit à étudier systématiquement tous les facteurs de la production, en vue de constituer et utiliser au mieux les moyens de production.

La recherche de la flexibilité entraîne en même temps des investissements importants donc un prix de revient prohibitif et ne fait qu'augmenter la complexité du système de production qui devient de moins en moins contrôlable.

Ainsi, la productivité et la flexibilité semblent en contradiction. C'est pourquoi il faut mettre en oeuvre de véritables stratégies de réorganisation globale des processus de fabrication.

Cette mutation entraîne les mêmes difficultés pour les entreprises qui sont à la recherche de solutions permettant de prendre en compte cette évolution. Les médias vantent un grand nombre de solutions prometteuses sans lesquelles, dit-on, il n'y a guère d'espoir de rester compétitif. Des solutions qui viseraient à appliquer telle ou telle technologie en "AO" ou en "ique", sans une vue cohérente d'un objectif à moyen terme et sans regarder de manière concrète les véritables problèmes à résoudre pour réussir cette mutation technologique, conduiraient à coup sûr les petites et les grandes entreprises à l'échec. Ce qu'il faut c'est ordonner ces technologies entre elles, fixer les priorités et les intégrer dans un cadre d'objectifs clairement définis afin de mettre en oeuvre une véritable stratégie de modernisation de l'appareil productif.

Le développement de la productique est révélateur de cette évolution profonde de la conception et de la fabrication. Il met en cause les différents aspects du système de production, technologiques, organisationnels et sociaux. Le modèle "Taylorien-Fordien" de la production de masse ne peut être appliqué. Ce modèle se caractérise par une production standardisée en grandes séries, des durées de vie importantes, des machines mono-opération et une logique d'éclatement en machines diversifiées. Il doit être abandonné au profit d'un nouveau modèle dont le processus de production repose sur les aspects technologiques suivants : des petites et moyennes séries en lots répétitifs, une logique d'intégration des ressources, des machines-outils CNC, des centres d'usinage et une organisation permettant une meilleure interaction entre l'homme, la machine et les différents services.

## 1-2- Approche par la Technologie de Groupe :

Afin de répondre au besoin d'une production efficace qui assure à la fois une grande productivité et une meilleure flexibilité tout en diminuant les encours, l'approche par la Technologie de Groupe est très prometteuse.

Une analyse des premiers systèmes de classification et de codage montre qu'ils étaient :

- soit relativement universels, mais les informations apportées étaient très limitées pour chaque problème,
- Soit avec une orientation spécifique et alors les informations étaient limitées à un seul problème.

L'inconvénient de ces systèmes réside dans la méthode de classification qui s'effectue par tri sur les valeurs du code (modalités des variables). Ces systèmes ne satisfont pas entièrement le besoin des industries mécaniques. En effet, les techniques classiques de description statistique ne permettent pas de prendre en compte simultanément l'ensemble des données disponibles, leurs dépendances et leurs évolutions . Aussi au cours de ces 10 dernières années, des techniques alliant les mathématiques, la statistique et l'informatique se sont développées. Elles garantissent une meilleure exploitation des concepts et constituent un élément moteur dans leur développement.

Ces concepts consistent en une approche globale de regroupement systématique des composants identiques ou semblables en familles. La connaissance des caractéristiques de chacune des familles permet, après l'affectation d'une nouvelle pièce à l'une d'entre elles, de disposer d'informations très intéressantes sur cette pièce (gamme d'usinage, processus et ilot de fabrication, prix de revient ...). Le regroupement des pièces en familles s'effectue à l'aide de systèmes de classification alors que l'affectation d'une nouvelle pièce est réalisée par un système de classement.

Cette approche mène pour chaque famille de pièces à des études d'optimisation semblables à celles élaborées pour les grandes séries. De cette façon, d'une part, on espère que les objets d'un même groupe suivent des processus de fabrication similaires, d'autre part, on s'attend à une structuration des informations sur la nature de ces objets. La Technologie de Groupe intègre ces différents concepts et constitue ainsi un opérateur de la réorganisation des temps productifs et improductifs.

### 1-3- Présentation de cette étude :

L'étude présentée dans ce mémoire a pour objectif le développement d'un système de classification automatique des données de production. Celui-ci, par comparaison avec d'autres, permet le traitement des données de variables qualitatives et quantitatives mélangées. Dans ce système, nous proposons des algorithmes de classification, d'agrégation, de tracé de structure hiérarchique arborescente, ainsi qu'une méthode de classification basée sur des codes, des gammes ou toute combinaison des deux. Il offre la possibilité d'effectuer la classification des gammes à partir de la matrice de données ordinales, binaires ou la réunion des deux. Il pondère les variables et les individus et traite plus de 500 articles. L'interprétation des classes donne les caractéristiques de chacune des familles à l'aide des modalités des variables et contribue à la recherche des formes fortes à partir de plusieurs partitions. Ce système est conçu sous forme d'un logiciel que nous avons baptisé C.A<sup>2</sup>.D.I. (Classification Automatique Ascendante des Données Industrielles).

Dans le chapitre II, nous effectuons une analyse détaillée de la Technologie de Groupe. Nous présentons l'évolution de la Technologie de Groupe au cours des dernières années. Puis nous insistons sur le rôle que peut jouer la Technologie de Groupe dans les différents services concernés. Ensuite, nous indiquons les principes de sa mise en oeuvre à tous les niveaux de l'entreprise ; les problèmes liés au choix : des données (échantillonnage), du code, de la mesure de similarité, du critère d'agrégation, des algorithmes pour le traitement des données et des méthodes d'interprétation des résultats. Nous soulignons l'importance accordée aux résultats d'un tel traitement pour la création de gammes d'usinage, d'îlots de fabrication et pour l'établissement de devis. Enfin, nous achevons ce chapitre par une analyse critique des systèmes existants.

Le troisième chapitre présente la méthode de classification automatique retenue pour la génération de familles homogènes. Nous rappelons les différentes méthodes d'analyse des données et effectuons des comparaisons entre celles-ci. Nous détaillons la classification ascendante hiérarchique qui constitue le noyau du logiciel que nous avons conçu. Au cours de cette présentation, nous situons cette méthode par rapport aux autres et définissons les différentes mesures de similarité, les algorithmes et le critère d'agrégation retenu. A la fin de ce chapitre, un exemple académique illustre les étapes à suivre dans le traitement d'une application.

Le chapitre IV présente les cinq modules qui constituent le logiciel de Classification Automatique Ascendante des Données Industrielles (C.A<sup>2</sup>.D.I.). Nous insistons plus particulièrement sur les notions de transcodages et de concaténation des codes et des gammes, sur la pondération des individus et des variables. Nous proposons des solutions pour résoudre les problèmes de choix des distances appliquées à des

ensembles de variables différents, d'interprétation des résultats par des tableaux de fréquences et d'exploitation de la notion des formes fortes.

Dans le chapitre V, nous présentons deux applications industrielles traitées avec le logiciel C.A<sup>2</sup>.D.I. L'une concerne le service commercial pour l'établissement du devis et l'autre est relative aux bureaux d'études et des méthodes. Enfin, pour conclure, nous suggérons les voies de développements futurs.

## CHAPITRE II

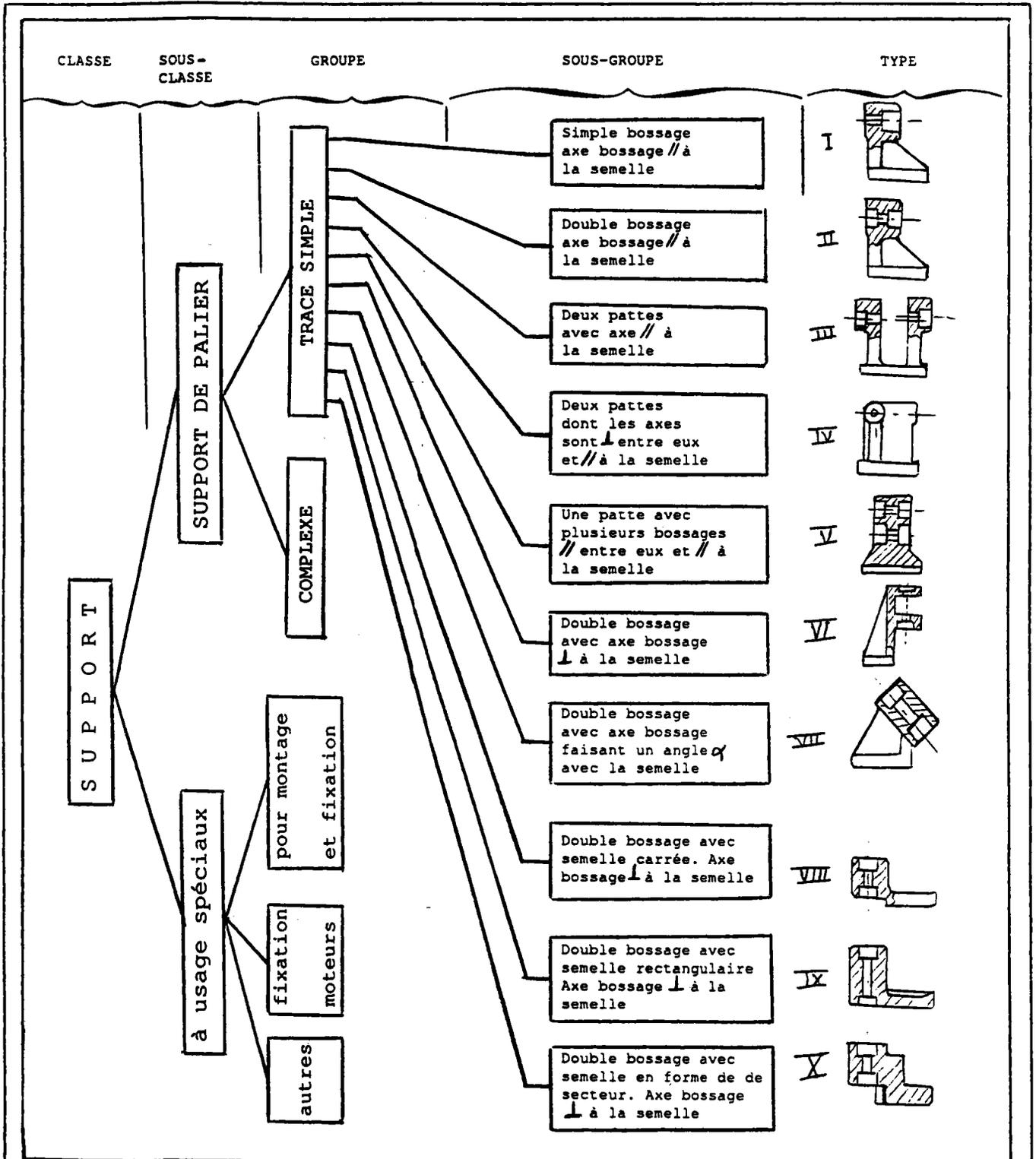
### LA TECHNOLOGIE DE GROUPE

## 2- La Technologie de Groupe (T.G.) :

### 2-1- Evolution de la Technologie de groupe :

Le concept de la Technologie de Groupe a été développé par S.P. MITROFANOV [3], qui dès les années 50, a analysé les moyens et les méthodes de fabrication des pièces présentant des analogies. De nombreuses applications industrielles de ses travaux ont été réalisées principalement en Europe de l'Est. Les pièces sont classées en tenant compte de leurs formes géométriques intérieures et extérieures, mais aussi, et principalement, en fonction de l'équipement et de l'outillage nécessaire pour l'usinage. Ainsi, les pièces sont réparties en classes, sous classes, groupes et sous groupes (figure II.1). En tenant compte de cette classification lors de la planification de la fabrication, on parvient à minimiser les temps de réglage.

Dès 1960, le professeur H. OPITZ de l'université Technique d'Aix la Chapelle (RFA) a proposé une démarche généralisant ce principe de Technologie de Groupe, de manière à l'appliquer à tous les stades de l'industrialisation d'une pièce [4]. Ainsi, la recherche d'analogie se fait systématiquement dès la conception d'une pièce, par le biais d'un code à 9 chiffres en base décimale. Chacun des chiffres a une signification particulière et fournit une information sur la morphologie ou les dimensions du composant codé.



Exemple de classification des supports

et d'un graphique de méthodes technologiques type suivant MITROFANOV.

Figure II.1 : Classification selon MITROFANOV.

Les premières applications de la Technologie de Groupe ont démontré l'intérêt économique de la méthode, sous réserve que le système de codification utilisé soit parfaitement adapté à l'entreprise. C'est ainsi que les variantes du code OPITZ se sont multipliées, dans le but de les personnaliser.

Le CETIM a joué un rôle actif dans les années 70 pour sensibiliser l'industrie mécanique française aux possibilités de la Technologie de Groupe. Il a développé ses propres codes, et est intervenu en assistance technique pour adapter la codification à l'entreprise et définir les structures nécessaires à l'application de la T.G. dans les meilleures conditions [5/6]. Il est à noter que la démarche proposée intégrait déjà les notions de "gammes types" et de "méthodes de chiffrage" s'appuyant sur un système de fiches directrices et permettant de rationaliser la préparation du travail. Ce système manuel a connu des prolongements naturels dans des applications informatisées. Les recherches d'analogies assurées par un ordinateur sont plus rapides et plus fiables et confèrent à la T.G. encore davantage d'efficacité. De plus, les interfaçages avec des systèmes de CFAO peuvent être envisagés. Une telle application a été mise en place conjointement par le CETIM et le CISI (Compagnie Internationale de Service en Informatique) au sein des Ets TRAILOR à LUNEVILLE [7] en 1982. Ce constructeur de remorques dispose du logiciel "CETIM TG" qui effectue les codifications de pièces et les recherches d'analogies, et peut ensuite exploiter les dessins correspondants grâce au logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur "STRIM 100 C" [7].

Par ailleurs, les ingénieurs de T.N.O. (Organisme de Recherche Scientifique Appliquée des Pays Bas) ont repris et développé le code Opitz. A la fin des années 70, O.I.R.

(Organisation for Industrial Research), ~~maintenant filiale de~~ COMPUTERVISION, a misé sur la croissance des possibilités de l'informatique, en créant le système de TGAO "MULTICLASS", inspiré des travaux du T.N.O. [8]. Dans la mesure où toute la chaîne représentant la pièce codée est informatisée, aucune retranscription manuelle de code n'est plus à envisager. La dernière contrainte sur l'extension du code se trouve ainsi levée, c'est pourquoi le système de TGAO "MULTICLASS" propose non moins de 30 "digits", ce qui permet une codification très fine et par conséquent une recherche d'analogie très pointue. En 1982, plus de 80 entreprises américaines utilisaient les logiciels d'O.I.R., alors qu'aucune solution française adaptée aux entreprises de grandes tailles n'existait. L'urgence du besoin ressentie par les industriels RENAULT, LEGRAND, CITROEN, SNECMA et THOMSON a conduit à la création d'un "groupe de concertation" auquel a été associé l'ADEPA (Agence Nationale pour le Développement de la Production Automatisée). Les objectifs de ce groupement étaient la mise en exploitation rapide de la TGAO dans les cinq entreprises et la francisation des logiciels [9]. Actuellement, l'ADEPA est l'interlocuteur privilégié de toutes les entreprises françaises souhaitant exploiter les logiciels Multiclass - Multicapp et Multigroup qui sont les dernières évolutions des produits TGAO d'O.I.R.

D'autres travaux concernant l'exploitation des concepts de la Technologie de Groupe pour le développement d'un ensemble de logiciels de: codage, classification, classement, génération de gammes de fabrication et agencement d'ateliers ont été réalisés au L.A.E.I. | Actuellement, le Laboratoire de Recherche en Productique de Strasbourg (L.R.P.S.) mène des recherches actives dans ce même axe, | notamment dans la gestion des magasins et l'application des méthodes d'apprentissage aux problèmes de classement et d'interprétation des familles.

## 2-2- Les objectifs de la T.G.:

L'application de la Technologie de Groupe dans les différents secteurs d'entreprise doit permettre:

- A - Au bureau d'études de profiter des capacités de traitement des ordinateurs actuels pour apporter une aide aux concepteurs et aux dessinateurs, conduire à une standardisation des éléments de formes, de dimensions et de matières mais aussi pour archiver, ordonner et exploiter l'expérience accumulée par l'entreprise.
- B - Au bureau des méthodes d'entreprendre une modélisation des moyens afin que chaque nouvelle gamme de fabrication s'inscrive dans les objectifs de production des ateliers. Ainsi la gamme standard de chaque famille sert de base à l'élaboration de la gamme de chaque élément nouveau de la famille dans le but de rendre le travail du préparateur moins fastidieux, les choix moins arbitraires, les solutions plus rationnelles et plus rapides.
- C - A l'atelier de réorganiser les moyens de production en îlots de fabrication pour réduire les en-cours, raccourcir les délais de fabrication et garantir la qualité. La gestion de production, qui s'intéresse avant tout à l'ordonnancement des tâches et aux flux de matières, se trouve ainsi décentralisée sur chaque îlot; ceci facilitera sa réalisation et lui donnera un maximum de souplesse (figures II-2-a et II-2-b).
- D - Au service commercial de réduire le calcul des temps, d'élaborer les devis par une exploitation systématique de toutes les données déjà accumulées dans l'entreprise et enfin de faciliter, si un nouveau produit se présente, la recherche des produits similaires déjà fabriqués afin de faire une estimation rapide du coût.

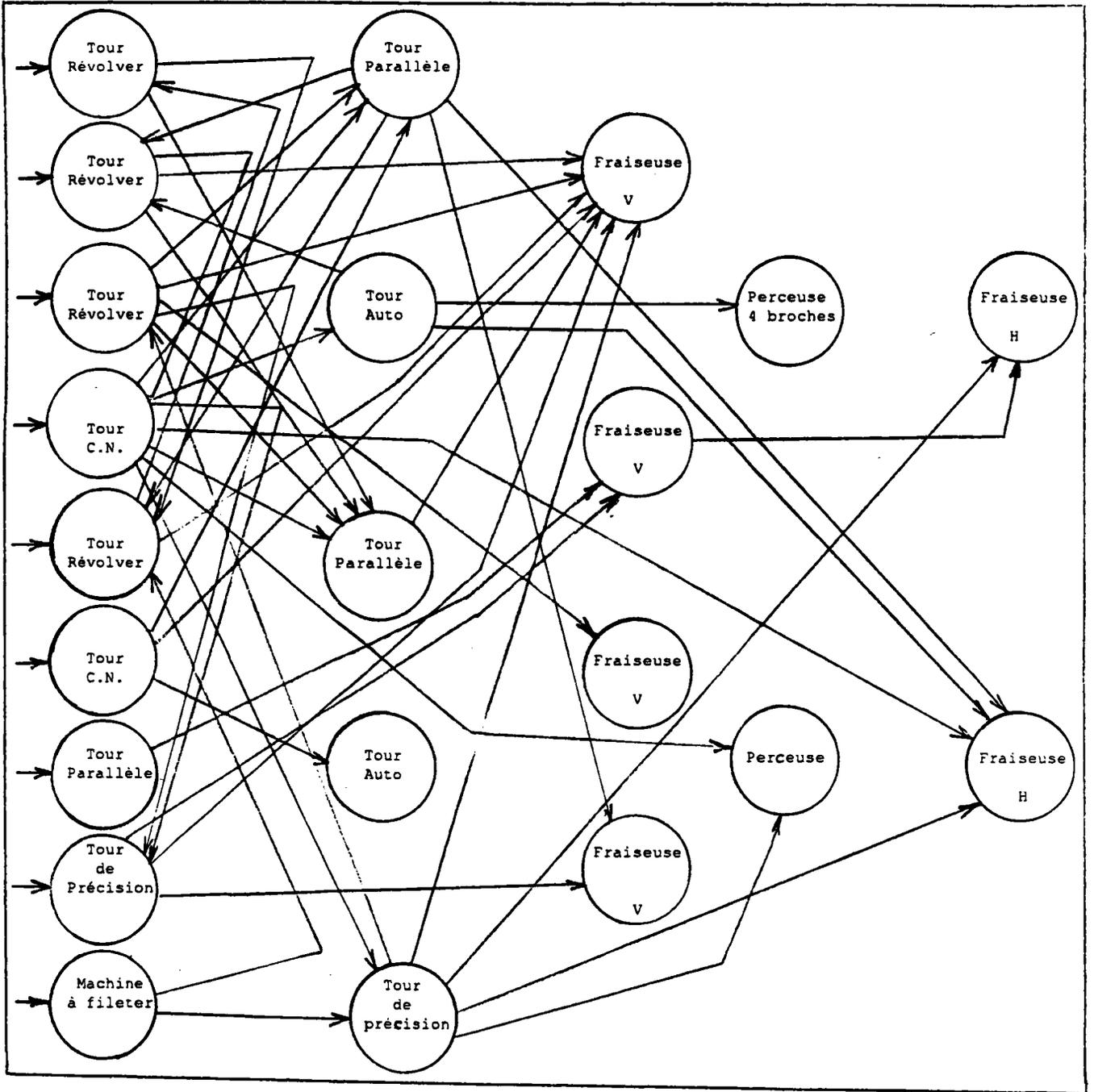


Figure II-2a: Cheminement de 324 pièces utilisant 22 machines.

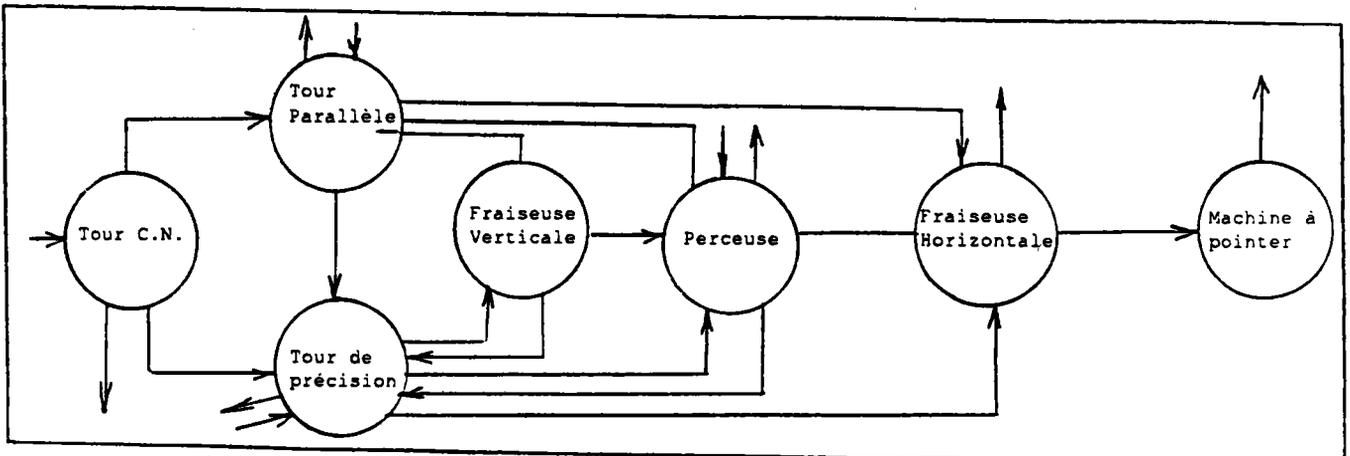


Figure II-2b: Cheminement de 324 pièces utilisant 7 machines

## 2-3- La mise en oeuvre de la T.G.

La mise en oeuvre de la T.G. nécessite le franchissement des quatre étapes suivantes:

- Etude,
- Modélisation et Simulation,
- Implantation,
- Exploitation.

L'étude qui doit montrer l'intérêt et la faisabilité d'une telle mise en oeuvre, se déroule selon les étapes suivantes :

- le recueil des données,
- la recherche de familles de pièces (classification),
- la création des gammes,
- la création des îlots de fabrication.

Toute erreur de conception se révèle très pénalisante sur le plan financier, d'où la nécessité d'une analyse poussée du système avant son implantation. Cette analyse s'effectue à l'aide des outils de modélisation et de simulation qui décrivent l'évolution du comportement d'un système de production en faisant intervenir des machines, des systèmes de transport, des systèmes de stockage et des moyens informatiques. La recherche d'une construction qui a un comportement analogue à celui du système de production considéré s'effectue à l'aide d'une modélisation, alors que son évolution est décrite par des outils de simulation (LORIC<sup>(1)</sup>-SLAM<sup>(2)</sup>) [10]. Ainsi, nous pouvons suivre de très près les différents processus de fabrication: la disposition des postes machines, le cheminement des pièces à travers ces postes, le contrôle des en-cours grâce à la maîtrise des temps d'usinage, de montage et du parcours inter-machines et inter-îlots. Ces deux étapes constituent la partie conception.

(1): (Langage de Simulation Orienté Réseaux de Pétri Interprétés et Colorés)

(2): (Simulation Language for Alternative Modeling).

L'implantation est une phase de réalisation pratique du processus modélisé. En T.G., elle peut soit s'appuyer sur des moyens de production nouvellement conçus, soit intégrer tout ou une partie des moyens de production déjà existants. Dans ce dernier cas, l'ensemble du personnel doit faire un effort d'adaptation pour se préparer à la transition qui l'amènera à changer ses méthodes de travail et ses habitudes quotidiennes. Les différentes règles et étapes dont le franchissement est indispensable doivent être respectées. Cette phase d'implantation peut durer entre quelques mois et quelques années, suivant la "taille" de l'entreprise.

Remarque: l'exploitation suppose d'une part, une mise en place de tous les moyens humains et matériels nécessaires afin d'assurer une production efficace aux différents niveaux de la production, d'autre part, une mise en place d'un plan de maintenance du système de production. Il n'est pas exclu que la structure choisie soit susceptible de subir de légères modifications pour l'adapter au mieux à la fabrication de nouveaux produits.

## 2-3-1 - Recueil et codage des données:

### A - Recueil des données : [11]

Pour générer, à partir d'un phénomène observé, un tableau de données dont les colonnes sont les descripteurs (ou variables) et les lignes sont les observations (ou individus), il faut procéder à une analyse détaillée de l'ensemble de ces observations. Ainsi, il convient de définir :

1- Les objets sur lesquels on veut faire l'analyse : ces objets, dans le cas d'un phénomène industriel, peuvent être des pièces mécaniques, gammes de fabrication, outillages, machines-

outils. Dans la suite de cette étude, ces entités seront appelées individus, objets ou articles.

L'utilisateur doit, d'une part définir avec précision les objets qu'il désire étudier (homogénéité), d'autre part choisir ceux qui doivent constituer, soit une énumération exhaustive du domaine d'étude, soit un simple échantillon. Dans le cas idéal où les objets à analyser constituent l'ensemble de la population, l'utilisateur n'a pas à effectuer de sélection, mais il doit s'assurer de n'avoir oublié aucun d'entre-eux. Lorsque la population à étudier est beaucoup trop importante pour être traitée en totalité, l'utilisateur intervient dans le choix des objets pour essayer d'extraire un échantillon suffisamment important, pour qu'il soit représentatif de l'ensemble des observations, même pour les petits groupes qui auraient tendance à disparaître dans le cas d'un tirage aléatoire.

2- Les variables ou attributs qui vont permettre de caractériser ces objets : il est toujours possible, dans l'absolu, de trouver un grand nombre de variables caractérisant les objets à analyser. Le choix de ces variables a une influence prépondérante sur la formation des groupes d'objets. Il s'agit de choisir :

- les variables qui sont les plus pertinentes vis-à-vis du problème posé,
- les variables qui véhiculent le plus d'information.

L'utilisateur a la possibilité de faire jouer un rôle plus ou moins important à certaines des variables sélectionnées, par des pondérations. Celles-ci sont utilisées soit pour donner de l'importance aux variables fortement reliées au phénomène étudié, soit pour privilégier certaines variables sous-représentées dans les données.

Le choix de variables non corrélées au départ permet de les utiliser sur un pied d'égalité. Le choix de variables corrélées entre elles nécessite la mise à jour des concepts fondamentaux pour éliminer leur dépendance.

3- Les échelles sur lesquelles seront mesurées ces variables: la manipulation des variables par des méthodes statistiques nécessite leur mesure. Le concept de mesure peut être défini comme étant "l'affectation de nombre à des objets ou à des événements en fonction d'une certaine règle". Le fait que les nombres puissent être affectés en utilisant des règles différentes conduit à différents types d'échelles de mesure.

Nous considérons quatre sortes d'échelles de mesure (tableau II-1 ) :

- les échelles nominales,
- les échelles ordinales,
- les échelles d'intervalle,
- les échelles proportionnelles.

Les variables peuvent subir différents types de transformations qui les appauvrissent:

- \* intervalle ---> ordinale,
- \* ordinale ---> nominale,
- \* nominale ---> binaire,

ou les enrichissent:

- \* nominale ---> ordinale,
- \* ordinale ---> métrique.

Il est nécessaire de procéder à une "standardisation" des variables métriques mesurées avec des unités de mesure différentes, afin de supprimer la dispersion et "l'élévation" dans les mesures.

Tableau II-4: Les caractéristiques des différents types d'échelles de mesure

Type d'échelle de mesure -->	Nominale	Ordinale	Echelle d'intervalle	Echelle de rapport
Relations Mathématiques	Equivalence entre les membres d'une même classe	Equivalence entre les objets ayant le même rang Ordre (strict, large, total, partiel). Préordre. Quas.	Equivalence entre les objets ayant la même valeur Ordre large. Rapport entre 2 intervalles	Equivalence Ordre Rapport entre 2 intervalles Rapport entre deux valeurs
Transformation laissant invariantes les données	Substitution $x'=f(x)$ avec $f(x)$ fonction discrète bijective	Transformation monotone $x'=f(x)$ avec $f(x)$ fonction monotone croissante	Transformation linéaire ou affine $x'=ax+b$ $a>0$	Transformation de similarité ou homothétie $x'=cx$ $c>0$
Opérations mathématiques	Mode comptage des éléments par classe Tableau de fréquence	Médiane Quartiles Déciles Coefficient de corrélation de rang de Spearman. Tableau Kendall	Moyenne Variance Ecart-type	Moment d'ordre $h$ : coefficient de corrélation de Pearson
Caractéristiques	Qualitative Discrète	Qualitative Discrète.	Qualitative Discrète ou continue Zéro arbitraire	Qualitative Discrète ou continues Zéro naturel (absence de phénomène)
Exemples	Code donné à des catégories socio-professionnelles	Préférences Attitudes Qualité d'un produit Aspect Esthétique	Températures Dates du calendrier Echelle d'attitude et d'opinion	Longueur Surface Volume Poids Densité Résistance

4- Mode de représentation de données: le choix des variables (caractéristiques des objets) ainsi que leurs échelles de mesure détermine le type de matrice de données. Ces données se présentent sous la forme d'une matrice de n lignes (objets à étudier) et de p colonnes (variables descriptives des objets).

Parmi ces matrices, il existe :

- des matrices métriques ( ou de contingence ),
- des matrices d'occurrence ( ou de fréquence ),
- des matrices de rang,
- des matrices logiques ( ou de présence-absence ),
- des matrices nominales,
- des matrices mixtes,
- des matrices de similarités directement collectées.

La nature de ces matrices de données commande en grande partie le choix de l'indice de proximité entre les objets.

Le choix des objets, des variables significatives, non corrélées entre-elles ainsi que des échelles de mesure, nécessite une bonne connaissance du phénomène à observer, car il s'agit là d'une étape décisive pour le reste de la classification. Cette tâche relève du ressort des spécialistes du domaine à observer.

## B - Codage des données :

L'opération de codage constitue un moyen de représentation des caractéristiques des données sous une certaine forme qui se prête bien à leur traitement.

Il existe plusieurs systèmes de codification parmi lesquels les plus utilisés sont :

1- Code Multi-M [13]:

Il se compose de deux parties : le code principal qui a un format fixe portant sur 19 positions et le code spécifique qui est laissé au libre choix de l'entreprise et se compose de 12 positions.

Ce système est adapté au codage de quatre types de pièces différentes:

- \* pièces de révolution
- \* pièces rondes spéciales
- \* pièces de tôlerie
- \* pièces tridimensionnelles.

La dépendance des variables qualitatives du code Multi-M, nécessite un transcodage de ces dernières afin de les rendre indépendantes les unes des autres. Ce code a été mis au point par la société OIR.

2- Code Opitz [14,15,16,17]:

Il contient 9 positions dont les cinq premières sont des variables qualitatives; elles constituent le code de base alors que les quatre autres sont des variables quantitatives, (sauf la variable du 7<sup>e</sup> rang), elles constituent le code additionnel. L'efficacité de ce code réside dans le fait que ses neuf positions sont entièrement indépendantes. Il est donc précis sans être redondant.

La structure de ce code est bien adaptée pour la classification et le classement des pièces au bureau des méthodes, en raison de son aptitude à décrire le processus de fabrication ( poids du critère de fabrication : 67% ).

3- Code CETIM-PMG : [18]

Il s'agit d'un système de codage semi-standard, développé par le CETIM pour les Pièces Mécaniques Générales. Il est adapté à sept groupes de pièces :

- \* groupe 1: pièces élémentaires usinées de révolution,
- \* groupe 2: pièces élémentaires usinées de non révolution
- \* groupe 3: pièces élémentaires de tôlerie-chaudronnerie issues de tôles,
- \* groupe 4: pièces élémentaires de tôlerie-chaudronnerie issues de profilés,
- \* groupe 5: ensemble et sous-ensemble en construction soudée,
- \* groupe 6: pièces standards du commerce,
- \* groupe 7: moules en matières plastiques.

A l'intérieur de chacun de ces groupes où les pièces sont codées sur un maximum de 15 positions, on trouve les critères suivants :

- morphologie
- dimensions
- éléments de forme
- tolérances
- matières brutes
- traitement thermique et de surface
- quantité et cadence.

Dans chaque groupe, la structure est monocode (non hiérarchisée) et chaque position possède une seule modalité, de 0 à 9, voir définition: annexe 1, page A1.2.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- adapté à chaque entreprise : il peut être utilisé directement ou servir de base, orienté et adapté en fonction de ses objectifs et de son contexte,
- orienté vers le bureau des méthodes mais également utilisable dans toutes les fonctions techniques de l'entreprise,
- simple au plan de la classification,
- "non bloqué" : le système prend en compte une évolution possible de l'entreprise dans ses fabrications (et non un changement intégral de ses fonctions).

Ainsi, toute analyse implique deux opérations successives: d'abord le recueil qui suppose jugement, choix, discernement et bon sens, ensuite le traitement qui nécessite l'intervention de l'utilisateur qui définira les choix et les objectifs à atteindre. Une excellente analyse effectuée sur des données fausses n'a évidemment aucune valeur. Il y a de nombreuses règles à respecter pour effectuer un bon échantillonnage et être à peu près sûr de sa représentativité. Dans cette étude, nous supposons effectués correctement l'opération de recueil et le codage des données et nous nous limitons à leur analyse.

## 2-3-2 - Recherche de familles de produits:

### A - Techniques et Notion de similarité :

Afin de constituer des groupes homogènes de produits, on distingue trois méthodes d'analyse qui sont [19]:

- \* L'observation visuelle,
- \* L'analyse du flux des composants,
- \* La classification.

L'observation visuelle est la méthode la moins sophistiquée et la moins coûteuse. Il est inutile d'insister sur les limites de cette méthode.

La méthode d'analyse du flux des composants repose sur l'analyse de l'écoulement de la production à l'aide des plans de fabrication, des gammes d'usinage... , les pièces sont regroupées par familles sur la base d'une identité de cheminement dans l'atelier. D'après M.-P. Goover [20] , « l'inconvénient de l'utilisation de l'analyse de l'écoulement de la production est qu'elle ne fournit pas de mécanisme de rationalisation des programmes de fabrication. Les feuilles de montage sont prises telles quelles, sans considérer le fait que les programmes peuvent être soit optimaux, soit compatibles, soit logiques ».

La méthode de classification et de codage consiste à examiner les caractéristiques de fabrication ou/et de conception de chaque pièce. Un codage unique identifie les attributs de la pièce. Ensuite des familles sont constituées sur la base des similitudes morpho-dimensionnelles des pièces. Cette méthode sera reprise en détail dans le troisième chapitre.

L'affectation des objets à chacune des familles implique que l'on puisse mesurer le degré de ressemblance des objets entre-eux. Cette mesure est appelée indice de similarité  $S_{ij}$  ou indice de dissimilarité  $d_{ij}$ . Le calcul de la matrice de dissimilarité ou de similarité entre les individus suppose une pré-définition du concept de proximité. Il existe donc un certain nombre d'indices de similarité et de dissimilarité qui sont employés pour calculer la matrice de proximité, ils seront introduits dans le troisième chapitre (3-3-2).

## B - Identification des familles :

Le principe fondamental de la T.G. réside dans le regroupement des objets afin de constituer des familles indépendantes. L'identification de celles-ci nécessite la connaissance des proximités entre les paires d'objets. On cherche à regrouper ces derniers de telle sorte que les éléments d'une famille soient fortement similaires entre eux et que les éléments appartenant à des familles différentes soient très dissemblables.

## C - Interprétation des résultats: [11]

C'est une étape importante de l'analyse; elle permet la validation des résultats obtenus. A partir d'une partition donnée on peut décrire et interpréter les familles, soit en faisant appel à des représentations graphiques, soit en calculant leurs profils, soit enfin en sélectionnant pour chaque famille l'objet le plus représentatif.

1- La représentation graphique :

- a- Diagrammes de dispersion : les objets sont représentés dans un espace à deux dimensions dont les axes sont les vecteurs propres associés aux valeurs propres de la matrice de distances.
- b- Arbres hiérarchiques : les résultats des regroupements successifs peuvent être représentés graphiquement à l'aide d'un arbre hiérarchique ou dendrogramme. L'indice de fusion permet de préciser à quel niveau se forment les familles. Ainsi, le choix du nombre de classes peut se faire en prenant en compte ce niveau qui traduit le degré de dissimilarité des objets dans chaque famille.
- c- Visualisation de la matrice de données : par permutation des lignes et des colonnes, il est possible de faire apparaître des familles d'objets et, à l'intérieur de ces familles les variables qui les caractérisent au mieux. Cette visualisation permet de mettre en évidence les blocs existants.
- d- Visualisation de la matrice de proximité : les familles peuvent être visualisées en permutant les lignes et les colonnes de la matrice de proximité, de façon à ce que les objets appartenant aux mêmes familles soient placés côte à côte.

2- Les profils des familles :

- a- Profils sur les variables actives : les profils peuvent être représentés de deux façons différentes : sous forme de tableau ou sous forme de graphe. Sur le tableau et pour chaque famille sont indiquées la moyenne et la variance de chacune des variables. Sur les graphes sont portés en ordonnée les valeurs moyennes des variables et

en abscisse les noms de ces variables. Une telle description des familles n'est possible que si les variables sont quantitatives. Si elles sont qualitatives (nominales ou binaires), le profil des groupes est le pourcentage d'apparition des modalités des variables dans chaque famille.

Toute variable ayant, à l'intérieur d'une famille, une moyenne et un écart-type similaires à la moyenne et à l'écart-type de la population, sera considérée comme non-"significative" car elle n'apporte pas d'information permettant de différencier la famille par rapport à la population.

b- Profil sur les variables passives : ces variables passives ou descriptives ne seront pas utilisées pour établir la classification mais serviront, une fois celle-ci effectuée, à décrire les familles obtenues.

c- Techniques complémentaires d'interprétation des groupes : en faisant appel à des méthodes statistiques plus avancées que les simples pourcentages ou fréquences, on peut ainsi tester le caractère discriminant d'une variable qualitative (active ou passive). Ceci est obtenu en croisant les classes de cette variable avec les familles de la classification et en calculant un coefficient de Khi-deux. Si la variable est quantitative, on effectuera une analyse de variance.

Une analyse discriminante peut aussi contribuer à une recherche approfondie de la description des groupes obtenus.

### 2-3-3- Création des gammes :

Il existe trois approches fondamentales pour concevoir un système de génération de gammes de fabrication [21]:

- Méthode générative,
- Modèle algorithmique ( ou méthode semi-générative ),
- Méthode des variantes.

La méthode générative est basée sur l'utilisation de systèmes experts. Ces systèmes reposent sur l'élaboration de méthodes de résolution de problèmes capables d'utiliser des connaissances expertes de même nature que celles des préparateurs.

Dans un vrai système génératif de gammes, la succession d'opérations et les paramètres d'usinage sont définis automatiquement sans faire référence à une gamme antérieure et par conséquent cette démarche sort du cadre de l'exploitation d'un code T.G. En réalité, il n'existe pas, à notre connaissance, d'application industrielle d'un tel système. On peut en revanche considérer qu'il existe des approches semi-génératives basées sur un modèle et faisant intervenir la notion de famille de pièces. A chacune de ces familles, est associée une logique d'établissement des gammes, ce qui limitera le spectre des pièces.

La Technologie de Groupe conduit à une automatisation des gammes du type "Méthode des variantes", figure II-3. En effet, le code permet de trouver la gamme d'une pièce très voisine de celle qui est étudiée, ou bien caractérise cette dernière par l'appartenance à une famille, ce qui amène à une gamme type. Dans les deux cas, on réalise finalement la gamme en créant une "variante" d'un document existant. Il est recommandé de créer des "gammes-enveloppes" car elles constituent un complément

très utile de la réorganisation des ateliers. Une première approche de la gamme type sera obtenue en effectuant un calcul des charges et des flux de pièces entre machines pour une famille données. Une analyse de telles informations permet de mettre en évidence quelles sont les machines essentielles et quel est le "circuit caractéristique" dans l'atelier pour les pièces considérées. On peut ainsi établir un cheminement type dans lequel on ne s'intéresse pas à la machine en tant que telle mais à l'opération qu'elle réalise. De ce fait, il appartient au "groupe TGAO" de définir pour chaque famille, une ou plusieurs gammes-type , c'est-à-dire :

- une succession d'opérations (schéma de base pouvant comporter quelques variantes),
- une liste de machines (éventuellement avec des niveaux de priorités),
- des indications permettant au préparateur de compléter la gamme rapidement avec des temps et éventuellement des commentaires.

Notons que cela peut nécessiter la remise en cause de gammes existantes. Il n'est pas cohérent en effet, de continuer avec d'anciennes gammes trop éloignées du standard. Il est essentiel de procéder à une harmonisation de toutes les gammes susceptibles d'être réemployées.

# Méthodes des variantes

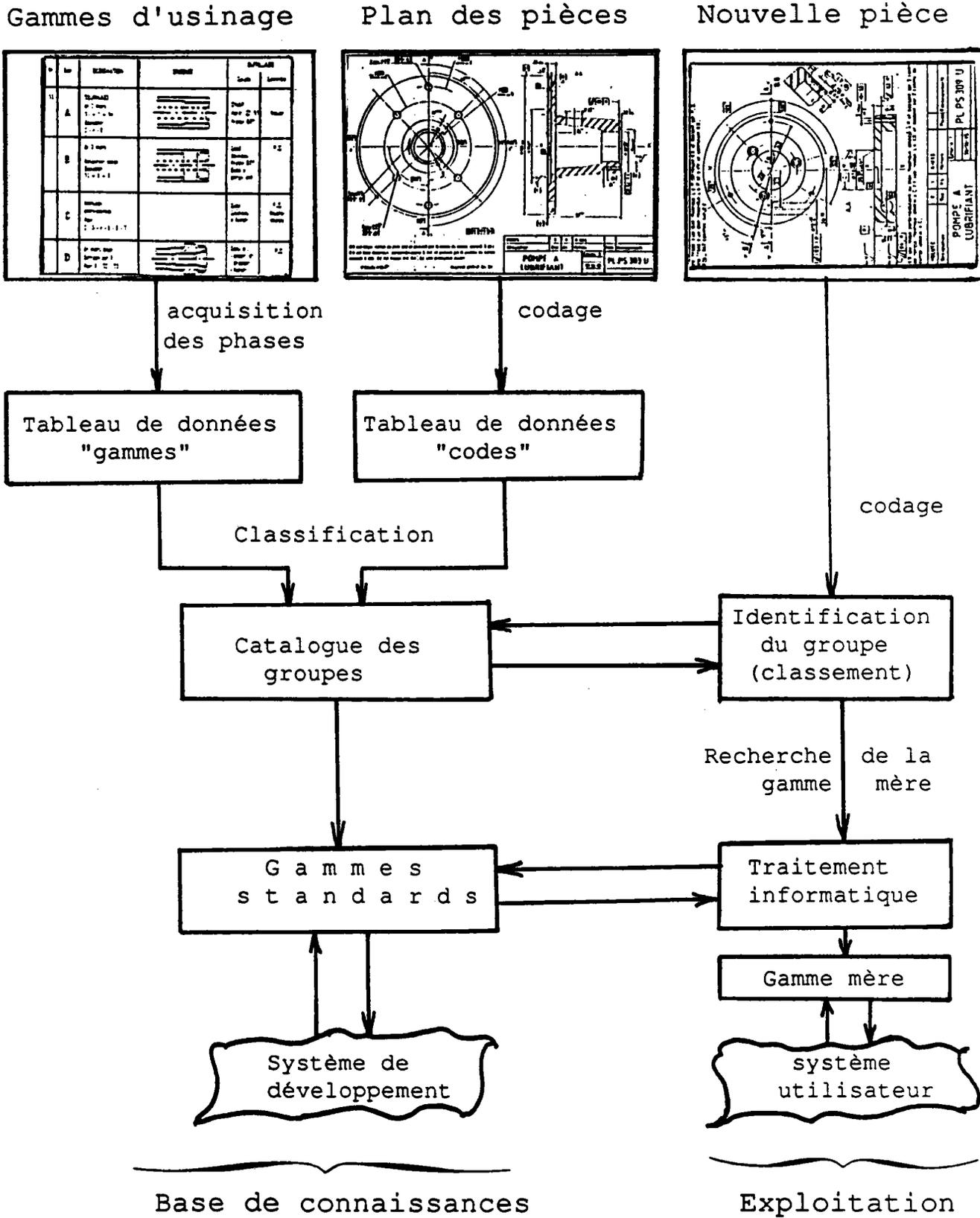


Figure II-3 : Principe de la méthode des variantes.

