

APPLICATION DES METHODES HIERARCHIQUES A LA CONSTITUTION DE FAMILLES DE PRODUITS

Jean RONDREUX*

Résumé. - La prise de décisions dans un environnement où le volume des informations à traiter est important a toujours posé de grandes difficultés. C'est le cas notamment des entreprises qui fabriquent des produits représentés par un nombre élevé de références pour lesquelles il faut décider des quantités à fabriquer et des moyens à mettre en œuvre. La tentation est grande de procéder à des agrégations afin de réduire le volume de ces informations. Cette agrégation peut être empirique ou bien encore conduite de façon rationnelle à l'aide d'outils plus ou moins complexes. **La classification hiérarchique** constitue à cet égard une solution simple qui ne nécessite aucune préparation particulière de l'information.

Mots clés : classification hiérarchique, familles de produits, planification de la production.

1. Introduction

L'ensemble des besoins exprimés par les clients (personnes morales ou personnes physiques) constitue un champ très vaste qu'il est difficile d'appréhender par une simple formule : biens matériels ou immatériels, biens durables ou éphémères.

Face à cette demande se manifeste une offre constituée par des entreprises agricoles, industrielles, de services, de distribution, de transports ; chaque entreprise quel que soit son type ne peut répondre que partiellement à la demande, d'une part parce que ses capacités sont limitées, d'autre part parce qu'elle se trouve généralement en concurrence avec des entreprises offrant les mêmes prestations ou des prestations similaires.

Les entreprises industrielles productrices de biens d'équipement ou de biens de consommation ont à gérer en permanence ces dilemmes offre / demande et charge / capacité :

* Ingénieur des Arts et Métiers, maître de conférences IUT de Troyes Université de Reims Champagne Ardenne.

- Dans la perspective la plus simple : marché peu évolutif et parts de marché constantes, l'entreprise peut se contenter de suivre les fluctuations de la demande qui dans ce cas peuvent avoir un caractère purement aléatoire.
- Dans une perspective de croissance : l'entreprise peut être tentée d'accroître ses parts de marché ; cette croissance implique une adaptation des capacités de son outil de production souvent accompagnée d'une avancée technologique.

On constate que, dans les deux cas se posent les mêmes problèmes mais à des degrés différents :

- la quantification des besoins exprimés ou des besoins potentiels des clients,
- la quantification des capacités de production.

Pour cela, il est indispensable de s'appuyer sur une définition cohérente des éléments constituant la planification industrielle, c'est à dire, la notion de familles de produits capables de représenter convenablement la demande et la notion de familles technologiques pour apprécier la charge de travail induite.

2. Notions de familles de produits

En reprenant la terminologie employée dans un rapport du CETIM paru en 1987 on peut retenir comme familles types :

- les familles à pseudo variantes caractérisées par une différence minimale entre les produits (ex : couleur, décoration...)
- les familles à composants facultatifs ; il existe un produit enveloppe à partir duquel découlent tous les autres produits par absence de certains composants
- les familles à composants alternatifs ; il existe dans ce cas un choix possible entre des composants ayant des fonctions analogues
- les familles à options : elles intègrent les trois concepts précédents si on introduit par exemple la notion de composants vides
- les familles dimensionnelles ; ce sont des produits similaires au sens géométrique du terme
- les familles fonctionnelles ; les produits ont des fonctionnalités identiques mais des matérialisations différentes
- les familles technologiques ; elles rassemblent des produits ayant recours à des procédés technologiques semblables.

Il faut ajouter à cette liste les produits qui ne peuvent pas constituer de familles : les monoproduits ainsi que la collection aléatoire de produits.

On voit, à la lumière de ces définitions d'ordre conceptuel, que la construction d'une famille de produits consiste à rechercher les invariants susceptibles de fournir une certaine unité dans la représentation de la famille.

3. Choix des familles de produits

La demande des clients est agrégée dans les familles à options pour la gestion des volumes de production.

Les charges et les besoins en capacités sont déterminés en utilisant les familles technologiques.

Soit X_{ij} le volume des produits appartenant à la famille à options i et à la famille technologique j ; la matrice des demandes peut prendre la forme suivante si :

F_{oi} : représente les familles à options ; i variant de 1 à n

F_{tj} : représente les familles technologiques ; j variant de 1 à m

	FO1	..	FOi	..	FO n
FT1	X11	..	Xi1	..	X n 1
:	:		:		:
FT j	X1i	..	Xij	..	X n j
:	:		:		:
FT m	X1 m	..	Xi m	..	X n m

Considérons le cas d'une entreprise qui fabrique des produits vendus sur catalogue ; l'ensemble de la production peut être scindé en quelques lignes de produits à l'intérieur desquelles nous allons rechercher les familles à options et les familles technologiques en utilisant l'analyse typologique et plus particulièrement la **classification hiérarchique**.

4. Principe de la classification hiérarchique

La classification hiérarchique a pour but de réduire la représentation de n produits pris isolément en k classes à l'intérieur desquelles on retrouve un certain nombre de produits supposés constituer une famille ; il y a $n-2$ partitions possibles si on exclut la première partition où chaque produit est isolé et la dernière partition où tous les produits sont réunis.

Partant de la partition en n classes appelée partition de niveau 1, dans le cas de l'analyse ascendante, on obtient la partition de niveau 2 c'est à dire $n-1$ classes en regroupant 2 classes de la partition n de niveau 1 et ainsi de suite ; pour une partition quelconque le niveau i est appelé niveau d'agrégation. Dans le cas de l'analyse ascendante, plus sa valeur est élevée, plus les éléments regroupés sont hétérogènes.

Soit par exemple 5 produits notés A, B, C, D, E

L'arbre de classification ci-dessous montre 5 partitions possibles pour les 5 produits