## 2-3-4- Création des îlots :

Définir un îlot (ou une cellule de fabrication) consiste à dédier un groupe de machines à la réalisation d'une ou plusieurs familles de pièces [21]. Les étapes de la classification, description des groupes et de génération de gammes de fabrication trouvent ici leur prolongement naturel : les machines intervenant dans une gamme-type constituent bien entendu la cellule idéale pour la famille considérée. Malheureusement, le problème n'est pas aussi simple. Si, qualitativement, il est indéniable que l'approche est séduisante, l'étude quantitative est autrement plus complexe d'où :

- a- Une analyse de la charge s'avère indispensable, de manière à assurer un taux d'utilisation acceptable pour l'ensemble des postes :
  - Une charge trop élevée conduit à doubler certains équipements,
  - Une charge trop faible ne peut être tolérée car elle induirait, soit une sous-utilisation de certaines machines, soit une circulation importante de pièces entre les îlots. On préfère donc créer les îlots autour des postes "clés" (machines les plus importantes) et éventuellement grouper plusieurs familles de manière à saturer les équipements coûteux. Notons que ce raisonnement comporte quelques dangers, car poussé à l'extrême, il assimile l'entreprise entière à un gigantesque îlot.
  
- b- Une simulation du comportement de l'îlot lors des fluctuations de la charge est vivement conseillée. Dans certains cas, les variations de la demande peuvent destabiliser complètement le fonctionnement des cellules.

c- Dès qu'une machine est affectée à un îlot, il faut pourvoir à son remplacement dans toutes les gammes de composants qui ne font pas partie des familles usinées dans celui-ci. Là encore, les matrices caractéristiques fournissent les informations nécessaires pour ces modifications, encore faut-il qu'elles soient cohérentes.

d- La composition des îlots étant définie, il convient encore de préciser leur organisation physique de façon à optimiser le transport des pièces entre les machines. Les gammes-type traitées dans la cellule donnent une première approche du circuit idéal, qui peut éventuellement être affiné par une analyse de flux.

## 2-4 - Les avantages :

Les avantages de la Technologie de Groupe se résument dans les points suivants:

- Un gain de productivité dans les tâches répétitives et fastidieuses, donc une meilleure prise en compte des aspects techniques et économiques.
- Une meilleure transmission de l'expérience acquise, qui garantit l'utilisation de solutions performantes et facilite l'adaptation des nouveaux préparateurs.
- Une standardisation des gammes, qui doit entraîner des retombées positives en fabrication (un gain de

temps dans la conception des gammes), outillage, équipement.

- Un gain de temps pour les chiffrages de projet, ce temps gagné par les préparateurs pourra être utilisé à l'amélioration des méthodes de fabrication.
- La création de séries fictives, le regroupement des pièces semblables par famille permet de :
  - \* Standardiser les matières, les dimensions, les outillages,
  - \* Normaliser la gamme des produits finis,
  - \* Economiser sur les besoins en outillages, machines,
  - \* Réduire les temps de réglage sur machine,
  - \* Accroître le phénomène de "séries apparentes".
- La création de cellules ou îlots de fabrication, c' est un objectif ambitieux de réorganisation globale des fabrications qui permet d'orienter efficacement le choix des machines lors des investissements de modernisation, par la meilleure connaissance des pièces à usiner.
- La mise en cause s'il y a lieu, de pièces (ou gammes de fabrication) pour lesquelles il faut revoir le processus de codification ( ou de génération de gammes) et les pièces qu'il faudra sous-traiter.

## 2-5- Conclusion :

Dans un certain nombre de logiciels de la Technologie de Groupe actuellement sur le marché, la recherche des familles s'effectue simplement par des procédures de tri selon les valeurs des modalités des variables du code représentant les données de production, c'est-à-dire les données qui décrivent la pièce et les indications qui permettent de la produire.

Cette technique de "filtrage par peigne" est insuffisante selon nous pour deux raisons principales [22]:

- La première raison a trait à l'utilisation des codes. Dans le "filtrage par peigne", le tri s'effectue à partir de valeurs fournies par l'utilisateur. Ces valeurs initiales sont déterminantes pour le résultat, lequel s'en trouve ainsi biaisé.

- La seconde raison a trait à la technique. Le "filtrage par peigne" ne permet en effet que de regrouper des produits très voisins au sens des valeurs des paramètres retenus pour effectuer la sélection, ce qui est très limitatif. En effet avec cette méthode, deux produits ne figureront dans la même classe que si tous les paramètres retenus par l'utilisateur pour effectuer le traitement ont des valeurs voisines. Or, nous savons bien que deux produits peuvent être "proches" même si, par exemple, les valeurs d'un des paramètres diffèrent beaucoup, à condition, bien entendu, que les valeurs des autres paramètres soient très voisines.

C'est ainsi que, depuis plusieurs années, des travaux ont été entrepris pour appliquer les méthodes d'analyse des données, et en particulier de classification automatique, aux problèmes de reconnaissance de familles de produits.

## CHAPITRE III

### RECHERCHE DE FAMILLES D'OBJETS

### 3- Recherche de familles d'objets :

#### 3-1- Rappel des méthodes de classification automatique:

L'analyse de données d'un échantillon peut être effectuée de deux manières différentes selon les objectifs recherchés: soit par l'utilisation d'une méthode descriptive (exemple : une analyse factorielle) soit d'une méthode de classification automatique ( analyse typologique ).

#### 3-1-1- Méthodes d'analyse factorielle:

C'est une méthode descriptive permettant de procéder à une analyse de données par projection des objets sur un plan factoriel. Ce plan est représenté par des axes factoriels qui correspondent aux plus grandes valeurs propres de la matrice d'inertie (ou de variance-covariance de variables aléatoires). Le choix du nombre d'axes factoriels dépend du pourcentage de décroissance de l'inertie des axes factoriels.

Le nuage des points obtenu par projection des objets sur le plan factoriel nous renseigne sur la façon selon laquelle les objets sont répartis dans l'espace (nombre de classes, les variables les plus significatives, etc...). L'analyse factorielle permet d'initialiser, en particulier, une partition pour la classification automatique.

L'analyse factorielle se présente tout à la fois comme un algorithme de réduction des données qui permet de visualiser un ensemble d'informations avec un minimum de pertes et comme algorithme de recherche des variables "cachées" ou variables structurelles.

Parmi les différentes méthodes d'analyse factorielle, on peut citer :

- L'Analyse en Composantes Principales (ACP) [23],
- L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) [23],
- L'Analyse en Composantes Principales d'un tableau de distances (ACPTD).

#### A- Analyse en Composantes Principales (A.C.P.):

Cette analyse est adaptée au traitement des variables quantitatives qui résultent d'une codification d'un phénomène physique ( exemple: pour une pièce : ses dimensions, la tolérance des cotes .. ). Le calcul des proximités entre objets fait appel à la distance euclidienne.

#### B- Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C.):

L'A.F.C., est un mode de présentation graphique de tableaux de contingence, elle est donc adaptée au traitement de variables qualitatives.

Elle ne s'applique pas directement au tableau de contingence, mais au tableau de fréquence. Dans cette analyse, pour calculer la matrice des distances, on applique la distance de khi-deux sur les variables qualitatives.

L'A.F.C. peut être considérée comme étant une double analyse en composantes principales.

C- Analyse en composantes principales d'un tableau de distances (A.C.P.T.D.):

Cette analyse a un objectif semblable à celui d'une A.C.P.; elle permet de décrire des objets sans s'occuper des variables qui les caractérisent.

Contrairement aux autres méthodes d'analyse, celle-ci s'appuie sur un tableau de distances prédéfini et par conséquent ne s'intéresse pas à l'origine des données (type de variables).

3-1-2- Méthodes de classification :

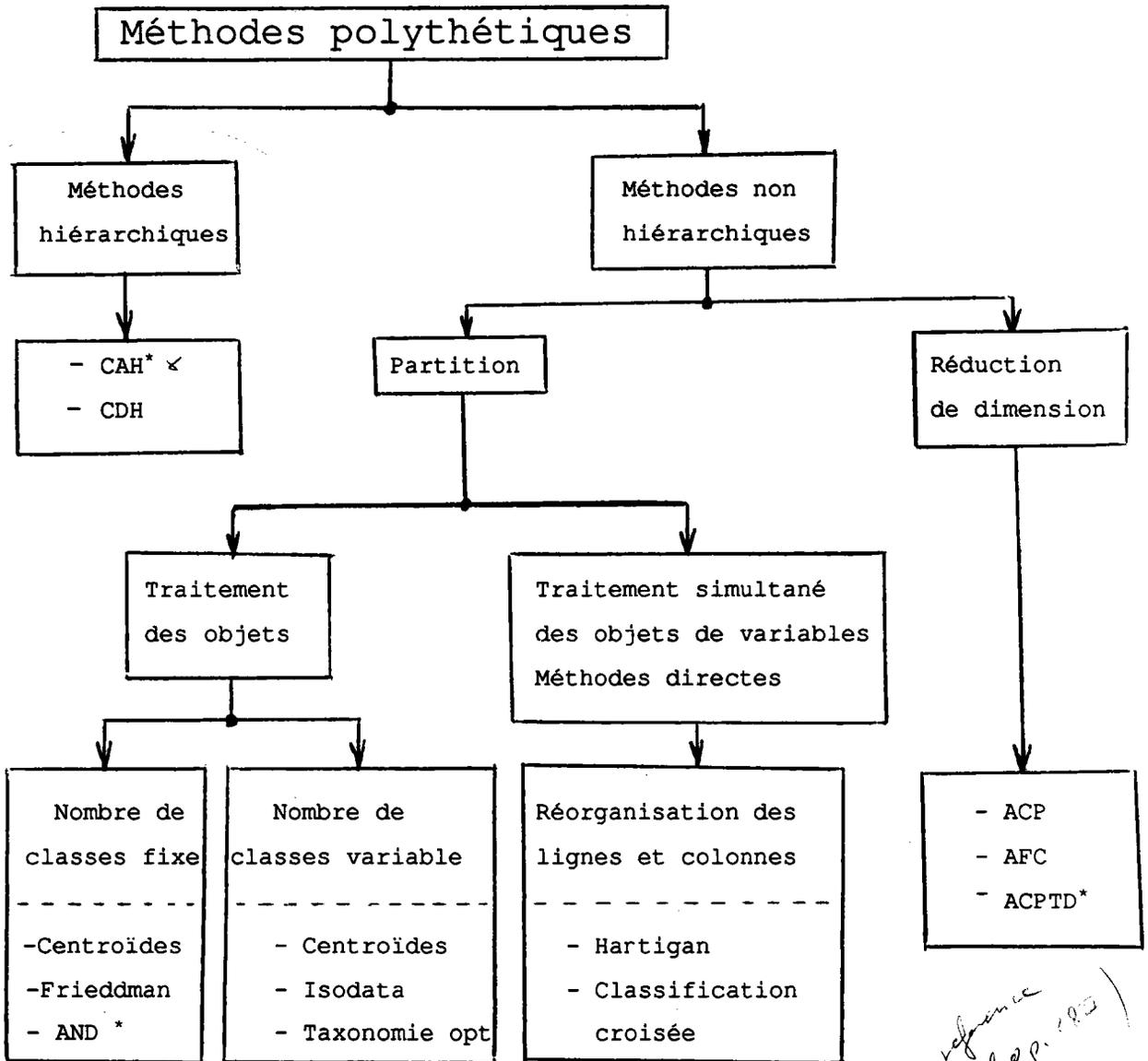
↓  
La décomposition d'un ensemble d'objets en familles relève des méthodes de l'analyse typologique. Parmi celles-ci, on distingue deux grandes catégories [11, 24 à 31]:

A- Méthodes monothétiques:

Elles permettent la construction d'une hiérarchie de partitions par une suite de divisions en deux classes, en ne tenant compte que d'une seule variable à la fois. Le seul avantage de cette méthode est qu'elle procure une clé d'identification (liste d'attributs communs) pour tous les objets appartenant à une seule classe. Elle permet de classer sans calcul tout nouvel élément.

B- Méthodes polythétiques (ou multivariables):

Ces méthodes prennent en compte toutes les variables à la fois (figure III-1):



*pre voir référence  
de III (algèbre p. 182)*

- CAH : Classification Ascendante Hiérarchique, p46
- CDH : Classification Descendante Hiérarchique,
- AND : Algorithme des Nuées Dynamiques,
- ACP : Analyse en Composantes Principales,
- AFC : Analyse Factorielle des Correspondances,
- ACPTD : Analyse en Composantes Principales d'un Tableau de Distances.

(\*) méthodes particulièrement adaptées en Technologie de Groupe.

Figure III-1: Principales méthodes d'analyse des données.

### 3-1-2-1- Méthodes hiérarchiques :

#### A- Méthodes générant une famille de partitions :

Leur objectif est la recherche d'une famille de partitions telle que les recouvrements ou les divisions successives des classes d'objets forment une hiérarchie.

Les méthodes hiérarchiques se subdivisent en deux catégories selon qu'elles utilisent un critère ordinal ou un critère métrique pour constituer les groupes.

A-1 - Hiérarchie ordinale : cette méthode n'utilise que le classement des paires d'objets par ordre de proximité. Elle est donc invariante à toute transformation monotone de la matrice des proximités. Elle se subdivise à son tour en méthodes optimisant un critère local si la proximité entre deux groupes n'est fonction que des proximités entre les objets constituant ces deux groupes, et en méthodes optimisant un critère global si la constitution des groupes fait intervenir la totalité des proximités.

A-2 - Hiérarchie non ordinale : cette méthode utilise les valeurs numériques des proximités entre paires d'objets. Elle se subdivise également en méthodes optimisant un critère local et en méthodes optimisant un critère global. Elle est séquentielle, c'est-à-dire que l'affectation d'un objet à un groupe à la  $i^{\text{ème}}$  étape n'est jamais remise en cause ultérieurement, et combinatoire car les proximités utilisées à l'étape  $i+1$  sont calculées à partir des proximités de l'étape  $i$ . Les algorithmes procèdent, soit par divisions successives (hiérarchie descendante), soit par regroupement (hiérarchie ascendante). C'est cette dernière méthode qui aboutit à un nombre de classes variable (hiérarchie de partitions) que nous étudierons en détail dans le sous-chapitre qui suit.

## B- Méthodes générant une famille de recouvrements :

Elles génèrent une famille de recouvrements ordonnés par la relation de finesse<sup>(1)</sup>. Donc, il n'est pas imposé que deux groupes de même niveau aient une intersection vide. Il est seulement exigé que les groupes soient ordonnés totalement par la relation d'inclusion, c'est-à-dire que les groupes existant à un niveau donné incluent les groupes existant au niveau immédiatement inférieur.

(1) : Définitions données dans l'annexe 1 : page: A1.5.

## 3-1-2-2- Méthodes non hiérarchiques :

Ces méthodes suppriment la contrainte d'inclusion et, par conséquent, la contrainte hiérarchique. Elles visent, soit à l'obtention d'une famille de partitions indicée par le nombre de classes, soit à la construction d'une seule et unique partition d'objets.

Parmi les méthodes non hiérarchiques, on distingue quatre types :

- réallocation,
- recherche de densité,
- réduction dimensionnelle,
- directe (à partir de la matrice des distances).

## A- Méthodes de réallocation :

Un objet affecté à un groupe lors de la *i*<sup>ème</sup> itération peut être réaffecté à un autre groupe lors d'une itération ultérieure de l'algorithme. La réaffectation s'achève lorsqu'il n'existe plus de réallocation qui améliore le critère de classification utilisé. Parmi ces méthodes on distingue celles qui génèrent une partition ( exemple : Algorithme des Nuées

Dynamiques) ou une famille de partitions et celles qui génèrent un recouvrement ou une famille de recouvrements. Le nombre de groupes peut, soit être fixé par l'utilisateur (méthodes objectives), soit déterminé par l'algorithme. La plupart de ces méthodes cherchent à optimiser un critère métrique mesurant l'homogénéité des groupes mais sans garantir l'obtention d'un optimum global.

B- Méthodes de recherche de densité :

Il existe deux approches. Dans l'approche typologique, on recherche les régions contenant les plus fortes concentrations d'objets , par l'approche probabiliste on admet que les variables suivent une loi de probabilité dont les paramètres varient d'un groupe à l'autre. Dans ce cas, on obtient le regroupement des objets ayant la même distribution.

C- Méthodes directes :

Les méthodes présentées jusqu'ici classent les objets sur la base de leurs proximités mesurées sur plusieurs variables. Celles ci peuvent aussi être classées sur la base des proximités entre paires de variables. Les méthodes de classification directe permettent de classer simultanément les objets et les variables.

D- Méthodes de réduction dimensionnelle :

Cette méthode qui fait partie de l'analyse factorielle, permet une description synthétique des données en minimisant l'information perdue. Projection du nuage des points sur les plans principaux.

### 3-2- Comparaison des différentes méthodes:

Les méthodes monothétiques ont l'inconvénient de ne pas prendre en compte l'ensemble des variables, ce qui est très pénalisant lors d'une classification. Les méthodes polythétiques, par opposition aux méthodes monothétiques, tiennent compte de toutes les variables simultanément.

~~Les méthodes de réallocation ont l'inconvénient de ne pas garantir un optimum global; c'est le cas des algorithmes des nuées dynamiques.~~ Dans ces algorithmes, <sup>garanti 1 opti global</sup> il est nécessaire de fixer a priori le nombre de classes. Par contre les méthodes hiérarchiques permettent la génération d'une structure hiérarchique arborescente qui est le reflet de l'évolution des différentes étapes d'agrégation des objets. C'est la méthode de classification ascendante hiérarchique qui a retenu notre attention du fait qu'elle s'appuie sur les valeurs numériques des proximités entre paires d'objets (prise en compte de l'ensemble des variables) et que l'affectation des objets aux différents groupes se fait globalement et selon des critères bien justifiés. Contrairement à la classification descendante hiérarchique qui procède par fusion de groupe d'objets, le regroupement des objets s'effectue selon leur degré de similarité.

Les méthodes hiérarchiques permettent d'obtenir, contrairement aux méthodes non hiérarchiques, toutes les partitions correspondant aux différents regroupements possibles en coupant l'arbre à différents seuils. L'examen de la structure arborescente constitue un outil d'aide dans le choix du nombre de classes à obtenir. Il faut chercher un compromis entre un nombre de classes minimum et une similarité maximum des objets au sein de chacune des classes.

### 3-3- Classification ascendante hiérarchique

#### 3-3-1- Principe de la C.A.H.: [32]

La C.A.H., permet de regrouper les objets d'un ensemble E de telle sorte que les éléments d'une famille soient fortement similaires entre eux alors que les éléments appartenant à des familles différentes soient très dissemblables. En général, on cherche un ensemble de partitions possibles de E:  $1 < k < \text{Card } E$ .

Une telle hiérarchie peut être résumée par un arbre hiérarchique (figure III-2) dont les noeuds (6,7,8,9) symbolisent les subdivisions de l'échantillon, les éléments de ces subdivisions étant les objets (1,2,3,4,5) placés à l'extrémité inférieure des branches qui leur sont reliées; ces objets sont appelés les éléments terminaux.

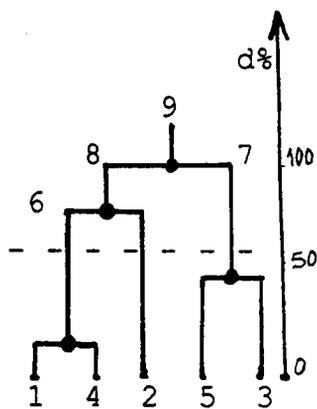


figure:III-2

Le niveau des noeuds "d": (indice de dissimilarité) indique le degré de dissemblance entre les objets correspondants. Ainsi, sur la figure III-2, les objets (1) et (4) se ressemblent plus que les objets (5) et (3). En coupant cet arbre à un niveau intermédiaire entre (7) et (8), on obtient une partition en trois classes de l'ensemble étudié, à savoir les parties (1,4), (2), (3,5). En faisant varier le niveau de troncature on obtient les diverses partitions constituant la hiérarchie.

### 3-3-2- La mesure de similarité:

La plupart des algorithmes de classification s'appuient sur une mesure de proximité. Chaque indice de proximité  $S_{ij}$  (similarité entre deux objets) est un nombre unique qui résume les ressemblances sur toutes les variables caractérisant ces deux objets. Ces indices appliqués sur un ensemble E doivent vérifier les propriétés théoriques suivantes:

- \* 1/ non-négativité :  $S_{ij} \geq 0$  ou  $d_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in E.$
- \* 2/ symétrie :  $S_{ij} = S_{ji}$  ou  $d_{ij} = d_{ji} \quad \forall i, j \in E.$
- \* 3/ normalisation : cette condition permet de distinguer un indice de similarité d'un indice de dissimilarité.

- indice de similarité :

$S_{ij, \max} = 1$ , lorsque l'objet est comparé à lui-même.

Cette propriété s'écrit :

$$S_{ij} = 1 \iff i = j \quad \forall i, j \in E,$$

$$S_{ij} < 1.$$

$S_{ij} > S_{ik}$  implique que l'objet i ressemble davantage à l'objet j qu'à l'objet k.

- indice de dissimilarité :

$d_{ij, \min} = 0$ , lorsque l'objet est comparé à lui-même.

Cette propriété s'écrit :

$$d_{ij} = 0 \iff i = j \quad \forall i, j \in E.$$

$d_{ij} > d_{ik}$  implique que l'objet i ressemble davantage à l'objet k qu'à l'objet j.

Remarques :

Nous appellerons similarité normalisée à 1, un indice de similarité qui vérifie les propriétés de non-négativité, de symétrie et de normalisation.

Nous appellerons indice de distance, un indice de dissimilarité qui vérifie ces mêmes propriétés.

\* 4/ inégalité triangulaire :  $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj} \quad \forall i, j, k \in E.$

\* 5/ inégalité ultramétrique :  $d_{ij} \leq \max(d_{ik}, d_{jk}) \quad \forall i, j, k \in E.$

Il est toujours possible de passer d'un indice de similarité à un indice de dissimilarité (T1) ou l'inverse (T2).

Transformation T1 :  $d_{ij} = 1 - S_{ij}$ .

Transformation T2 :  $S_{ij} = 1 / (1 + d_{ij})$ .

Les méthodes utilisant les indices de ressemblance permettent effectivement d'aboutir à une relation d'équivalence sur les éléments de l'ensemble des données E. Si la matrice des données est booléenne, la mesure de ressemblance se fera par des indices de similarité ou de distances. Sinon, on préconisera des indices de distances pour mesurer la ressemblance. Ainsi, pour la génération d'une matrice de distances, il faudra adapter les mesures de ressemblance en fonction du type de données.

Dans la plupart des applications de la Technologie de Groupe, un objet peut être représenté par deux sous ensembles dont les paramètres sont relativement indépendants. Par exemple pour des applications au bureau des méthodes, E1 sera l'ensemble des codes morphodimensionnels représentant une pièce tandis que E2 sera composé de l'ensemble des gammes de fabrication correspondantes.

On cherche dans un premier temps des familles , sur E2, de gammes de fabrication homogènes puis on affecte à chacune de ces familles l'ensemble des codes morphodimensionnels.

Définissons maintenant les mesures de ressemblance que nous appliquons aux données codées (codes) et aux données non codées (gammes).

### 3-3-2-1 - Mesures appliquées aux codes:

Les variables utilisées pour la codification des pièces sont de deux types, qualitatives ou quantitatives. A chacune d'entre elles nous avons appliqué la distance qui convient le mieux. Nous avons choisi la distance de khi-deux pour les variables qualitatives et la distance euclidienne ( avec ou sans pondération) pour les variables quantitatives.

#### A/ Distance de khi-deux :

$$d^2_{(u,v)} = \sum_{j=1}^{pl} \frac{1}{F_{.j}} \left( \frac{F_{uj}}{F_u} - \frac{F_{vj}}{F_v} \right)^2$$

où :

- $d^2_{(u,v)}$  : distance au carré entre les individus u et v,
- pl : nombre de variables qualitatives,
- $F_{.j}$  : nombre d'individus prenant la modalité j,
- $F_u$  : nombre de modalités prises par l'individu u,
- $F_{uj} = 1$  si l'individu u prend la modalité j (sinon  $F_{uj}=0$ ).

B/ Distance euclidienne :

$$d^2_{ik} = \sum_{j=1}^{pn} w_j (x_{ij} - x_{kj})^2$$

- $d^2_{ik}$  : distance au carré entre l'individu i et l'individu k,  
 $x_{ij}, x_{kj}$  : éléments de la matrice de contingence,  
 $w_j$  : facteur de pondération des distances euclidiennes,  
 $pn$  : nombre de variables quantitatives.

1/ Distance euclidienne non pondérée :  $w_j=1$

$$d^2_{ik} = \sum_{j=1}^{pn} (x_{ij} - x_{kj})^2$$

2/ Distance euclidienne pondérée :  $w_j=1/\sigma_j^2$

$$d^2_{ik} = \sum_{j=1}^{pn} \frac{1}{\sigma_j^2} (x_{ij} - x_{kj})^2$$

$\sigma_j$  : écart-type de la jème variable.

Dans le cas où les objets à traiter sont décrits par deux types de variables (qualitatives et quantitatives), la matrice de distances est la somme des deux matrices de distances sur chacun de ces types, affectées d'un coefficient de pondération.

$$[d] = \beta_1.[d1] + \beta_2.[d2]$$

où :

[d] : matrice de distances résultante,  
[d1] : matrice de distances sur les variables qualitatives  
[d2] : matrice de distances sur les variables  
quantitatives,  
 $\beta_1, \beta_2$ : coefficients de pondération des distances appliquées  
aux variables qualitatives et quantitatives,

avec :

$$\begin{cases} \beta_1 = p_1 \cdot d_{2\text{moy}} / (d_{2\text{moy}} + d_{1\text{moy}}) \\ \beta_2 = p_n \cdot d_{1\text{moy}} / (d_{2\text{moy}} + d_{1\text{moy}}) \end{cases}$$

où :

$p_1$  : nombre de variables qualitatives,  
 $p_n$  : nombre de variables quantitatives,  
 $d_{1\text{moy}}$ : moyenne des distances sur les variables  
quantitatives,  
 $d_{2\text{moy}}$ : moyenne des distances sur les variables  
qualitatives,

La possibilité de traiter deux types de variables différents au sein d'un même ensemble de données tout en éliminant l'effet de taille des distances et en gardant le poids de chaque type de variables, est un avantage majeur pour le traitement simultané des variables qualitatives et quantitatives.

3-3-2-2 - Mesures appliquées aux gammes:

Il existe deux types de données sur les gammes. Les données binaires qui correspondent à la matrice d'absence-présence des poste-machines pour l'exécution des différentes phases sur les pièces. Les données ordinales qui correspondent à la matrice de présence-absence dans laquelle on prend en compte l'ordre des phases. Nous avons retenu trois types de mesure pour générer la matrice de distances :

Type de mesure	indice de similarité	indice de dissimilarité	distance
A- <u>Dice Czekanowski</u>	$S_d = \frac{2P}{2P+N}$	$\$_d = \frac{N}{2P+N}$	$d_d^2 = \frac{N}{2P+N}$
B- <u>Jaccard</u>	$S_j = \frac{P}{P+N}$	$\$_j = \frac{N}{P+N}$	$d_j^2 = \frac{N}{P+N}$
C- <u>Sokal-Sneath</u>	$S_s = \frac{P}{P+2N}$	$\$_s = \frac{2N}{P+2N}$	$d_s^2 = \frac{2N}{P+2N}$

Avec: P : nombre de présences,  
N : nombre de non coïncidences

Tableau III-1 : Transformation des indices de similarité de Jaccard Sokal-Sneath et Dice-Czekanowski en distance à l'aide de l'analyse de Fichet et le Calve [33].

Quant au traitement de la matrice ordinale (présence-absence et ordre des phases ), nous avons choisi la distance du Khi-deux, après transcodage des gammes (4-1-3-3-G/2).

D- Distance de khi-deux: (même définition que pour les codes).

### 3-3-2-3- Traitement simultané des gammes et des codes:

Dans cette étude nous proposons une solution pour traiter simultanément la matrice de distances sur deux ensembles de données : E1(ensemble de données logiques) et E2 (ensemble de données ordinales). Celle-ci consiste à générer une matrice de distances [d] à partir des matrices de distances [d<sub>1</sub>] et [d<sub>2</sub>].

Soient :

- [d<sub>1</sub>] : matrice de distances sur l'ensemble E1,
- [d<sub>2</sub>] : matrice de distances sur l'ensemble E2,
- [d] : matrice de distances sur E1 et E2.
- m<sub>1</sub> : moyenne des distances des éléments de [d<sub>1</sub>],
- m<sub>2</sub> : moyenne des distances des éléments de [d<sub>2</sub>],
- β<sub>1</sub> , β<sub>2</sub> : les coefficients de pondération affectés aux ensembles de données E1 et E2.  
( avec : β<sub>1</sub> = 1 - β<sub>2</sub> )

Par conséquent :

$$[d] = \beta_1 \frac{m_2}{m_1+m_2} [d_1] + \beta_2 \frac{m_1}{m_1+m_2} [d_2]$$

L'avantage de cette méthode est d'offrir la possibilité de prendre en compte, lors du processus de classification, deux ensembles E1 et E2 simultanément à des poids variables (fixés par l'utilisateur). Ceci permet de traiter une plus grande variété de problèmes.

### 3-3-3- Agrégation des objets :

Supposons que l'on désire construire une hiérarchie: l'une des manières de bien procéder serait de choisir un critère évaluant la fidélité de la représentation hiérarchique au tableau initial des données, et de trouver ensuite un algorithme construisant la hiérarchie la meilleure, au sens de ce critère. Malheureusement, on sera vite limité par la taille de l'échantillon et par le choix des critères les mieux appropriés. La solution qui consiste à examiner l'ensemble de toutes les hiérarchies possibles, pour en tirer la meilleure, se heurte au "mur" de la complexité combinatoire; il n'est pas réaliste de les envisager toutes.

C'est pourquoi nous aurons recours à des heuristiques, c'est-à-dire des algorithmes dont on considère qu'ils sont suffisamment fiables pour donner des résultats satisfaisants.

On distingue parmi ces algorithmes trois grandes variantes: ceux qui construisent une hiérarchie par agrégations successives d'objets, puis de groupes, en fonction des distances entre objets ou groupes: classification ascendante hiérarchique, (figure III-3). A l'inverse, les constructions descendantes hiérarchiques procèdent par dichotomies successives. Dans celles-ci l'ensemble tout entier est d'abord scindé en deux, puis chacune de ces parties est à son tour subdivisée. Dans la troisième variante on peut rassembler tout ceux qui se limitent à l'élaboration d'une partition. Par des algorithmes très divers, ces méthodes ont pour objectif de détecter les zones à forte densité dans l'espace des observations.

ALGORITHME ASCENDANT  
(ou agrégatif)

ALGORITHME  
HIERARCHIQUE  
GENERAL

Partition la plus fine

Calcul des dissimilarités  
entre toutes les paires  
de classes de la parti-  
tion obtenue à l'étape  
précédente.

Recherche des deux clas-  
ses  $C_i$  et  $C_j$  les plus  
proches.

Création de la partition  
de niveau  $H$  par fusion  
des classes  $C_i$  et  $C_j$ .

Lorsque la partition la  
moins fine est obtenue.

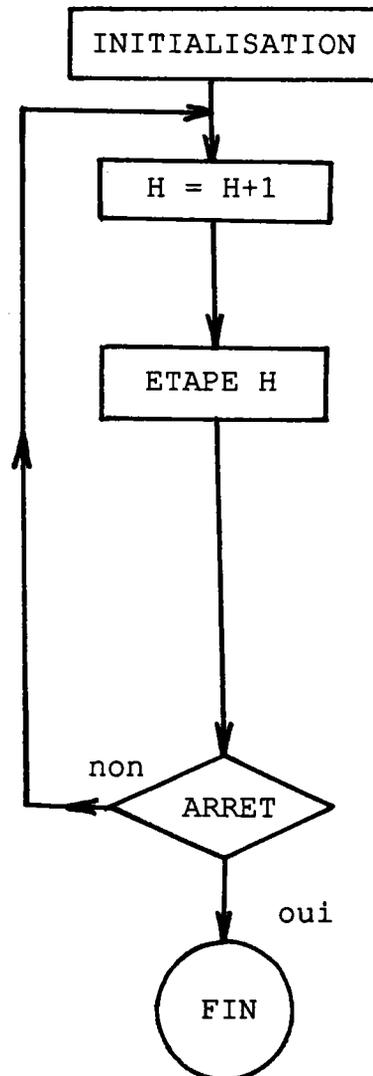


Figure III-3: Algorithme hiérarchique ascendant [11].

### 3-3-4- Les critères de classification:

Le choix du critère de classification varie selon l'objectif recherché, mais quelque soit ce choix, son optimisation par simple énumération est impossible dès que le nombre d'objets à classer dépasse une vingtaine. En effet, le nombre de partitions de n individus en k classes est le nombre de Stirling du deuxième ordre [11] :

$$S(n, k) = \frac{1}{k!} \sum_{i=0}^k (-1)^{k-i} \binom{k}{i} k^n$$

Examinons les critères les plus courants de classification

Soient :

- i, i' : deux objets ou groupes d'objets que l'on veut fusionner,
- k : un autre objet de l'échantillon.

\*  $d(i \cup i', k) = \text{Min}[d(i, k), d(i', k)]$  (1)

\*  $d(i \cup i', k) = \text{Max}[d(i, k), d(i', k)]$  (2)

\*  $d(i \cup i', k) = [p(i) \times d(i, k) + p(i') \times d(i', k)] / [p(i) + p(i')]$  (3)

La formule (1) indique que la nouvelle distance entre le groupe (i, i') et l'objet k est égale à la plus petite des deux distances de i à k et de i' à k. La formule (2) stipule au contraire que la nouvelle distance est égale à la plus grande des deux distances. La formule (3) exprime que la nouvelle distance est la moyenne des distances antérieures.

Dans cette dernière formule,  $p(i)$  et  $p(i')$  désignent le nombre d'objets appartenant respectivement au groupe  $i$  et au groupe  $i'$ . Au début de l'algorithme ces groupes sont réduits à un seul objet mais il n'en est plus de même au bout de quelques étapes.

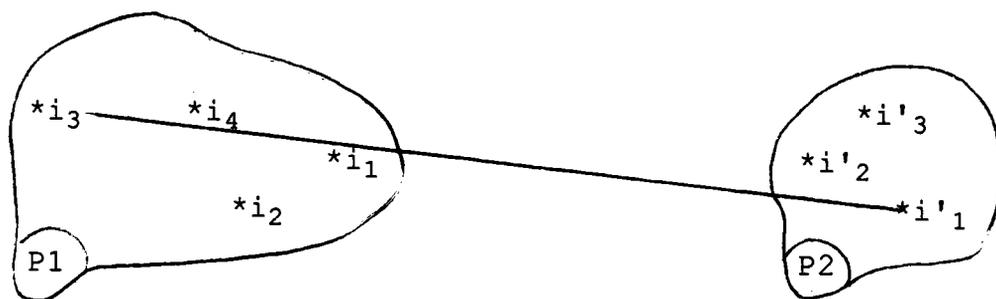
Ces considérations assurent qu'à tout moment la distance calculée entre deux groupes est égale à la moyenne des distances initiales entre les objets de l'un et les objets de l'autre (distances inter-groupes).

Lorsqu'on utilise la formule (1), on dit qu'on procède à l'agrégation par " le saut minimum " ou "le lien simple" (en anglais "simple link"), parce que la fusion de deux groupes est basée sur la plus petite des distances inter-groupes. La hiérarchie basée sur la formule (2) est appelée hiérarchie du " diamètre maximum " ou "lien complet" (en anglais "complete link"), car elle est basée sur la plus grande distance interne au groupe. La classification fondée sur la formule (3) s'appelle hiérarchie de la distance " moyenne ", ("average link").

Parmi ces critères, nous avons retenu celui du diamètre maximum car il n'entraîne pas d'effet de chaînage (cas du critère du saut minimum) et ne nécessite pas un temps de traitement trop long (cas du critère de la moyenne), puisqu'il ne calcule pas la moyenne des distances des éléments du groupe lors de la fusion de deux objets ou groupes d'objets, mais il retient la plus grande des deux distances. Ainsi, la fusion de deux groupes d'objets est basée sur la distance des objets les plus éloignés de part et d'autre des deux groupes.

Soient :  $d(i, i')$  la distance initiale sur  $E$ ,  
 $P_1$  et  $P_2$  deux classes de  $I$ ,

$$S(P_1, P_2) = \text{Max } d(i, i') \quad \text{pour } i \in P_1 \text{ et } i' \in P_2.$$



Dans cet exemple, la distance retenue est  $d(i_3, i'_1)$ .

Remarque :

Une observation est assignée à un groupe si elle est plus proche de toutes les observations de ce groupe que de toutes les observations d'un autre groupe.

En résumé, l'algorithme que nous avons retenu se structure de la manière suivante:

A partir de la matrice de distances, on cherche les deux objets les plus proches afin de les réunir. D'après le critère du diamètre maximum, on retient la plus grande distance entre l'un des deux objets et le reste des objets. Le processus est réitéré jusqu'à ce que tous les objets aient été réunis dans un seul groupe.

Ceci se traduit au niveau de la matrice de distances par la réduction d'une dimension à chaque étape. Ainsi, deux lignes et deux colonnes (deux objets) sont remplacées par une seule ligne et une seule colonne qui constituent l'objet fictif créé par l'agrégation.

3-3-5- Exemple académique:

Dans ce qui suit, nous montrons à partir d'un exemple simple les caractéristiques de l'algorithme de classification ascendante hiérarchique retenu.

Les données à analyser représentent une répartition de 12 points (individus) dans un espace à deux dimensions (V1 et V2).

MATRICE DE DONNEES

Nombre d'individus n = 12  
Nombre de variables m = 2

I \ V	V1	V2
1	2	11
2	4	7
3	9	4
4	14	5
5	7	10
6	17	9
7	10	6
8	6	2
9	12	14
10	11	10
11	14	11
12	8	11

\* Calcul des moyennes et écarts types des variables de type (2) {quantitatives}

Variable	V1	V2
Moyenne	9.50	8.33
Ecart-type	4.21	3.37

distances euclidiennes :

Moyenne	= 63.576	Ecart type	= 49.670
---------	----------	------------	----------

\* Création du fichier des distances euclidiennes ...  
( 66 valeurs calculées.)

Matrice de distances

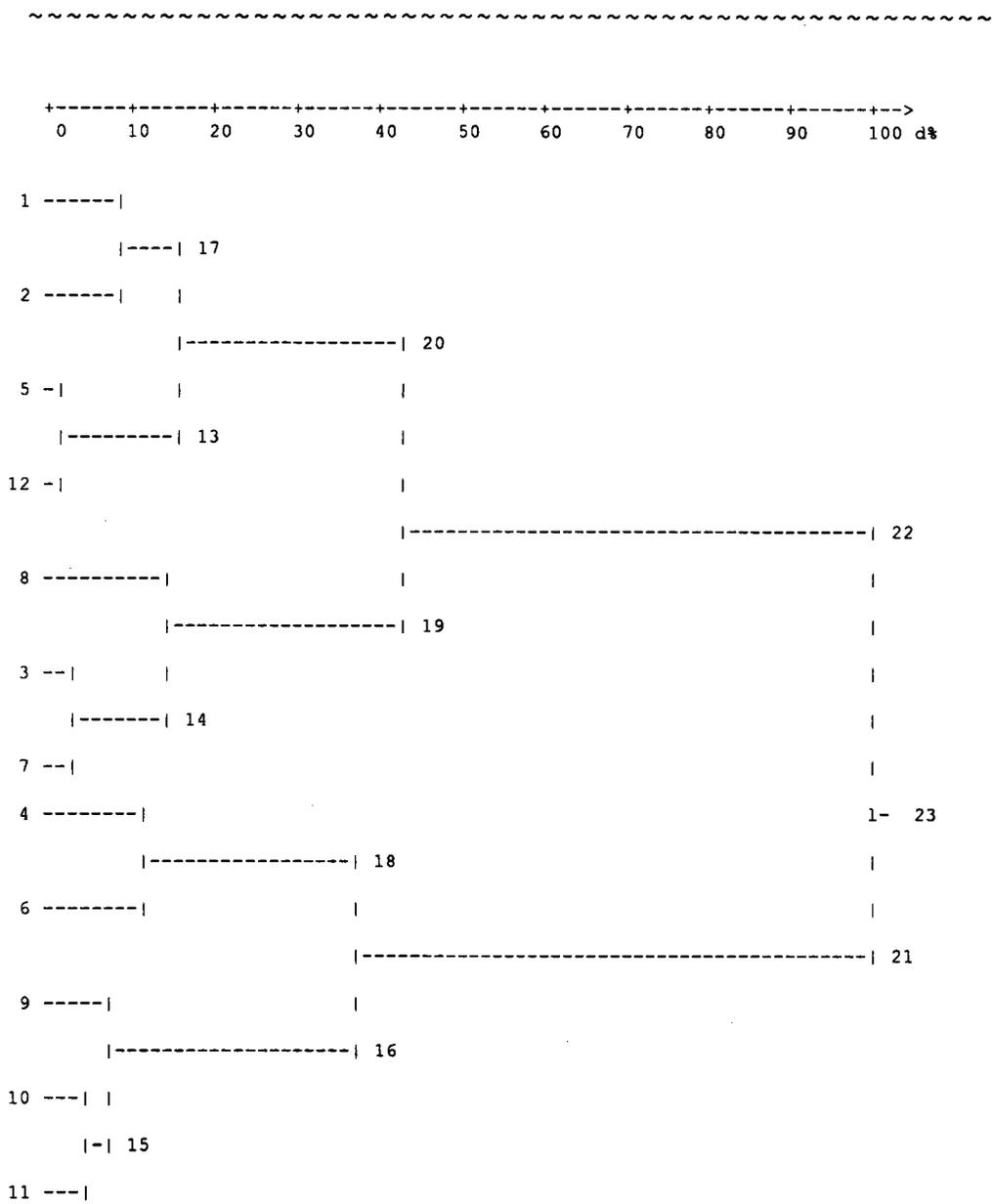
I/I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0											
2	20	0										
3	98	34	0									
4	180	104	26	0								
5	26	18	40	74	0							
6	229	73	89	25	101	0						
7	89	37	5	17	25	58	0					
8	97	29	13	73	65	170	32	0				
9	109	113	109	85	41	50	68	180	0			
10	82	58	40	34	16	37	17	89	17	0		
11	144	116	74	36	50	13	41	145	13	10	0	
12	36	32	50	72	2	85	29	85	25	10	36	0

La matrice de distances sert de données d'entrée pour le module de classification. Ce module fournit comme résultat intermédiaire les différentes étapes l'agrégation des individus et trace l'arbre hiérarchique correspondant.

Tableau des individus agrégés

Noeuds	Aines	Benjamin	Niveau
13	12	5	2
14	7	3	5
15	11	10	10
16	15	9	17
17	2	1	20
18	6	4	25
19	14	8	32
20	17	13	36
21	18	16	85
22	20	19	98
23	22	21	229

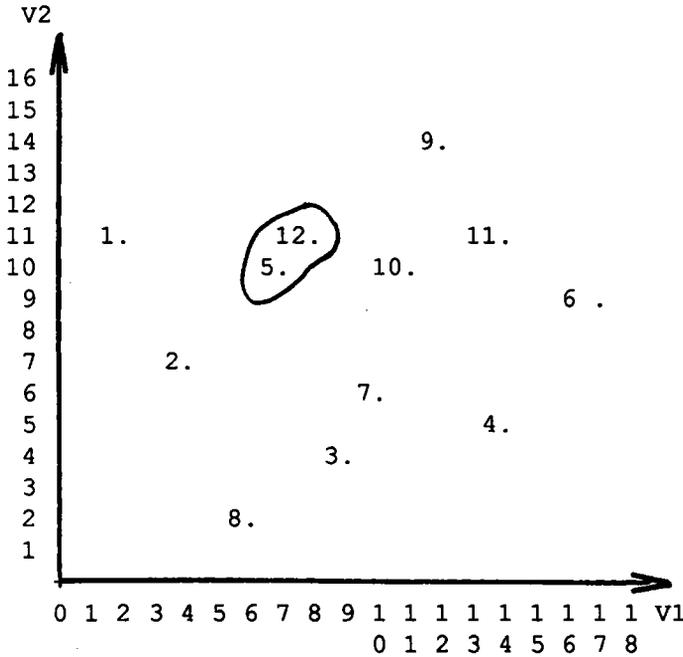
Tracé de la structure hiérarchique pour 12 individus :



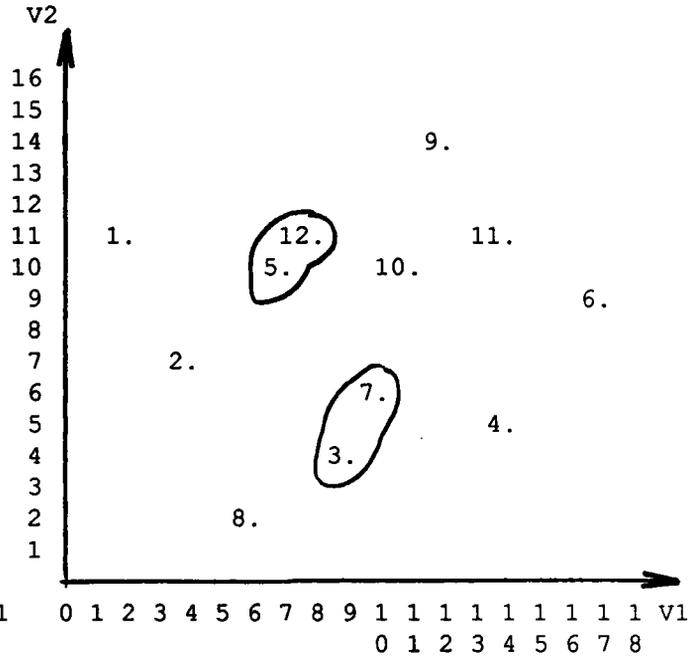
A l'issue de cette étape, l'utilisateur choisit le nombre de classes et le logiciel effectue un découpage vertical de l'arbre à un niveau qui correspond au nombre de classes choisi auxquelles il associe une liste d'individus ainsi que leur degré de similarité.

Les figures suivantes, relatives à cet exemple, permettent de suivre les différentes étapes d'agrégation de l'algorithme utilisé.

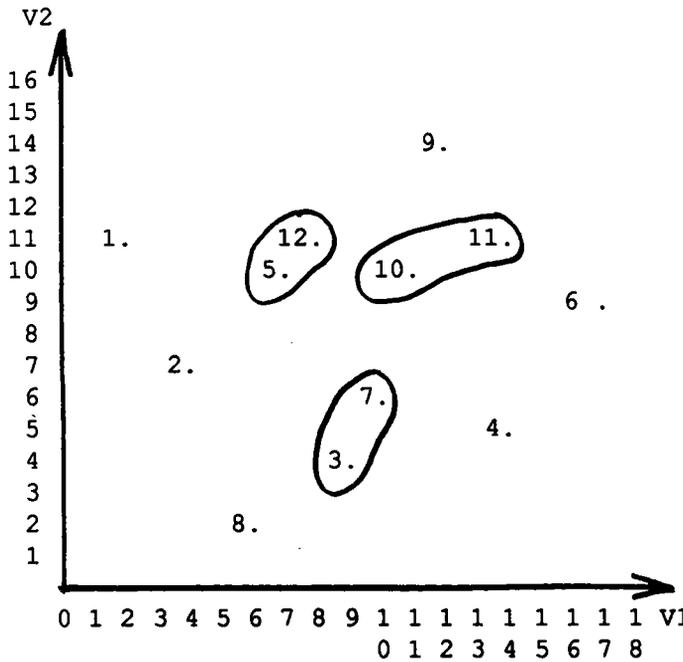
Présentation des phases d'évolution de l'agrégation :



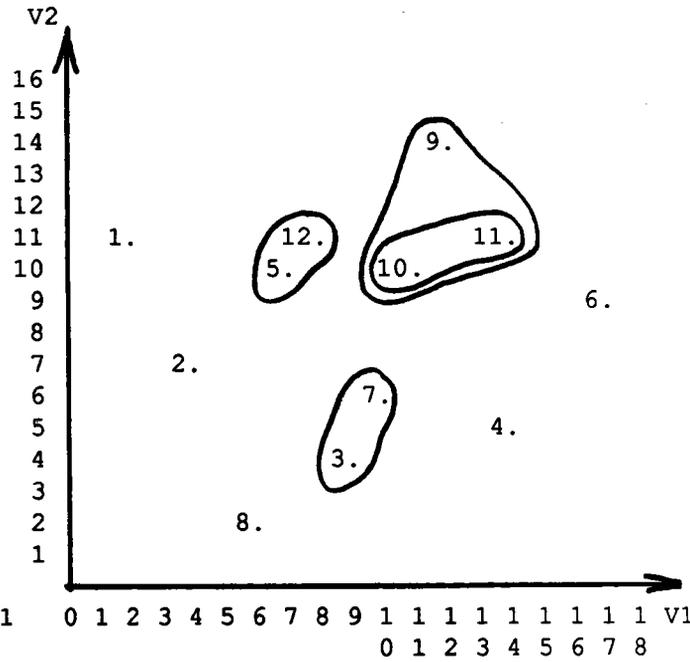
Partition en 11 classes



Partition en 10 classes

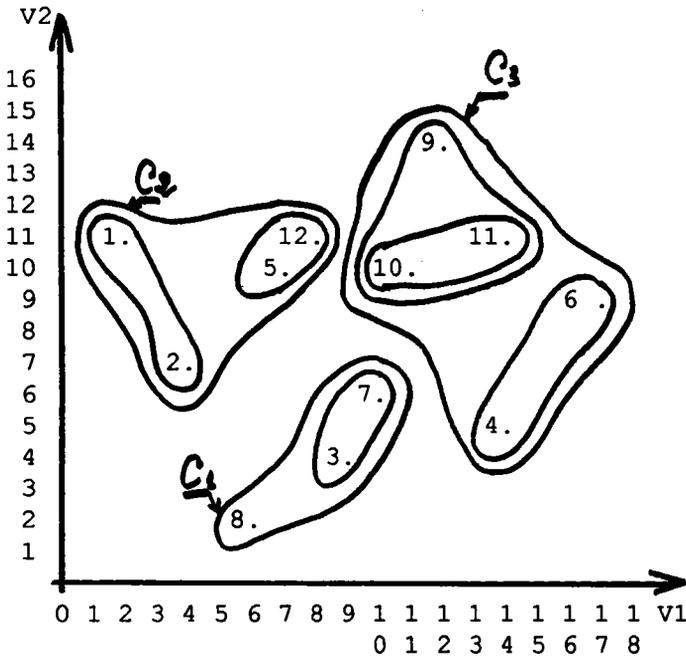


Partition en 9 classes



Partition en 8 classes





Partition en 3 classes

Classe C1:

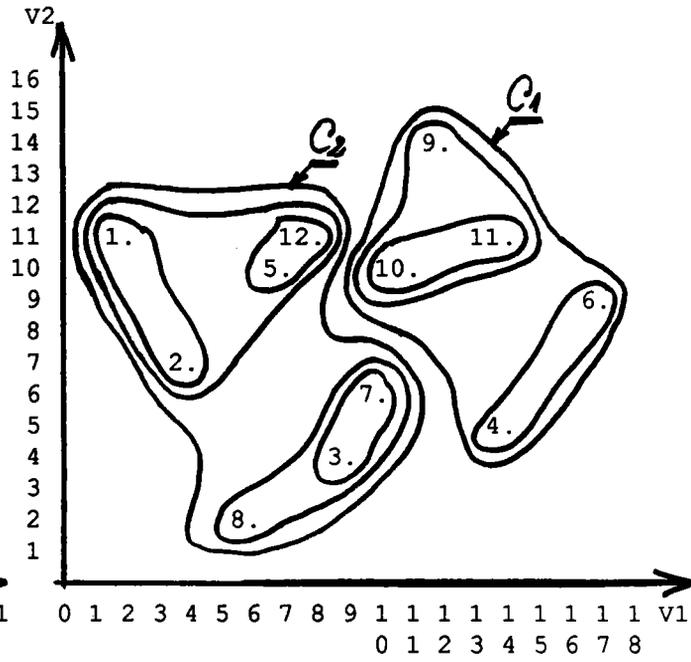
3 individus: 3 7 8  
similarité = 86 %

Classe C2:

4 individus: 1 2 5 12  
similarité = 85 %

Classe C3:

5 individus: 4 6 9 10 11  
similarité = 63 %



Partition en 2 classes

Classe C1:

5 individus: 4 6 9 10 11  
similarité = 63 %

Classe C2:

7 individus: 1 2 3 5 7 8 12  
similarité = 57 %

CHAPITRE IV

IV - LOGICIEL C.A2.D.I.

## 4- Logiciel C.A<sub>2</sub>.D.I. :

### 4-1- Présentation du logiciel :

#### 4-1-1 - Structure générale :

Le logiciel de Classification Automatique Ascendante des Données Industrielles (C.A<sub>2</sub>.D.I.) est écrit en pascal standard et utilise une station de travail Apollo (DN 3000). Il se compose de cinq modules complémentaires. Les résultats de traitement d'un module serviront de données d'entrée pour le module suivant. Ces résultats sont stockés dans des fichiers intermédiaires dont les noms sont pour certains figés et pour d'autres laissés au libre choix de l'utilisateur. Cette structure (figure IV-1) autorise une grande flexibilité dans l'utilisation du logiciel.

Les cinq modules sont :

- \* Module de filtrage des données (M1),
- \* Module de gestion des données (M2),
- \* Module de calcul des ressemblances (M3),
- \* Module de classification automatique ascendante (M4),
- \* Module de description des classes et de recherche des formes fortes (M5).

Tableau d'association des fichiers aux différents modules:

<i>Module</i>	<i>type de fichier :</i>	<i>nom de fichier :</i>
M1	données brutes données filtrées	"données_brut.dta" "mat.cod" ou "mat.gam"
M2	pondération des individus pondération des variables correspondance des machines concaténation des machines concaténation des modalités données binaires données traitables	"pond_ind" "pond_var" "mat_post.dta" "concat.gam" "concat.cod" "matbol" "matrel"
M3	distances sur les codes distances sur les gammes distances sur codes/gammes distances formes fortes	"dis_cod.res" "dis_gam.res" "dis_cod_gam.res" "dis_ff.res"
M4	partition sur les codes partition sur les gammes partition sur cod./gam.	"clas_cod.res" "clas_gam.res" "clas_cod_gam.res"
M5	profil partition codes profil partition gammes formes fortes des partitions	"prof_part.cod" "prof_part.gam" "ff.res"

M E N U

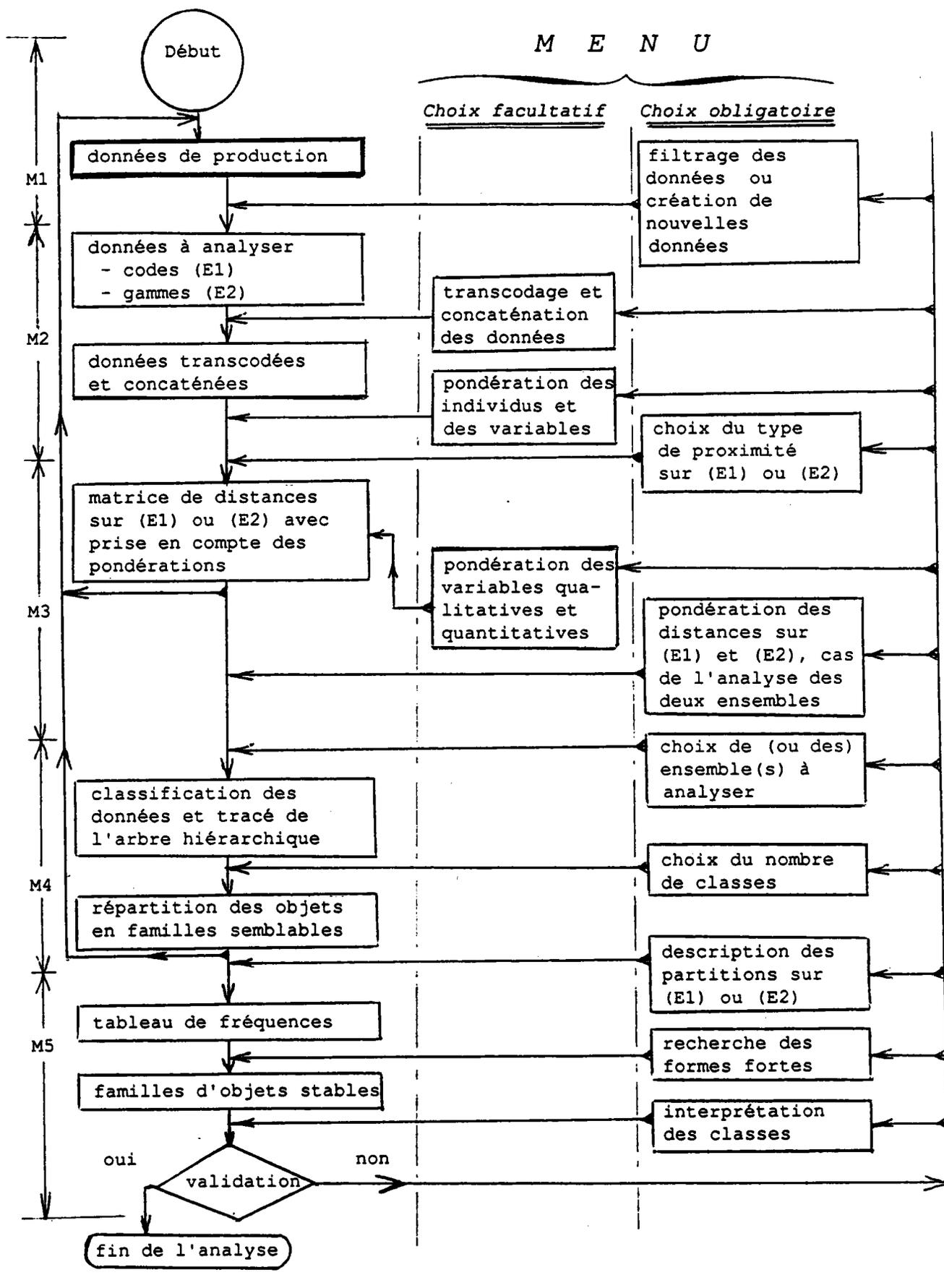


Figure IV-1 : Structure des modules.

#### 4-1-2 - Module de filtrage des données: (M1)

Il est souvent judicieux de procéder à un filtrage des données de base afin de réduire la taille du tableau à analyser et d'extraire l'essentiel de l'information qui nous intéresse. Ces données doivent être mises sous un format fixe afin de simplifier leur exploitation et leur identification.

##### 4-1-2-1 - Organisation des données:

Compte tenu des informations associées aux articles, nous proposons une structure sous forme de champs d'enregistrement des différents attributs.

Les attributs retenus sont :

- \* Référence interne de la pièce : référence attribuée à la pièce lors de son intégration dans le processus de fabrication par l'entreprise.
- \* Référence réelle de la pièce : clé d'approvisionnement de la pièce; c'est elle qui figure dans les catalogues.
- \* La date de lancement de la pièce : date qui correspond au lancement des travaux d'exécution de la pièce.
- \* Le nombre de pièces par lot : quantité de pièces fabriquées lors d'un même lancement.
- \* Le temps d'exécution d'une pièce : temps d'usinage nécessaire sans tenir compte du temps mort ( montage, réglage, démontage de la pièce et la préparation du poste de travail ).

\* Le code de la pièce : code d'identification de la pièce à partir d'un certain nombre de variables caractéristiques: code Technologie de groupe; annexe1, page A1.2.

\* La gamme de la pièce : une suite de phases ordonnées.

Structuration du fichier de données brutes : annexe 2, page A2.2

Exemple de champs d'enregistrement :

70	6	6	3	6		19		10											8										
1	311140	270779	2	388888	1	7	6	4	3	4	1	4	5	2	5	1	5	9	3	0	4	0	5	fra	sta	rep	frc		
2	266641	160669	2	333333	1	7	5	1	3	1	7	2	8	1	5	1	2	9	3	1	4	1	3	rab	rep	aju	tth.		
70	177735	140488	2	222222	1	7	2	4	3	4	1	2	8	1	6	1	4	9	3	3	4	0	7	fra	aju	tth	rpp.		

Légende de l'en-tête:

- 70: nombre total d'articles,
- 6-6-3-6: nombre de caractères par champ d'enregistrement,
- 19: nombre de variables dans le code,
- 10: nombre de modalités par variable,
- 8: nombre de phases maximum.

4-1-2-2 - Présentation du module de filtrage :

Ce module permet de sélectionner des données selon certains critères (exemple : nous pouvons extraire toutes les pièces dont la gamme fait appel à une phase de fraisage ou toutes celles dont le quatrième digit du code est égal à 3, 5 ou 6).

Structure du menu principal :

```
=====
=          FILTRAGE DES DONNEES          =
=====
=
=   Selon :
=
M =   a - Le Code
E =
N =   b - La Gamme
U =
P =   c - Le Nb.de pièces/lot
R =
I =   d - Le Temps d'exécution de la pièce
N =
C =   e - La Référence réelle de la pièce
I =
P =   f - La date de lancement de la pièce
A =
L =   g - La méthode ABC
=
=
=   -----
=
=   q - Quitter
=
=                                     L.A.E.I.
=====
```

4-1-2-3 - Critères de filtrage des données:

Parmi les critères retenus, on trouve :

- A- le code,
- B- la gamme,
- C- le nombre de pièces par lot,
- D- le temps d'exécution de la pièce,
- E- la référence réelle de la pièce,
- F- la date de lancement de la pièce.
- G- la méthode ABC.

A - A partir du code :

Le code peut constituer un critère de choix des données dans la mesure où on fait intervenir les modalités des variables.

Après avoir rentré ces variables et leurs modalités, on passe au choix du type de données à filtrer. Parmi ces données, on distingue la référence interne de la pièce suivie de l'un des cinq attributs suivants :

- Le code,
- La gamme,
- Le temps d'exécution,
- La date de lancement,
- La référence réelle,
- L'ensemble des attributs.

Structure du menu secondaire n°1 :

```
=====
=          FILTRAGE BASE SUR LE CODE          =
=====
=
=  A partir du CODE DE LA PIECE,
M =
E =  On Selectionne :
N =
U =  -----
=
=    a - Le Code correspondant
=
S =    b - La Gamme correspondante
E =
C =    c - Le Temps d'exécution de la pièce
O =
N =    d - La date de lancement de la pièce
D =
A =    e - La Référence réelle de la pièce
I =
R =    f - Toutes les données
E =
=  -----
=    r - Retour au menu principal
=
=                                     L.A.E.I. =
=====
```

L'exemple suivant montre comment à partir du critère de choix "code", s'effectue le filtrage des références des pièces avec leur code correspondant.

Nous sélectionnons parmi les 70 pièces de l'exemple de l'annexe 2, page A2.3, celles pour lesquelles les modalités (valeurs numériques) de la variable 3 sont: 4 - 5 - 9 et les modalités de la variable 7 sont: 0 - 2 - 4.

Exemple de filtrage :

```
CHOIX -----> : a

    Le rang de la variable (ou 0) = 3
Les modalités de V3 (ou 999) -->: 4
                                -->: 5
                                -->: 9
                                -->: 999

    Le rang de la variable (ou 0) = 7
Les modalités de V7 (ou 999) -->: 0
                                -->: 2
                                -->: 4
                                -->: 999

    Le rang de la variable (ou 0) = 0
Fichier d'écriture des résultats obtenus ---> code.dta
fin de chargement de la matrice des codes
```

Les données sélectionnées sont :

<u>Références</u>	<u>Code</u>
3	1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3
13	1 7 5 1 3 8 4 4 1 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7
15	1 7 5 1 3 8 4 3 7 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7
18	1 7 5 1 3 7 2 1 3 1 2 1 0 9 3 0 4 0 3
47	1 7 5 1 3 4 0 4 5 1 5 1 4 9 3 1 4 0 7
48	1 7 5 1 3 1 0 2 9 1 4 1 1 9 3 1 4 1 7
49	1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3
50	1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3
51	1 7 5 1 3 1 0 3 0 2 9 2 9 9 3 3 4 0 7

B - A partir de la gamme :

Le filtrage des pièces peut aussi s'effectuer à partir des postes-machines. Pour diverses raisons de fabrication, on souhaite connaître à tout moment les pièces qui nécessitent ou non l'utilisation d'un ou plusieurs poste-machines. Le menu suivant permet de répondre à ce problème.

Structuration du menu secondaire n°2 :

```

=====
=          FILTRAGE BASE SUR LA GAMME          =
=====
=
=  A partir de LA GAMME DE LA PIECE ,
M =
E =  On Sélectionne :
N =
U =  -----
=
=    a - Le Code correspondant
=
S =    b - La Gamme correspondante
E =
C =    c - Le Temps d'exécution de la pièce
O =
N =    d - La date de lancement de la pièce
D =
A =    e - La Référence réelle de la pièce
I =
R =    f - Toutes les données
E =
=  -----
=    r - Retour au menu principal
=
=
=
=====
L.A.E.I.
=====

```

L'exemple suivant montre comment à partir du critère de choix "gamme" s'effectue le filtrage des références des pièces avec leurs gammes correspondantes à partir de l'exemple de l'annexe 2, (page A2.3). Ce filtrage est basé sur la présence du poste de rabotage (rab).

Exemple de filtrage:

```

          CHOIX -----> : b
Connaissez-vous les rangs des postes de travail à sélectionner ? (o/n) : n
Les types de poste de travail -->: rab
          (ou fff) -->: fff

```

```

Fichier d'écriture des résultats obtenus ---> mat.gam
Ce fichier existe déjà. Voulez-vous l'effacer ? (o/n) ---> o

```

<u>Références</u>	<u>Gammes</u>
2	rab rep aju tth rep
3	rab fra aju tth rpp
17	rab fra aju tth rpp
23	rab fra aju tth rpp
27	rab rep fra aju tth rep
28	rab rep frp aju tth rep
29	rab fra aju tth rpp
30	rab fra aju tth rpp
31	deb rab rep fra aju tth rpp
32	deb rab rep frc aju tth rpp

Références

Gammes

33	rab rep frp aju tth rpp
34	rab rep fra aju tth rpp
35	rab rep frp aju tth rpp
38	rab sta rep fra aju tth rpp
39	rab sta rep fra aju tth rie
46	rab rep frp aju tth rpp
55	rab rep frp aju tth rpp
56	rab rep frp aju tth rpp
57	rab rep frp aju tth rpp
58	rab rep frp aju tth rpp
61	rab rep fra aju tth rpp
62	rab rep fra aju tth rpp

C - A partir du nombre de pièces/lot :

Le filtrage basé sur le nombre de pièces par lot permet de filtrer toutes celles qui ont une valeur comprise entre le seuil minimum et le seuil maximum choisi. Il est évident que ce nombre peut avoir une influence sur le processus de fabrication car il est plus avantageux d'avoir un nombre de pièces important par lot que des lots d'une pièce.

D - A partir du temps d'exécution de la pièce :

Le filtrage basé sur le temps d'exécution des pièces permet de filtrer toute celles qui nécessitent un temps compris entre le seuil minimum et le seuil maximum choisi. Il est évident que ce temps peut avoir une influence sur le processus de fabrication car il est plus intéressant pour une entreprise de traiter des pièces qui demandent un temps d'exécution relativement long (valeur ajoutée importante) que celles qui demandent très peu de temps et nécessitent un temps de montage, réglage et démontage important.

E - A partir de la référence réelle de la pièce :

Pour une raison de commande ou d'approvisionnement, il est intéressant de connaître les références internes ainsi que d'autres attributs des pièces en question afin de s'y intéresser plus qu'à d'autres.

Après avoir rentré une liste des références réelles, nous effectuons le choix du ou des attributs qu'on souhaite obtenir.

Structuration du menu secondaire n°5 :

```
=====
=          FILTRAGE BASE SUR LA REFERENCE REELLE          =
=====
=
= A partir de LA REFERENCE REELLE de la pièce,
M =
E = On Sélectionne :
N =
U = -----
= a - Le Code correspondant
=
S = b - La Gamme correspondante
E =
C = c - Le Temps d exécution de la pièce
O =
N = d - La date de lancement de la pièce
D =
A = e - La Référence réelle de la pièce
I =
R = f - Toutes les données
E =
= -----
= r - Retour au menu principal
=
=
=====
=
=
=====
L.A.E.I.
=====
```

F - A partir de la date de lancement :

Le filtrage basé sur la date de lancement de la pièce permet de filtrer toute celles dont la date est comprise entre deux périodes. Il est évident que ce nombre peut contribuer à diverses statistiques ; évolution du pourcentage d'intégration des pièces, calcul des coûts, ...

Structuration du menu secondaire n°6 :

```

=====
=          FILTRAGE BASE SUR LA DATE DE LANCEMENT          =
=====
=
=  A partir de LA DATE DE LANCEMENT de la pièce ,
M =
E =  On Sélectionne :
N =
U =    a - Le Code correspondant
=
S =    b - La Gamme correspondante
E =
C =    c - Le Temps d'exécution de la pièce
O =
N =    d - La date de lancement de la pièce
D =
A =    e - La Référence réelle de la pièce
I =
R =    f - Toutes les données
E =
=    r - Retour au menu principal
=
=
=
=====
L.A.E.I.
=====

```

G - Méthode ABC :

Cette méthode facilite l'identification de trois catégories de pièces selon leur temps d'exécution, le nombre de pièces par lot ou le temps d'exécution du lot. Elle a l'avantage de répartir les pièces dans chacun des groupes. Ainsi, nous pouvons sélectionner celles qui nécessitent un temps d'usinage plus ou moins long, de 0 à 50%, puis de 50 à 75% et ensuite de 75 à 100%.

Remarque: le module de filtrage permet de générer deux types de fichiers qui sont analysés par les modules: M2, M3, M4 et M5.

fichier gammes :

fichier codes :

```

1 fra sta rep frc aju tth rpp
2 rab rep aju tth rep
- - - - -
- - - - -
70 fra aju tth rpp

```

```

1 1 7 6 4 3 4 1 4 5 2 5 1 5 9 3 0 4 0 5
2 1 7 5 1 3 1 7 2 8 1 5 1 2 9 3 1 4 1 3
3 1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3
- - - - -
- - - - -
68 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7
69 1 7 1 4 3 0 1 2 9 2 0 1 6 9 3 3 4 0 7
70 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7

```



#### 4-1-3-2 - Organisation des données:

Dans le traitement des données, il y a deux types de fichiers à exploiter:

A- Les fichiers gammes : ils contiennent un en-tête et une suite de lignes.

\* Chaque en-tête comprend quatre enregistrements :

- le nombre d'articles traités,
- le nombre de phases. Avant transcodage, il indique le nombre de phases maximum de la gamme la plus "complète". Après transcodage, il exprime le nombre maximum de phases différentes que nécessitent toutes les gammes sélectionnées,
- le nombre de phases maximum de la gamme la plus "complète" ,
- un nombre qui correspond aux différents types de manipulations qu'avait subi le fichier des données.

Soit 0 : si le fichier n'a subi aucune transformation,  
1 : si les données du fichier sont transcodées,  
2 : si en plus ces données ont été concaténées,  
3 : si les données ont été transformées en leur équivalent binaire,  
4 : s'il s'agit d'une matrice de partitions pour la recherche des formes fortes.

\* Une suite de lignes où chacune commence par le numéro de référence interne de la pièce et une suite ordonnée de phases (postes-machine).

exemple de données gammes :

```
70          8          8          0
  1 fra sta rep frc aju tth rpp
  2 rab rep aju tth rep
  3 rab fra aju tth rpp
  4 fra aju tth rpp
 14 fra sta rep frp aju tth rpp ele
    etc...
```

B- Les fichiers codes : ils contiennent un en-tête et une suite de lignes.

- L'en-tête comprend le nombre d'articles enregistrés, le nombre de variables du code utilisé, le nombre de modalités maximum des variables de ce code, un nombre qui indique l'état des données (voir cas des fichiers gammes).

- Une suite de lignes où chacune commence par le numéro de référence interne de la pièce (qui coïncide dans ce cas particulier avec le numéro de la ligne) et une suite de modalités des variables qui interviennent dans le code.

exemple de données codes :

```

70          19   10           0
1  1 7 6 4 3 4 1 4 5 2 5 1 5 9 3 0 4 0 5
2  1 7 5 1 3 1 7 2 8 1 5 1 2 9 3 1 4 1 3
3  1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3
4  1 7 2 1 3 0 1 2 9 2 7 1 2 9 3 0 4 0 9
-----
69  1 7 1 4 3 0 1 2 9 2 0 1 6 9 3 3 4 0 7
70  1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7

```

4-1-3-3 - Manipulation des données:

A - Affichage des données :

Structuration du menu secondaire n°1 :

```

*=====*
*          AFFICHAGE DES DONNEES          *
HIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIH
H                                          H
H  A partir du fichier "matrel" :      H
H  -----                            H
M H                                          H
E H          [a] Codes                  H
N H                                          H
U H          [b] Gammes numériques     H
H                                          H
S H          [c] Gammes alpha-numériques H
E H                                          H
C H                                          H
O H          [d] A partir d'un Fichier quelconque H
N H                                          H
D H  -----                            H
A H                                          H
I H          [r] Retour au menu principal H
R H                                          H
E H                                          H
H                                          L.A.E.I. H
H                                          ===== H
HIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIH

```

## B - Création de la matrice de données :

L'acquisition des données industrielles se fait généralement par transfert de fichiers déjà existants dans la base de données de l'entreprise. Mais, lorsqu'il s'agit d'un traitement de données qui n'existent pas encore dans cette base, il faut faire appel à la procédure de création de la matrice des données. Cette procédure permet l'acquisition des données à partir du clavier. Ainsi, pour chaque individu, le logiciel demande de rentrer le nombre de variables qui le caractérise. De ce fait, il est donc possible de traiter des données autres que celles qui figurent dans la base de données de l'entreprise.

## C - Modification de la matrice de données :

Les données à corriger sont repérées par la référence interne qui servira de clé d'accès à ces données. Pour chaque référence, le logiciel affiche les modalités des variables correspondantes et demande de rentrer le numéro de la variable à corriger.

## D - Transfert de fichiers :

Il faut sauvegarder le contenu de certains fichiers avant qu'ils ne subissent des modifications au cours du traitement: c'est le cas de la sauvegarde des applications qui serviront d'archive ou de résultats intermédiaires pour l'enchaînement des modules.

### Exemple :

Fichier source ---> : académique.exp

Fichier destination ----> matrel

## E - Pondération des données :

On distingue deux types de pondération :

- Pondération des individus,
- Pondération des variables.

### 1- Pondération des individus :

Affecter une pondération à des individus revient à exclure ces derniers des différentes phases de traitement. Ainsi, le fichier des données ne sera pas modifié, mais dans le fichier des pondérations, ces individus seront pondérés à "0" au lieu de "1".

Ceci permet de mettre en évidence d'une part, le rôle que peut jouer chacun des individus dans la formation des groupes (effet perturbateur de certains individus). D'autre part, lors de l'absence momentanée de la fabrication d'une pièce, il est possible de générer une nouvelle partition qui prend en compte l'absence d'une ou plusieurs pièces.

### 2- Pondération des variables :

La possibilité d'affecter des pondérations sur les variables permet d'une part, de surestimer les variables très significatives et de sous-estimer celles qui le sont moins; d'autre part, d'évaluer le degré d'influence de la présence ou non d'une variable au niveau de la constitution des groupes.



## F - Transformation des entiers en binaires :

Une telle transformation permet, à partir d'une matrice de données "gammes" ordinale, de générer une matrice de données "gammes" binaire. Ainsi, on ne s'intéressera qu'à la présence et à l'absence d'un événement.

## G - Transcodage des données :

Certaines matrices de données doivent être transcodées en fonction du type de système de codification (code MULTI-M). Cette transformation s'applique aux codes hiérarchiques ou à ceux dont les variables sont dépendantes. Le passage d'un polycode à un monocode entraîne une diminution du nombre de variables.

Le transcodage des codes permet de rendre les variables indépendantes entre-elles alors que le transcodage des gammes a pour but la transformation des données alpha-numériques en données numériques bien adaptées au traitement. Ces données alpha-numériques désignent les noms des phases-machines, qui, après transcodage ne sont plus identifiables par l'utilisateur.

A- MATRICE DE DONNEES CODES : annexe 2, (page A2.4)

=====

B- MATRICE DE DONNEES GAMMES : annexe 2, (page A2.7)

=====



Valeur du deuxième digit	Signification	Groupe de pièces
1	pièces étagées d'un côté	Rondes
2	étagées de deux côtés	
3	avec cône et/ou profil	
4	spéciales	
5	plates	tôlerie
6	déformées	
7	parallélépipédiques	tridimensionnelles
8	sculptées	
9	irrégulières	

Tableau V-1 : Types de pièces décrites par le code MULTI-M.

MATRICE DE DONNEES CODE : annexe 2 (page A2.4),

Concaténation du code :

La concaténation du code ne peut s'appliquer qu'aux modalités des variables qualitatives nominales ayant fait l'objet d'une opération de transcodage. Cette concaténation permet de réduire le domaine de variation des modalités des variables d'où un gain au niveau de déclaration de la taille des variables associées.

Procédure : pour chacune des variables prise séparément, nous classons les modalités dans un ordre croissant et nous remplaçons chacune d'elles par son numéro d'ordre. Dans ce classement, nous ne prenons en compte que des modalités différentes. Nous procédons de la même façon pour toutes les variables dépendantes. Ainsi, nous constituons la matrice de données qui sera traitée telle quel par le module de calcul des ressemblances (M3).

Pour ne pas perdre l'origine des données, nous générons un fichier "concat\_cod" de correspondance des modalités avant et après leur concaténation. Le contenu de ce fichier sera exploité lors de l'interprétation des résultats de classification où nous ferons référence aux modalités initiales.

MATRICE DE DONNEES CODES

=====

(TRANSCODEE et CONCATENEE) ----> voir annexe 2, page A2.6

## 2- Transcodage des gammes:

Une gamme de fabrication est définie comme une suite ordonnée de phases (ou postes de travail). Cet ordre n'est pas complet; en effet, toutes les pièces ne nécessitent pas le même nombre de phases et une pièce peut faire appel plus d'une fois à une même phase. Les séquences de fabrication se définissent comme des données qualitatives ordinales incomplètes pour lesquelles la notion de modalité a disparu, au profit de l'ordre des phases (annexe 2, page A2.7 et A2.8).

Le transcodage des gammes est l'une des originalités de nos travaux. Les gammes qui, jusqu'à présent, sont identifiées par une lettre de l'alphabet, n'apportent pas de renseignement sur la nature des phases. Afin d'éviter de faire la correspondance entre la lettre et le type de phases nous avons retenu une chaîne de trois caractères permettant de spécifier sans ambiguïté la phase en question.

La procédure de transcodage commence par la recherche de la gamme la plus longue qui fait appel à un maximum de phases (ici c'est la gamme de la référence N°14): fra-sta-rep-frp-aju-tth-rpp et ele. Cette gamme "leader" servira de référence pour ordonner les phases des autres gammes. Cet ordre n'a aucune influence sur les résultats, mais il permet une bonne structuration des données de gammes. Cette gamme sera complétée par les différentes phases qui apparaissent dans les autres gammes et qui sont: frc-rab-rie-deb. Ainsi, elle fera intervenir toutes les phases sans aucune redondance et sera appelée gamme "mère".

Le passage des données alpha- numériques ordonnées (textuelles) à des données numériques (matrice de données ordinales) s'effectue de la façon suivante :

Pour chaque phase de la gamme  $G_i$ , nous inscrivons son numéro d'ordre dans la phase correspondante de la gamme "mère", les phases absentes dans la gamme  $G_i$  prennent la valeur "0". Si la gamme  $G_i$  fait intervenir deux phases identiques, nous inscrivons sous la même phase de la gamme "mère" la somme de l'ordre de la première phase x10 et de l'ordre de la seconde phase, et on remplace les données de la gamme  $G_i$  par celles de la gamme "mère"  $G_i'$ .

Exemple:

Soit la gamme  $G_i$  à transcoder (référence N° 2, page A2.7)

$G_i$  = rab rep aju tth rep ; après transcodage, on obtient:  
 Ordre des phases: (1) (2) (3) (4) (5)  
 Gamme-mère: fra sta rep frp aju tth rpp ele frc rab rie deb  
 $G_i'$  = 0 0 25 0 3 4 0 0 0 1 0 0 ←

=====  
 MATRICE DE DONNEES GAMMES TRANSCODEES : annexe 2 (page A2.8).  
 =====

Remarques :

\*/ Si le nombre de phases par gamme est supérieur à douze, il peut y avoir ambiguïté entre l'ordre exact d'une phase et l'ordre composé de deux phases identiques. Ainsi, il suffit de multiplier l'ordre de la première phase par 100 au lieu de 10.

\*/ Les phases de la gamme "mère" sont numérotées de 1 à p et traitées d'une manière identique aux variables. Cette correspondance entre le numéro de phase et son type est générée dans le fichier "mat\_post.dta", voir annexe 2 (page A2.10).

Concaténation des gammes :

Le transcodage des gammes qui font intervenir deux phases identiques nécessite une concaténation des modalités attribuées à chacune des phases (variable). Le but et la procédure de concaténation des gammes sont identiques à ceux des codes. La génération du fichier de correspondance des modalités "concat\_gam" (voir annexe 2, page A2.10) permet d'exploiter celui-ci lors de la description des classes.

MATRICE DE DONNEES GAMES: (TRANSCODEE et CONCATENEE): annexe 2, page A2.9

#### 4-1-4 - Module de calcul des ressemblances:(M3)

##### 4-1-4-1- Présentation du module :

A partir de la matrice de données, ce module permet de générer la matrice de distances et de calculer la moyenne et l'écart-type des variables quantitatives et de la matrice de distances.

M E S U R E  
D E  
R E S S E M B L A N C E

```
#####  
#  
#   L'ordre d'exécution de ce programme:  #  
#  
#       1) Caractéristique des variables  #  
#  
#       2) Statistiques sur les variables  #  
#  
#       3) Choix de mesure de ressemblance #  
#  
#       4) Statistiques sur les distances  #  
#  
#####
```

##### 4-1-4-2 - Définition du code:

Après avoir spécifié le nombre de variables qualitatives, le logiciel demande de rentrer le rang (position) de chacune d'elles et il calcule la moyenne et l'écart-type des variables quantitatives.

```
#####  
#  
#           1) DEFINITION DU CODE          #  
#  
#####
```

Nombre de variables de type (1) {qualitatives}, q = 6  
Rang de la variable de type(1) {qualitative} No: 1-->: 1  
Rang de la variable de type(1) {qualitative} No: 2-->: 2  
Rang de la variable de type(1) {qualitative} No: 3-->: 3  
Rang de la variable de type(1) {qualitative} No: 4-->: 4  
Rang de la variable de type(1) {qualitative} No: 5-->: 5  
Rang de la variable de type(1) {qualitative} No: 6-->: 7



Après les choix "a"(distance du khi-2) et "c"(distance euclidienne), le logiciel donne les résultats suivants :

distances du khi-2:

```
=====
| Moyenne = 0.986 | | Ecart type = 0.712 |
=====
```

distances euclidiennes :

```
=====
| Moyenne = 33.009 | | Ecart type = 25.687 |
=====
```

A cette étape le logiciel a généré deux matrices de distances sur le même ensemble de données ; l'une fait intervenir les variables qualitatives et l'autre les variables quantitatives. Compte tenu de la mesure appliquée à chacun des sous-ensembles, il faut procéder à leur normalisation. La part de contribution de ces sous-ensembles est proportionnelle au nombre de variables qualitatives et quantitatives.

Ce logiciel propose un coefficient de pondération des éléments de ces matrices. Le calcul de ce coefficient est basé sur la moyenne des éléments de chaque matrice et sur le nombre de chaque type de variables (voir 3-3-2-1 : mesure appliquée aux codes).

PONDERATION DES DISTANCES DES VARIABLES DE TYPE (1) ET DE TYPE (2)

```
=====
B1 = plxdlmoy/(d2moy+d1moy),
B2 = pnx d2moy/(d2moy+d1moy)
d = B1xd1 + B2xd2
```

facteur B1 de pondération des variables qualitatives calculé = 0.96  
Voulez-vous le sélectionner ? (o/n) :---> o

Voulez-vous charger la matrice des distances  
dans le fichier " dis\_cod.res " (o/n) ? :o  
\* Création du fichier des distances khi2, euclidienne ...  
( 3486 valeurs calculées.)

#### 4-1-5 - Module de C.A.H: (M4)

##### 4-1-5-1- Présentation du module :

Ce module est le noyau du logiciel C.A<sup>2</sup>.D.I., il fait appel à plusieurs algorithmes et au critère de diamètre maximum. Après le choix du type de données (codes, gammes), ce module fait un tri parmi les éléments de la matrice de distances. Il nécessite un temps de traitement supérieur à celui des quatre autres modules lorsque le nombre d'individus devient important. Après que le module ait tracé la structure hiérarchique arborescente, il demande d'entrer le nombre de classes qu'on souhaite obtenir. Ensuite, pour chaque classe, il affiche le nombre d'individus et une liste dans un ordre croissant de ces derniers ainsi que le degré de similarité de chacune des classes.

```
*****
*
*          Logiciel   :  C.A2.D.I.
*
*  PROGRAMME DE CLASSIFICATION
*  =====
*          HIERARCHIQUE ASCENDANTE BASE SUR
*          =====
*                      LE CRITERE DE LIEN MAXIMUM
*                      =====
*
*****
```

##### 4-1-5-2 - Choix des données à traiter :

Le module de classification offre la possibilité de choisir le type de l'ensemble de données à traiter. Il est possible de faire une classification simultanée de deux ensembles différents. Nous pouvons, par exemple, après avoir pondéré et fait la somme des éléments des deux matrices de distances, traiter la matrice résultante.

\*/ Si nous désirons une classification basée sur les critères morphodimensionnels (code) et les critères de fabrication (gamme), il suffit de générer la matrice résultante à partir de la matrice de distances sur les codes et de la matrice de distances sur les gammes.

\*/ Si nous nous intéressons à une classification basée sur l'ordre des phases et leur absence et présence, nous générons une matrice de distances qui sera la somme de deux matrices, l'une étant basée sur les données ordinales et l'autre sur les données binaires. Le traitement de la matrice résultante permet une prise en compte des deux critères simultanément. Le choix du coefficient de pondération permet de privilégier un ensemble de données par rapport à l'autre (voir 3-3-2-2 : mesures appliquées aux gammes).

Structuration du menu :

```

          *-----*
        *                *
      *   CLASSIFICATION HIERARCHIQUE   *
    *                                     *
HIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIH
H
H   Classification basée sur :         H
H
H     a - Le code                      H
H
H     b - La gamme                     H
H
H     c - Le code et la gamme          H
H
H     d - Les formes Fortes            H
H
H     q - Quitter                      H
H
H                                     L.A.E.I. H
H                                     ===== H
HIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIH

```

Votre choix -----> : a ( le code )

Tableau des individus agrégés

```

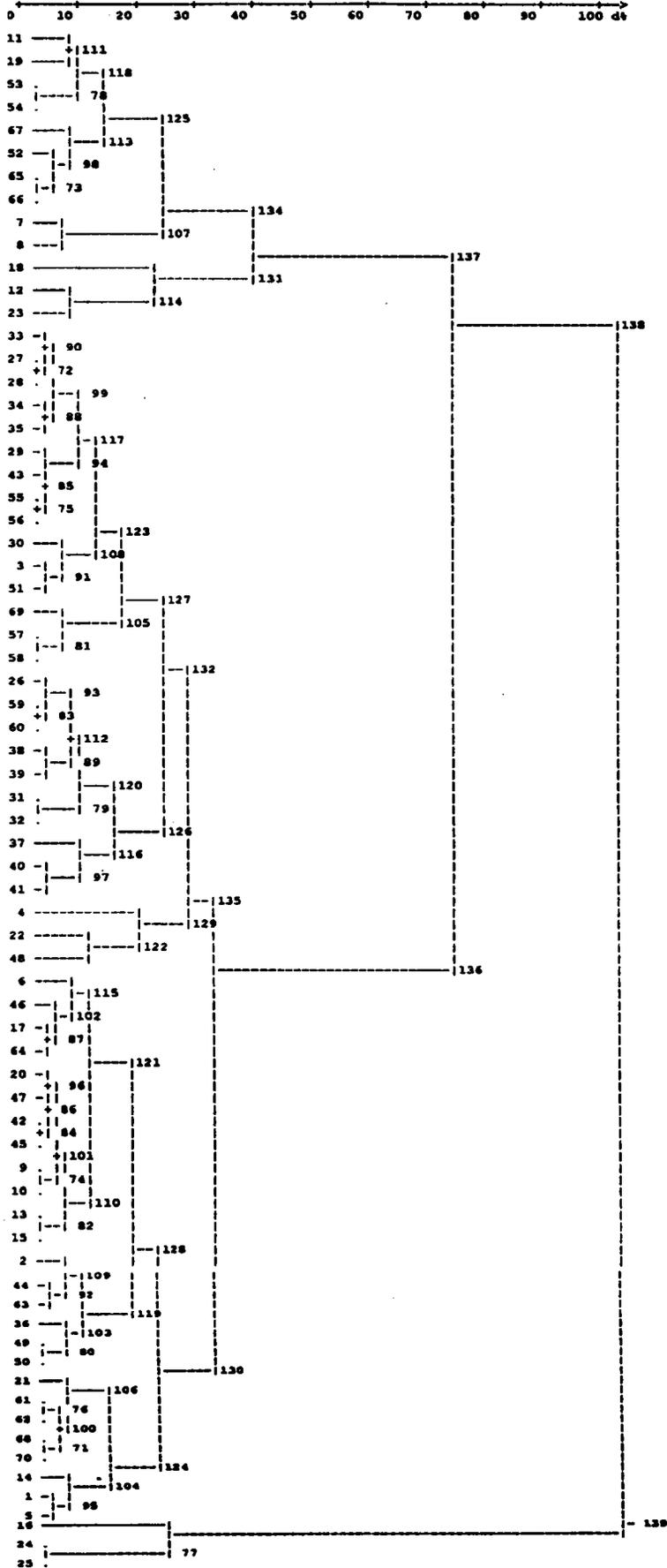
=====
Noeuds      Aines      Benjamin    Niveau
=====
  71         10         9           0
  72         25         24          4
  73         66         65          4
  74          8         7           4
  75         50         49          4
  76         62         61         14
  77         54         53         14
  78         32         31         14
  79         30         29         18
-----
-----
106         100         42          63
107          38         26          68
108          80         3           68
109         103         94          68
110          98         43          71
111          79         78          75
112         110         81          75
113          77         48          81
114         101         18          84
115          90         83          85
116          96         95          89
117         114         97          89
118          89         14          98
119         104         46          98
120         106        105          98
121         113         39          98
122         120        119          98
123          92         69         103
124         102         99         103
125         108        107         103
126         112        111         103
127         115        109         103
128         116         93         103
129         121        118         103
130         122        117         103
131         124        123         103
132         126        125         103
133         129        128         103
134         130        127         103
135         132        131         103
136         135        134         103
137          72         16         770
138         136        133         797
139         138        137         797

```

Type de format d'impression : 80(n), 110(l) ou 140 colonnes(t) ? :n

CLASSIFICATION BASEE SUR LE CODE

Tracé de la structure hiérarchique pour 70 individus :



### 4-1-5-3 - Choix du nombre de classes:

#### Choix du nombre de classes :

Nombre de classes homogènes à 100 % est : 59

Combien voulez-vous de classes ? (0 pour quitter) ---> : 5

5 classes : 130 - 135 - 131 - 134 - 133

#### Classe N°: 1

Il y a 26 individus dans la classe 130: 1 2 5 6 9 10 13  
14 15 17 20 21 36 42  
44 45 46 47 49 50 61  
62 63 64 68 70

Degré de similarité = 81 %

#### Classe N°: 2

Il y a 28 individus dans la classe 135: 3 4 22 26 27 28 29  
30 31 32 33 34 35 37  
38 39 40 41 43 48 51  
55 56 57 58 59 60 69

Degré de similarité = 75 %

#### Classe N°: 3

Il y a 3 individus dans la classe 131: 12 18 23

Degré de similarité = 80 %

#### Classe N°: 4

Il y a 10 individus dans la classe 134: 7 8 11 19 52 53 54  
65 66 67

Degré de similarité = 79

#### Classe N°: 5

Il y a 3 individus dans la classe 133: 16 24 25

Degré de similarité = 79 %

#=====\*

#### Remarque:

Après l'examen de la structure hiérarchique arborescente, nous constatons que si le nombre de classes est inférieur à 4, la similarité diminue (dissimilarité augmente) beaucoup et si ce nombre est supérieur à 5 elle augmente très peu. Ici, le choix d'une partition en cinq classes répond aux conditions objectives: similarité maximum et nombre de classes minimum.

#### 4-1-6- Module d'interprétation des résultats (M5) :

##### 4-1-6-1- Présentation du module :

Parmi les méthodes d'interprétation et de description des partitions, nous avons choisi la représentation graphique par les arbres hiérarchiques de par la richesse des informations qu'elle peut apporter, notamment dans le choix du nombre de classes. Nous avons retenu la méthode de recherche des profils des groupes que nous avons appliquée aux variables qualitatives actives. Cette recherche est basée sur la fréquence d'apparition des modalités des variables qui peut changer d'une classe à l'autre. Si elle est majoritaire dans l'une des classes, elle peut contribuer à la description de celle-ci. Ces modalités ne doivent pas être identiques dans deux classes différentes sinon elles ne peuvent constituer un moyen de discrimination de celles-ci. Les résultats d'une classification ne peuvent être validés que si, pour chacune des classes, il existe au moins un attribut qui les caractérise et qui présente un bon pourcentage. Les partitions peuvent être décrites de deux façons différentes, selon qu'il s'agisse des codes ou des gammes.

##### Menu général:

##### Structuration du menu:

```
*-----*
*           VALIDATION DES RESULTATS           *
*           DE LA CLASSIFICATION               *
HIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIH
H
H A) Recherche du PROFIL des classes obtenues  H
H       à partir de la :                       H
H
H [a] Partition sur le code                    H
H [b] Partition sur la gamme                   H
H [c] Partition sur le code et la gamme       H
H ----- H
H B) Génération du fichier des partitions en vue H
H       d'expliciter les FORMES FORTES :      H
H
H [d] Du Code / Gamme                          H
H [e] Du Code / Code+Gamme                     H
H [f] De la Gamme / Code+Gamme                 H
H [g] De la Gamme / Code / Code+Gamme         H
H [h] Des combinaisons Code+Gamme             H
H ----- H
H [i] Affichage des formes fortes              H
H ----- H
H [q] Quitter                                  H
H
H                                     L.A.E.I. H
H                                     ~~~~~~ H
HIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIH
```

4-1-6-2 - Description des classes:

A- Profil des partitions sur les codes:

La façon la plus simple pour décrire les différentes classes d'une partition sur les codes est de le faire à partir des variables qui caractérisent les éléments de l'échantillon. Pour une variable donnée, une modalité peut caractériser plus ou moins bien une classe, suivant le degré de sa fréquence d'appartenance dans celle-ci. Une classe ne sera décrite par la présence de la modalité  $M_i$  de la variable  $V_i$  que lorsque la même modalité de cette variable sera présente à plus de 50%.

La description d'une partition basée sur des données transcodées et concaténées nécessite la génération d'un tableau de correspondance des modalités avant et après leur concaténation.

L'exemple que nous proposons est appliqué à une partition en cinq classes sur un échantillon de 70 pièces codées selon le système MULTI-M.

```

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@
@   DESCRIPTION DE LA PARTITION SUR LES CODES   @
@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
    
```

Tableau de correspondance des modalités des variables :  
 ~~~~~

|   | MODALITES CONCATENEES |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 0                     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |    |
| V | 1                     | 71 | 72 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A | 2                     | 1  | 2  | 3  | 4  | 6  | 9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| R | 3                     | 1  | 2  | 3  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| I | 4                     | 1  | 10 | 11 | 13 | 16 | 17 | 18 | 40 | 41 | 42 | 43 | 45 | 48 | 72 | 83 | 84 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A | 5                     | 13 | 14 | 17 | 20 | 21 | 22 | 25 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 35 | 37 | 38 | 40 | 41 | 45 | 46 | 47 | 51 | 55 |
| B | 6                     | 9  | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |    |
| L | 7                     | 6  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 23 | 24 | 25 | 29 |    |    |    |    |    |    |
| E | 8                     | 9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| S | 9                     | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 62 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 10                    | 1  | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 11                    | 0  | 1  | 2  | 3  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 12                    | 3  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

FREQUENCE D'APPARITION DES MODALITES DANS CHACUNE DES CLASSES  
 =====

Classe No: 1 ; effectif : 26 soit 37.1 % de l'effectif total.

| Références : | code :                        |
|--------------|-------------------------------|
| 1            | 76 4 3 41 45 25 15 9 30 4 0 5 |
| 2            | 75 1 3 17 28 15 12 9 31 4 1 3 |
| 5            | 80 9 3 41 45 31 17 9 31 4 0 8 |
| 6            | 72 1 3 42 40 20 11 9 30 4 0 3 |
| 9            | 75 1 3 41 35 15 11 9 30 4 0 9 |
| 10           | 75 1 3 41 35 15 11 9 30 4 0 9 |
| 13           | 75 1 3 84 41 14 14 9 30 4 0 7 |
| 14           | 79 9 3 41 46 21 17 9 30 4 1 3 |

|    |    |   |   |    |    |    |    |   |    |   |   |   |
|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|---|---|---|
| 15 | 75 | 1 | 3 | 84 | 37 | 14 | 14 | 9 | 30 | 4 | 0 | 7 |
| 17 | 76 | 1 | 3 | 41 | 38 | 19 | 16 | 9 | 32 | 4 | 0 | 8 |
| 20 | 77 | 1 | 3 | 41 | 41 | 18 | 13 | 9 | 30 | 4 | 0 | 7 |
| 21 | 76 | 6 | 3 | 45 | 41 | 19 | 13 | 9 | 31 | 4 | 0 | 9 |
| 36 | 77 | 1 | 3 | 13 | 30 | 14 | 10 | 9 | 31 | 4 | 0 | 3 |
| 42 | 75 | 1 | 3 | 45 | 47 | 15 | 13 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 44 | 76 | 1 | 3 | 41 | 38 | 17 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 3 |
| 45 | 75 | 1 | 3 | 45 | 55 | 17 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 46 | 72 | 1 | 3 | 45 | 51 | 29 | 25 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 47 | 75 | 1 | 3 | 40 | 45 | 15 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 49 | 75 | 1 | 3 | 10 | 28 | 14 | 12 | 9 | 31 | 4 | 0 | 3 |
| 50 | 75 | 1 | 3 | 10 | 28 | 14 | 12 | 9 | 31 | 4 | 0 | 3 |
| 61 | 75 | 4 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 62 | 75 | 4 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 63 | 76 | 1 | 3 | 41 | 30 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 3 |
| 64 | 76 | 1 | 3 | 41 | 30 | 19 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0 | 7 |
| 68 | 72 | 4 | 3 | 41 | 28 | 16 | 14 | 9 | 33 | 4 | 0 | 7 |
| 70 | 72 | 4 | 3 | 41 | 28 | 16 | 14 | 9 | 33 | 4 | 0 | 7 |

| V/M | MODALITES CONCATENEES |    |    |    |   |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----|-----------------------|----|----|----|---|---|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|     | 0                     | 1  | 2  | 3  | 4 | 5 | 6 | 7  | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| V   | 1                     |    | 4  | 12 | 6 | 2 |   | 1  | 1 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A   | 2                     | 18 |    |    | 5 | 1 | 2 |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| R   | 3                     |    |    | 26 |   |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| I   | 4                     |    | 2  |    | 1 |   | 1 |    | 1 | 14 | 1  |    | 4  |    |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A   | 5                     |    |    |    |   | 2 |   |    | 5 |    | 3  |    |    |    | 2  | 1  | 2  | 1  | 3  | 3  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| B   | 6                     |    |    |    | 8 | 5 | 2 | 2  | 1 | 3  | 1  | 1  |    |    | 1  |    |    |    | 1  |    | 1  |    |    |    |
| L   | 7                     |    |    | 1  | 3 | 3 | 3 | 11 | 1 | 1  | 2  |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |
| E   | 8                     | 26 |    |    |   |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| S   | 9                     | 8  | 15 | 1  | 2 |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|     | 10                    |    | 26 |    |   |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|     | 11                    | 24 | 2  |    |   |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|     | 12                    | 8  | 1  | 12 | 2 | 3 |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Profil de la classe No : 1

Cette classe est caractérisée par la présence de :

- > la modalité 1 de la variable 2 à 69 %
- > la modalité 3 de la variable 3 à 100%
- > la modalité 41 de la variable 4 à 54 %
- > la modalité 9 de la variable 8 à 100%
- > la modalité 31 de la variable 9 à 58 %
- > la modalité 4 de la variable 10 à 100%
- > la modalité 0 de la variable 11 à 92 %

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 81 %

@ ~~~~~ @

etc ...

Le logiciel procède de la même façon pour les autres classes.

B- Profil des partitions sur les gammes:

Par analogie avec les codes, les phases (ou poste-machines) remplacent les variables et l'ordre des phases celui des modalités. Pour une gamme donnée, l'ordre et la nature de la phase peuvent caractériser plus ou moins bien une classe suivant la fréquence de l'apparition des phases dans celle-ci.

L'exemple suivant traite un échantillon de 70 gammes réparties en 5 classes.

```

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@
@      DESCRIPTION DE LA PARTITION SUR LES GAMMES      @
@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

```

FREQUENCE D'APPARITION DES POSTES MACHINES DANS CHACUNE DES CLASSES  
 =====

Classe No: 1 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total.

Référence                    gamme :  
 -----                    -----  
 14                    fra sta rep frp aju tth rpp ele

Classe No: 2 ; effectif : 15 soit 21.4 % de l'effectif total.

Références :                    gammes :  
 -----                    -----  
 1                    fra sta rep frc aju tth rpp  
 2                    rab rep aju tth rep  
 5                    fra sta rep frp aju tth rpp  
 6                    fra sta rep frp aju tth rep  
 27                    rab rep fra aju tth rep  
 28                    rab rep frp aju tth rep  
 31                    deb rab rep fra aju tth rpp  
 32                    deb rab rep frc aju tth rpp  
 33                    rab rep frp aju tth rpp  
 35                    rab rep frp aju tth rpp  
 46                    rab rep frp aju tth rpp  
 55                    rab rep frp aju tth rpp  
 56                    rab rep frp aju tth rpp  
 57                    rab rep frp aju tth rpp  
 58                    rab rep frp aju tth rpp

| MATRICE<br>DE | ORDRE DES PHASES |    |    |   |   |   |   |   |   |
|---------------|------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|
|               | FREQUENCE        | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| M             | fra              | 3  |    | 1 | 1 |   |   |   |   |
| A             | sta              |    | 3  |   |   |   |   |   |   |
| C             | rep              |    | 10 | 5 |   | 1 | 2 | 1 |   |
| H             | frp              |    |    | 8 | 2 |   |   |   |   |
| I             | aju              |    |    | 1 | 9 | 5 |   |   |   |
| N             | tth              |    |    |   | 1 | 9 | 5 |   |   |
| E             | rpp              |    |    |   |   |   | 7 | 4 |   |
| S             | ele              |    |    |   |   |   |   |   |   |
|               | frc              |    |    |   | 2 |   |   |   |   |
|               | rab              | 10 | 2  |   |   |   |   |   |   |
|               | rie              |    |    |   |   |   |   |   |   |
|               | deb              | 2  |    |   |   |   |   |   |   |

Caractéristiques de la classe No : 2

Cette classe est caractérisée par la présence :

- > du poste machine " rep" à la phase No 2 à 67 %
- > du poste machine "aju" à la phase No 4 à 60 %
- > du poste machine " tth" à la phase No 5 à 60 %
- > du poste machine " rab" à la phase No 1 à 67 %

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 80 %  
 @ ~~~~~ @

4-1-6-3- Recherche des formes fortes :

Le problème de comparaison des structures inter-classes apparait quand on veut connaître l'effet: d'un changement de données (variables caractéristiques, système de codage), du choix de différentes mesures de ressemblance et de la robustesse de la structure inter-classe choisie pour les données traitées.

La recherche des formes fortes est l'une des originalités de nos travaux. Elle s'applique aussi bien aux codes qu'aux gammes ou à toute combinaison des deux, à condition de respecter dans l'élaboration de chacune des partitions les règles suivantes :

- \* même échantillon mais caractérisé par des tableaux de données différents (code, gamme),
- \* même nombre d'objets,
- \* même nombre de classes.

Le nombre de classes stables (formes fortes) qui résulte du traitement de ces partitions sera égal à celui des classes homogènes à 100% selon leur appartenance aux mêmes familles.

L'exemple que nous proposons est basé sur les deux partitions de l'échantillon de 70 articles répartis en cinq classes.

```

@ ##### @
@@@ # F O R M E S   F O R T E S # @@@
@ ##### @

```

```

---> Nombre total d'individus      = 70
---> Nombre total de partitions    = 2
---> Nombre de classes / partition = 3

```

Il y a 5 classes stables :

Classe No: 1 ; effectif : 3 soit 4.3 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :        |
|--------------|---------------------------------------|-----------------|
| -----        | ----                                  | -----           |
| 16           | 1 7 5 1 2 1 6 2 9 0 9 0 6 9 3 0 4 3 6 | rep fra tth rpp |
| 24           | 1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7 | fra tth rpp     |
| 25           | 1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7 | fra tth rpp     |

Classe No: 2 ; effectif : 21 soit 30.0 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :                        |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| -----        | ----                                  | -----                           |
| 7            | 1 7 5 3 1 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9 | fra aju tth rpp                 |
| 8            | 1 7 5 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9 | fra aju tth rpp                 |
| 11           | 1 7 6 1 3 4 8 1 7 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |
| 14           | 1 7 9 9 3 4 1 4 6 2 1 1 7 9 3 0 4 1 3 | fra sta rep frp aju tth rpp ele |
| 19           | 1 7 8 1 3 4 8 3 1 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |
| 27           | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 | rab rep fra aju tth rep         |
| 28           | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 | rab rep frp aju tth rep         |
| 31           | 1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8 | deb rab rep fra aju tth rpp     |
| 32           | 1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8 | deb rab rep frc aju tth rpp     |
| 33           | 1 7 5 4 3 4 1 2 5 2 3 2 1 9 3 1 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 35           | 1 7 5 4 3 4 1 3 7 3 1 2 1 9 3 1 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 52           | 1 7 7 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 53           | 1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3 | fra aju tth rpp                 |
| 54           | 1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3 | fra aju tth rpp                 |
| 55           | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 56           | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 57           | 1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 58           | 1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 65           | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 66           | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 67           | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp                 |

Classe No: 3 ; effectif : 4 soit 5.7 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :                    |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| -----        | -----                                 | -----                       |
| 12           | 1 7 5 1 3 8 3 1 4 1 2 1 1 9 3 4 1 1 3 | fra aju tth rpp             |
| 18           | 1 7 5 1 3 7 2 1 3 1 2 1 0 9 3 0 4 0 3 | fra aju tth rpp             |
| 23           | 1 7 5 1 3 4 5 2 0 1 7 1 0 9 3 3 4 1 3 | rab fra aju tth rpp         |
| 39           | 1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 1 9 | rab sta rep fra aju tth rie |

Classe No: 4 ; effectif : 22 soit 31.4 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :                    |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| -----        | -----                                 | -----                       |
| 1            | 1 7 6 4 3 4 1 4 5 2 5 1 5 9 3 0 4 0 5 | fra sta rep frc aju tth rpp |
| 2            | 1 7 5 1 3 1 7 2 8 1 5 1 2 9 3 1 4 1 3 | rab rep aju tth rep         |
| 3            | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3 | rab fra aju tth rpp         |
| 4            | 1 7 2 1 3 0 1 2 9 2 7 1 2 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp             |
| 5            | 1 8 0 9 3 4 1 4 5 3 1 1 7 9 3 1 4 0 8 | fra sta rep frp aju tth rpp |
| 6            | 1 7 2 1 3 4 2 4 0 2 0 1 1 9 3 0 4 0 3 | fra sta rep frp aju tth rep |
| 22           | 1 7 1 2 2 0 1 2 5 1 7 1 0 9 3 0 4 1 7 | fra tth rpp                 |
| 26           | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 2 2 1 7 9 3 2 4 0 9 | fra aju tth rpp             |
| 29           | 1 7 6 4 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 | rab fra aju tth rpp         |
| 30           | 1 7 6 1 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 | rab fra aju tth rpp         |
| 34           | 1 7 6 4 3 4 1 3 2 2 4 2 1 9 3 1 4 0 3 | rab rep fra aju tth rpp     |
| 37           | 1 7 2 1 2 1 8 2 7 2 7 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra tth rpp                 |
| 38           | 1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 0 9 | rab sta rep fra aju tth rpp |
| 40           | 1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra rep aju fra aju tth rpp |
| 41           | 1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 3 9 3 0 4 1 3 | fra rep aju fra aju tth rpp |
| 43           | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 5 1 8 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp             |
| 46           | 1 7 2 1 3 4 5 5 1 2 9 2 5 9 3 1 4 0 7 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 48           | 1 7 5 1 3 1 0 2 9 1 4 1 1 9 3 1 4 1 7 | fra aju tth rpp             |
| 51           | 1 7 5 1 3 1 0 3 0 2 9 2 9 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp             |
| 59           | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 6 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp             |
| 60           | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 4 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp             |
| 69           | 1 7 1 4 3 0 1 2 9 2 0 1 6 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp             |

Classe No: 5 ; effectif : 20 soit 28.6 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :                |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------|
| -----        | -----                                 | -----                   |
| 9            | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp         |
| 10           | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp         |
| 13           | 1 7 5 1 3 8 4 4 1 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rie         |
| 15           | 1 7 5 1 3 8 4 3 7 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 17           | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 9 1 6 9 3 2 4 0 8 | rab fra aju tth rpp     |
| 20           | 1 7 7 1 3 4 1 4 1 1 8 1 3 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 21           | 1 7 6 6 3 4 5 4 1 1 9 1 3 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp         |
| 36           | 1 7 7 1 3 1 3 3 0 1 4 1 0 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 42           | 1 7 5 1 3 4 5 4 7 1 5 1 3 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 44           | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 7 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 45           | 1 7 5 1 3 4 5 5 1 7 1 4 9 3 1 4 0 7   | fra aju tth rpp         |
| 47           | 1 7 5 1 3 4 0 4 5 1 5 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra tth rpp             |
| 49           | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 50           | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 61           | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp |
| 62           | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp |
| 63           | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 64           | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 9 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 68           | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 70           | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp         |

#### 4-2- Mise en oeuvre :

Selon l'objectif recherché, l'échantillon extrait doit faire l'objet d'une analyse plus détaillée sur une partie des caractéristiques de ses éléments (mode de conception, gamme d'usinage, processus de fabrication, élaboration du devis, etc...). Ceci permettra la régénération d'une partition propre à chaque service de l'entreprise (bureau d'études, bureau des méthodes, service commercial, atelier de fabrication ou de montage).

Bureau d'études: la classification doit être basée sur un code qui fait intervenir les caractéristiques morphodimensionnelles, le matériau et le mode d'obtention de brut.

Bureau des méthodes : en plus des caractéristiques morphodimensionnelles, le code doit comprendre les critères de fabrication, usinabilité des matériaux, traitements thermiques ou de surfaces et les contraintes géométriques et dimensionnelles.

Atelier : la classification doit être basée d'une part sur le code qui fait intervenir les critères de fabrication, d'autre part sur les gammes qui définissent les phases machines. Ainsi, il sera facile de faire la préparation de l'outillage et la mise en place des îlots de fabrication.

Service commercial: pour ce service, les caractéristiques du code sont différentes des autres services car celles-ci font intervenir les critères qui rentrent dans le calcul du prix de revient des pièces. Ainsi, il serait possible de faire une évaluation précise du coût des pièces lors de l'établissement du devis. Suivant l'approche utilisée, nous cherchons une

partition dont le nombre de classes peut être faible ou relativement important.

Il est intéressant de générer une même partition qui permet de répondre au besoin de plusieurs services en prenant en compte tous les critères. Ceci facilitera l'identification des pièces entre les différents services.

## CHAPITRE V

### APPLICATIONS INDUSTRIELLES

#### 5-1- Exemple N° 1 :

|                                                        | pages |
|--------------------------------------------------------|-------|
| 5-1-1- Introduction . . . . .                          | 109   |
| 5-1-2- Approches de la Technologie de Groupe . . . . . | 110   |
| 5-1-3- Présentation des données . . . . .              | 114   |
| 5-1-4- Traitement des données . . . . .                | 117   |
| 5-1-5- Interprétation des résultats . . . . .          | 124   |
| 5-1-6- Conclusion . . . . .                            | 129   |

#### 5-2- Exemple N° 2 :

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 5-2-1- Introduction . . . . .                      | 130 |
| 5-2-2- Présentation des données . . . . .          | 133 |
| 5-2-3- Traitement des données . . . . .            | 134 |
| 5-2-3-1- Approche A . . . . .                      | 134 |
| A- Partition sur les codes . . . . .               | 134 |
| B- Partition sur les gammes . . . . .              | 136 |
| C- Partition sur les formes fortes . . . . .       | 138 |
| 5-2-3-2- Approche B . . . . .                      | 141 |
| A- Partition sur les codes et les gammes . . . . . | 141 |
| B- Description des partitions . . . . .            | 144 |
| 5-1-4- Interprétation des résultats . . . . .      | 154 |
| A- Interprétation des familles . . . . .           | 157 |
| 5-2-5- Conclusion . . . . .                        | 159 |

## V-1- Exemple 1:

### 5-1-1- Introduction:

Face à la concurrence industrielle, chaque entreprise cherche à acquérir des marchés prometteurs. Cette acquisition ne peut aboutir sans une maîtrise parfaite de l'estimation du prix de revient. Or cette estimation n'obéit à aucune règle ou formule mathématique capable de prendre en compte tous les paramètres significatifs du problème. Les formules utilisées donnent généralement des résultats approximatifs qui peuvent être très éloignés du prix réel de la pièce à évaluer. Dans certains procédés de fabrication, il est parfois très difficile d'estimer avec une bonne précision le prix de revient d'une nouvelle pièce.

La Technologie de Groupe peut apporter des solutions efficaces pour l'établissement rapide, fiable et précis de devis des pièces à fabriquer en réduisant l'étude préalable sur celles-ci.

L'objectif recherché dans l'estimation du prix de revient est de satisfaire la fonction suivante :

$$\text{Fonction objectif} : \sum_{i=1}^k | C_{ri} - C_{ei} | = 0$$

où  $k$  : nombre de pièces,  
 $C_{ei}$  : Coût estimé,  
 $C_{ri}$  : coût réel.

Connaissant le prix de revient réel des anciennes pièces, comment estimer avec une bonne précision le prix de revient de toute nouvelle pièce ?.

## 5-1-2-Approches par la Technologie de Groupe : [34]

Les approches par la T.G. consistent en une classification en familles des pièces déjà réalisées dans l'entreprise d'après leurs caractéristiques. Le nombre de familles choisi dépendra de l'étendue du prix des pièces déjà fabriquées et du degré de précision souhaité dans l'estimation du prix de revient d'une nouvelle pièce.

L'idée de base est la suivante :

### Phase d'implantation:

- Choisir un système de codage, des pièces dont le prix de revient réel est déjà chiffré, en ne faisant intervenir que les variables qui contribuent le plus à l'évaluation du prix (coût direct et indirect). Ces variables n'ayant pas forcément le même poids, il convient donc de leur affecter des coefficients de pondération.

-A partir du code des pièces, procéder à la classification de celles-ci afin de générer des familles "homogènes" au sens du critère retenu (ici le prix),

-Caractériser chacune des familles, d'une part à l'aide des variables retenues dans le code (profil), d'autre part à l'aide du prix de revient réel des pièces de la même famille (prix minimum, maximum et la moyenne) ,

### Phase d'exploitation:

-Coder toute nouvelle pièce à l'aide du même système de codage et identifier son profil.

-Affecter cette nouvelle pièce à une famille déjà existante et procéder éventuellement à l'identification de la pièce dont le code complet est le même que celui de la nouvelle pièce si son profil est identique ou semblable à celle-ci.

Remarques:

L'identification d'une pièce parmi celles qui sont déjà fabriquées par l'entreprise et dont le code est identique à celui de la nouvelle pièce, permet de déduire le prix de revient de celle-ci. Si les quelques variantes qui les distinguent n'ont aucune contribution sur l'évaluation du devis, le prix de revient estimé sera le même que celui de la pièce identifiée, si non, ce prix sera modifié compte tenu de l'importance de ces variantes.

L'identification d'une famille de même profil que la nouvelle pièce nous permet de faire l'estimation du prix de revient de celle-ci. Cette estimation peut être basée sur trois approches différentes :

A- Approche par le coût moyen :

Le prix de revient estimé sera égal à la moyenne des prix de revient réels de toutes les pièces de la famille identifiée.

$$C_{e(np)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C_{ri} \quad (1)$$

Avec :  
 $C_{e(np)}$  : coût estimé de la nouvelle pièce,  
 $C_{ri}$  : coût réel de la pièce "i",  
 $k$  : nombre de pièces de la famille.

La précision des résultats obtenus est fonction du nombre de familles choisi. Ce nombre doit répondre aux deux conditions suivantes: d'une part être suffisamment grand afin de balayer avec précision l'étendue du prix de revient de toutes les pièces échantillonnées, d'autre part être limité pour éviter la création de familles d'une ou deux pièces seulement.

### B- Approche par interpolation :

Cette méthode s'appuie sur des fonctions à plusieurs variables. Chaque fonction caractérise une famille. La détermination de chacune d'elles nécessite le calcul des coefficients des variables retenus dans le code.

#### Détermination des coefficients :

Pour chaque famille, nous représentons dans un espace à deux dimensions les objets par un point dont l'abscisse est la valeur numérique de la variable et l'ordonnée, le coût réel de la pièce. On trace la droite de moindre carré qui minimise le carré des écarts si on suppose que la loi d'évolution est linéaire ( $a_i$ : coefficients constants: ), si non, on cherche la fonction qui épousera au mieux les différents points, (coefficients variables).

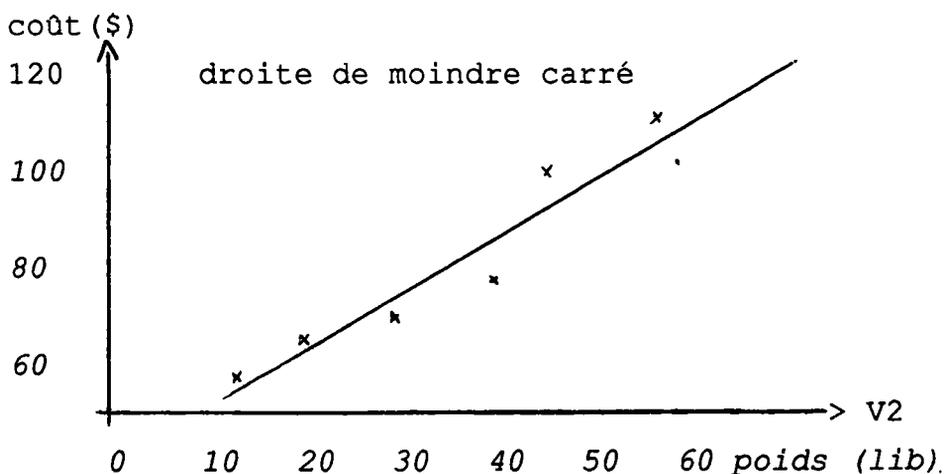


Figure V-1: Relation: prix de revient / poids

Soit la fonction coût caractéristique de la famille K:

$$C_{e(x)}^k = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p. \quad (2)$$

où p est le nombre de variables caractéristiques du code.

Connaissant les coefficients  $(a_0, a_1, a_2, a_3, \dots)$  et les paramètres  $(X_{10}, X_{20}, \dots, X_{p0})$  de la nouvelle pièce, nous pouvons calculer son prix de revient estimé à l'aide de l'équation (2) établie précédemment.

Le choix d'un nombre important de pièces par famille permet de faire une interpolation plus rigoureuse de la courbe et par conséquent d'obtenir des coefficients plus proches de la réalité. Ainsi, il convient de choisir un nombre très réduit de familles afin de maximiser le nombre de pièces dans celles-ci.

### C - Approche par identification d'attributs :

Dans ce cas, on se basera sur les données réelles des pièces déjà fabriquées. Ainsi, on cherche parmi celles-ci celle dont le code est le plus proche de celui de la nouvelle pièce. Une fois cette pièce identifiée, on peut accéder à toutes les valeurs numériques de ses attributs. Ces valeurs peuvent subir une légère modification, si nécessaire, avant de les entrer comme données dans un logiciel de calcul du prix de revient. Dans cette modification éventuelle on tiendra compte des variantes qui font la distinction entre les deux pièces. Il serait judicieux de faire une comparaison entre le prix de revient réel de l'ancienne pièce et celui estimé par le logiciel (nouvelle pièce).

### 5-1-3- Présentation des données [35]:

L'exemple suivant concerne un échantillon de 97 pièces moulées dans la fonderie Thetford Mines au Canada. Toutes les pièces ont été codées suivant dix variables caractéristiques.

#### Remarque :

L'échantillon traité n'est pas représentatif de toute la population du point de vue prix de revient. Ainsi, plus de la moitié des pièces ont un prix de revient inférieur à 200 Dollards. Ce qui explique la présence, d'une part, d'une famille à forte densité (qui peut être en elle même divisée en sous-familles) et d'autre part, de familles à très faible densité. Plusieurs essais ont montré que les variables suivantes ne sont pas significatives et qu'elles ont un effet perturbateur :

- Quantité commandée,
- Rendement,
- Rejet,
- Nombre de noyaux,
- Volume du sable,
- Type de sable.

Ainsi, les variables ayant été retenues pour caractériser ces pièces sont :

- Alliage (35%)
- Poids (20%)
- Volume d'encombrement (30%)
- Procédé de fabrication (15%).

L'alliage et le poids constituent 55% du prix total de la pièce.

Le volume d'encombrement d'une pièce est une indication du degré de complexité de celle-ci. Les pièces qui présentent de faibles sections et une grande répartition de la matière nécessitent la multiplication des masselottes. Ainsi, le

rendement diminue le rejet, le nombre de noyaux et le volume du sable augmentent aussi. Ainsi, la variable "volume d'encombrement" inclut presque toutes celles qui n'ont pas pu être prises en compte.

C'est le procédé de fabrication qui fixe les moyens à mettre en oeuvre pour le moulage des pièces. De ce fait, le choix du procédé influe directement sur le prix de revient des pièces.

VARIABLES UTILISEES DANS LE CODE

=====

|                                        |                 |
|----------------------------------------|-----------------|
| V1 : ALLIAGE DE LA PIECE               | pondération 35% |
| V2 : POIDS DE LA PIECE                 | pondération 20% |
| V3 : QUANTITE COMMANDEE                | pondération 00% |
| V4 : RENDEMENT                         | pondération 00% |
| V5 : REJET                             | pondération 00% |
| V6 : VOLUME D'ENCOMBREMENT DE LA PIECE | pondération 30% |
| V7 : NOMBRE DE NOYAUX                  | pondération 00% |
| V8 : VOLUME DU SABLE                   | pondération 00% |
| V9 : TYPE DE SABLE                     | pondération 00% |
| V10: PROCEDE DE FABRICATION            | pondération 15% |

DONNEES INDUSTRIELLES

=====

| No | V1 | V2  | V3  | V4 | V5 | V6    | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf   |
|----|----|-----|-----|----|----|-------|----|------|----|-----|------|-------|
| 1  | 19 | 22  | 22  | 25 | 0  | 227   | 0  | 0    | 0  | 2   | 55   | 09P08 |
| 2  | 27 | 30  | 9   | 40 | 0  | 196   | 2  | 69   | 3  | 2   | 46   | 08W03 |
| 3  | 27 | 305 | 12  | 78 | 7  | 4788  | 7  | 1527 | 9  | 3   | 390  | 08W24 |
| 4  | 27 | 103 | 18  | 76 | 7  | 2165  | 3  | 1527 | 5  | 3   | 201  | 08W34 |
| 5  | 27 | 69  | 18  | 74 | 0  | 328   | 1  | 17   | 2  | 3   | 164  | 08W42 |
| 6  | 55 | 210 | 22  | 56 | 8  | 2710  | 9  | 834  | 4  | 3   | 594  | 02P29 |
| 7  | 50 | 26  | 33  | 65 | 6  | 350   | 2  | 208  | 4  | 1   | 43   | 12P36 |
| 8  | 19 | 52  | 30  | 62 | 0  | 547   | 0  | 0    | 0  | 2   | 59   | 08M12 |
| 9  | 19 | 4   | 45  | 75 | 5  | 126   | 1  | 72   | 3  | 2   | 15   | 08M27 |
| 10 | 19 | 4   | 64  | 36 | 5  | 29    | 0  | 0    | 0  | 2   | 11   | 08M28 |
| 11 | 19 | 650 | 11  | 67 | 0  | 12370 | 10 | 3608 | 5  | 3   | 852  | 08M29 |
| 12 | 19 | 51  | 14  | 50 | 0  | 7031  | 1  | 1    | 1  | 3   | 134  | 08N08 |
| 13 | 19 | 62  | 30  | 66 | 12 | 183   | 0  | 0    | 0  | 2   | 71   | 09Q13 |
| 14 | 19 | 112 | 1   | 49 | 0  | 387   | 0  | 0    | 0  | 3   | 146  | 12Q34 |
| 15 | 19 | 62  | 2   | 46 | 0  | 630   | 1  | 60   | 3  | 3   | 105  | 12Q36 |
| 16 | 13 | 21  | 8   | 53 | 0  | 324   | 1  | 29   | 2  | 2   | 32   | 12S30 |
| 17 | 19 | 21  | 11  | 50 | 15 | 252   | 1  | 27   | 2  | 2   | 44   | 12T30 |
| 18 | 19 | 38  | 22  | 60 | 0  | 148   | 0  | 0    | 0  | 2   | 61   | 12T47 |
| 19 | 19 | 21  | 16  | 68 | 0  | 234   | 0  | 0    | 0  | 2   | 34   | 12T51 |
| 20 | 22 | 250 | 35  | 53 | 5  | 3220  | 1  | 1938 | 5  | 3   | 438  | 12T78 |
| 21 | 19 | 7   | 5   | 29 | 0  | 70    | 3  | 12   | 2  | 2   | 19   | 12T88 |
| 22 | 22 | 665 | 2   | 62 | 0  | 11272 | 0  | 0    | 0  | 3   | 1044 | 12T99 |
| 23 | 14 | 60  | 4   | 75 | 0  | 359   | 0  | 0    | 0  | 3   | 94   | 09D32 |
| 24 | 19 | 215 | 6   | 72 | 0  | 3248  | 5  | 1820 | 5  | 3   | 409  | 09N31 |
| 25 | 13 | 140 | 14  | 67 | 13 | 7392  | 1  | 4914 | 5  | 3   | 213  | 09N40 |
| 26 | 13 | 105 | 15  | 58 | 0  | 1711  | 2  | 1620 | 5  | 3   | 156  | 09N42 |
| 27 | 13 | 15  | 30  | 44 | 0  | 243   | 1  | 87   | 3  | 2   | 28   | 09N55 |
| 28 | 13 | 42  | 18  | 50 | 13 | 1532  | 1  | 254  | 4  | 3   | 58   | 09N59 |
| 29 | 19 | 18  | 114 | 78 | 0  | 127   | 0  | 0    | 0  | 1   | 26   | 24G01 |

Suite

| No | V1 | V2  | V3   | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf   |
|----|----|-----|------|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 30 | 19 | 15  | 113  | 73 | 1  | 100  | 0  | 0    | 0  | 1   | 23   | 24G02 |
| 31 | 19 | 46  | 129  | 68 | 2  | 382  | 1  | 257  | 4  | 1   | 57   | 08J56 |
| 32 | 19 | 37  | 114  | 61 | 3  | 705  | 1  | 341  | 4  | 1   | 47   | 08J57 |
| 33 | 19 | 40  | 492  | 62 | 3  | 2356 | 1  | 83   | 3  | 1   | 55   | 08L01 |
| 34 | 19 | 33  | 494  | 87 | 3  | 896  | 1  | 64   | 3  | 1   | 48   | 08L02 |
| 35 | 19 | 105 | 402  | 60 | 3  | 4522 | 4  | 3038 | 5  | 1   | 154  | 08L03 |
| 36 | 19 | 2   | 717  | 47 | 5  | 22   | 0  | 0    | 0  | 1   | 3    | 08L05 |
| 37 | 19 | 38  | 189  | 73 | 1  | 1208 | 4  | 111  | 4  | 1   | 58   | 08L07 |
| 38 | 19 | 4   | 3213 | 28 | 4  | 39   | 0  | 0    | 0  | 1   | 6    | 08L12 |
| 39 | 19 | 1   | 2426 | 25 | 2  | 15   | 0  | 0    | 0  | 1   | 5    | 08L19 |
| 40 | 19 | 1   | 3098 | 36 | 1  | 680  | 1  | 2    | 1  | 1   | 3    | 12L03 |
| 41 | 19 | 16  | 101  | 39 | 1  | 42   | 5  | 28   | 7  | 1   | 37   | 12L22 |
| 42 | 19 | 2   | 127  | 53 | 16 | 28   | 1  | 0    | 1  | 2   | 7    | 12L25 |
| 43 | 19 | 1   | 212  | 42 | 1  | 9    | 0  | 0    | 0  | 1   | 3    | 12L28 |
| 44 | 19 | 8   | 1203 | 68 | 5  | 245  | 1  | 276  | 7  | 1   | 14   | 12L36 |
| 45 | 19 | 23  | 478  | 74 | 1  | 330  | 2  | 79   | 3  | 1   | 36   | 12L38 |
| 46 | 19 | 8   | 62   | 55 | 3  | 813  | 1  | 154  | 4  | 2   | 24   | 12L43 |
| 47 | 19 | 3   | 488  | 57 | 4  | 108  | 2  | 19   | 6  | 1   | 6    | 25G03 |
| 48 | 13 | 2   | 104  | 50 | 0  | 35   | 0  | 0    | 0  | 1   | 9    | 12A34 |
| 49 | 13 | 26  | 8    | 47 | 0  | 891  | 0  | 0    | 0  | 2   | 90   | 12B02 |
| 50 | 13 | 3   | 171  | 39 | 3  | 34   | 0  | 0    | 0  | 1   | 33   | 12B28 |
| 51 | 20 | 2   | 834  | 50 | 3  | 23   | 0  | 0    | 0  | 1   | 3    | 12B35 |
| 52 | 20 | 3   | 708  | 39 | 1  | 39   | 0  | 0    | 0  | 1   | 5    | 12B37 |
| 53 | 20 | 48  | 24   | 42 | 0  | 287  | 0  | 0    | 0  | 3   | 194  | 12B46 |
| 54 | 20 | 5   | 193  | 29 | 8  | 16   | 1  | 8    | 6  | 1   | 14   | 12B53 |
| 55 | 13 | 12  | 73   | 41 | 3  | 855  | 1  | 0    | 1  | 1   | 22   | 12B67 |
| 56 | 12 | 76  | 4    | 66 | 0  | 274  | 2  | 141  | 4  | 2   | 82   | 10C33 |
| 57 | 50 | 145 | 18   | 53 | 0  | 5387 | 3  | 5965 | 5  | 3   | 448  | 11C01 |
| 58 | 19 | 580 | 6    | 83 | 0  | 7698 | 1  | 8590 | 5  | 3   | 818  | 11C02 |
| 59 | 72 | 7   | 130  | 53 | 2  | 51   | 1  | 5    | 1  | 1   | 13   | 11C11 |
| 60 | 19 | 110 | 24   | 50 | 0  | 3680 | 5  | 975  | 4  | 3   | 253  | 09R03 |
| 61 | 22 | 140 | 32   | 59 | 3  | 3680 | 5  | 975  | 4  | 3   | 365  | 09R31 |
| 62 | 50 | 135 | 9    | 69 | 0  | 992  | 0  | 0    | 0  | 1   | 173  | 09R38 |
| 63 | 19 | 10  | 120  | 58 | 0  | 258  | 1  | 7    | 2  | 1   | 19   | 09L10 |
| 64 | 22 | 37  | 10   | 50 | 0  | 326  | 1  | 176  | 4  | 3   | 74   | 19B24 |
| 65 | 13 | 9   | 10   | 27 | 0  | 41   | 0  | 0    | 0  | 2   | 16   | 25S08 |
| 66 | 72 | 19  | 87   | 81 | 0  | 68   | 1  | 12   | 2  | 3   | 42   | 20K21 |
| 67 | 13 | 38  | 19   | 58 | 14 | 420  | 0  | 0    | 0  | 2   | 41   | 10C18 |
| 68 | 13 | 33  | 11   | 50 | 0  | 259  | 0  | 0    | 0  | 2   | 44   | 11K22 |
| 69 | 90 | 21  | 269  | 60 | 1  | 168  | 1  | 9    | 2  | 1   | 40   | 08Z51 |
| 70 | 72 | 18  | 56   | 51 | 3  | 205  | 0  | 0    | 0  | 1   | 38   | 08Z52 |
| 71 | 72 | 35  | 146  | 68 | 0  | 161  | 0  | 0    | 0  | 1   | 56   | 08Z53 |
| 72 | 13 | 720 | 2    | 68 | 0  | 6143 | 2  | 4563 | 5  | 3   | 936  | 08D01 |
| 73 | 13 | 18  | 101  | 38 | 12 | 182  | 0  | 0    | 0  | 2   | 28   | 08S27 |
| 74 | 13 | 22  | 21   | 48 | 3  | 89   | 1  | 57   | 3  | 2   | 42   | 08T29 |
| 75 | 13 | 4   | 98   | 21 | 0  | 22   | 0  | 0    | 0  | 2   | 12   | 09T17 |
| 76 | 12 | 10  | 30   | 39 | 9  | 106  | 0  | 0    | 0  | 2   | 16   | 09T21 |
| 77 | 50 | 10  | 117  | 33 | 3  | 52   | 1  | 3    | 1  | 2   | 21   | 24A07 |
| 78 | 50 | 12  | 3362 | 44 | 2  | 118  | 1  | 24   | 6  | 1   | 23   | 24A22 |
| 79 | 55 | 10  | 1375 | 37 | 1  | 118  | 2  | 68   | 7  | 1   | 20   | 24A23 |
| 80 | 72 | 30  | 408  | 76 | 1  | 263  | 0  | 0    | 0  | 1   | 49   | 24A31 |
| 81 | 72 | 57  | 30   | 63 | 14 | 1274 | 2  | 6    | 1  | 1   | 104  | 24A40 |
| 82 | 13 | 110 | 28   | 73 | 0  | 674  | 1  | 9    | 2  | 3   | 176  | 10D34 |
| 83 | 55 | 22  | 12   | 66 | 9  | 390  | 3  | 160  | 4  | 2   | 41   | 11R10 |
| 84 | 12 | 25  | 9    | 88 | 13 | 113  | 2  | 1    | 1  | 2   | 40   | 17F15 |
| 85 | 12 | 4   | 22   | 23 | 6  | 18   | 0  | 0    | 0  | 2   | 11   | 17G01 |
| 86 | 12 | 11  | 3583 | 54 | 1  | 79   | 0  | 0    | 0  | 1   | 15   | 17G17 |
| 87 | 50 | 24  | 102  | 47 | 0  | 293  | 2  | 608  | 4  | 3   | 42   | 17G21 |
| 88 | 45 | 4   | 155  | 37 | 7  | 26   | 0  | 0    | 0  | 1   | 8    | 17H08 |
| 89 | 12 | 27  | 64   | 77 | 2  | 280  | 2  | 28   | 2  | 2   | 43   | 17K02 |
| 90 | 45 | 22  | 1110 | 46 | 3  | 864  | 0  | 0    | 0  | 1   | 32   | 17M21 |
| 91 | 45 | 20  | 437  | 60 | 3  | 240  | 1  | 5    | 1  | 1   | 33   | 17N14 |
| 92 | 19 | 108 | 53   | 59 | 3  | 2400 | 2  | 43   | 3  | 3   | 272  | 17N16 |
| 93 | 50 | 19  | 27   | 43 | 8  | 277  | 1  | 4    | 1  | 2   | 47   | 17N24 |
| 94 | 50 | 23  | 1140 | 48 | 2  | 147  | 1  | 6    | 1  | 1   | 35   | 17P12 |
| 95 | 19 | 1   | 4971 | 60 | 49 | 9    | 1  | 0    | 6  | 1   | 2    | 11F01 |
| 96 | 13 | 46  | 956  | 74 | 6  | 835  | 2  | 22   | 6  | 1   | 69   | 24F05 |
| 97 | 19 | 5   | 48   | 34 | 4  | 63   | 0  | 0    | 0  | 1   | 11   | 10M13 |

### 5-1-4- Traitement des données :

Ce traitement a pour but la génération d'une partition de familles de produits semblables à partir de la matrice de dissemblance.

Le nombre d'individus total est n = 97  
Le nombre total de variables est m = 10

```
#####
#
# 2) STATISTIQUES SUR LES VARIABLES #
#
#####
```

\* Calcul des moyennes et écarts types  
des variables de type (2) (quantitatives)

```
=====
```

| Var =  | 1     | 2      | 3      | 4     | 5    | 6       | 7    | 8       | 9    | 10   |
|--------|-------|--------|--------|-------|------|---------|------|---------|------|------|
| Moy =  | 26.38 | 68.46  | 371.30 | 54.86 | 3.68 | 1191.98 | 1.32 | 469.55  | 2.25 | 1.84 |
| E-Typ= | 18.01 | 133.74 | 859.97 | 15.63 | 6.18 | 2283.06 | 1.81 | 1335.69 | 2.28 | 0.82 |

```
=====
```

distances euclidiennes :

( pondérées par l'inverse de la variance )

\* Calcul de la moyenne et de l'écart type  
des distances euclidiennes

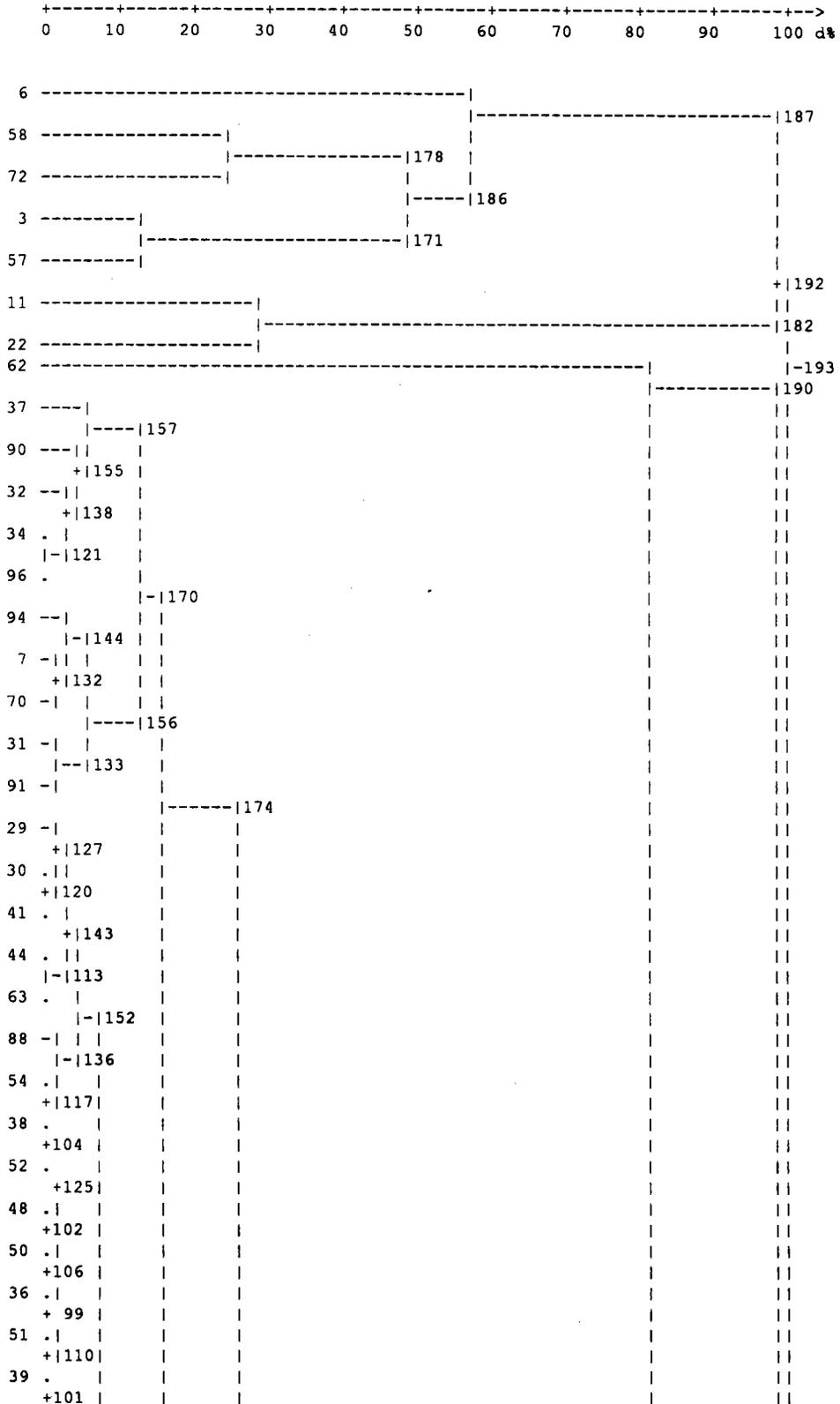
```
=====
```

|           |       |  |              |       |  |
|-----------|-------|--|--------------|-------|--|
| Moyenne = | 2.021 |  | Ecart type = | 4.113 |  |
|-----------|-------|--|--------------|-------|--|

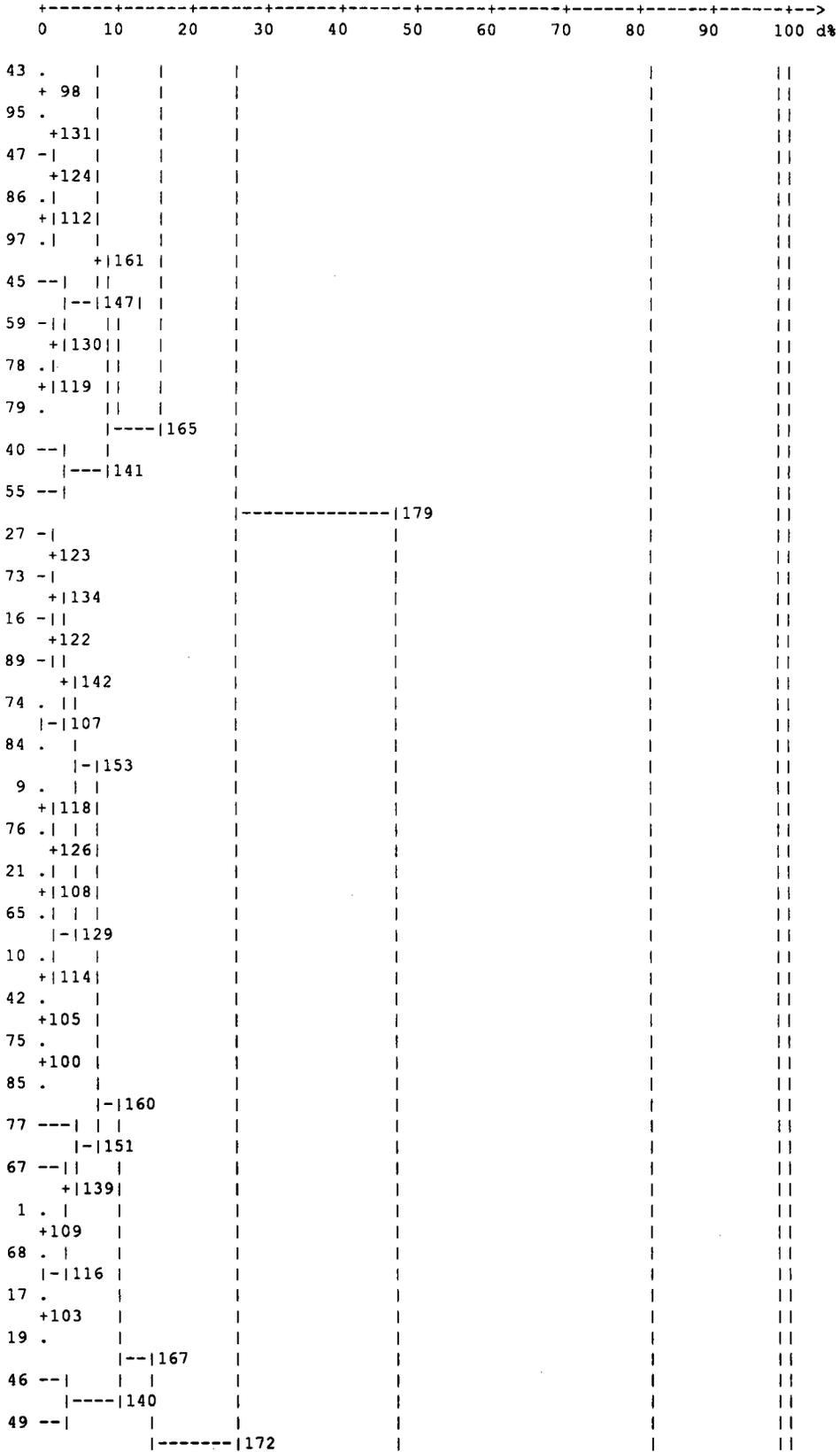
```
=====
```

CLASSIFICATION BASEE SUR LE CODE

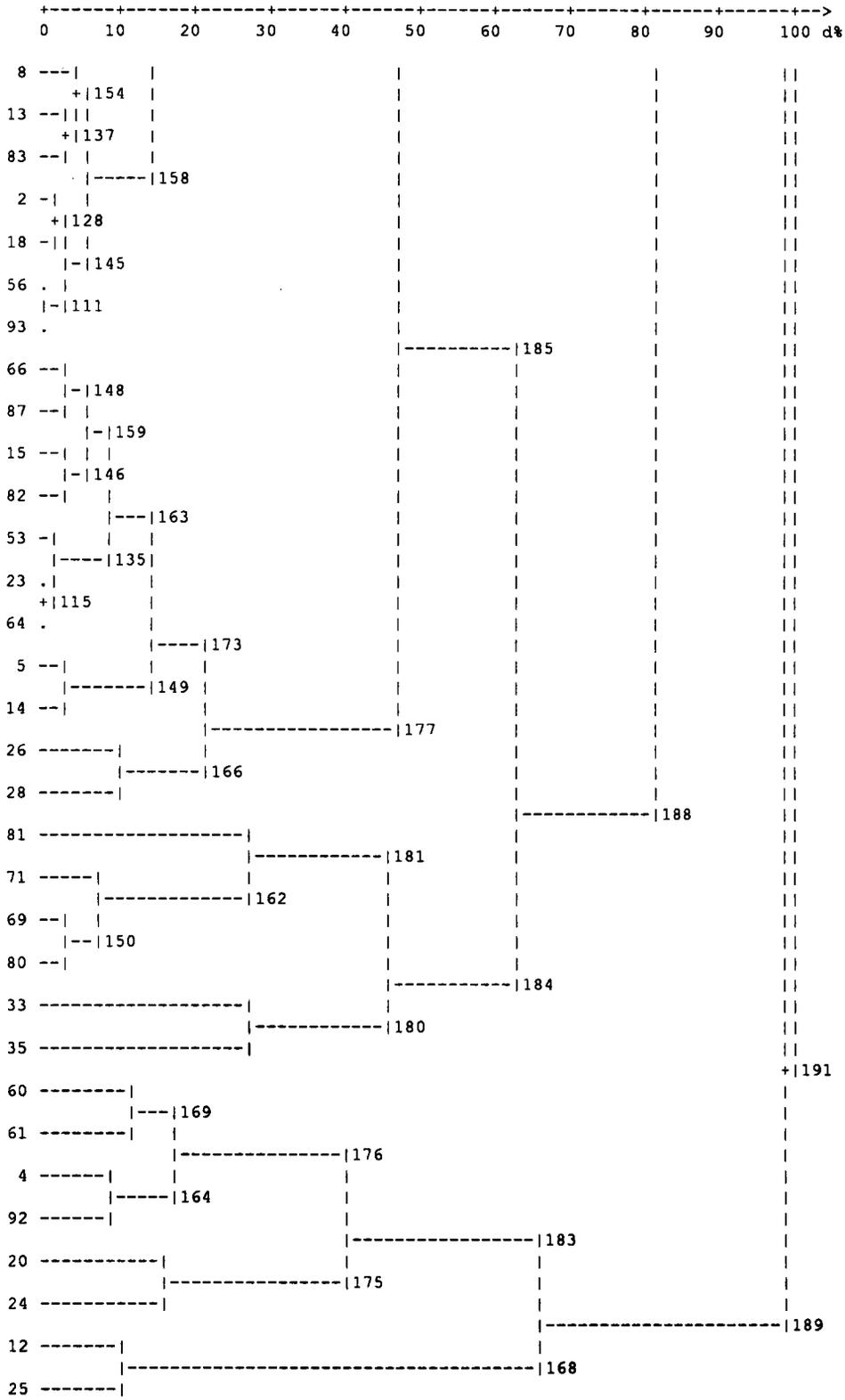
Tracé de la structure hiérarchique pour 97 pièces moulées :



(Suite)



(Suite)



Choix du nombre de classes :

=====

Nombre de classes homogènes à 100 % est : 96

Combien voulez-vous de classes ? (0 pour quitter) ---> : 10

---> Classe No: 1 ; effectif : 64 soit 66.0 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2 | V3   | V4 | V5 | V6   | V7 | V8  | V9 | V10 | Prix | Réf   |
|----|----|----|------|----|----|------|----|-----|----|-----|------|-------|
| 1  | 19 | 22 | 22   | 25 | 0  | 227  | 0  | 0   | 0  | 2   | 55   | 09P08 |
| 2  | 27 | 30 | 9    | 40 | 0  | 196  | 2  | 69  | 3  | 2   | 46   | 08W03 |
| 7  | 50 | 26 | 33   | 65 | 6  | 350  | 2  | 208 | 4  | 1   | 43   | 12P36 |
| 8  | 19 | 52 | 30   | 62 | 0  | 547  | 0  | 0   | 0  | 2   | 59   | 08M12 |
| 9  | 19 | 4  | 45   | 75 | 5  | 126  | 1  | 72  | 3  | 2   | 15   | 08M27 |
| 10 | 19 | 4  | 64   | 36 | 5  | 29   | 0  | 0   | 0  | 2   | 11   | 08M28 |
| 13 | 19 | 62 | 30   | 66 | 12 | 183  | 0  | 0   | 0  | 2   | 71   | 09Q13 |
| 16 | 13 | 21 | 8    | 53 | 0  | 324  | 1  | 29  | 2  | 2   | 32   | 12S30 |
| 17 | 19 | 21 | 11   | 50 | 15 | 252  | 1  | 27  | 2  | 2   | 44   | 12T30 |
| 18 | 19 | 38 | 22   | 60 | 0  | 148  | 0  | 0   | 0  | 2   | 61   | 12T47 |
| 19 | 19 | 21 | 16   | 68 | 0  | 234  | 0  | 0   | 0  | 2   | 34   | 12T51 |
| 21 | 19 | 7  | 5    | 29 | 0  | 70   | 3  | 12  | 2  | 2   | 19   | 12T88 |
| 27 | 13 | 15 | 30   | 44 | 0  | 243  | 1  | 87  | 3  | 2   | 28   | 09N55 |
| 29 | 19 | 18 | 114  | 78 | 0  | 127  | 0  | 0   | 0  | 1   | 26   | 24G01 |
| 30 | 19 | 15 | 113  | 73 | 1  | 100  | 0  | 0   | 0  | 1   | 23   | 24G02 |
| 31 | 19 | 46 | 129  | 68 | 2  | 382  | 1  | 257 | 4  | 1   | 57   | 08J56 |
| 32 | 19 | 37 | 114  | 61 | 3  | 705  | 1  | 341 | 4  | 1   | 47   | 08J57 |
| 34 | 19 | 33 | 494  | 87 | 3  | 896  | 1  | 64  | 3  | 1   | 48   | 08L02 |
| 36 | 19 | 2  | 717  | 47 | 5  | 22   | 0  | 0   | 0  | 1   | 3    | 08L05 |
| 37 | 19 | 38 | 189  | 73 | 1  | 1208 | 4  | 111 | 4  | 1   | 58   | 08L07 |
| 38 | 19 | 4  | 3213 | 28 | 4  | 39   | 0  | 0   | 0  | 1   | 6    | 08L12 |
| 39 | 19 | 1  | 2426 | 25 | 2  | 15   | 0  | 0   | 0  | 1   | 5    | 08L19 |
| 40 | 19 | 1  | 3098 | 36 | 1  | 680  | 1  | 2   | 1  | 1   | 3    | 12L03 |
| 41 | 19 | 16 | 101  | 39 | 1  | 42   | 5  | 28  | 7  | 1   | 37   | 12L22 |
| 42 | 19 | 2  | 127  | 53 | 16 | 28   | 1  | 0   | 1  | 2   | 7    | 12L25 |
| 43 | 19 | 1  | 212  | 42 | 1  | 9    | 0  | 0   | 0  | 1   | 3    | 12L28 |
| 44 | 19 | 8  | 1203 | 68 | 5  | 245  | 1  | 276 | 7  | 1   | 14   | 12L36 |
| 45 | 19 | 23 | 478  | 74 | 1  | 330  | 2  | 79  | 3  | 1   | 36   | 12L38 |
| 46 | 19 | 8  | 62   | 55 | 3  | 813  | 1  | 154 | 4  | 2   | 24   | 12L43 |
| 47 | 19 | 3  | 488  | 57 | 4  | 108  | 2  | 19  | 6  | 1   | 6    | 25G03 |
| 48 | 13 | 2  | 104  | 50 | 0  | 35   | 0  | 0   | 0  | 1   | 9    | 12A34 |
| 49 | 13 | 26 | 8    | 47 | 0  | 891  | 0  | 0   | 0  | 2   | 90   | 12B02 |
| 50 | 13 | 3  | 171  | 39 | 3  | 34   | 0  | 0   | 0  | 1   | 33   | 12B28 |
| 51 | 20 | 2  | 834  | 50 | 3  | 23   | 0  | 0   | 0  | 1   | 3    | 12B35 |
| 52 | 20 | 3  | 708  | 39 | 1  | 39   | 0  | 0   | 0  | 1   | 5    | 12B37 |
| 54 | 20 | 5  | 193  | 29 | 8  | 16   | 1  | 8   | 6  | 1   | 14   | 12B53 |
| 55 | 13 | 12 | 73   | 41 | 3  | 855  | 1  | 0   | 1  | 1   | 22   | 12B67 |
| 56 | 12 | 76 | 4    | 66 | 0  | 274  | 2  | 141 | 4  | 2   | 82   | 10C33 |
| 59 | 72 | 7  | 130  | 53 | 2  | 51   | 1  | 5   | 1  | 1   | 13   | 11C11 |
| 63 | 19 | 10 | 120  | 58 | 0  | 258  | 1  | 7   | 2  | 1   | 19   | 09L10 |
| 65 | 13 | 9  | 10   | 27 | 0  | 41   | 0  | 0   | 0  | 2   | 16   | 25S08 |
| 67 | 13 | 38 | 19   | 58 | 14 | 420  | 0  | 0   | 0  | 2   | 41   | 10C18 |
| 68 | 13 | 33 | 11   | 50 | 0  | 259  | 0  | 0   | 0  | 2   | 44   | 11K22 |
| 70 | 72 | 18 | 56   | 51 | 3  | 205  | 0  | 0   | 0  | 1   | 38   | 08Z52 |
| 73 | 13 | 18 | 101  | 38 | 12 | 182  | 0  | 0   | 0  | 2   | 28   | 08S27 |
| 74 | 13 | 22 | 21   | 48 | 3  | 89   | 1  | 57  | 3  | 2   | 42   | 08T29 |
| 75 | 13 | 4  | 98   | 21 | 0  | 22   | 0  | 0   | 0  | 2   | 12   | 09T17 |
| 76 | 12 | 10 | 30   | 39 | 9  | 106  | 0  | 0   | 0  | 2   | 16   | 09T21 |
| 77 | 50 | 10 | 117  | 33 | 3  | 52   | 1  | 3   | 1  | 2   | 21   | 24A07 |
| 78 | 50 | 12 | 3362 | 44 | 2  | 118  | 1  | 24  | 6  | 1   | 23   | 24A22 |
| 79 | 55 | 10 | 1375 | 37 | 1  | 118  | 2  | 68  | 7  | 1   | 20   | 24A23 |

| No | V1 | V2 | V3   | V4 | V5 | V6  | V7 | V8  | V9 | V10 | Prix | Réf   |
|----|----|----|------|----|----|-----|----|-----|----|-----|------|-------|
| 83 | 55 | 22 | 12   | 66 | 9  | 390 | 3  | 160 | 4  | 2   | 41   | 11R10 |
| 84 | 12 | 25 | 9    | 88 | 13 | 113 | 2  | 1   | 1  | 2   | 40   | 17F15 |
| 85 | 12 | 4  | 22   | 23 | 6  | 18  | 0  | 0   | 0  | 2   | 11   | 17G01 |
| 86 | 12 | 11 | 3583 | 54 | 1  | 79  | 0  | 0   | 0  | 1   | 15   | 17G17 |
| 88 | 45 | 4  | 155  | 37 | 7  | 26  | 0  | 0   | 0  | 1   | 8    | 17H08 |
| 89 | 12 | 27 | 64   | 77 | 2  | 280 | 2  | 28  | 2  | 2   | 43   | 17K02 |
| 90 | 45 | 22 | 1110 | 46 | 3  | 864 | 0  | 0   | 0  | 1   | 32   | 17M21 |
| 91 | 45 | 20 | 437  | 60 | 3  | 240 | 1  | 5   | 1  | 1   | 33   | 17N14 |
| 93 | 50 | 19 | 27   | 43 | 8  | 277 | 1  | 4   | 1  | 2   | 47   | 17N24 |
| 94 | 50 | 23 | 1140 | 48 | 2  | 147 | 1  | 6   | 1  | 1   | 35   | 17P12 |
| 95 | 19 | 1  | 4971 | 60 | 49 | 9   | 1  | 0   | 6  | 1   | 2    | 11F01 |
| 96 | 13 | 46 | 956  | 74 | 6  | 835 | 2  | 22  | 6  | 1   | 69   | 24F05 |
| 97 | 19 | 5  | 48   | 34 | 4  | 63  | 0  | 0   | 0  | 1   | 11   | 10M13 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 75 %  
@ ~~~~~ @

---> Classe No: 2 ; effectif : 6 soit 6.2 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3  | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|-----|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 33 | 19 | 40  | 492 | 62 | 3  | 2356 | 1  | 83   | 3  | 1   | 55   | 08L01 |
| 35 | 19 | 105 | 402 | 60 | 3  | 4522 | 4  | 3038 | 5  | 1   | 154  | 08L03 |
| 69 | 90 | 21  | 269 | 60 | 1  | 168  | 1  | 9    | 2  | 1   | 40   | 08Z51 |
| 71 | 72 | 35  | 146 | 68 | 0  | 161  | 0  | 0    | 0  | 1   | 56   | 08Z53 |
| 80 | 72 | 30  | 408 | 76 | 1  | 263  | 0  | 0    | 0  | 1   | 49   | 24A31 |
| 81 | 72 | 57  | 30  | 63 | 14 | 1274 | 2  | 6    | 1  | 1   | 104  | 24A40 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 55 %  
@ ~~~~~ @

---> Classe No: 3 ; effectif : 11 soit 11.3 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3  | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|-----|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 5  | 27 | 69  | 18  | 74 | 0  | 328  | 1  | 17   | 2  | 3   | 164  | 08W42 |
| 14 | 19 | 112 | 1   | 49 | 0  | 387  | 0  | 0    | 0  | 3   | 146  | 12Q34 |
| 15 | 19 | 62  | 2   | 46 | 0  | 630  | 1  | 60   | 3  | 3   | 105  | 12Q36 |
| 23 | 14 | 60  | 4   | 75 | 0  | 359  | 0  | 0    | 0  | 3   | 94   | 09D32 |
| 26 | 13 | 105 | 15  | 58 | 0  | 1711 | 2  | 1620 | 5  | 3   | 156  | 09N42 |
| 28 | 13 | 42  | 18  | 50 | 13 | 1532 | 1  | 254  | 4  | 3   | 58   | 09N59 |
| 53 | 20 | 48  | 24  | 42 | 0  | 287  | 0  | 0    | 0  | 3   | 194  | 12B46 |
| 64 | 22 | 37  | 10  | 50 | 0  | 326  | 1  | 176  | 4  | 3   | 74   | 19B24 |
| 66 | 72 | 19  | 87  | 81 | 0  | 68   | 1  | 12   | 2  | 3   | 42   | 20K21 |
| 82 | 13 | 110 | 28  | 73 | 0  | 674  | 1  | 9    | 2  | 3   | 176  | 10D34 |
| 87 | 50 | 24  | 102 | 47 | 0  | 293  | 2  | 608  | 4  | 3   | 42   | 17G21 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 79 %  
@ ~~~~~ @

---> Classe No: 4 ; effectif : 1 soit 1.0 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6  | V7 | V8 | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|------|-------|
| 62 | 50 | 135 | 9  | 69 | 0  | 992 | 0  | 0  | 0  | 1   | 173  | 09R38 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 100 %  
@ ~~~~~ @

---> Classe No: 5 ; effectif : 2 soit 2.1 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 12 | 19 | 51  | 14 | 50 | 0  | 7031 | 1  | 1    | 1  | 3   | 134  | 08N08 |
| 25 | 13 | 140 | 14 | 67 | 13 | 7392 | 1  | 4914 | 5  | 3   | 213  | 09N40 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 90 %

---> Classe No: 6 ; effectif : 6 soit 6.2 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 4  | 27 | 103 | 18 | 76 | 7  | 2165 | 3  | 1527 | 5  | 3   | 201  | 08W34 |
| 20 | 22 | 250 | 35 | 53 | 5  | 3220 | 1  | 1938 | 5  | 3   | 438  | 12T78 |
| 24 | 19 | 215 | 6  | 72 | 0  | 3248 | 5  | 1820 | 5  | 3   | 409  | 09N31 |
| 60 | 19 | 110 | 24 | 50 | 0  | 3680 | 5  | 975  | 4  | 3   | 253  | 09R03 |
| 61 | 22 | 140 | 32 | 59 | 3  | 3680 | 5  | 975  | 4  | 3   | 365  | 09R31 |
| 92 | 19 | 108 | 53 | 59 | 3  | 2400 | 2  | 43   | 3  | 3   | 272  | 17N16 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 60 %

@ ~~~~~ @

---> Classe No: 7 ; effectif : 2 soit 2.1 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 3  | 27 | 305 | 12 | 78 | 7  | 4788 | 7  | 1527 | 9  | 3   | 390  | 08W24 |
| 57 | 50 | 145 | 18 | 53 | 0  | 5387 | 3  | 5965 | 5  | 3   | 448  | 11C01 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 88 %

@ ~~~~~ @

---> Classe No: 8 ; effectif : 1 soit 1.0 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6   | V7 | V8  | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|------|----|-----|----|-----|------|-------|
| 6  | 55 | 210 | 22 | 56 | 8  | 2710 | 9  | 834 | 4  | 3   | 594  | 02P29 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 100 %

@ ~~~~~ @

---> Classe No: 9 ; effectif : 2 soit 2.1 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6   | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|------|----|------|----|-----|------|-------|
| 58 | 19 | 580 | 6  | 83 | 0  | 7698 | 1  | 8590 | 5  | 3   | 818  | 11C02 |
| 72 | 13 | 720 | 2  | 68 | 0  | 6143 | 2  | 4563 | 5  | 3   | 936  | 08D01 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 76 %

@ ~~~~~ @

---> Classe No:10 ; effectif : 2 soit 2.1 % de l'effectif total.

| No | V1 | V2  | V3 | V4 | V5 | V6    | V7 | V8   | V9 | V10 | Prix | Réf.  |
|----|----|-----|----|----|----|-------|----|------|----|-----|------|-------|
| 11 | 19 | 650 | 11 | 67 | 0  | 12370 | 10 | 3608 | 5  | 3   | 852  | 08M29 |
| 22 | 22 | 665 | 2  | 62 | 0  | 11272 | 0  | 0    | 0  | 3   | 1044 | 12T99 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 72 %

### 5-1-5- Interprétation des résultats:

Nous constatons que les dix familles obtenues d'après la classification (C1) basée sur les variables caractéristiques des pièces présentent chacune une similarité relativement bonne (75%), mais la répartition des pièces dans celles-ci n'est pas équilibrée d'où la présence d'une famille (classe N°1) qui comprend 66% de l'effectif total. Il existe donc une zone de forte densité pour les pièces qui ont un prix inférieur à 90 \$. La pièce N°62 et dont le prix de revient est 173 \$ a un effet perturbateur. Au lieu d'appartenir à la classe N°3 ou 5, elle forme à elle seule la classe N°4 , il convient donc de supprimer celle ci ou de l'affecter à la classe N°5.

Une autre classification (C2) de ces pièces en dix familles selon leur prix de revient est utilisée à titre de comparaison (figure V-2). Il ne s'agit pas ici de s'attendre à trouver des résultats presque identiques à la classification (C1) mais uniquement approchés. Les familles de la classification (C1) se recouvrent, alors que celles de la classification (C2) sont disjointes, donc on ne peut en aucun cas avoir une correspondance directe entre les classifications (C1) et (C2).

#### Comparaison des prix moyens des familles de pièces pour C1 et C2:

L'approche approximative ne peut donner des résultats précis notamment pour les familles de faible densité, d'où la nécessité d'avoir des familles équilibrées et de densité moyenne. Cette approche est la moins précise mais son exploitation est rapide contrairement aux approches par interpolation et par identification d'attributs.

Les moyennes des distances selon (C1) sont généralement inférieures à celles de (C2). Ainsi, les caractéristiques retenues ont engendré une sous-estimation du prix de revient des pièces traitées, (translation de l'échelle de mesure). Les prix de revient estimés seront d'autant plus précis que la taille de l'échantillon et le nombre de familles sont grands.

A/ Classification C1:

Après suppression de la classe n°4, on obtient:

|                |      |      |       |       |     |     |     |     |     |
|----------------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Classe N° :    | 1    | 2    | 3     | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| Effectif :     | 64   | 6    | 11    | 2     | 6   | 2   | 1   | 2   | 2   |
| Moyenne (\$) : | 29.7 | 76.3 | 113.7 | 173.5 | 323 | 419 | 594 | 877 | 948 |

B/ Classification C2:

|                            |    |     |       |       |     |     |     |     |     |      |
|----------------------------|----|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Classe N° :                | 1  | 2   | 3     | 4     | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   |
| Effectif :                 | 70 | 5   | 7     | 5     | 3   | 2   | 1   | 2   | 1   | 1    |
| Moyenne (\$) :             | 31 | 95  | 157.6 | 226.6 | 388 | 443 | 594 | 835 | 936 | 1044 |
| <hr/>                      |    |     |       |       |     |     |     |     |     |      |
| ( $\Delta C / \bar{C}$ ) : | 4% | 21% | 32%   | 27%   | 18% | 6%  | 0%  | 5%  | 1%  | --   |

Remarque : La précision de l'estimation est de l'ordre de 12.7%

Compte tenu de la taille de la famille de la classe N°1, Nous l'avons réparti en quatre sous-classes en changeant les coefficients de pondération des variables:

Classification C2

Classification C1

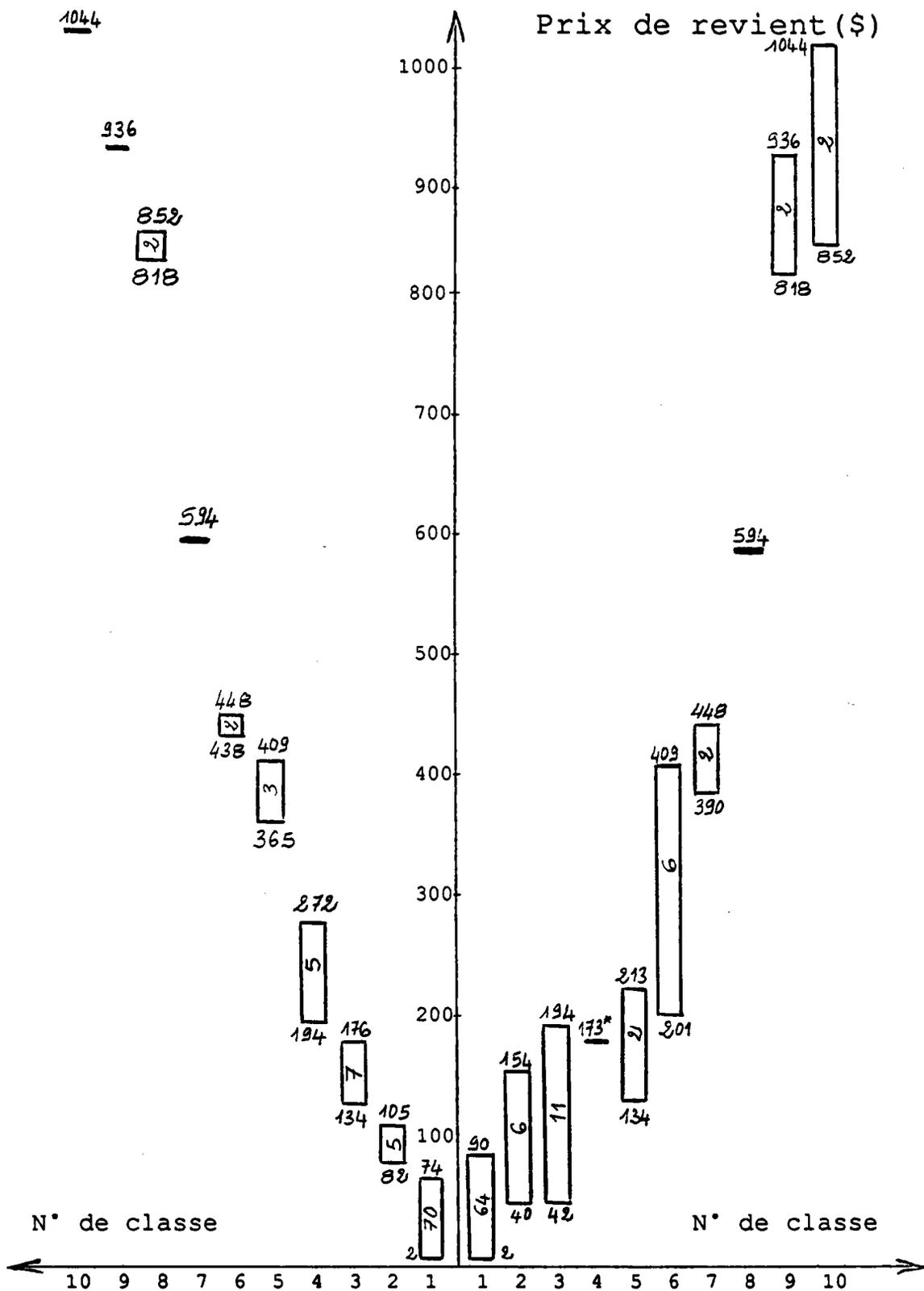


Figure V-2: Comparaison des partitions.

Les nouveaux coefficients de pondération sont:

-----> V1xV2 : 0.7  
 -----> V3 : 0  
 -----> V4 : 0  
 -----> V5 : 0  
 -----> V6 : 0.20  
 -----> V7 : 0  
 -----> V8 : 0  
 -----> V9 : 0  
 -----> V10 : 0.05

| Sous-classe N°: | 1  | 2    | 3  | 4    |
|-----------------|----|------|----|------|
| Effectif :      | 33 | 10   | 17 | 4    |
| Prix Min (\$):  | 2  | 13   | 32 | 3    |
| Prix Max (\$):  | 43 | 55   | 82 | 90   |
| Moyenne (\$):   | 17 | 33.1 | 51 | 34.8 |

Les prix de revient de la sous-classe N°4 sont: 3 - 22 - 24 et 90 \$. La cause de cette dispersion est due à la pondération à 0 de la troisième variable (quantité commandée) qui n'est pas significative pour l'ensemble de l'échantillon. Il convient donc de supprimer la sous-classe N°4 et d'affecter les quatre pièces aux trois sous-classes: 1, 2 et 3.

Les résultats d'une classification C2 basée sur les prix de revient de 64 pièces sont illustrés dans le tableau suivant:

| Sous-classe N° : | 1     | 2    | 3     |
|------------------|-------|------|-------|
| Effectif :       | 34    | 21   | 9     |
| Prix Min (\$):   | 2     | 32   | 55    |
| Prix Max (\$):   | 28    | 48   | 90    |
| Moyenne (\$):    | 13.56 | 39.8 | 66.89 |

Classification C2

Classification C1

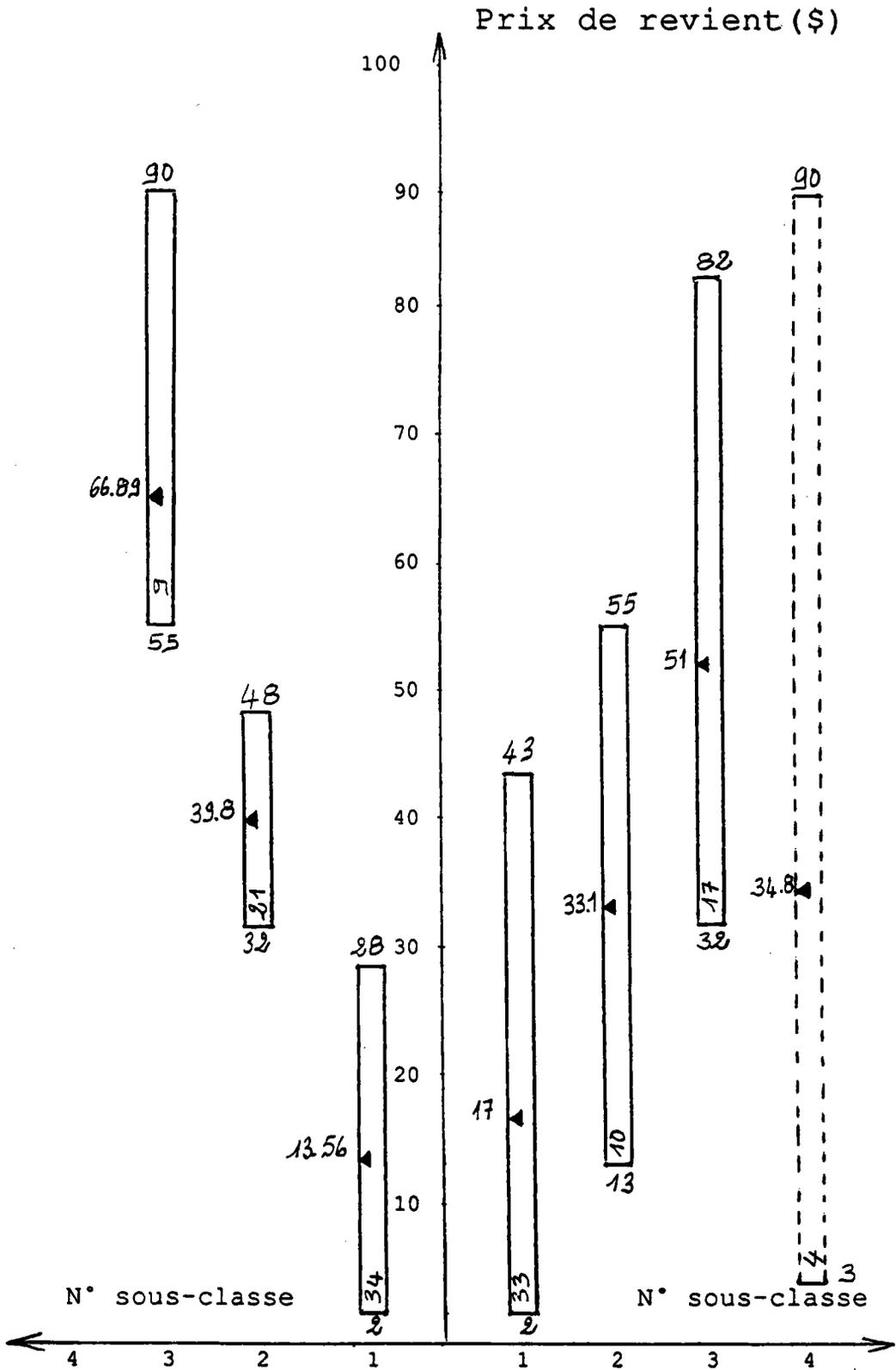


Figure V-3: Comparaison des partitions.

## 5-1-6- Conclusion :

Les résultats obtenus à partir de la classification basée sur les variables caractéristiques des pièces moulées sont voisins de ceux obtenus lors de la classification basée uniquement sur leur prix de revient réel. Ceci montre que les variables caractéristiques sélectionnées ainsi que les pondérations qui leur sont affectées ont été choisies convenablement et que la T.G. peut jouer un rôle important dans l'établissement du devis.

A partir d'un certain nombre d'affectations, les familles deviennent de moins en moins homogènes, il serait raisonnable d'effectuer régulièrement une nouvelle classification afin de les régénérer. Au cours de ce traitement, on remplacera, pour les pièces nouvellement intégrées dans le processus de fabrication, le prix de revient estimé par le prix de revient réel et on éliminera celles qui ne sont plus fabriquées depuis quelques années. Il convient entre autres de mettre à jour le fichier des données afin d'actualiser certaines variables dynamiques telles que le prix de la matière première qui est sujet à des fluctuations sur le marché international.

Au sein de chaque famille, il serait intéressant de revoir le processus d'établissement du devis des pièces dont le prix de revient est très éloigné du prix de revient moyen de la famille. Certaines pièces ont soit un prix de revient imprécis, soit les valeurs des variables caractéristiques erronées (cas du prix de la matière première).

Les approches proposées ont l'avantage de donner des résultats qui s'améliorent progressivement au cours des différentes applications grâce à l'enrichissement de la base de données.

## V-2- Exemple 2 :

### 5-2-1- Introduction :

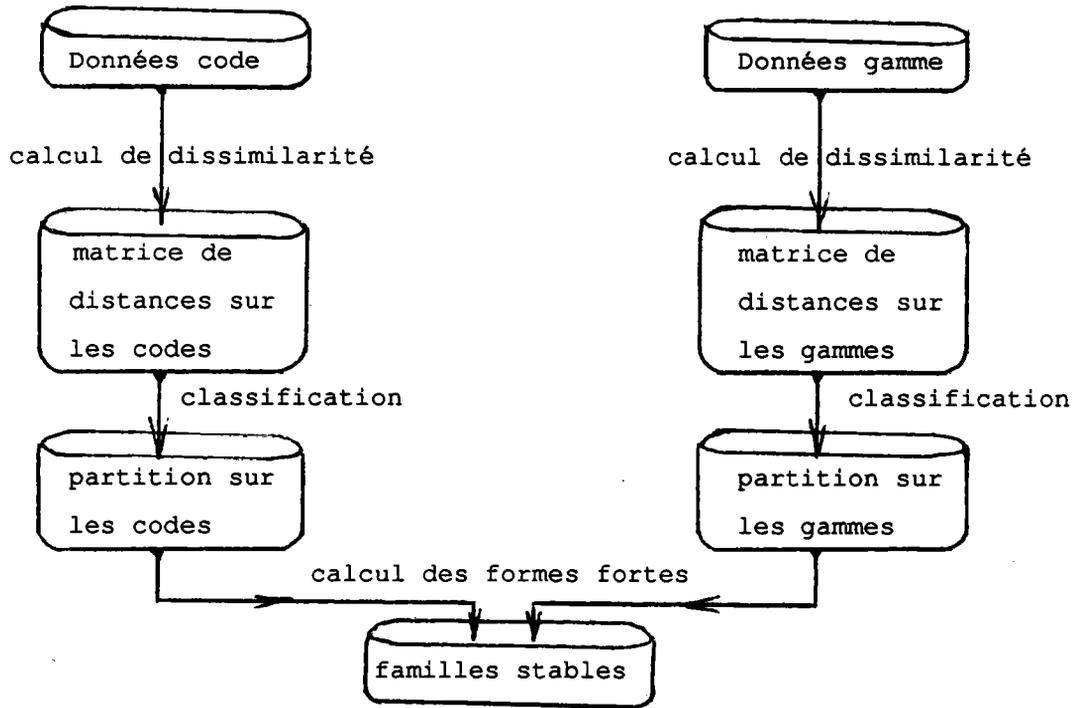
A notre connaissance, il n'existe pas de système universel en T.G. pour l'identification de familles de gammes à partir des données ordinales. Les méthodes actuellement utilisées sont dans leur majorité incapables de traiter les gammes dont le type de phases apparaît plusieurs fois et ne font pas référence à la nature de la phase (FRA-RAB-REC-TTH...) mais uniquement à une lettre qui n'apporte aucune information sur le type de phases.

Dans le but de rationaliser et standardiser le flux des informations et compte tenu du lien étroit qui existe entre les bureaux d'études, des méthodes et l'atelier de fabrication, il est préférable d'exploiter les mêmes résultats d'une classification automatique que des résultats différents mais spécifiques à chaque service. Ainsi, nous proposons deux approches dont le choix dépend de l'objectif recherché [36]:

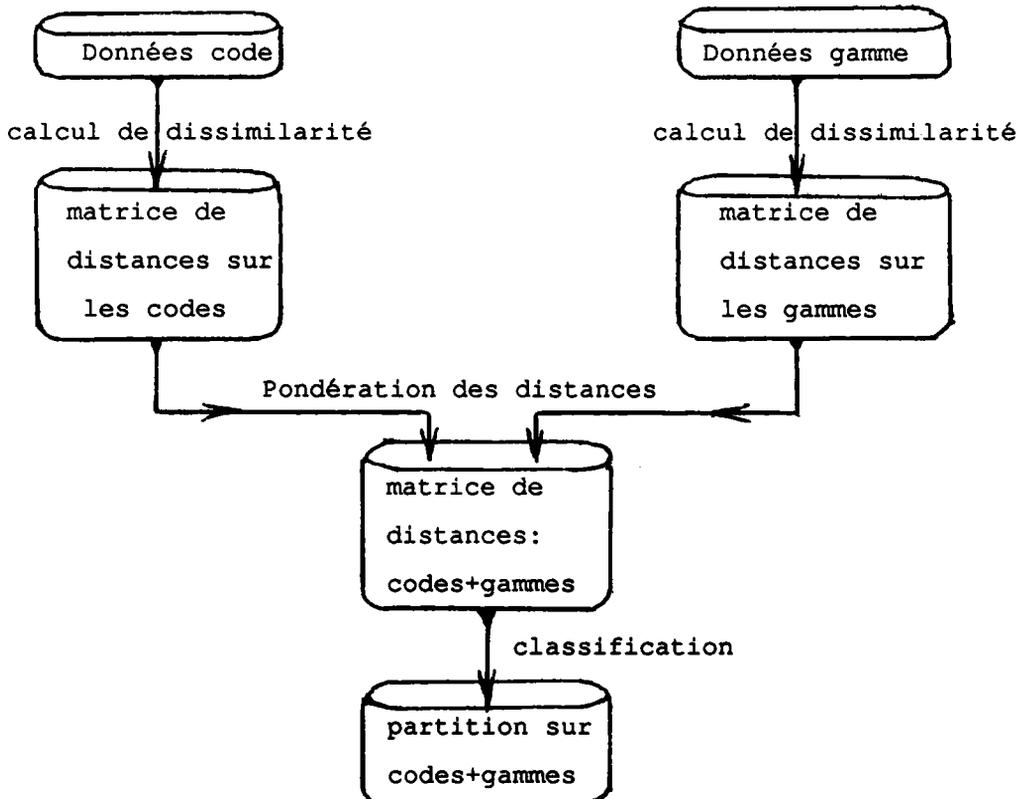
A/ Nous traitons séparément deux matrices, l'une sur les données "codes" (E1) et l'autre sur les données "gammes" (E2) et générons les deux partitions correspondantes. Nous appliquons par la suite la notion des formes fortes à ces deux partitions. Ainsi, nous déterminons la liste des familles de pièces "stables" qui seront exploitées par les trois services de l'entreprise .

B/ Nous traitons simultanément les données "codes" (E1) et les données "gammes" (E2) en générant à partir de la matrice de dissimilarité des codes [d1] et celle des gammes [d2] une matrice résultante [d] (voir 3-3-2-3: traitement simultané des gammes et des codes, page 53). Le logiciel génère ainsi une seule partition à partir de cette matrice.

Approche A:



Approche B:



A- Approche proposée pour la classification  
des gammes de fabrication:

L'approche proposée dans cette étude est le résultat d'une réflexion sur les méthodes traditionnelles. De cette réflexion, nous avons tiré les idées directrices suivantes:

- \* Utiliser les concepts de la Technologie de Groupe, qui conduisent à une bonne organisation du système de fabrication,
- \* Appliquer la notion de mesure de similarité pour l'identification des familles de gammes,
- \* Garder l'ordre des phases (matrice ordinale) et ne pas se contenter uniquement de l'absence-présence des phases (matrice binaire),
- \* Lever les ambiguïtés sur le traitement des gammes qui comportent plus d'une fois la même phase,
- \* Appliquer les notions de transcodage et de concaténation aux données gammes (alpha-numériques),
- \* Traiter les données et énoncer les résultats en fonction du type de phase (chaînes alpha-numériques),
- \* Caractériser les partitions obtenues à l'aide des tableaux de fréquences, exemple: le poste-machine **M** est présent à la phase N° **x** à **n** %.

## 5-2-2- Présentation des données :

Cet échantillon de 70 références est relatif à la fabrication en petites séries de pièces tridimensionnelles.

| Réf. | Code MULTI-M                          | Gammes de fabrication           |
|------|---------------------------------------|---------------------------------|
| ===  | =====                                 | =====                           |
| 1    | 1 7 6 4 3 4 1 4 5 2 5 1 5 9 3 0 4 0 5 | fra sta rep frc aju tth rpp     |
| 2    | 1 7 5 1 3 1 7 2 8 1 5 1 2 9 3 1 4 1 3 | rab rep aju tth rep             |
| 3    | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3 | rab fra aju tth rpp             |
| 4    | 1 7 2 1 3 0 1 2 9 2 7 1 2 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp                 |
| 5    | 1 8 0 9 3 4 1 4 5 3 1 1 7 9 3 1 4 0 8 | fra sta rep frp aju tth rpp     |
| 6    | 1 7 2 1 3 4 2 4 0 2 0 1 1 9 3 0 4 0 3 | fra sta rep frp aju tth rep     |
| 7    | 1 7 5 3 1 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9 | fra aju tth rpp                 |
| 8    | 1 7 5 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9 | fra aju tth rpp                 |
| 9    | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp                 |
| 10   | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp                 |
| 11   | 1 7 6 1 3 4 8 1 7 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |
| 12   | 1 7 5 1 3 8 3 1 4 1 2 1 1 9 3 4 1 1 3 | fra aju tth rpp                 |
| 13   | 1 7 5 1 3 8 4 4 1 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rie                 |
| 14   | 1 7 9 9 3 4 1 4 6 2 1 1 7 9 3 0 4 1 3 | fra sta rep frp aju tth rpp ele |
| 15   | 1 7 5 1 3 8 4 3 7 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 16   | 1 7 5 1 2 1 6 2 9 0 9 0 6 9 3 0 4 3 6 | rep fra tth rpp                 |
| 17   | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 9 1 6 9 3 2 4 0 8 | rab fra aju tth rpp             |
| 18   | 1 7 5 1 3 7 2 1 3 1 2 1 0 9 3 0 4 0 3 | fra aju tth rpp                 |
| 19   | 1 7 8 1 3 4 8 3 1 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |
| 20   | 1 7 7 1 3 4 1 4 1 1 8 1 3 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 21   | 1 7 6 6 3 4 5 4 1 1 9 1 3 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp                 |
| 22   | 1 7 1 2 2 0 1 2 5 1 7 1 0 9 3 0 4 1 7 | fra tth rpp                     |
| 23   | 1 7 5 1 3 4 5 2 0 1 7 1 0 9 3 3 4 1 3 | rab fra aju tth rpp             |
| 24   | 1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7 | fra tth rpp                     |
| 25   | 1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7 | fra tth rpp                     |
| 26   | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 2 2 1 7 9 3 2 4 0 9 | fra aju tth rpp                 |
| 27   | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 | rab rep fra aju tth rep         |
| 28   | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 | rab rep frp aju tth rep         |
| 29   | 1 7 6 4 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 | fra aju tth rpp                 |
| 30   | 1 7 6 1 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 | rab fra aju tth rpp             |
| 31   | 1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8 | deb rab rep fra aju tth rpp     |
| 32   | 1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8 | deb rab rep frc aju tth rpp     |
| 33   | 1 7 5 4 3 4 1 2 5 2 3 2 1 9 3 1 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 34   | 1 7 6 4 3 4 1 3 2 2 4 2 1 9 3 1 4 0 3 | rab rep fra aju tth rpp         |
| 35   | 1 7 5 4 3 4 1 3 7 3 1 2 1 9 3 1 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 36   | 1 7 7 1 3 1 3 3 0 1 4 1 0 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp                 |
| 37   | 1 7 2 1 2 1 8 2 7 2 7 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra tth rpp                     |
| 38   | 1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 0 9 | rab sta rep fra aju tth rpp     |
| 39   | 1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 1 9 | rab sta rep fra aju tth rie     |
| 40   | 1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra rep aju fra aju tth rpp     |
| 41   | 1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 3 9 3 0 4 1 3 | fra rep aju fra aju tth rpp     |
| 42   | 1 7 5 1 3 4 5 4 7 1 5 1 3 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 43   | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 5 1 8 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp                 |
| 44   | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 7 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp                 |
| 45   | 1 7 5 1 3 4 5 5 5 1 7 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp                 |
| 46   | 1 7 2 1 3 4 5 5 1 2 9 2 5 9 3 1 4 0 7 | rab rep frp aju tth rpp         |
| 47   | 1 7 5 1 3 4 0 4 5 1 5 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra tth rpp                     |
| 48   | 1 7 5 1 3 1 0 2 9 1 4 1 1 9 3 1 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |

| Réf. | Code MULTI-M                          | Gammes de fabrication   |
|------|---------------------------------------|-------------------------|
| ===  | =====                                 | =====                   |
| 49   | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 50   | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 51   | 1 7 5 1 3 1 0 3 0 2 9 2 9 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 52   | 1 7 7 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 53   | 1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3 | fra aju tth rpp         |
| 54   | 1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3 | fra aju tth rpp         |
| 55   | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp |
| 56   | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp |
| 57   | 1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp |
| 58   | 1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp |
| 59   | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 6 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp         |
| 60   | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 4 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp         |
| 61   | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp |
| 62   | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp |
| 63   | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 64   | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 9 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 65   | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 66   | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 67   | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp         |
| 68   | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 69   | 1 7 1 4 3 0 1 2 9 2 0 1 6 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp         |
| 70   | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp         |

### 5-2-3- Traitement des données :

Au cours de ce traitement, nous générons deux partitions en cinq classes, l'une sur les gammes et l'autre sur les codes. Nous appliquons la notion des formes fortes à ces deux partitions et nous générons des familles "stables".

#### 5-2-3-1- Approche A:

##### A/ Partition sur les codes:

###### Choix du nombre de classes :

Nombre de classes homogènes à 100 % est : 68

Combien voulez-vous de classes ? (0 pour quitter) ---> : 5

Classe No: 1 ; effectif : 30 soit 42.9 % de l'effectif total.

Références : code :

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 1  | 1 7 6 4 3 4 1 4 5 2 5 1 5 9 3 0 4 0 5 |
| 5  | 1 8 0 9 3 4 1 4 5 3 1 1 7 9 3 1 4 0 8 |
| 6  | 1 7 2 1 3 4 2 4 0 2 0 1 1 9 3 0 4 0 3 |
| 9  | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 |
| 10 | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 |

Références : code :

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 13 | 1 7 5 1 3 8 4 4 1 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 |
| 15 | 1 7 5 1 3 8 4 3 7 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 |
| 18 | 1 7 5 1 3 7 2 1 3 1 2 1 0 9 3 0 4 0 3 |
| 33 | 1 7 5 4 3 4 1 2 5 2 3 2 1 9 3 1 4 0 5 |
| 34 | 1 7 6 4 3 4 1 3 2 2 4 2 1 9 3 1 4 0 3 |
| 35 | 1 7 5 4 3 4 1 3 7 3 1 2 1 9 3 1 4 0 5 |
| 36 | 1 7 7 1 3 1 3 3 0 1 4 1 0 9 3 1 4 0 3 |
| 42 | 1 7 5 1 3 4 5 4 7 1 5 1 3 9 3 1 4 0 7 |
| 44 | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 7 1 4 9 3 1 4 0 3 |
| 45 | 1 7 5 1 3 4 5 5 5 1 7 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 46 | 1 7 2 1 3 4 5 5 1 2 9 2 5 9 3 1 4 0 7 |
| 47 | 1 7 5 1 3 4 0 4 5 1 5 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 49 | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 |
| 50 | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 |
| 52 | 1 7 7 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 1 4 0 7 |
| 59 | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 6 9 3 1 4 0 9 |
| 60 | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 4 9 3 1 4 0 9 |
| 61 | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 62 | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 63 | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 |
| 65 | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 66 | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 67 | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 |
| 68 | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 |
| 70 | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 88 %

Classe No: 2 ; effectif : 22 soit 31.4 % de l'effectif total.

Références : code :

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 3  | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3 |
| 4  | 1 7 2 1 3 0 1 2 9 2 7 1 2 9 3 0 4 0 9 |
| 17 | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 9 1 6 9 3 2 4 0 8 |
| 20 | 1 7 7 1 3 4 1 4 1 1 8 1 3 9 3 0 4 0 7 |
| 21 | 1 7 6 6 3 4 5 4 1 1 9 1 3 9 3 1 4 0 9 |
| 26 | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 2 2 1 7 9 3 2 4 0 9 |
| 27 | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 |
| 28 | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 |
| 29 | 1 7 6 4 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 |
| 30 | 1 7 6 1 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 |
| 31 | 1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8 |
| 32 | 1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8 |
| 37 | 1 7 2 1 2 1 8 2 7 2 7 1 2 9 3 1 4 0 3 |
| 38 | 1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 0 9 |
| 43 | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 5 1 8 9 3 1 4 0 3 |
| 51 | 1 7 5 1 3 1 0 3 0 2 9 2 9 9 3 3 4 0 7 |
| 55 | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3 |
| 56 | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3 |
| 57 | 1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3 |
| 58 | 1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3 |
| 64 | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 9 1 4 9 3 1 4 0 7 |
| 69 | 1 7 1 4 3 0 1 2 9 2 0 1 6 9 3 3 4 0 7 |

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 88 %

Classe No: 3 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total.

Référence : code :

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 16 | 1 7 5 1 2 1 6 2 9 0 9 0 6 9 3 0 4 3 6 |
|----|---------------------------------------|

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de :100 %  
@ ~~~~~ @

Classe No: 4 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total.

Références : code :

```

-----
24      1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7
25      1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7

```

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de :100 %  
@ ~~~~~ @

Classe No: 5 ; effectif : 15 soit 21.4 % de l'effectif total.

Références : code :

```

-----
2      1 7 5 1 3 1 7 2 8 1 5 1 2 9 3 1 4 1 3
7      1 7 5 3 1 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9
8      1 7 5 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9
11     1 7 6 1 3 4 8 1 7 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7
12     1 7 5 1 3 8 3 1 4 1 2 1 1 9 3 4 1 1 3
14     1 7 9 9 3 4 1 4 6 2 1 1 7 9 3 0 4 1 3
19     1 7 8 1 3 4 8 3 1 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7
22     1 7 1 2 2 0 1 2 5 1 7 1 0 9 3 0 4 1 7
23     1 7 5 1 3 4 5 2 0 1 7 1 0 9 3 3 4 1 3
39     1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 1 9
40     1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 2 9 3 0 4 1 7
41     1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 3 9 3 0 4 1 3
48     1 7 5 1 3 1 0 2 9 1 4 1 1 9 3 1 4 1 7
53     1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3
54     1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3

```

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 88 %.

### B/ Partition sur les gammes:

#### Choix du nombre de classes :

Nombre de classes homogènes à 100 % est : 19

Combien voulez-vous de classes ? (0 pour quitter) ---> : 5

Classe No: 1 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total.

Référence : gamme :

```

-----
16      rep fra tth rpp

```

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de :100 %  
@ ~~~~~ @

Classe No: 2 ; effectif : 12 soit 17.1 % de l'effectif total.

Références : gammes :

```

-----
33      rab rep frp aju tth rpp
34      rab rep fra aju tth rpp
35      rab rep frp aju tth rpp
40      fra rep aju fra aju tth rpp
41      fra rep aju fra aju tth rpp
46      rab rep frp aju tth rpp
55      rab rep frp aju tth rpp
56      rab rep frp aju tth rpp
57      rab rep frp aju tth rpp
58      rab rep frp aju tth rpp
61      rab rep fra aju tth rpp
62      rab rep fra aju tth rpp

```

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 57 %

Classe No: 3 ; effectif : 4 soit 5.7 % de l'effectif total.

Références : gammes :

```

-----
 2          rab rep aju tth rep
 6          fra sta rep frp aju tth rep
27          rab rep fra aju tth rep
28          rab rep frp aju tth rep

```

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 29 %

@ ~~~~~ @

Classe No: 4 ; effectif : 7 soit 10.0 % de l'effectif total.

Références : gammes :

```

-----
 1          fra sta rep frc aju tth rpp
 5          fra sta rep frp aju tth rpp
14          fra sta rep frp aju tth rpp ele
31          deb rab rep fra aju tth rpp
32          deb rab rep frc aju tth rpp
38          rab sta rep fra aju tth rpp
39          rab sta rep fra aju tth rie

```

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 44 %

@ ~~~~~ @

Classe No: 5 ; effectif : 46 soit 65.7 % de l'effectif total.

Références : gammes :

```

-----
 3          rab fra aju tth rpp
 4          fra aju tth rpp
 7          fra aju tth rpp
 8          fra aju tth rpp
 9          fra aju tth rpp
10          fra aju tth rpp
11          fra aju tth rpp
12          fra aju tth rpp
13          fra aju tth rie
15          fra aju tth rpp
17          rab fra aju tth rpp
18          fra aju tth rpp
19          fra aju tth rpp
20          fra aju tth rpp
21          fra aju tth rpp
22          fra tth rpp
23          rab fra aju tth rpp
24          fra tth rpp
25          fra tth rpp
26          fra aju tth rpp
29          rab fra aju tth rpp
30          rab fra aju tth rpp
36          fra aju tth rpp
37          fra tth rpp
42          fra aju tth rpp
43          fra aju tth rpp
44          fra aju tth rpp
45          fra aju tth rpp
47          fra tth rpp
48          fra aju tth rpp
49          fra aju tth rpp
50          fra aju tth rpp
51          fra aju tth rpp
52          fra aju tth rpp
53          fra aju tth rpp
54          fra aju tth rpp
59          fra aju tth rpp
60          fra aju tth rpp
63          fra aju tth rpp
64          fra aju tth rpp
65          fra aju tth rpp
66          fra aju tth rpp
67          fra aju tth rpp
68          fra aju tth rpp

```



```

@ ##### @
@@@ # F O R M E S   F O R T E S # @@@
@ ##### @

```

```

----> Nombre total d'individus      = 70
----> Nombre total de partitions    = 2
----> Nombre de classes / partition = 5

```

Il y a 14 classes stables :

```

-----
Classe No: 1 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total
Références :          code :          gammes :
-----
14          1 7 9 9 3 4 1 4 6 2 1 1 7 9 3 0 4 1 3          fra sta rep frp aju tth rpp ele
39          1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 1 9          rab sta rep fra aju tth rie

Classe No: 2 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total
Références :          code :          gammes :
-----
40          1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 2 9 3 0 4 1 7          fra rep aju fra aju tth rpp
41          1 7 5 1 3 4 1 3 0 2 3 1 3 9 3 0 4 1 3          fra rep aju fra aju tth rpp

Classe No: 3 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total
Référence :          code :          gamme :
-----
6           1 7 2 1 3 4 2 4 0 2 0 1 1 9 3 0 4 0 3          fra sta rep frp aju tth rep

Classe No: 4 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total
Références :          code :          gammes :
-----
1           1 7 6 4 3 4 1 4 5 2 5 1 5 9 3 0 4 0 5          fra sta rep frc aju tth rpp
5           1 8 0 9 3 4 1 4 5 3 1 1 7 9 3 1 4 0 8          fra sta rep frp aju tth rpp

Classe No: 5 ; effectif : 3 soit 4.3 % de l'effectif total
Références :          code :          gammes :
-----
31          1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8          deb rab rep fra aju tth rpp
32          1 7 8 1 3 4 1 3 3 2 1 1 5 9 6 2 4 0 8          deb rab rep frc aju tth rpp
38          1 7 6 1 3 4 1 2 8 2 2 1 3 9 3 1 4 0 9          rab sta rep fra aju tth rpp

Classe No: 6 ; effectif : 4 soit 5.7 % de l'effectif total
Références :          code :          gammes :
-----
55          1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3          rab rep frp aju tth rpp
56          1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 6 1 6 9 3 0 4 0 3          rab rep frp aju tth rpp
57          1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3          rab rep frp aju tth rpp
58          1 7 1 4 3 1 1 3 2 1 9 1 9 9 3 2 4 0 3          rab rep frp aju tth rpp

Classe No: 7 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total
Référence :          code :          gamme :
-----
2           1 7 5 1 3 1 7 2 8 1 5 1 2 9 3 1 4 1 3          rab rep aju tth rep

```

Classe No: 8 ; effectif : 10 soit 14.3 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :            |
|--------------|---------------------------------------|---------------------|
| -----        | -----                                 | -----               |
| 7            | 1 7 5 3 1 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9 | fra aju tth rpp     |
| 8            | 1 7 5 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 0 4 1 9 | fra aju tth rpp     |
| 11           | 1 7 6 1 3 4 8 1 7 1 2 1 2 9 3 0 4 1 7 | fra aju tth rpp     |
| 12           | 1 7 5 1 3 8 3 1 4 1 2 1 1 9 3 4 1 1 3 | fra aju tth rpp     |
| 22           | 1 7 1 2 2 0 1 2 5 1 7 1 0 9 3 0 4 1 7 | fra tth rpp         |
| 23           | 1 7 5 1 3 4 5 2 0 1 7 1 0 9 3 3 4 1 3 | rab fra aju tth rpp |
| 48           | 1 7 5 1 3 1 0 2 9 1 4 1 1 9 3 1 4 1 7 | fra aju tth rpp     |
| 53           | 1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3 | fra aju tth rpp     |
| 54           | 1 7 6 1 3 4 1 2 1 1 1 1 1 9 3 1 4 1 3 | fra aju tth rpp     |

Classe No: 9 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :                |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------|
| -----        | -----                                 | -----                   |
| 27           | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 | rab rep fra aju tth rep |
| 28           | 1 7 6 6 3 4 3 3 2 2 8 2 3 9 3 3 4 0 7 | rab rep frp aju tth rep |

Classe No: 10 ; effectif : 13 soit 18.6 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :            |
|--------------|---------------------------------------|---------------------|
| -----        | -----                                 | -----               |
| 3            | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 2 8 2 4 9 3 2 4 0 3 | rab fra aju tth rpp |
| 4            | 1 7 2 1 3 0 1 2 9 2 7 1 2 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 17           | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 9 1 6 9 3 2 4 0 8 | rab fra aju tth rpp |
| 20           | 1 7 7 1 3 4 1 4 1 1 8 1 3 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rpp     |
| 21           | 1 7 6 6 3 4 5 4 1 1 9 1 3 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 26           | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 2 2 1 7 9 3 2 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 29           | 1 7 6 4 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 | rab fra aju tth rpp |
| 30           | 1 7 6 1 3 1 0 3 3 3 0 2 0 9 3 0 4 0 3 | rab fra aju tth rpp |
| 37           | 1 7 2 1 2 1 8 2 7 2 7 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra tth rpp         |
| 43           | 1 7 1 4 3 1 0 3 0 2 5 1 8 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp     |
| 51           | 1 7 5 1 3 1 0 3 0 2 9 2 9 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp     |
| 64           | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 9 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp     |
| 69           | 1 7 1 4 3 0 1 2 9 2 0 1 6 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp     |

Classe No: 11 ; effectif : 6 soit 8.6 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :                |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------|
| -----        | -----                                 | -----                   |
| 33           | 1 7 5 4 3 4 1 2 5 2 3 2 1 9 3 1 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp |
| 34           | 1 7 6 4 3 4 1 3 2 2 4 2 1 9 3 1 4 0 3 | rab rep fra aju tth rpp |
| 35           | 1 7 5 4 3 4 1 3 7 3 1 2 1 9 3 1 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp |
| 46           | 1 7 2 1 3 4 5 5 1 2 9 2 5 9 3 1 4 0 7 | rab rep frp aju tth rpp |
| 61           | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp |
| 62           | 1 7 5 4 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp |

Classe No: 12 ; effectif : 21 soit 30.0 % de l'effectif total

| Références : | code :                                | gammes :        |
|--------------|---------------------------------------|-----------------|
| -----        | -----                                 | -----           |
| 9            | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp |
| 10           | 1 7 5 1 3 4 1 3 5 1 5 1 1 9 3 0 4 0 9 | fra aju tth rpp |
| 13           | 1 7 5 1 3 8 4 4 1 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rie |
| 15           | 1 7 5 1 3 8 4 3 7 1 4 1 4 9 3 0 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 18           | 1 7 5 1 3 7 2 1 3 1 2 1 0 9 3 0 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 36           | 1 7 7 1 3 1 3 3 0 1 4 1 0 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 42           | 1 7 5 1 3 4 5 4 7 1 5 1 3 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 44           | 1 7 6 1 3 4 1 3 8 1 7 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 45           | 1 7 5 1 3 4 5 5 5 1 7 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 47           | 1 7 5 1 3 4 0 4 5 1 5 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra tth rpp     |
| 49           | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 50           | 1 7 5 1 3 1 0 2 8 1 4 1 2 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 52           | 1 7 7 1 3 4 1 1 7 1 5 1 5 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 59           | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 6 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp |

|    |                                       |                 |
|----|---------------------------------------|-----------------|
| 60 | 1 7 6 4 3 4 1 3 0 2 3 1 4 9 3 1 4 0 9 | fra aju tth rpp |
| 63 | 1 7 6 1 3 4 1 3 0 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 65 | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 66 | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 67 | 1 7 5 1 3 4 1 2 2 1 4 1 4 9 3 1 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 68 | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 70 | 1 7 2 4 3 4 1 2 8 1 6 1 4 9 3 3 4 0 7 | fra aju tth rpp |

Classe No: 13 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total  
Référence : code : gamme :  
-----  
16 1 7 5 1 2 1 6 2 9 0 9 0 6 9 3 0 4 3 6 rep fra tth rpp

Classe No: 14 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total  
Références : code : gammes :  
-----  
24 1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7 fra tth rpp  
25 1 7 1 2 2 0 1 2 9 1 1 0 9 9 3 2 4 2 7 fra tth rpp

### 5-2-3-2- Approche B:

#### A- Partition sur les codes et les gammes:

Dans ce traitement, nous générons une partition en cinq classes à partir de la matrice de distances sur les codes et les gammes. Nous attribuons le même poids aux matrices de distances sur les codes et sur les gammes. Le logiciel calculera le coefficient de pondération corrigé en tenant compte des moyennes des distances des deux matrices.

Distance des codes : \*moyenne =0.09364 \*écart-type =0.01487

Distance des gammes : \*moyenne =0.03532 \*écart-type =0.02537

-----> Entrer le coefficient de pondération des

distances des codes (entre 0 et 1) --->: 0.5

coefficient corrigé = 0.27388

Choix du nombre de classes :

Nombre de classes homogènes à 100 % est : 69

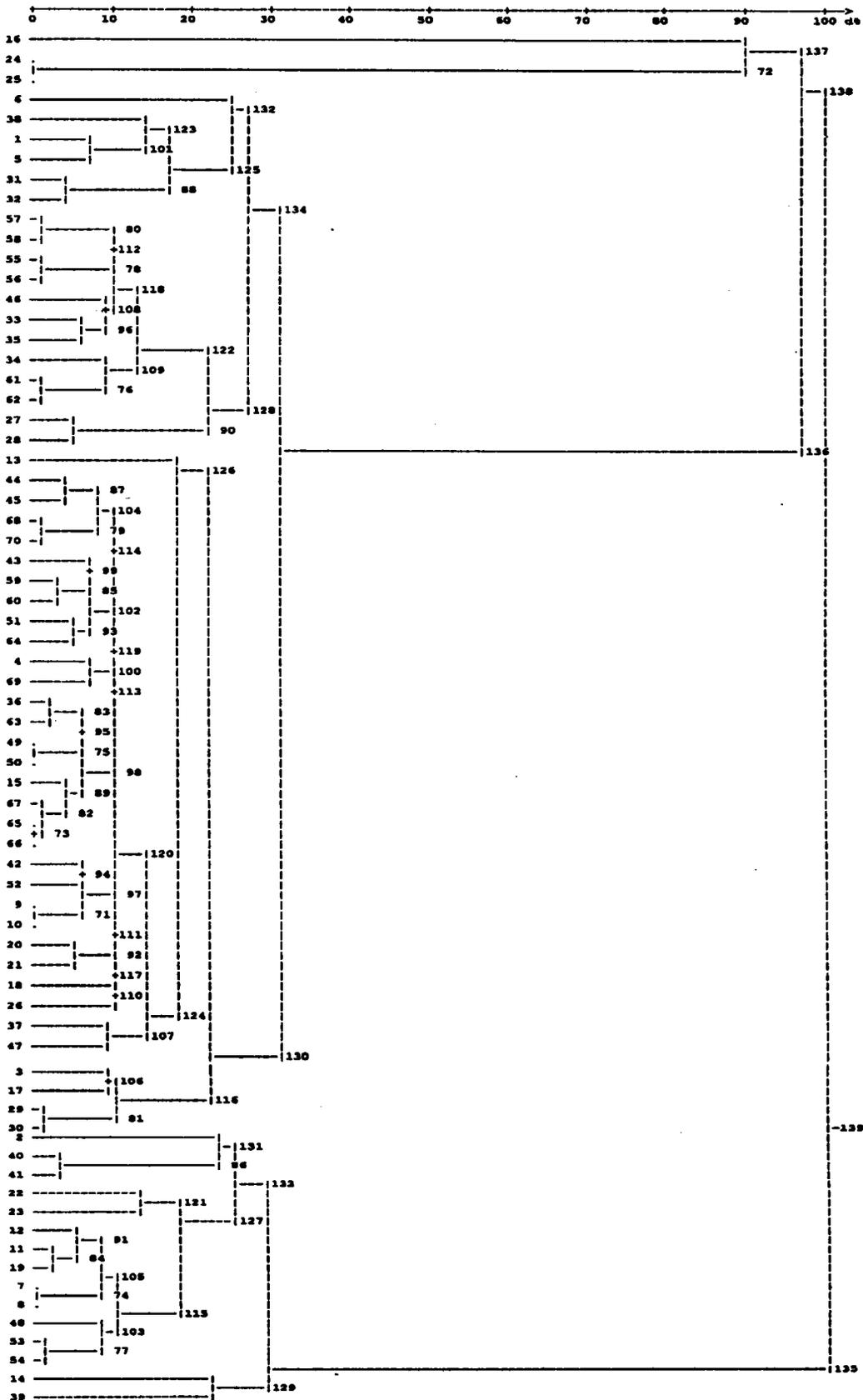
Combien voulez-vous de classes ? (0 pour quitter) ---> : 5

Partition sur les codes et les gammes:

|                                                        |                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classe N°: 1<br>34 individus:<br><br>Similarité = 78 % | 3    4    9    10    13    15    17<br>18   20   21   26   29   30   36<br>37   42   43   44   45   47   49<br>50   51   52   59   60   63   64<br>65   66   67   68   69   70 |
| Classe N°: 2<br>18 individus:<br><br>Similarité = 73 % | 1    5    6    27    28    31    32<br>33   34   35   38    46    55    56<br>57   58   61   62                                                                                |
| Classe N°: 3<br>1 individu:<br>Similarité = 100%       | 16                                                                                                                                                                             |
| Classe N°: 4<br>2 individus:<br>Similarité = 100%      | 24    25                                                                                                                                                                       |
| Classe N°: 5<br>15 individus:<br><br>Similarité = 71 % | 2    7    8    11    12    14    19<br>22   23   39   40   41   48   53<br>54                                                                                                  |

CLASSIFICATION BASEE SUR LE CODE et LA GAMME

Tracé de la structure hiérarchique pour 70 individus :



B- Description des partitions:

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@  
 @ DESCRIPTION DE LA PARTITION SUR LES CODES ET LES GAMMES @  
 @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

Tableau de correspondance des modalités des variables :

```

-----
| TABLEAU | MODALITES | CONCATENEES |
| DE |-----|-----|
| CORRESPON. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | 1 | 71 | 72 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| A | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| R | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| I | 4 | 1 | 10 | 11 | 13 | 16 | 17 | 18 | 40 | 41 | 42 | 43 | 45 | 48 | 72 | 83 | 84 | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| A | 5 | 13 | 14 | 17 | 20 | 21 | 22 | 25 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 35 | 37 | 38 | 40 | 41 | 45 | 46 | 47 | 51 | 55 |
| |-----|-----|-----|
| B | 6 | 9 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | | |
| |-----|-----|-----|
| L | 7 | 6 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 23 | 24 | 25 | 29 | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| E | 8 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| S | 9 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| | 10 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| | 11 | 0 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |-----|-----|-----|
| | 12 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|
  
```

Classe No: 1 ; effectif : 34 soit 48.6 % de l'effectif total.

| Références : | code :                        | gammes :            |
|--------------|-------------------------------|---------------------|
| -----        | ----                          | -----               |
| 3            | 75 1 3 10 28 28 24 9 32 4 0 3 | rab fra aju tth rpp |
| 4            | 72 1 3 01 29 27 12 9 30 4 0 9 | ra aju tth rpp      |
| 9            | 75 1 3 41 35 15 11 9 30 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 10           | 75 1 3 41 35 15 11 9 30 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 13           | 75 1 3 84 41 14 14 9 30 4 0 7 | fra aju tth rie     |
| 15           | 75 1 3 84 37 14 14 9 30 4 0 7 | fra aju tth rpp     |
| 17           | 76 1 3 41 38 19 16 9 32 4 0 8 | rab fra aju tth rpp |
| 18           | 75 1 3 72 13 12 10 9 30 4 0 3 | fra aju tth rpp     |
| 20           | 77 1 3 41 41 18 13 9 30 4 0 7 | fra aju tth rpp     |
| 21           | 76 6 3 45 41 19 13 9 31 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 26           | 75 4 3 41 22 22 17 9 32 4 0 9 | fra aju tth rpp     |
| 29           | 76 4 3 10 33 30 20 9 30 4 0 3 | rab fra aju tth rpp |
| 30           | 76 1 3 10 33 30 20 9 30 4 0 3 | rab fra aju tth rpp |
| 36           | 77 1 3 13 30 14 10 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp     |
| 37           | 72 1 2 18 27 27 12 9 31 4 0 3 | fra tth rpp         |
| 42           | 75 1 3 45 47 15 13 9 31 4 0 7 | fra aju tth rpp     |
| 43           | 71 4 3 10 30 25 18 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp     |
| 44           | 76 1 3 41 38 17 14 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp     |
| 45           | 75 1 3 45 55 17 14 9 31 4 0 7 | fra aju tth rpp     |

|    |                               |                 |
|----|-------------------------------|-----------------|
| 47 | 75 1 3 40 45 15 14 9 31 4 0 7 | fra tth rpp     |
| 49 | 75 1 3 10 28 14 12 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 50 | 75 1 3 10 28 14 12 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 51 | 75 1 3 10 30 29 29 9 33 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 52 | 77 1 3 41 17 15 15 9 31 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 59 | 76 4 3 41 30 23 16 9 31 4 0 9 | fra aju tth rpp |
| 60 | 76 4 3 41 30 23 14 9 31 4 0 9 | fra aju tth rpp |
| 63 | 76 1 3 41 30 14 14 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 64 | 76 1 3 41 30 19 14 9 31 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 65 | 75 1 3 41 22 14 14 9 31 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 66 | 75 1 3 41 22 14 14 9 31 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 67 | 75 1 3 41 22 14 14 9 31 4 0 3 | fra aju tth rpp |
| 68 | 72 4 3 41 28 16 14 9 33 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 69 | 71 4 3 01 29 20 16 9 33 4 0 7 | fra aju tth rpp |
| 70 | 72 4 3 41 28 16 14 9 33 4 0 7 | fra aju tth rpp |

FREQUENCE D'APPARITION DES MODALITES DANS LA CLASSE N':1

| MATRICE DE FREQUENCE | MODALITES |    |    |    |   |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|-----------|----|----|----|---|---|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                      | 0         | 1  | 2  | 3  | 4 | 5 | 6 | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| V                    | 1         | 2  | 4  | 16 | 9 | 3 |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A                    | 2         | 25 |    | 8  | 1 |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| R                    | 3         |    | 1  | 33 |   |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| I                    | 4         | 2  | 7  |    | 1 |   | 1 | 1  | 16 |   | 3  |    | 1  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A                    | 5         | 1  |    | 1  |   | 4 |   | 1  | 5  | 2 | 7  |    | 2  | 2  | 1  | 2  |    | 3  | 1  |    | 1  |    | 1  | 1  |
| B                    | 6         |    |    | 1  | 9 | 5 | 2 | 2  | 1  | 3 | 1  | 1  | 2  |    | 1  |    | 2  | 1  | 1  | 2  |    |    |    |    |
| L                    | 7         |    |    | 2  | 2 | 4 | 3 | 13 | 1  | 3 | 1  | 1  | 2  |    |    | 1  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |
| E                    | 8         | 34 |    |    |   |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| S                    | 9         | 9  | 18 | 3  | 4 |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | 10        |    | 34 |    |   |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | 11        | 34 |    |    |   |   |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | 12        | 12 |    | 14 | 1 | 7 |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Profil de la classe No : 1

Cette classe est caractérisée par la présence de :

- > la modalité 1 de la variable 2 à 74 %
- > la modalité 3 de la variable 3 à 97 %
- > la modalité 9 de la variable 8 à 100 %
- > la modalité 31 de la variable 9 à 53 %
- > la modalité 4 de la variable 10 à 100 %
- > la modalité 0 de la variable 11 à 100 %

FREQUENCE D'APPARITION DES POSTES MACHINES DANS LA CLASSE N° 1:

| MATRICE DE |     | ORDRE DES PHASES |    |    |    |   |   |   |   |
|------------|-----|------------------|----|----|----|---|---|---|---|
| FREQUENCE  |     | 1                | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 |
| M          | fra | 30               | 4  |    |    |   |   |   |   |
| A          | sta |                  |    |    |    |   |   |   |   |
| C          | rep |                  |    |    |    |   |   |   |   |
| H          | frp |                  |    |    |    |   |   |   |   |
| I          | aju |                  | 28 | 4  |    |   |   |   |   |
| N          | tth |                  | 2  | 28 | 4  |   |   |   |   |
| E          | rpp |                  |    | 2  | 27 | 4 |   |   |   |
| S          | ele |                  |    |    |    |   |   |   |   |
|            | frc |                  |    |    |    |   |   |   |   |
|            | rab | 4                |    |    |    |   |   |   |   |
|            | rie |                  |    |    | 1  |   |   |   |   |
|            | deb |                  |    |    |    |   |   |   |   |

Caractéristiques de la classe No : 1

Cette classe est caractérisée par la présence :

- > du poste machine " fra" à la phase No 1 à 88 %
- > du poste machine " aju" à la phase No 2 à 82 %
- > du poste machine " tth" à la phase No 3 à 82 %
- > du poste machine " rpp" à la phase No 4 à 79 %

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 83 %  
 @ ~~~~~ @

Classe No: 2 ; effectif : 18 soit 25.7 % de l'effectif total.

Références : code : gammes :

|    |                               |                             |
|----|-------------------------------|-----------------------------|
| 1  | 76 4 3 41 45 25 15 9 30 4 0 5 | fra sta rep frc aju tth rpp |
| 5  | 80 9 3 41 45 31 17 9 31 4 0 8 | fra sta rep frp aju tth rpp |
| 6  | 72 1 3 42 40 20 11 9 30 4 0 3 | fra sta rep frp aju tth rep |
| 27 | 76 6 3 43 32 28 23 9 33 4 0 7 | rab rep fra aju tth rep     |
| 28 | 76 6 3 43 32 28 23 9 33 4 0 7 | rab rep frp aju tth rep     |
| 31 | 78 1 3 41 33 21 15 9 62 4 0 8 | deb rab rep fra aju tth rpp |
| 32 | 78 1 3 41 33 21 15 9 62 4 0 8 | deb rab rep frc aju tth rpp |
| 33 | 75 4 3 41 25 23 21 9 31 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 34 | 76 4 3 41 32 24 21 9 31 4 0 3 | rab rep fra aju tth rpp     |
| 35 | 75 4 3 41 37 31 21 9 31 4 0 5 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 38 | 76 1 3 41 28 22 13 9 31 4 0 9 | rab sta rep fra aju tth rpp |
| 46 | 72 1 3 45 51 29 25 9 31 4 0 7 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 55 | 71 4 3 10 30 26 16 9 30 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 56 | 71 4 3 10 30 26 16 9 30 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 57 | 71 4 3 11 32 19 19 9 32 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 58 | 71 4 3 11 32 19 19 9 32 4 0 3 | rab rep frp aju tth rpp     |
| 61 | 75 4 3 41 22 14 14 9 31 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp     |
| 62 | 75 4 3 41 22 14 14 9 31 4 0 7 | rab rep fra aju tth rpp     |

FREQUENCE D'APPARITION DES MODALITES DANS LA CLASSE N° 2:

| MATRICE<br>DE | MODALITES |    |    |    |   |   |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|-----------|----|----|----|---|---|---|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               | FREQUENCE | 0  | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| V             | 1         | 4  | 2  | 4  | 5 | 2 | 1 |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A             | 2         | 5  |    | 10 | 2 | 1 |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| R             | 3         |    | 18 |    |   |   |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| I             | 4         | 2  | 2  |    |   |   |   | 10 | 1 | 2 | 1 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| A             | 5         |    |    |    |   | 2 | 1 | 1  | 2 | 5 | 2 | 1  | 1  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  |    |    |    |    | 1  |    |
| B             | 6         |    |    | 2  |   |   |   | 2  | 1 | 2 | 1 | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 1  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |
| L             | 7         |    |    | 1  | 1 | 2 | 3 | 2  | 1 | 2 | 3 | 2  | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| E             | 8         | 18 |    |    |   |   |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| S             | 9         | 4  | 8  | 2  | 2 | 2 |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|               | 10        | 18 |    |    |   |   |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|               | 11        | 18 |    |    |   |   |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|               | 12        | 6  | 3  | 5  | 3 | 1 |   |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Profil de la classe No : 2

~~~~~

Cette classe est caractérisée par la présence de :

- > la modalité 4 de la variable 2 à 56 %
- > la modalité 3 de la variable 3 à 100 %
- > la modalité 41 de la variable 4 à 56 %
- > la modalité 9 de la variable 8 à 100 %
- > la modalité 4 de la variable 10 à 100 %
- > la modalité 0 de la variable 11 à 100 %

FREQUENCE D'APPARITION DES POSTES MACHINES DANS LA CLASSE N° 2:

MATRICE DE FREQUENCE		ORDRE DES PHASES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
M	fra	3		4	2				
A	sta		4						
C	rep		12	6			2	1	
H	frp			8	2				
I	aju				12	6			
N	tth					12	6		
E	rpp						10	5	
S	ele								
	frc				2				
	rab	13	2						
	rie								
	deb	2							

Caractéristiques de la classe No : 2

Cette classe est caractérisée par la présence :

- > du poste machine " rep" à la phase No 2 à 67 %
- > du poste machine " aju" à la phase No 4 à 67 %
- > du poste machine " tth" à la phase No 5 à 67 %
- > du poste machine " rpp" à la phase No 6 à 56 %
- > du poste machine " rab" à la phase No 1 à 72 %

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de : 81 %  
 @ ~~~~~ @

Classe No: 3 ; effectif : 1 soit 1.4 % de l'effectif total.

Référence :                      code :                      gamme :  
 -----                      -----                      -----  
 16      75 1 2 16 29 09 0 6 9 30 4 3 6                      rep fra tth rpp

FREQUENCE D'APPARITION DES MODALITES DANS LA CLASSE N° 3:

MATRICE DE FREQUENCE	MODALITES																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
V	1		1																					
A	2	1																						
R	3		1																					
I	4				1																			
A	5									1														
B	6	1																						
L	7	1																						
E	8	1																						
S	9	1																						
	10		1																					
	11				1																			
	12			1																				

FREQUENCE D'APPARITION DES POSTES-MACHINES DANS LA CLASSE N° 3:

MATRICE DE FREQUENCE	ORDRE DES PHASES							
	1	2	3	4	5	6	7	8
M	fra		1					
A	sta							
C	rep	1						
H	frp							
I	aju							
N	tth			1				
E	rpp				1			
S	ele							
	frc							
	rab							
	rie							
	deb							

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de :100 %

Classe No: 4 ; effectif : 2 soit 2.9 % de l'effectif total.

Références :	code :	gammes :
-----	----	-----
24 71 2 2 01 29 11 09 9 32 4 2 7		fra tth rpp
25 71 2 2 01 29 11 09 9 32 4 2 7		fra tth rpp

FREQUENCE D'APPARITION DES MODALITES DANS LA CLASSE N° 4:

MATRICE DE FREQUENCE	MODALITES																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
V	1	2																						
A	2		2																					
R	3		2																					
I	4	2																						
A	5								2															
B	6		2																					
L	7		2																					
E	8	2																						
S	9			2																				
	10		2																					
	11			2																				
	12				2																			

Profil de la classe No : 4

~~~~~

Cette classe est caractérisée par la présence de :

- > la modalité 71 de la variable 1 à 100 %
- > la modalité 2 de la variable 2 à 100 %
- > la modalité 2 de la variable 3 à 100 %
- > la modalité 1 de la variable 4 à 100 %
- > la modalité 29 de la variable 5 à 100 %
- > la modalité 11 de la variable 6 à 100 %
- > la modalité 9 de la variable 7 à 100 %
- > la modalité 9 de la variable 8 à 100 %
- > la modalité 32 de la variable 9 à 100 %
- > la modalité 4 de la variable 10 à 100 %
- > la modalité 2 de la variable 11 à 100 %
- > la modalité 7 de la variable 12 à 100 %

FREQUENCE D'APPARITION DES POSTES-MACHINES DANS LA CLASSE N° 4:

| MATRICE<br>DE | ORDRE DES PHASES |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|               | FREQUENCE        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| M             | fra              | 2 |   |   |   |   |   |   |   |
| A             | sta              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| C             | rep              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| H             | frp              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| I             | aju              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| N             | tth              |   | 2 |   |   |   |   |   |   |
| E             | rpp              |   |   | 2 |   |   |   |   |   |
| S             | ele              |   |   |   |   |   |   |   |   |
|               | frc              |   |   |   |   |   |   |   |   |
|               | rab              |   |   |   |   |   |   |   |   |
|               | rie              |   |   |   |   |   |   |   |   |
|               | deb              |   |   |   |   |   |   |   |   |

Caractéristiques de la classe No : 4

Cette classe est caractérisée par la présence :

- > du poste machine " fra" à la phase No 1 à 100 %
- > du poste machine " tth" à la phase No 2 à 100 %
- > du poste machine " rpp" à la phase No 3 à 100 %

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de :100 %

@ ~~~~~ @

Classe No: 5 ; effectif : 15 soit 21.4 % de l'effectif total.

Références :

code :

gammes :

|    |                               |                                 |
|----|-------------------------------|---------------------------------|
| 2  | 75 1 3 17 28 15 12 9 31 4 1 3 | rab rep aju tth rep             |
| 7  | 75 3 1 41 17 15 15 9 30 4 1 9 | fra aju tth rpp                 |
| 8  | 75 1 3 41 17 15 15 9 30 4 1 9 | fra aju tth rpp                 |
| 11 | 76 1 3 48 17 12 12 9 30 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |
| 12 | 75 1 3 83 14 12 11 9 34 1 1 3 | fra aju tth rpp                 |
| 14 | 79 9 3 41 46 21 17 9 30 4 1 3 | fra sta rep frp aju tth rpp ele |
| 19 | 78 1 3 48 31 12 12 9 30 4 1 7 | fra aju tth rpp                 |

|    |    |   |   |    |    |    |    |   |    |   |   |   |     |     |                     |
|----|----|---|---|----|----|----|----|---|----|---|---|---|-----|-----|---------------------|
| 22 | 71 | 2 | 2 | 01 | 25 | 17 | 10 | 9 | 30 | 4 | 1 | 7 | fra | tth | rpp                 |
| 23 | 75 | 1 | 3 | 45 | 20 | 17 | 10 | 9 | 33 | 4 | 1 | 3 | rab | fra | aju tth rpp         |
| 39 | 76 | 1 | 3 | 41 | 28 | 22 | 13 | 9 | 31 | 4 | 1 | 9 | rab | sta | rep fra aju tth rie |
| 40 | 75 | 1 | 3 | 41 | 30 | 23 | 12 | 9 | 30 | 4 | 1 | 7 | fra | rep | aju fra aju tth rpp |
| 41 | 75 | 1 | 3 | 41 | 30 | 23 | 13 | 9 | 30 | 4 | 1 | 3 | fra | rep | aju fra aju tth rpp |
| 48 | 75 | 1 | 3 | 10 | 29 | 14 | 11 | 9 | 31 | 4 | 1 | 7 | fra | aju | tth rpp             |
| 53 | 76 | 1 | 3 | 41 | 21 | 11 | 11 | 9 | 31 | 4 | 1 | 3 | fra | aju | tth rpp             |
| 54 | 76 | 1 | 3 | 41 | 21 | 11 | 11 | 9 | 31 | 4 | 1 | 3 | fra | aju | tth rpp             |

FREQUENCE D'APPARITION DES MODALITES DANS LA CLASSE N° 5:

| MATRICE DE FREQUENCE | 0  | 1  | 2  | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |  |
|----------------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| V                    | 1  | 1  | 8  | 4  | 1 | 1 |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| A                    | 2  | 12 | 1  | 1  |   | 1 |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| R                    | 3  | 1  | 1  | 13 |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| I                    | 4  | 1  | 1  |    |   | 1 |   | 8 |   | 1 | 2  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| A                    | 5  |    | 1  | 3  | 1 | 2 |   | 1 | 2 | 1 | 2  | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 1  |  |
| B                    | 6  |    | 2  | 3  | 1 | 3 |   | 2 |   |   | 1  | 1  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| L                    | 7  |    |    | 2  | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| E                    | 8  | 15 |    |    |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| S                    | 9  | 8  | 5  |    | 1 | 1 |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|                      | 10 | 1  | 14 |    |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|                      | 11 |    | 15 |    |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|                      | 12 | 7  |    |    | 5 | 3 |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

Profil de la classe No : 5

Cette classe est caractérisée par la présence de :

- > la modalité 1 de la variable 2 à 80 %
- > la modalité 3 de la variable 3 à 87 %
- > la modalité 9 de la variable 8 à 100 %
- > la modalité 4 de la variable 10 à 93 %
- > la modalité 1 de la variable 11 à 100 %

FREQUENCE D'APPARITION DES POSTES-MACHINES DANS LA CLASSE N° 5:

| MATRICE   |     | ORDRE DES PHASES |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------|-----|------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| DE        |     | 1                | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| FREQUENCE |     | 1                | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| M         | fra | 12               | 1 |   | 3 |   |   |   |   |
| A         | sta |                  | 2 |   |   |   |   |   |   |
| C         | rep |                  | 3 | 2 |   | 1 |   |   |   |
| H         | frp |                  |   |   | 1 |   |   |   |   |
| I         | aju |                  | 8 | 4 |   | 4 |   |   |   |
| N         | tth |                  | 1 | 8 | 2 |   | 4 |   |   |
| E         | rpp |                  |   | 1 | 8 | 1 |   | 3 |   |
| S         | ele |                  |   |   |   |   |   |   | 1 |
|           | frc |                  |   |   |   |   |   |   |   |
|           | rab | 3                |   |   |   |   |   |   |   |
|           | rie |                  |   |   |   |   |   | 1 |   |
|           | deb |                  |   |   |   |   |   |   |   |

Caractéristique de la classe N° 5:

Cette classe est caractérisée par la présence:

----> du poste machine" fra" à la phase N°1 à 80 %

\* Le degré de similarité des individus dans cette classe est de :80 %

#### 5-1-4- Interprétation des résultats:

Les familles issues de la partition sur les codes présentent une bonne similarité (88%) mais leur densité (nombre d'effectifs) varie du simple au double, hormis pour les classes N°3 et 4 qui présentent respectivement une et deux pièces.

Les familles de la partition sur les gammes semblent moins similaires que celles des codes. Or, la similarité est une grandeur locale donc propre à chaque partition et elle dépend du nombre de classes homogènes à 100% (ici 19 au lieu de 68). La classe N°5 comprend 46 pièces donc 66% de l'effectif total à cause d'une gamme identique qui se présente plusieurs fois.

Les classes stables, issues de l'application de la notion des formes fortes sur les deux partitions sont au nombre de 14. Ceci montre qu'il n'y a pas une grande corrélation entre les données "code" et les données "gamme", mais qu'il existe une analogie entre ces derniers pour certaines pièces qui sont restées regroupées ensembles dans les deux partitions. Ces classes ont les gammes identiques ou presque et les modalités de leurs variables sont très voisines.

La partition obtenue à partir de la matrice des codes et gammes montre que les familles présentent une similarité comprise entre celle des codes et celle des gammes. Les regroupements stables sont représentés dans les tableaux de présence (a) et (b).

Afin d'analyser l'influence des deux types de données; codes et gammes sur la partition résultante, nous présentons les formes fortes correspondantes:

FORMES FORTES SUR "CODES" / "CODES+GAMMES"

Partition en 7 classes:

|                                |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Classe No 1 :<br>21 individus: | 9  | 10 | 13 | 15 | 18 | 36 | 42 |
|                                | 44 | 45 | 47 | 49 | 50 | 52 | 59 |
|                                | 60 | 63 | 65 | 66 | 67 | 68 | 70 |
| Classe No 2 :<br>9 individus:  | 1  | 5  | 6  | 33 | 34 | 35 | 46 |
|                                | 61 | 62 |    |    |    |    |    |
| Classe No 3 :<br>13 individus: | 3  | 4  | 17 | 20 | 21 | 26 | 29 |
|                                | 30 | 37 | 43 | 51 | 64 | 69 |    |
| Classe No 4 :<br>9 individus:  | 27 | 28 | 31 | 32 | 38 | 55 | 56 |
|                                | 57 | 58 |    |    |    |    |    |
| Classe No 5 :<br>1 individu :  | 16 |    |    |    |    |    |    |
| Classe No 6 :<br>2 individus:  | 24 | 25 |    |    |    |    |    |
| Classe No 7 :<br>15 individus: | 2  | 7  | 8  | 11 | 12 | 14 | 19 |
|                                | 22 | 23 | 39 | 40 | 41 | 48 | 53 |
|                                | 54 |    |    |    |    |    |    |

CODES ET GAMMES

| N° Classe | 1       | 2  | 3 | 4 | 5  |
|-----------|---------|----|---|---|----|
| effectif  | 34      | 18 | 1 | 2 | 15 |
| C         | 1<br>30 | 21 | 9 | 0 | 0  |
| O         | 2<br>22 | 13 | 9 | 0 | 0  |
| D         | 3<br>1  | 0  | 0 | 1 | 0  |
| E         | 4<br>2  | 0  | 0 | 0 | 2  |
| S         | 5<br>15 | 0  | 0 | 0 | 0  |

Tableau de présence (a).

FORMES FORTES SUR LES "GAMMES" / "CODES+GAMMES"

Partition en 10 classes:

|                                |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Classe No 1 :<br>34 individus: | 3  | 4  | 9  | 10 | 13 | 15 | 17 |
|                                | 18 | 20 | 21 | 26 | 29 | 30 | 36 |
|                                | 37 | 42 | 43 | 44 | 45 | 47 | 49 |
|                                | 50 | 51 | 52 | 59 | 60 | 63 | 64 |
|                                | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |    |
| Classe No 2 :<br>2 individus : | 24 | 25 |    |    |    |    |    |
| Classe No 3 :<br>10 individus  | 7  | 8  | 11 | 12 | 19 | 22 | 23 |
|                                | 48 | 53 | 54 |    |    |    |    |
| Classe No 4 :<br>10 individus: | 33 | 34 | 35 | 46 | 55 | 56 | 57 |
|                                | 58 | 61 | 62 |    |    |    |    |
| Classe No 5 :<br>2 individus   | 40 | 41 |    |    |    |    |    |
| Classe No 6 :<br>1 individu    | 16 |    |    |    |    |    |    |
| Classe No 7 :<br>3 individus   | 6  | 27 | 28 |    |    |    |    |
| Classe No 8 :<br>1 individu    | 2  |    |    |    |    |    |    |
| Classe No 9 :<br>5 individus   | 1  | 5  | 31 | 32 | 38 |    |    |
| Classe No 10:<br>2 individus   | 14 | 39 |    |    |    |    |    |

CODES ET GAMMES

Tableau  
de  
présence (b)

| N° classe             |   | 1  | 2  | 3 | 4 | 5  |
|-----------------------|---|----|----|---|---|----|
| effectif              |   | 34 | 18 | 1 | 2 | 15 |
| G<br>A<br>M<br>E<br>S | 1 | 34 | 0  | 0 | 2 | 10 |
|                       | 2 | 0  | 10 | 0 | 0 | 2  |
|                       | 3 | 0  | 0  | 1 | 0 | 0  |
|                       | 4 | 0  | 3  | 0 | 0 | 1  |
|                       | 5 | 0  | 5  | 0 | 0 | 2  |

## A- Interprétation des familles:

La recherche de profil des familles s'effectue en deux phases:

- 1/ Interprétation informatique,
- 2/ Interprétation manuelle.

Dans l'interprétation informatique, la recherche des caractéristiques d'une famille est réalisée indépendamment des autres familles en fonction des modalités des variables (code) ou de l'ordre et la nature des phases (gammes). Seules sont représentées, les modalités et les phases dont la fréquence d'apparition est supérieure à 50%.

L'interprétation manuelle permet, d'une part de supprimer les caractéristiques identiques dans deux familles différentes, d'autre part de caractériser celles-ci par des variables passives et de procéder à leur validation.

### Description de la classe N° 1:

**CODE:** ----> la modalité 31 de la variable 9 à 53 %

**GAMMES:** ----> du poste machine "aju" à la phase No 2 à 82 %  
----> du poste machine "tth" à la phase No 3 à 82 %  
----> du poste machine "rpp" à la phase No 4 à 79 %

\* Le degré de similarité est de : 83 %

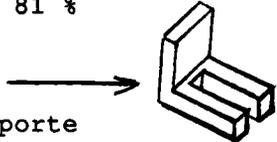
Profil:            Matière: acier martensitique au chrome.  
                      succession des phases de : "aju", "tth" et "rpp".

### Description de la classe N°2:

**CODE:** ----> la modalité 4 de la variable 2 à 56 %  
----> la modalité 41 de la variable 4 à 56 %

**GAMMES:** ----> du poste machine "rep" à la phase No 2 à 67 %  
----> du poste machine "aju" à la phase No 4 à 67 %  
----> du poste machine "tth" à la phase No 5 à 67 %  
----> du poste machine "rpp" à la phase No 6 à 56 %  
----> du poste machine "rab" à la phase No 1 à 72 %

\* Le degré de similarité est de : 81 %

Profil :            Forme: du type    
                      Fonction: une porte  
                      succession des phases de : "rab" et "rep" puis  
                      "aju", "tth" et "rpp".

### Description de la classe N°3:

Classe sans profil apparent.

\* Le degré de similarité est de : 100 %

Profil : (identique à celui de la référence N°16).

### Description de la classe N°4:

**CODE:** ----> la modalité 71 de la variable 1 à 100 %  
----> la modalité 2 de la variable 2 à 100 %  
----> la modalité 2 de la variable 3 à 100 %  
----> la modalité 1 de la variable 4 à 100 %  
----> la modalité 29 de la variable 5 à 100 %  
----> la modalité 11 de la variable 6 à 100 %  
----> la modalité 9 de la variable 7 à 100 %  
----> la modalité 32 de la variable 9 à 100 %  
----> la modalité 2 de la variable 11 à 100 %  
----> la modalité 7 de la variable 12 à 100 %

**GAMMES:** ----> du poste machine " tth" à la phase No 2 à 100 %  
----> du poste machine " rpp" à la phase No 3 à 100 %

\* Le degré de similarité est de :100 %,

Profil : Toutes les caractéristiques sauf la tolérance et la forme du brut (identiques à la référence N°24 ou 25).  
succession des phases de : "tth" et "rpp".

### Description de la classe N°5:

**CODE:** ----> la modalité 3 de la variable 3 à 87 %  
----> la modalité 1 de la variable 11 à 100 %

**GAMMES:**----> (du poste machine" fra" à la phase N°1) à 80 %

\* Le degré de similarité est de :80 %,

Profil : Forme: usinage de trou(s) plus plat(s) et/ou rainure extérieure(s).  
quantité produite et cadence: de 6 à 25 pièces.

### 5-2-4- Conclusion :

Les deux approches proposées conduisent à deux résultats différents et dont le choix dépend des contraintes fixées au départ: nombre de classes fixe ou similarité maximum.

Dans la première approche, le nombre de classes est déterminé automatiquement par la recherche des formes fortes. Ce nombre est supérieur ou égal au nombre de classes des partitions traitées, il correspond au nombre de classes homogènes à 100 % selon le critère de leur appartenance aux mêmes familles des partitions sur les gammes et sur les codes.

Dans la seconde approche, nous avons la possibilité de choisir le nombre de classes, mais cet avantage est vite compensé par le manque d'homogénéité si leur nombre est très limité. Le tableau suivant indique la similarité moyenne des partitions en 5 et 14 classes:

#### Similarité moyenne des partitions:

| Nombre de classes:      | 5     | 14     |
|-------------------------|-------|--------|
| Codes (A):              | 92.8% | 91.57% |
| Gammes (A):             | 54.6% | 95.71% |
| Codes et<br>Gammes (B): | 84.4% | 93.64% |

**CHAPITRE VI**

**C O N C L U S I O N**

## 6- Conclusion :

La classification automatique des données industrielles est un problème qui préoccupe actuellement un grand nombre d'entreprises qui cherchent à rationaliser et à optimiser les processus de fabrication. Dans les applications de la Technologie de Groupe, on est amené, le plus souvent, à traiter des données hétérogènes incomplètes. Quel que soit le type de traitement effectué, les résultats obtenus dépendent en grande partie du système de codage utilisé.

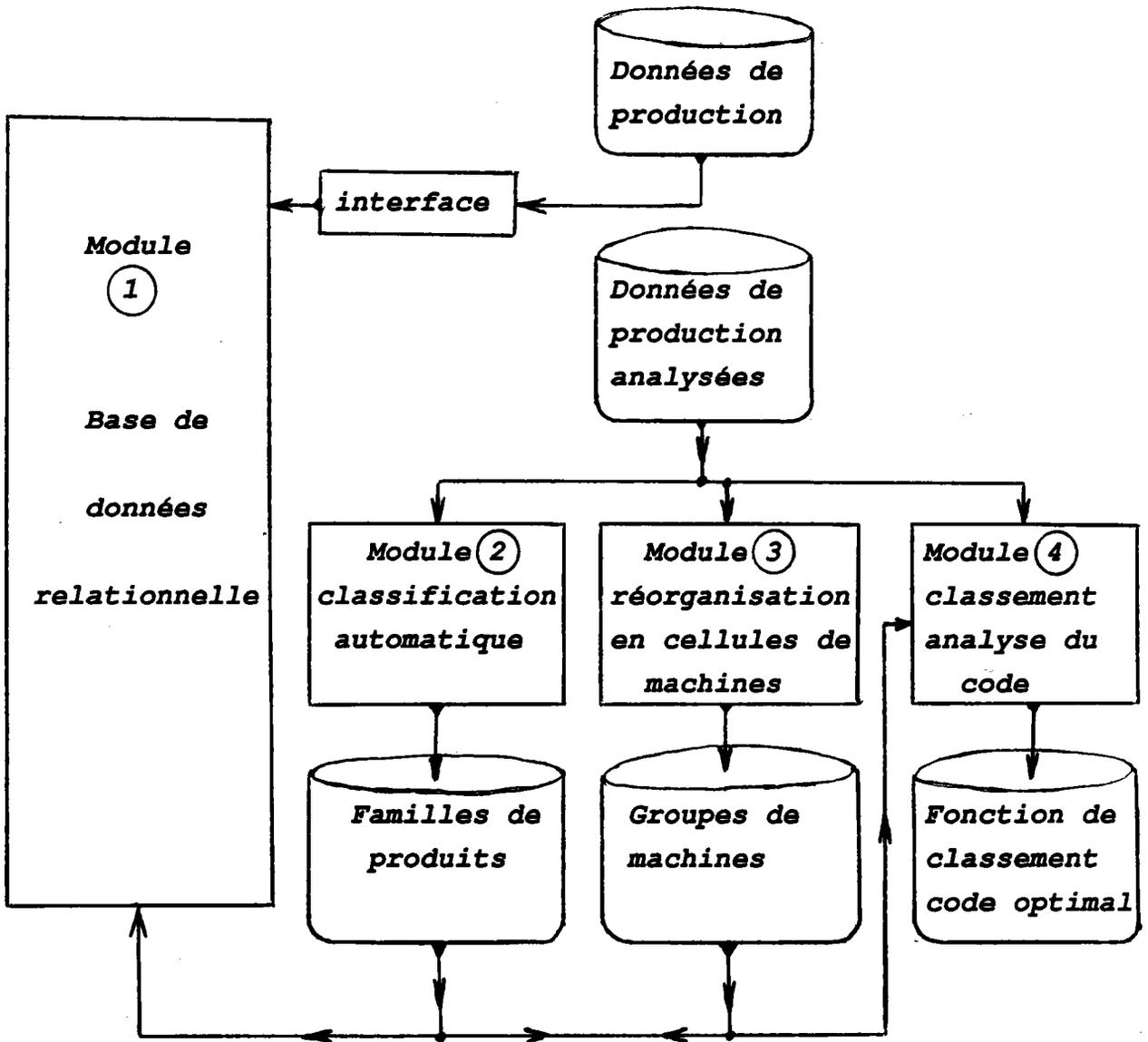
Notre étude a porté principalement sur la reconnaissance de familles d'objets par des méthodes de classification automatique basées sur la notion de ressemblance. L'agrégation des objets s'effectue d'après le critère de diamètre maximum. Cette étude a donné lieu à l'écriture d'un logiciel de Classification Automatique Ascendante des Données Industrielles (C.A<sup>2</sup>.D.I.) [37]. Ce logiciel représente le module 2 du système GAAD, (Groupement Analogique par l'Analyse de Données) [38] développé au laboratoire L.A.E.I. La structure du système GAAD est représentée à la figure VI-1 et comprend :

Module 1 : ce module est composé d'une base de données relationnelle, dans laquelle on analyse les données de production,

Module 2 : ce module est l'objet de cette étude qui réalise la classification automatique et l'interprétation des partitions,

Module 3 : ce module permet de regrouper les machines en cellules de fabrication [39],

**Module 4** : ce dernier module permet de faire le classement de tout nouveau objet et contribue à l'amélioration du code.



**Figure VI-1: Structure du système GAAD.**

Le logiciel C.A<sup>2</sup>.D.I. est composé de cinq modules qui s'enchaînent (tri, gestion, calcul de la matrice de ressemblance, classification et interprétation) ce qui lui donne une autonomie et une grande souplesse dans le traitement de tout type de données industrielles.

Les exemples industriels traités ont montré l'efficacité de la méthode de classification retenue et l'intérêt d'affecter des pondérations aux variables et objets ainsi que l'utilité des modules de tri et d'interprétation des résultats.

Nous avons résolu le problème de classification des gammes ordinales dans lesquelles le même type de phase apparaît plus d'une fois dans une même gamme.

A l'aide d'un exemple industriel, nous avons montré la possibilité et le rôle que peut jouer la T.G. dans l'évaluation du prix de revient des pièces par application de l'une des trois approches proposées.

Nous avons montré aussi l'intérêt de mettre en commun les mêmes résultats de classification entre les trois services (B.E - B.M - Atelier). C'est pourquoi nous considérons que la solution d'avenir réside dans la mise en commun des données entre les logiciels de T.G.A.O. et de G.P.A.O.

D'autres applications intéressantes de la T.G. peuvent concerner, d'une part l'atelier de montage pour former des ensembles et sous-ensembles de systèmes mécaniques, d'autre part le service d'entretien afin d'établir le diagnostic des pannes.

CHAPITRE VII

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ET

BIBLIOGRAPHIE

A- Références bibliographiques

- 1- CETIM, Application des groupements analogiques aux fabrications. Note technique n°11 - Fév 1975.
- 2- J.-P.SCMITT - P.LAMBERT. Management de la production: la fonction méthode. Paris. Les Ed.d'organisation. Eyrolles - 1974.
- 3- SP.MITRFANOV - The group working of parts- The scientific basis of production - LENINGRAD LDNIP 1956.
- 4- H. OPITZ , Werkstückbeschreibendes Klassifizierungssystem. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehr der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule Aachen-Verlag - W. GIRARDET - 1966.
- 5- C.de l'ETANG - L'application des groupements analogiques. CETIM. Janvier 1979.
- 6- CETIM - L'application des groupements analogiques. Septembre 1979.
- 7- CETIM. CETIM TG logiciel de Technologie de groupe - CISI. Présentation de l'application TG chez TRAILOR - LUNEVILLE (54), 1983.
- 8- A.HOUTZEEL. The many faces of G.T. American Machinist - Janvier 1979.
- 9- ADEPA, première journée nationale de la technologie de groupe assistée par ordinateur, rapport ADEPA - 18 Janvier 1983.

- 10- J.-P.PROTH - H.QUENTIN DE GROMARD. Systèmes flexibles de production, conception préliminaire. Méthode+Programme en gestion. Edition Masson - 1986.
- 11- J.-L.CHANDON - S.PINSSON, analyse typologique, théories et applications. Edition Masson. Paris 1980.
- 12- J.ROGET, M.CHERFAOUI et M.JEANVILLE, interprétation des informations assistée par ordinateur - CETIM-informations N° 100, Avril 1987.
- 13- ADEPA, code Multi-M , Multiclass, 1982.
- 14- J.PETERS - W.DU MONG - M.DIEPERINCK, implantation d'un système de classification de pièces axé sur la fabrication. Technologie de Groupe, CRIF, section construction mécanique, MC 49, Janvier 1974.
- 15- H.OPITZ, développements et domaines d'application de la technologie de groupe, revue " mécanique, matériaux, électricité ", n° 282-283, pp. 3-10, Juin/Juillet 1973.
- 16- H.OPITZ, Werhstücksystematik und Teilefamilienfertigung. Klassifizierungssystem. Industrie-Anzeiger, vol 87, 103, déc 1965, pp. 457-468.
- 17- H.OPITZ, Werhstücksystematik und Teilefamilienfertigung. in die Probleme der Werhstückklassifikation. Industrie-Anzeiger, vol 89, 41, mai 1967, pp. 19-22.
- 18- C.de l'ETANG, le système CETIM-PMG pour classer les pièces mécaniques. CETIM-Informations n° 97 - Octobre 1986.
- 19- P.BESSON, l'atelier de demain - perspectives de l'atelier flexible, presse université de Lyon- 1986.

- 20- M.-P.GROOVER, fabrication assistée par ordinateur (FAO)  
volume 2 - Hermes publishing France - pp. 274-300. 1982.
- 21- A.SCHMITT, une application de la Technologie de Groupe  
Assistée par Ordinateur aux assemblages mécano-soudés.  
Thèse de Docteur-Ingénieur. Université de Valenciennes et  
du Hainault-Cambresis, Mai 1988.
- 22- H.GARCIA - B.MUTEL - J.-M.Proth, classification automatique  
des données techniques de production - rapport INRIA, RR  
n°545, Juillet 1986.
- 23- J.LAGARDE, initiation à l'analyse des données. Edition  
Dunod, Paris 1983.
- 24- J-P.BENZECRI - F.BENZECRI, pratique de l'analyse des données.  
Dunod, 1984.
- 25- J.-A.HARTIGAN, "Clustering algorithms". Wiley, 1975.
- 26- G.GOVAERT, classification croisée. Thèse d'Etat - Université  
de Paris VI, Juin 1983.
- 27- J.-P.BENZECRI et collaborateurs, l'analyse des données, tome 1  
la taxinomie; Dunod - Paris 1973.
- 28- L.LEBART - J.-P.FENELON, statistique et informatique  
appliquées. Bordas, 1975.
- 29- J.-P.&F.BENZECRI, pratique de l'analyse des données -  
analyse des correspondances et classification,  
exposé élémentaire. Edition Dunod, 1973.
- 30- E.DIDAY-J.LEMAIRE-J.POUGET-F.TESTU, éléments d'analyse de  
données, édition Dunod - 1982.

- 31- A.NADIF, contribution à la classification automatique de données de production, thèse de doctorat d'Université - Université de Metz , 1987.
- 32- M.ROUX, algorithmes de classification, collection méthodes + programmes, 1985.
- 33- B.FICHET - G.Le CALVE, structure géométrique des principaux indices de dissimilarité sur signes de présence-absence. Statistique et analyse de données, vol 9, 3, pp. 11-44, 1984.
- 34- A.TALBI - D.AIT KADI - B.MUTEL, Application des concepts de la Technologie de Groupe pour l'établissement du devis. A paraître en France.
- 35- A.TALBI. Etude d'un système de codage pour des pièces moulées. Compte rendu d'une mission d'études au Canada. Juin 1989.
- 36- A.TALBI - B.MUTEL - C.LAURENT, Nouvelles approches pour la classification des données industrielles. A paraître en France.
- 37- A.TALBI. Manuels utilisateurs et descriptifs du logiciel C.A<sup>2</sup>.D.I. Rapport interne. Janvier 1988.
- 38- B.MUTEL - M.COSTANTINI - J-M.PROTH, Group technology using automatic classification: the ranking problem for new products proposé à APMS Canada (1987).
- 39- H.GARCIA - B.MUTEL - J-M.PROTH, Familles de produits et îlots de fabrication: le cas de machines multiples. Rapport INRIA N° 469 - Décembre 1985.

## Bibliographie

- 1- ADEPA-CEFIPA, Multiclass module de codification Multi-M,
- 2- ADEPA, dossier : organisation et gestion de la production, ADEPA Actualités N°16 - Décembre 1983.
- 3- R.-P.Ballot, technologie de groupe assistée par ordinateur, ADEPA, 1987.
- 4- J.-P.Barthélémy et A.Guenoche, les arbres et les représentations des proximités , collection méthode + programmes, 1988.
- 5- CH.Bastin - J.-P.Benzecri - CH.Bourgarit - P.Cazes, pratique de l'analyse des données, abrégé théorique, étude de cas modèle. Tome 2 - édition Dunod, bordas Paris - 1980.
- 6- J.-P.Benzecri, "description mathématique des classifications" analyse des données, tome 1, la taxinomie; Dunod - Paris 1973.
- 7- J.-P.Benzecri - F.Benzecri, introduction à la classification ascendante hiérarchique d'après un exemple économique  
In : J. Soc. Statistique Paris, 1985.
- 8- J.-P.Benzecri et collaborateurs, pratique de l'analyse de données - linguistique et lexicologie, tome 3, édition Dunod 1981.
- 9- G.Brossier, problèmes de représentation des données par des arbres, thèse d'état, Rennes 2 - 1986.

- 10- A.Bruyand-B.Mutel, contribution of data analysis methods to computer aided group technology implantation, prolamat, Paris 1983.
- 11- A.Bruyand - B.Mutel, implantation of group technology by data analysis methods. Prolamat - Paris, Juin 1985.
- 12- G.Celeux - Y.Lechevallier, méthodes de discrimination non paramétrique asymptotiquement efficaces au sens de bayes. Rapport de recherche INRIA, n°52, 1980.
- 13- M.Costantini, apports de la technologie de groupe dans différents services d'une entreprise. Etude bibliographique, DEA de production automatisée - Université de Bordeaux, 1984.
- 14- M.Costantini. Etude d'une fonction de classement et du codage de pièces mécaniques dans le contexte de la T.G.A.O., thèse de 3è cycle - Université de Metz - 1987.
- 15- M.Curio - Y.Chavin, le classement efficace. Edition d'organisation. Paris - 1987.
- 16- M.Curio, le classement : principes et méthodes - éd. d'organisation, Paris - 1980.
- 17- M.Curio - Y.Chauvin, le classement efficace : dictionnaire et méthodes, éd.d'organisation, Paris - 1987.
- 18- E.Diday, "inversions en classification hiérarchique: application à la construction adaptative d'indices d'agrégation". Rapport de recherche INRIA n°157 - 1982.
- 19- E.Diday et al, optimisation en classification automatique. Tome 2. INRIA, 1980.

- 20- E.Diday, croisement, ordre et ultramétriques: application à la recherche de consensus en classification automatique. rapport de recherche INRIA n°144 - 1982.
- 21- E.Diday, représentation visuelle des classes empiétantes : les pyramides. Rapport de recherche - INRIA, 1984.
- 22- E.Diday, une nouvelle méthode en classification automatique et reconnaissance de formes. Note scientifique n°6, supplément du bulletin de INRIA n°12. Mai-Juin 1972
- 23- C.de l'Etang - Y.Vendeville, systèmes de groupements analogiques. Supplément au CETIM-Informations n° 34 , pp. 69-91, Février 1974.
- 24- C.de l'Etang - D.Goutte - Y.Vendeville, organisation technique de la production à partir des groupements analogiques. CETIM-Informations n° 37 , pp. 15-28, Octobre 1974.
- 25- W.Eversheim - F.Lock, use for multivariate statistical methods for application of group technology in design and process planning departments. Annals of the CIRP, vol 33, 1, pp. 307-311, 1984.
- 26- Th.Foucart, analyse factorielle - programmation sur micro-ordinateurs, collection méthode + programmes, 2<sup>e</sup> édition, Masson, 1985.
- 27- Th.Foucart, analyse factorielle de tableaux multiples, collection méthode + programmes, édition Masson - 1984.
- 28- A.-R.François, manuel d'organisation. Edition les éditions d'organisation. Paris, 1969.

- 29- H.Garcia - J.-M.Proth, " group technology in production management : the short horizon planning level ", applied stochastic models and data analysis, vol 1. 1985.
- 30- Y.Gardan, la C.F.A.O., traité des nouvelles technologies, édition Hermes, 1985.
- 31- M.Gondran - M.Minoux, graphe et algorithmes, collection de la direction des études et recherches d'électricité de France. Eyrolles, éditeur/Paris - 1979.
- 32- A.-D.Gordon, classification, methods of the exploratory analysis of multivariate data. London New York - Capman and hall, 1981.
- 33- J.-L.Guigou, analyse de données et choix à critères multiples - édition Dunod.
- 34- C.Han - I.Ham, multiobjective cluster analysis for part family formations. Journal of manufacturing systems, vol 5, décembre 1986.
- 35- D.-J. Hand. Discrimination and Classification. Biometrics Unit, London University, Institute of Psychiatry. John Wiley and sons Ltd. 1981
- 36- J.-A.Hartigan, "representation of similarity by trees", J.Amer. Stat.Assoc.; 62,1140-1158.
- 37- J.Herman, analyse de données qualitatives, 1.traitement d'enquête, échantillon, répartition, associations - édition Masson, 1986.
- 38- J.Herman, analyse de données qualitatives, tome 1:traitement d'enquêtes, collection méthode + programmes, 1986.

- 39- A.Houtzeel, classification and coding. TNO, OIR(Organisation for Industrial Research) Inc., USA.
- 40- A.Houtzeel, MIPLAN - MULTIPLAN, OIR Inc., USA.
- 41- A.Houtzeel. The many faces of G.T. American Machinist - Janvier 1979.
- 42- Annales de l'INSEE, la structure des classifications hiérarchiques, n° 22-23, pp 181-190.
- 43- M.Jambu, classification automatique pour l'analyse de données, tome 1, 1978.
- 44- M.Jambu et M.-O.Lebeaux, classification automatique pour l'analyse des données, tome 2 - logiciels, édition Dunod, 1978.
- 45- Ch.Lavit, analyse conjointe de tableaux qualitatifs, collection méthode + programmes, 1988.
- 46- L.Lebart - A.Morineau - J.-P.Fenelon, traitement des données statistiques, édition Dunod, 1979.
- 47- L.Lebart - A.Morineau - N.Tabard, techniques de la description statistique - méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux, édition Dunod, 1977.
- 48- Y.Lechevallier, optimisation de quelques critères en classification automatique et application à l'étude des modifications des protéines sériques en pathologie clinique. Thèse de doctorat de 3e cycle - Université de Paris VI, 17 Juin 1974.
- 49- B.Lecoutre, l'analyse bayésienne des comparaisons. Presses Universitaires de Lille - 1984.

- 50- J.Lefebvre, introduction aux analyses statistiques multi-dimensionnelles, édition Masson - 1980.
- 51- Y.Lemoine - B.Mutel, automatic recognition of production cells and part family. Prolamat Paris 1983.
- 52- I.C.Lerman, les bases de la classification automatique; gautier-villars, Paris, 1970.
- 53- I.C.Lerman, la classification : concepts et caractéristiques d'une méthodologie d'analyse des données. In : J. Soc. Stat. Paris, 1981.
- 54- I.-C.Lerman, classification et analyse ordinale des données. Edition Dunod, 1981.
- 55- I.-C.Lerman, programmes d'analyse des résultats d'une classification automatique, rapport de recherche - INRIA, n°168, 1982.
- 56- I.-C.Lerman, association entre variables qualitatives ordinales "nettes" ou "folles". Rapport de recherche INRIA n°204 - rennes 1983.
- 57- L.Lignelet, algorithmique - méthodes et modèles avec exercices et corrigés, tome 2 : niveau avancé, 2<sup>e</sup> édition, 1988.
- 58- F.Marcotorchino - P.Michaud, agrégation de similarités en classification automatique. IBM étude n° F003, Janvier 1981.
- 59- F.Marcotochino, bloc seriatien problem : a unified approach. Applied stochastic models and data analysis, vol 3 - 1987.
- 60- J.MC Queen, some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceeding 5<sup>th</sup> berheley symposium 1, 281-287, 1967.

- 61- J.Minot, contribution à l'étude de la reconnaissance de familles de pièces en fabrication mécanique. Application à la génération de gammes de fabrication. thèse de docteur-ingénieur - Université de Metz - 1983.
- 62- J.Minot - B.Mutel - Y.Lemoine, implantation assistée par ordinateur de la technologie de groupe. Congrès AFCET automatique Besançon - Novembre 1983.
- 63- MODULAD, méthodes de classification pour l'analyse des données, rapport de cours, INRIA, centre de calcul de Strasbourg, 1987.
- 64- B.Mutel, classification automatique des données de production. LAEI - Université de Metz.
- 65- B.Mutel, fabrication assistée par ordinateur, cours en D.E.A. de production automatisée, 1983/1984.
- 66- B.Mutel, analyse de données et reconnaissance de formes en fabrication mécanique assistée par ordinateur, cours en D.E.A. de production automatisée - 1986/1987.
- 67- B.Mutel, reconnaissance de groupements technologiques par des méthodes d'analyse de données. Colloque productique et robotique - Bordeaux, Mars 1984.
- 68- B.Mutel, recherche automatique de groupements technologiques par mesure de ressemblance entre produits. Division production automatisée du Gami, 2<sup>e</sup> Congrès sur les outils de la productique - Paris, Janvier 1987.
- 69- B.Mutel - M.Costantini - J.-M.Proth, group technology using automatic classification : the ranking problem for new products. proposé à APMS Canada 1987.

- 70- B.Mutel, recherche automatique de groupements technologiques par mesure de ressemblances entre produits, deuxième congrès "les outils de la productique" Janvier 1987.
- 71- B.Mutel - H.Garcia - J.-M.Proth, automatic classification of production data, 18<sup>th</sup> CIRP Stuttgart - Juin 1986.
- 72- B.Mutel - M.Costantini - J.-M.Proth, a general algorithm for the choice of decision rules. 7<sup>e</sup> conférence cybernétique et système - Londres, Septembre 1987.
- 73- B.Mutel - M.Costatini - M.Spadoni -K.Meier - A.Nadif, classification automatique et technologie de groupe. Contrat ADEPA-LAEI rapport n°2, juin 1985.
- 74- A.Nadif, méthodes typologiques d'analyse des données. Application industrielle. Recherche bibliographique, ISMCM, Juin 1983.
- 75- A.Nadif - M.Costantini - B.Mutel, mesures de ressemblance de gammes de fabrication. Revue APII, vol 19, n°5, pp. 455-470, 1985.
- 76- A.Nadif - A.Bruyand - B.Mutel, Technologie de groupe : problèmes d'implantation et d'utilisation. Mécanique, matériaux, électricité (GAMI), 410, pp. 3-7. Janvier/Février 1985.
- 77- H.Opitz, a classification system to describe workpieces. Progamon press 1970.
- 78- J.Peklenik - J.Grumb - B.Logar, an integrated approach to CAD/CAPP/CAM and group technology by pattern recognition. 16<sup>th</sup> CIRP International seminar on manufacturing systems, 13/14 Juillet 1984, Tokyo, Japon.

- 79- J.Peklenik - J.Grumb, investigation of the computer aided classification of parts. Annals of the CIRP, vol 29, pp. 319-323, 1980.
- 80- J.-M.Proth, regroupements en familles de produits en fonction des outils disponibles: projet SAGEP. Rapport de recherche INRIA n°392 - 1985.
- 81- H.Ralambondrainy - r.Chifflet, optimisation de classifications hiérarchiques. Rapport de recherche INRIA n°70 - 1981.
- 82- J.-M.Romeder, méthodes et programmes d'analyse discriminante édition Dunod.
- 83- Y.Schektman, analyse euclidienne des données. Toulouse, 1985.
- 84- J.-C.Simon - E.Diday - J.-P.Maroy - M.Berthod, classification automatique et reconnaissance des formes. INRIA, RR n° 76, pp.13-18, Juillet 1974.
- 85- M.Spadoni, étude d'un système de génération automatique de gammes de fabrication, thèse d'Université - Université de Metz, 1987.
- 86- M.Spadoni - B.Mutel, système flexible de préparation de travail et technologie de groupe.
- 87- M.Spadoni - B.Mutel, système de gestion de gammes de fabrication.
- 88- J.Torrens-Ibern, modèles et méthodes de l'analyse factorielle, édition Dunod - paris 1972.
- 89- Y.Vendeville, les groupements analogiques - Analyse générale des systèmes existants. Le système CETIM, document CETIM.

- 90- Y.Vendeville, analyse des pièces élaborées dans les industries mécaniques. CETIM-Information, 49, pp. 25-34, Février 1977.
- 91- M.Volle, analyse des données. Economie et statistiques avancées. Economica, Paris 1985.

VIII - A N N E X E S

- Annexe 1

- Annexe 2

## ANNEXE 1

### Définitions :

#### A- Technologie de Groupe :

La Technologie de groupe (T.G.) est une méthode qui consiste à regrouper les pièces par familles pour les concevoir et les fabriquer en tirant profit de leurs analogies.

#### Remarque :

Cette définition volontairement très générale ne fait référence ni à un "code", ni à "l'informatique" qui ne sont pas absolument nécessaires pour appliquer ce concept (cf MITROFANOV [3]). Il est vrai cependant que la codification est un moyen commode et efficace pour parvenir aux fins de la T.G.; la plupart des systèmes ne peuvent s'en passer.

#### B- Codification :

La codification est l'expression sous une forme condensée des caractéristiques essentielles d'un "objet."

Remarque :

La terminologie "objet" est à interpréter ici dans son contexte le plus général. Les objets sujets à la codification dans des applications type T.G., peuvent être:

- des dessins de définition,
- des gammes,
- des postes de travail,
- des outillages,
- des pièces mécaniques,
- des devis.

C- Eléments de structure des codes :

# codet : le codet est la représentation codée d'un objet résultant de l'application des règles fixées par un code.

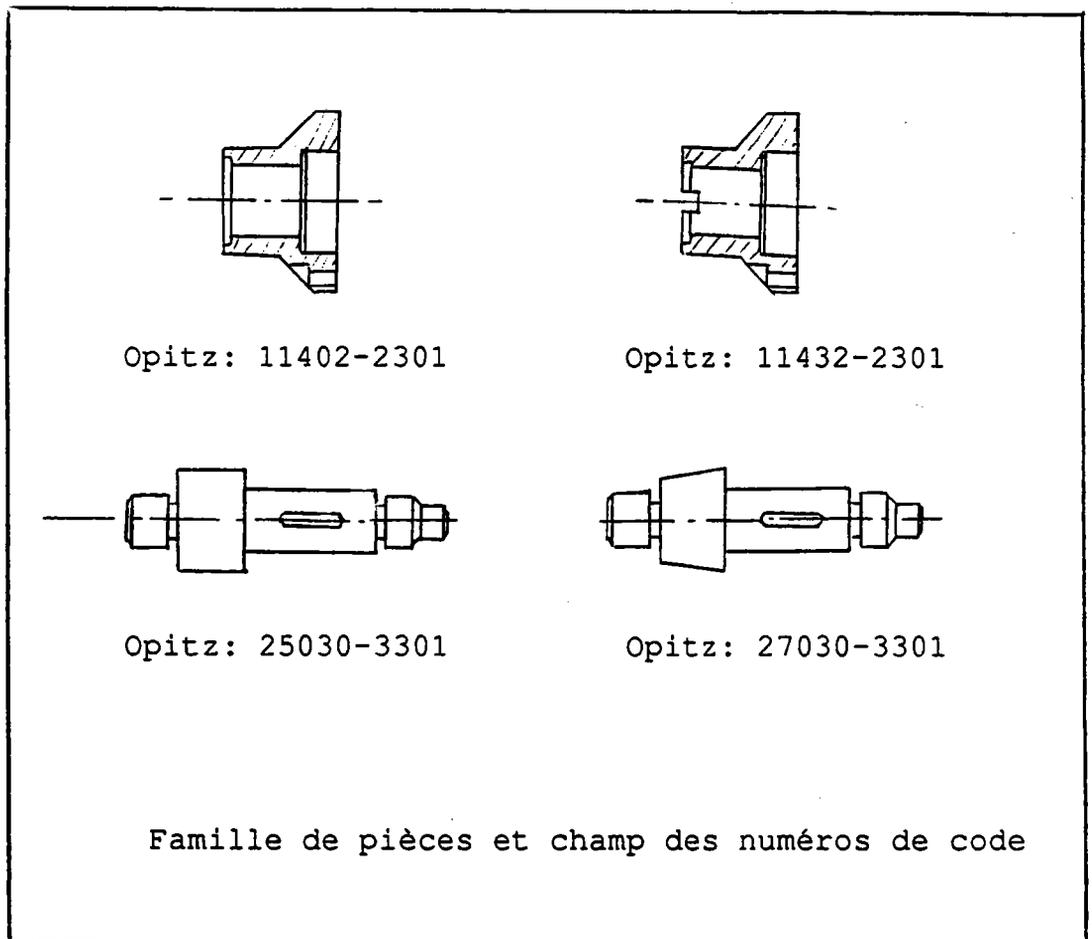
# Position : variable constituant un élément du codet. La longueur d'un code s'exprime en nombre de positions (synonymes - digit, rang).

# Modalité : valeur prise par une position d'un codet.

Remarques :

\* A titre d'exemple, la pièce de la figure A1-1 dont le codet caractéristique selon la méthode Opitz est : 11402-2301 a un code qui comporte 9 positions "numériques", c'est-à-dire que chacune d'elles peut prendre les modalités 0123456789.

\* Nous avons conscience que ces définitions peuvent être contestées, car il n'y a pas d'homogénéité dans la littérature à ce sujet. Le CETIM emploie notamment la terminologie "position" pour désigner une valeur prise par un digit. Nous nous sommes conformés aux terminologies de l'analyse des données qui nous paraissent les plus répandues et les mieux adaptées.



**Figure A1-1** : Pièces codées suivant "Opitz"

## D- systèmes de TGAO :

Un système de TGAO est un ensemble de logiciels permettant de mettre en oeuvre les concepts de T.G. dans une entreprise. Nous distinguons les systèmes de :

- codage,
- classification,
- classement,
- génération de gammes de fabrication,
- agencement des ateliers de fabrication et magasins de stocks.

### Remarques :

L'achat de logiciels ne dispense pas l'entreprise d'une réflexion sur un "code spécifique". En effet, le code de T.G. universel n'existe pas, et dans tous les cas de figures, des adaptations sont à prévoir et des règles de codification spécifiques doivent être élaborées.

Les logiciels ne se limitent pas à un outil de codification, mais doivent permettre la recherche d'analogies et l'analyse des informations.

E- Notations:

| NOTATION                                                                                           | DEFINITION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EXEMPLE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $O$                                                                                                | Ensemble des objets à classer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $O = \{a, b, c\}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $\mathcal{P}(O)$<br>P : Partition                                                                  | Ensemble des parties de O<br>Ensemble P de parties $C_i$ de O, mutuellement disjointes et dont la réunion est égale à O.<br>$\forall C_i, C_j \in \mathcal{P}(O) : C_i \cap C_j = \emptyset$<br>$\bigcup_i C_i = O$                                                                                                                                                                        | $\mathcal{P}(O) = \{ \emptyset, a, b, c, ab, ac, bc, abc \}$<br>$P = \{ C_1, C_2 \} = a/bc$<br>$C_1 = \{a\}$<br>$C_2 = \{b, c\}$                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| F : Famille de partitions                                                                          | Ensemble de partitions $P_1, P_2, \dots, P_i$ indexées par le nombre de classes                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $F = \{ P_1, P_2, P_3, P_4 \}$<br>$P_1 : abcd$<br>$P_2 : ac/bd$<br>$P_3 : ab/c/d$<br>$P_4 : a/b/c/d$                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $\subset$ : Relation d'inclusion entre parties<br><br>$\ll$ : Relation de finesse entre partitions | La partie $C_i$ est incluse dans la partie $C_j$ si tout élément de $C_i$ est aussi élément de $C_j$ .<br>$C_i \subset C_j \Leftrightarrow \forall k \in C_i : k \in C_j$<br><br>La partition P est plus fine que la partition P' si toutes les parties de P sont incluses dans les parties de P'.<br>$P \ll P' \Leftrightarrow \forall C_i \in P, \exists C'_i \in P' : C_i \subset C'_i$ | $C_1 : \{a\}$<br>$C_2 : \{a, b\}$<br>$C_1 \subset C_2$<br><br>$P' = ab/cd$<br>$P = ab/c/d$<br>$P \ll P'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| A : Arbre                                                                                          | Ensemble A de parties non vides, muni de la relation d'inclusion et tel que l'ensemble des prédécesseurs de toutes parties de A soit totalement ordonné.<br>$\forall a, s, t \in A : \left. \begin{matrix} a \subset s \\ \text{et} \\ a \subset t \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{matrix} s \subset t \\ \text{ou} \\ t \subset s \end{matrix} \right.$                  | $A = \{ (a), (b), (c), (a, b), (abc) \}$<br>$\begin{matrix} & (a, b, c) & \\ & / \quad \backslash & \\ (a, b) & & (c) \\ / \quad \backslash & & \\ (a) & & (b) \end{matrix}$ est un arbre<br><br>$A' = \{ (a), (b), (c), (ab), (bc), (abc) \}$<br>$\begin{matrix} & (a, b, c) & \\ & / \quad \backslash & \\ (a, b) & & (b, c) \\ / \quad \backslash & & \\ (a) & & (b) \end{matrix}$ n'est pas un arbre |
| H : Hiérarchie de parties                                                                          | Arbre H tel que 2 parties h, h' sont ordonnées par la relation d'inclusion ou ont une intersection vide.<br>$\forall h, h' \in H : h \subset h' \text{ ou } h' \subset h \text{ ou } h \cap h' = \emptyset$<br>$\forall h \in H : \text{ou } \{ h' \neq h : h' \subset h \text{ ou } h = \bigcup \{ k : k \subset h \} \} \cup h = \emptyset$                                              | $\begin{matrix} & (a, b, c, d) & \\ & / \quad \backslash & \\ (a, b) & & (c, d) \\ / \quad \backslash & & \\ (a) & & (b) \end{matrix}$ (c) (d)                                                                                                                                                                                                                                                           |
| R : Recouvrement                                                                                   | Ensemble R de parties $C_i$ de O non disjointes et dont la réunion est O<br>$\exists C_i, C_j \in \mathcal{P}(O) : C_i \cap C_j \neq \emptyset$<br>$\bigcup_i C_i = O$                                                                                                                                                                                                                     | $O = \{ a, b, c \}$<br>$R = \{ C_1, C_2 \}$<br>$C_1 = \{ a, b \}$<br>$C_2 = \{ b, c \}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| F' : Famille de recouvrements                                                                      | Ensemble F' de recouvrements $R_1, R_2, \dots, R_i$ indexés par le nombre de parties                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $F' = \{ R_1, R_2, R_3 \}$<br>$R_1 = \{ \{ a, b, c \} \}$<br>$R_2 = \{ \{ a, c \}, \{ b, c \} \}$<br>$R_3 = \{ \{ a, b \}, \{ ac \}, \{ bc \} \}$                                                                                                                                                                                                                                                        |
| H' : Hiérarchie de recouvrements                                                                   | Ensemble H' de recouvrement $R_1, R_2, \dots, R_i$ ordonné par la relation de finesse<br>$\forall R_i \in H' : R_i \ll R_{i-1}$<br>$R_i \ll R_{i-1} \Leftrightarrow \forall C_i \in R_i \exists C_{i-1} \in R_{i-1} : C_i \subset C_{i-1}$                                                                                                                                                 | $H' = \{ R_1, R_2, R_3 \}$<br>$R_1 = \{ \{ a, b, c \} \}$<br>$R_2 = \{ \{ a, c \}, \{ b, c \} \}$<br>$R_3 = \{ \{ a \}, \{ b \}, \{ c \} \}$                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Transformation monotone                                                                            | Transformation f des proximités $d_{ij}$ en proximités $f(d_{ij})$ conservant l'ordre.<br>$\forall i, j, k, l \in O : d_{ij} \leq d_{kl} \Rightarrow f(d_{ij}) \leq f(d_{kl})$                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

## ANNEXE 2

|                                                       | <u>Pages</u> |
|-------------------------------------------------------|--------------|
| I- Mode de structuration des données brutes . . . . . | A2.2         |
| II- Données industrielles . . . . .                   | A2.3         |
| A- Matrice de données codes . . . . .                 | A2.4         |
| 1- Matrice de données codes transcodée . . . . .      | A2.5         |
| 2- Matrice de données codes transcodée et concaténée  | A2.6         |
| B- Matrice de données gammes . . . . .                | A2.7         |
| 1- Matrice de données gammes transcodée . . . . .     | A2.8         |
| 2- Matrice de données gammes transcodée et concaténée | A2.9         |
| C- Structuration des fichiers . . . . .               | A2.10        |

## I- Mode de structuration des données brutes

Afin de simplifier la lecture et l'écriture du fichier de données brutes, nous l'avons structuré comme suit :

- A- Un en-tête d'une seule ligne qui comprend :
  - 1- Le nombre d'articles enregistrés dans le fichier (6 caractères),
  - 2- Le nombre de caractères d'enregistrement de la référence réelle de la pièce (6 caractères),
  - 3- Le nombre de caractères d'enregistrement de la date d'exécution de la pièce (6 caractères),
  - 4- Le nombre de caractères d'enregistrement du nombre de pièces par lot (3 caractères),
  - 5- Le nombre de caractères d'enregistrement du temps d'exécution de la pièce (6 caractères),
  - 6- Le nombre de variables utilisées dans le système de codification
  - 7- Le nombre de modalités des variables utilisées dans le système de codification de la pièce,
  - 8- Le nombre de phases maximum que nécessite la gamme la plus "complète",
  
- B- Autant de lignes que d'articles, chaque ligne comprend :
  - 1- La référence interne de la pièce en caractères alpha-numériques,
  - 2- La référence réelle de la pièce en caractères alpha-numériques,
  - 3- La date de lancement de la pièce, le jour, le mois et l'an,
  - 4- Le nombre de pièces par lot, un entier.
  - 5- Le temps d'exécution d'une pièce en secondes,
  - 6- Les valeurs numériques correspondant aux différentes modalités des variables,
  - 7- Une succession de poste-machines correspondant aux phases, où chacune d'elles comprend trois caractères alpha-numériques.



A- Matrice de données code :

| 70 |   | 19 | 10 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 7  | 6  | 4 | 3 | 4 | 1 | 4 | 5 | 2 | 5 | 1 | 5 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 5 |
| 2  | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 1 | 7 | 2 | 8 | 1 | 5 | 1 | 2 | 9 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 3  | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 8 | 2 | 8 | 2 | 4 | 9 | 3 | 2 | 4 | 0 | 3 |
| 4  | 1 | 7  | 2  | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 9 | 2 | 7 | 1 | 2 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 9 |
| 5  | 1 | 8  | 0  | 9 | 3 | 4 | 1 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 | 7 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 8 |
| 6  | 1 | 7  | 2  | 1 | 3 | 4 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 |
| 7  | 1 | 7  | 5  | 3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 7 | 1 | 5 | 1 | 5 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 9 |
| 8  | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 7 | 1 | 5 | 1 | 5 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 9 |
| 9  | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 9 |
| 10 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 9 |
| 11 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 8 | 1 | 7 | 1 | 2 | 1 | 2 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 7 |
| 12 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 8 | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 9 | 3 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| 13 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 8 | 4 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 7 |
| 14 | 1 | 7  | 9  | 9 | 3 | 4 | 1 | 4 | 6 | 2 | 1 | 1 | 7 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 3 |
| 15 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 8 | 4 | 3 | 7 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 7 |
| 16 | 1 | 7  | 5  | 1 | 2 | 1 | 6 | 2 | 9 | 0 | 9 | 0 | 6 | 9 | 3 | 0 | 4 | 3 | 6 |
| 17 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 8 | 1 | 9 | 1 | 6 | 9 | 3 | 2 | 4 | 0 | 8 |
| 18 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 7 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 |
| 19 | 1 | 7  | 8  | 1 | 3 | 4 | 8 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 7 |
| 20 | 1 | 7  | 7  | 1 | 3 | 4 | 1 | 4 | 1 | 1 | 8 | 1 | 3 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 7 |
| 21 | 1 | 7  | 6  | 6 | 3 | 4 | 5 | 4 | 1 | 1 | 9 | 1 | 3 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 9 |
| 22 | 1 | 7  | 1  | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 5 | 1 | 7 | 1 | 0 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 7 |
| 23 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | 0 | 1 | 7 | 1 | 0 | 9 | 3 | 3 | 4 | 1 | 3 |
| 24 | 1 | 7  | 1  | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 9 | 1 | 1 | 0 | 9 | 9 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 |
| 25 | 1 | 7  | 1  | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 9 | 1 | 1 | 0 | 9 | 9 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 |
| 26 | 1 | 7  | 5  | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 7 | 9 | 3 | 2 | 4 | 0 | 9 |   |
| 27 | 1 | 7  | 6  | 6 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 8 | 2 | 3 | 9 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 |
| 28 | 1 | 7  | 6  | 6 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 8 | 2 | 3 | 9 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 |
| 29 | 1 | 7  | 6  | 4 | 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 0 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 |
| 30 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 0 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 |
| 31 | 1 | 7  | 8  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 5 | 9 | 6 | 2 | 4 | 0 | 8 |
| 32 | 1 | 7  | 8  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 5 | 9 | 6 | 2 | 4 | 0 | 8 |
| 33 | 1 | 7  | 5  | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 5 | 2 | 3 | 2 | 1 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 5 |
| 34 | 1 | 7  | 6  | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 35 | 1 | 7  | 5  | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 7 | 3 | 1 | 2 | 1 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 5 |
| 36 | 1 | 7  | 7  | 1 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1 | 4 | 1 | 0 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 37 | 1 | 7  | 2  | 1 | 2 | 1 | 8 | 2 | 7 | 2 | 7 | 1 | 2 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 38 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 8 | 2 | 2 | 1 | 3 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 9 |
| 39 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 8 | 2 | 2 | 1 | 3 | 9 | 3 | 1 | 4 | 1 | 9 |
| 40 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 7 |
| 41 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 2 | 3 | 1 | 3 | 9 | 3 | 0 | 4 | 1 | 3 |
| 42 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 5 | 4 | 7 | 1 | 5 | 1 | 3 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 43 | 1 | 7  | 1  | 4 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 5 | 1 | 8 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 44 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 8 | 1 | 7 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 45 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 1 | 7 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 46 | 1 | 7  | 2  | 1 | 3 | 4 | 5 | 5 | 1 | 2 | 9 | 2 | 5 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 47 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 0 | 4 | 5 | 1 | 5 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 48 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 9 | 1 | 4 | 1 | 1 | 9 | 3 | 1 | 4 | 1 | 7 |
| 49 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 8 | 1 | 4 | 1 | 2 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 50 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 8 | 1 | 4 | 1 | 2 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 51 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 9 | 2 | 9 | 9 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 |
| 52 | 1 | 7  | 7  | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 7 | 1 | 5 | 1 | 5 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 53 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 54 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 55 | 1 | 7  | 1  | 4 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 6 | 1 | 6 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 |
| 56 | 1 | 7  | 1  | 4 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 6 | 1 | 6 | 9 | 3 | 0 | 4 | 0 | 3 |
| 57 | 1 | 7  | 1  | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 9 | 1 | 9 | 9 | 3 | 2 | 4 | 0 | 3 |
| 58 | 1 | 7  | 1  | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 9 | 1 | 9 | 9 | 3 | 2 | 4 | 0 | 3 |
| 59 | 1 | 7  | 6  | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 2 | 3 | 1 | 6 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 9 |
| 60 | 1 | 7  | 6  | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 2 | 3 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 9 |
| 61 | 1 | 7  | 5  | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 62 | 1 | 7  | 5  | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 63 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 64 | 1 | 7  | 6  | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 1 | 9 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 65 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 66 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 7 |
| 67 | 1 | 7  | 5  | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 9 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 68 | 1 | 7  | 2  | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 8 | 1 | 6 | 1 | 4 | 9 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 |
| 69 | 1 | 7  | 1  | 4 | 3 | 0 | 1 | 2 | 9 | 2 | 0 | 1 | 6 | 9 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 |
| 70 | 1 | 7  | 2  | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 8 | 1 | 6 | 1 | 4 | 9 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 |

MATRICE DE DONNEES CODE (TRANSCODEE)

Nombre d'individus est n = 70

Nombre de variables est m = 12

Nombre maxi de modalités par variable est lambda = 84

| IV    | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7 | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|---|---|----|----|----|----|---|----|---|----|----|----|
| 1 76  | 4 | 3 | 41 | 45 | 25 | 15 | 9 | 30 | 4 | 0  | 5  |    |
| 2 75  | 1 | 3 | 17 | 28 | 15 | 12 | 9 | 31 | 4 | 1  | 3  |    |
| 3 75  | 1 | 3 | 10 | 28 | 28 | 24 | 9 | 32 | 4 | 0  | 3  |    |
| 4 72  | 1 | 3 | 1  | 29 | 27 | 12 | 9 | 30 | 4 | 0  | 9  |    |
| 5 80  | 9 | 3 | 41 | 45 | 31 | 17 | 9 | 31 | 4 | 0  | 8  |    |
| 6 72  | 1 | 3 | 42 | 40 | 20 | 11 | 9 | 30 | 4 | 0  | 3  |    |
| 7 75  | 3 | 1 | 41 | 17 | 15 | 15 | 9 | 30 | 4 | 1  | 9  |    |
| 8 75  | 1 | 3 | 41 | 17 | 15 | 15 | 9 | 30 | 4 | 1  | 9  |    |
| 9 75  | 1 | 3 | 41 | 35 | 15 | 11 | 9 | 30 | 4 | 0  | 9  |    |
| 10 75 | 1 | 3 | 41 | 35 | 15 | 11 | 9 | 30 | 4 | 0  | 9  |    |
| 11 76 | 1 | 3 | 48 | 17 | 12 | 12 | 9 | 30 | 4 | 1  | 7  |    |
| 12 75 | 1 | 3 | 83 | 14 | 12 | 11 | 9 | 34 | 1 | 1  | 3  |    |
| 13 75 | 1 | 3 | 84 | 41 | 14 | 14 | 9 | 30 | 4 | 0  | 7  |    |
| 14 79 | 9 | 3 | 41 | 46 | 21 | 17 | 9 | 30 | 4 | 1  | 3  |    |
| 15 75 | 1 | 3 | 84 | 37 | 14 | 14 | 9 | 30 | 4 | 0  | 7  |    |
| 16 75 | 1 | 2 | 16 | 29 | 9  | 6  | 9 | 30 | 4 | 3  | 6  |    |
| 17 76 | 1 | 3 | 41 | 38 | 19 | 16 | 9 | 32 | 4 | 0  | 8  |    |
| 18 75 | 1 | 3 | 72 | 13 | 12 | 10 | 9 | 30 | 4 | 0  | 3  |    |
| 19 78 | 1 | 3 | 48 | 31 | 12 | 12 | 9 | 30 | 4 | 1  | 7  |    |
| 20 77 | 1 | 3 | 41 | 41 | 18 | 13 | 9 | 30 | 4 | 0  | 7  |    |
| 21 76 | 6 | 3 | 45 | 41 | 19 | 13 | 9 | 31 | 4 | 0  | 9  |    |
| 22 71 | 2 | 2 | 1  | 25 | 17 | 10 | 9 | 30 | 4 | 1  | 7  |    |
| 23 75 | 1 | 3 | 45 | 20 | 17 | 10 | 9 | 33 | 4 | 1  | 3  |    |
| 24 71 | 2 | 2 | 1  | 29 | 11 | 9  | 9 | 32 | 4 | 2  | 7  |    |
| 25 71 | 2 | 2 | 1  | 29 | 11 | 9  | 9 | 32 | 4 | 2  | 7  |    |
| 26 75 | 4 | 3 | 41 | 22 | 22 | 17 | 9 | 32 | 4 | 0  | 9  |    |
| 27 76 | 6 | 3 | 43 | 32 | 28 | 23 | 9 | 33 | 4 | 0  | 7  |    |
| 28 76 | 6 | 3 | 43 | 32 | 28 | 23 | 9 | 33 | 4 | 0  | 7  |    |
| 29 76 | 4 | 3 | 10 | 33 | 30 | 20 | 9 | 30 | 4 | 0  | 3  |    |
| 30 76 | 1 | 3 | 10 | 33 | 30 | 20 | 9 | 30 | 4 | 0  | 3  |    |
| 31 78 | 1 | 3 | 41 | 33 | 21 | 15 | 9 | 62 | 4 | 0  | 8  |    |
| 32 78 | 1 | 3 | 41 | 33 | 21 | 15 | 9 | 62 | 4 | 0  | 8  |    |
| 33 75 | 4 | 3 | 41 | 25 | 23 | 21 | 9 | 31 | 4 | 0  | 5  |    |
| 34 76 | 4 | 3 | 41 | 32 | 24 | 21 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 35 75 | 4 | 3 | 41 | 37 | 31 | 21 | 9 | 31 | 4 | 0  | 5  |    |
| 36 77 | 1 | 3 | 13 | 30 | 14 | 10 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 37 72 | 1 | 2 | 18 | 27 | 27 | 12 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 38 76 | 1 | 3 | 41 | 28 | 22 | 13 | 9 | 31 | 4 | 0  | 9  |    |
| 39 76 | 1 | 3 | 41 | 28 | 22 | 13 | 9 | 31 | 4 | 1  | 9  |    |
| 40 75 | 1 | 3 | 41 | 30 | 23 | 12 | 9 | 30 | 4 | 1  | 7  |    |
| 41 75 | 1 | 3 | 41 | 30 | 23 | 13 | 9 | 30 | 4 | 1  | 3  |    |
| 42 75 | 1 | 3 | 45 | 47 | 15 | 13 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 43 71 | 4 | 3 | 10 | 30 | 25 | 18 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 44 76 | 1 | 3 | 41 | 38 | 17 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 45 75 | 1 | 3 | 45 | 55 | 17 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 46 72 | 1 | 3 | 45 | 51 | 29 | 25 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 47 75 | 1 | 3 | 40 | 45 | 15 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 48 75 | 1 | 3 | 10 | 29 | 14 | 11 | 9 | 31 | 4 | 1  | 7  |    |
| 49 75 | 1 | 3 | 10 | 28 | 14 | 12 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 50 75 | 1 | 3 | 10 | 28 | 14 | 12 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 51 75 | 1 | 3 | 10 | 30 | 29 | 29 | 9 | 33 | 4 | 0  | 7  |    |
| 52 77 | 1 | 3 | 41 | 17 | 15 | 15 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 53 76 | 1 | 3 | 41 | 21 | 11 | 11 | 9 | 31 | 4 | 1  | 3  |    |
| 54 76 | 1 | 3 | 41 | 21 | 11 | 11 | 9 | 31 | 4 | 1  | 3  |    |
| 55 71 | 4 | 3 | 10 | 30 | 26 | 16 | 9 | 30 | 4 | 0  | 3  |    |
| 56 71 | 4 | 3 | 10 | 30 | 26 | 16 | 9 | 30 | 4 | 0  | 3  |    |
| 57 71 | 4 | 3 | 11 | 32 | 19 | 19 | 9 | 32 | 4 | 0  | 3  |    |
| 58 71 | 4 | 3 | 11 | 32 | 19 | 19 | 9 | 32 | 4 | 0  | 3  |    |
| 59 76 | 4 | 3 | 41 | 30 | 23 | 16 | 9 | 31 | 4 | 0  | 9  |    |
| 60 76 | 4 | 3 | 41 | 30 | 23 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 9  |    |
| 61 75 | 4 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 62 75 | 4 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 63 76 | 1 | 3 | 41 | 30 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 64 76 | 1 | 3 | 41 | 30 | 19 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 65 75 | 1 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 66 75 | 1 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 7  |    |
| 67 75 | 1 | 3 | 41 | 22 | 14 | 14 | 9 | 31 | 4 | 0  | 3  |    |
| 68 72 | 4 | 3 | 41 | 28 | 16 | 14 | 9 | 33 | 4 | 0  | 7  |    |
| 69 71 | 4 | 3 | 1  | 29 | 20 | 16 | 9 | 33 | 4 | 0  | 7  |    |
| 70 72 | 4 | 3 | 41 | 28 | 16 | 14 | 9 | 33 | 4 | 0  | 7  |    |



B- Matrice de données gamme :

| 70 |     | 8   |     | 8   |         | 0           |
|----|-----|-----|-----|-----|---------|-------------|
| 1  | fra | sta | rep | frc | aju     | tth rpp     |
| 2  | rab | rep | aju | tth | rep     |             |
| 3  | rab | fra | aju | tth | rpp     |             |
| 4  | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 5  | fra | sta | rep | frp | aju     | tth rpp     |
| 6  | fra | sta | rep | frp | aju     | tth rep     |
| 7  | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 8  | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 9  | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 10 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 11 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 12 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 13 | fra | aju | tth | rie |         |             |
| 14 | fra | sta | rep | frp | aju     | tth rpp ele |
| 15 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 16 | rep | fra | tth | rpp |         |             |
| 17 | rab | fra | aju | tth | rpp     |             |
| 18 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 19 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 20 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 21 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 22 | fra | tth | rpp |     |         |             |
| 23 | rab | fra | aju | tth | rpp     |             |
| 24 | fra | tth | rpp |     |         |             |
| 25 | fra | tth | rpp |     |         |             |
| 26 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 27 | rab | rep | fra | aju | tth rep |             |
| 28 | rab | rep | frp | aju | tth rep |             |
| 29 | rab | fra | aju | tth | rpp     |             |
| 30 | rab | fra | aju | tth | rpp     |             |
| 31 | deb | rab | rep | fra | aju     | tth rpp     |
| 32 | deb | rab | rep | frc | aju     | tth rpp     |
| 33 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 34 | rab | rep | fra | aju | tth rpp |             |
| 35 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 36 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 37 | fra | tth | rpp |     |         |             |
| 38 | rab | sta | rep | fra | aju     | tth rpp     |
| 39 | rab | sta | rep | fra | aju     | tth rie     |
| 40 | fra | rep | aju | fra | aju     | tth rpp     |
| 41 | fra | rep | aju | fra | aju     | tth rpp     |
| 42 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 43 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 44 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 45 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 46 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 47 | fra | tth | rpp |     |         |             |
| 48 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 49 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 50 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 51 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 52 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 53 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 54 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 55 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 56 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 57 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 58 | rab | rep | frp | aju | tth rpp |             |
| 59 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 60 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 61 | rab | rep | fra | aju | tth rpp |             |
| 62 | rab | rep | fra | aju | tth rpp |             |
| 63 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 64 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 65 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 66 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 67 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 68 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 69 | fra | aju | tth | rpp |         |             |
| 70 | fra | aju | tth | rpp |         |             |

MATRICE DE DONNEES GAMME (TRANSCODEE)

Nombre de gammes de fabrication est n = 70  
Nombre maximum de postes utilisés est m = 12  
Nombre maximum de phases par gamme est lambda = 9

| IV | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|----|---|----|---|----|---|---|---|---|----|----|----|
| 1  | 1  | 2 | 3  | 0 | 5  | 6 | 7 | 0 | 4 | 0  | 0  | 0  |
| 2  | 0  | 0 | 25 | 0 | 3  | 4 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 3  | 2  | 0 | 0  | 0 | 3  | 4 | 5 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 4  | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 5  | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6 | 7 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 6  | 1  | 2 | 37 | 4 | 5  | 6 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 7  | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 8  | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 9  | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 10 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 11 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 12 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 13 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 0 | 0 | 0 | 0  | 4  | 0  |
| 14 | 1  | 2 | 3  | 4 | 5  | 6 | 7 | 8 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 15 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 16 | 2  | 0 | 1  | 0 | 0  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 17 | 2  | 0 | 0  | 0 | 3  | 4 | 5 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 18 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 19 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 20 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 21 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 22 | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 2 | 3 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 23 | 2  | 0 | 0  | 0 | 3  | 4 | 5 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 24 | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 2 | 3 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 25 | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 2 | 3 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 26 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 27 | 3  | 0 | 26 | 0 | 4  | 5 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 28 | 0  | 0 | 26 | 3 | 4  | 5 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 29 | 2  | 0 | 0  | 0 | 3  | 4 | 5 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 30 | 2  | 0 | 0  | 0 | 3  | 4 | 5 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 31 | 4  | 0 | 3  | 0 | 5  | 6 | 7 | 0 | 0 | 2  | 0  | 1  |
| 32 | 0  | 0 | 3  | 0 | 5  | 6 | 7 | 0 | 4 | 2  | 0  | 1  |
| 33 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 34 | 3  | 0 | 2  | 0 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 35 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 36 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 37 | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 2 | 3 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 38 | 4  | 2 | 3  | 0 | 5  | 6 | 7 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 39 | 4  | 2 | 3  | 0 | 5  | 6 | 0 | 0 | 0 | 1  | 7  | 0  |
| 40 | 14 | 0 | 2  | 0 | 35 | 6 | 7 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 41 | 14 | 0 | 2  | 0 | 35 | 6 | 7 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 42 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 43 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 44 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 45 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 46 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 47 | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 2 | 3 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 48 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 49 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 50 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 51 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 52 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 53 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 54 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 55 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 56 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 57 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 58 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 59 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 60 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 61 | 3  | 0 | 2  | 0 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 62 | 3  | 0 | 2  | 0 | 4  | 5 | 6 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  |
| 63 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 64 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 65 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 66 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 67 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 68 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 69 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |
| 70 | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 3 | 4 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |

MATRICE DE DONNEES GAMME (TRANSCODEE et CONCATENEE)

Nombre de gammes de fabrication est n = 70  
 Nombre maximum de postes utilisés est m = 12  
 Nombre maximum de phases par gamme est lambda = 8

| I\V | fra | sta | rep | frp | aju | tth | rpp | ele | frc | rab | rie | deb |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
| 1   | 1   | 1   | 3   | 0   | 4   | 4   | 5   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 2   | 0   | 0   | 4   | 0   | 2   | 2   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 3   | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 4   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5   | 1   | 1   | 3   | 2   | 4   | 4   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 6   | 1   | 1   | 6   | 2   | 4   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 7   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 8   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 9   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 10  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 11  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 12  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 13  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   |
| 14  | 1   | 1   | 3   | 2   | 4   | 4   | 5   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 15  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 16  | 2   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 17  | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 18  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 19  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 20  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 21  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 22  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 23  | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 24  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 25  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 26  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 27  | 3   | 0   | 5   | 0   | 3   | 3   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 28  | 0   | 0   | 5   | 1   | 3   | 3   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 29  | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 30  | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 31  | 4   | 0   | 3   | 0   | 4   | 4   | 5   | 0   | 0   | 2   | 0   | 1   |
| 32  | 0   | 0   | 3   | 0   | 4   | 4   | 5   | 0   | 1   | 2   | 0   | 1   |
| 33  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 34  | 3   | 0   | 2   | 0   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 35  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 36  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 37  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 38  | 4   | 1   | 3   | 0   | 4   | 4   | 5   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 39  | 4   | 1   | 3   | 0   | 4   | 4   | 0   | 0   | 0   | 1   | 2   | 0   |
| 40  | 5   | 0   | 2   | 0   | 5   | 4   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 41  | 5   | 0   | 2   | 0   | 5   | 4   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 42  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 43  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 44  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 45  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 46  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 47  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 48  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 49  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 50  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 51  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 52  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 53  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 54  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 55  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 56  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 57  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 58  | 0   | 0   | 2   | 1   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 59  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 60  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 61  | 3   | 0   | 2   | 0   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 62  | 3   | 0   | 2   | 0   | 3   | 3   | 4   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 63  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 64  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 65  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 66  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 67  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 68  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 69  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 70  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

C- Structuration des modules:

Fichier de correspondance des postes "mat\_post.dta" :

```
55 12
 1 fra
 2 sta
 3 rep
 4 frp
 5 aju
 6 tth
 7 rpp
 8 ele
 9 frc
10 rab
11 rie
12 deb
```

Fichier de concaténation des gammes "concat.gam" :

```
70 12
0 1 2 3 4 14
0 2
0 1 2 3 25 26 37
0 3 4
0 2 3 4 5 35
2 3 4 5 6
0 3 4 5 6 7
0 8
0 4
0 1 2
0 4 7
0 1
```

Fichier de concaténation des modalités "concat.cod" :

```
70 12
71 72 75 76 77 78 79 80
 1 2 3 4 6 9
 1 2 3
 1 10 11 13 16 17 18 40 41 42 43 45 48 72 83 84
13 14 17 20 21 22 25 27 28 29 30 31 32 33 35 37 38 40 41 45 46 47 51 55
 9 11 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
 6 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 23 24 25 29
 9
30 31 32 33 34 62
 1 4
 0 1 2 3
 3 5 6 7 8 9
```

## Résumé

Le développement des systèmes intégrés de production pose deux problèmes :

- 1/ Accumulation de données techniques et économiques que l'on ne peut appréhender globalement,
- 2/ Agencement des ressources.

Avant toute implantation de système intégré de production, il faut définir une méthodologie et des outils qui conduisent à une "optimisation" des flux et de la matière.

Pour l'analyse et l'organisation globale des flux, nous préconisons une approche basée sur le concept de la Technologie de Groupe (T.G.). Cette approche s'appuie sur l'exploitation des ressources ou similitude entre produits et entre processus de conception et de fabrication dans le but de rationaliser et de minimiser les coûts de production. Elle s'applique ainsi aux différents services techniques de l'entreprise et conduit à la formation d'îlots de fabrication au sein desquels il est possible d'usiner entièrement les pièces d'une même famille.

Dans ce mémoire, nous avons développé une méthode de classification basée sur la définition de mesure de ressemblances, des critères de classification et d'agrégation et sur des algorithmes de structure hiérarchique arborescente. Cette méthode est conçue sous forme d'un logiciel de Classification Automatique Ascendante des Données Industrielles de production (C.A<sup>2</sup>.D.I.). Ce logiciel est structuré en cinq modules complémentaires et offre la possibilité de traiter des données hétérogènes complètes ou non (codes, gammes ou l'ensemble des deux) ainsi que de grands tableaux de variables qualitatives et quantitatives. Il permet d'affecter des pondérations aux variables et aux individus. Le choix du nombre de classes est laissé à l'initiative de l'utilisateur. Le logiciel génère des partitions sur les codes, les gammes, les codes et les gammes ou sur les formes fortes et contribue à l'interprétation de ces partitions à l'aide des tableaux de fréquences.

Les exemples industriels traités ont montré l'efficacité de la méthode de classification retenue et l'intérêt de prendre en compte plusieurs types de données à la fois.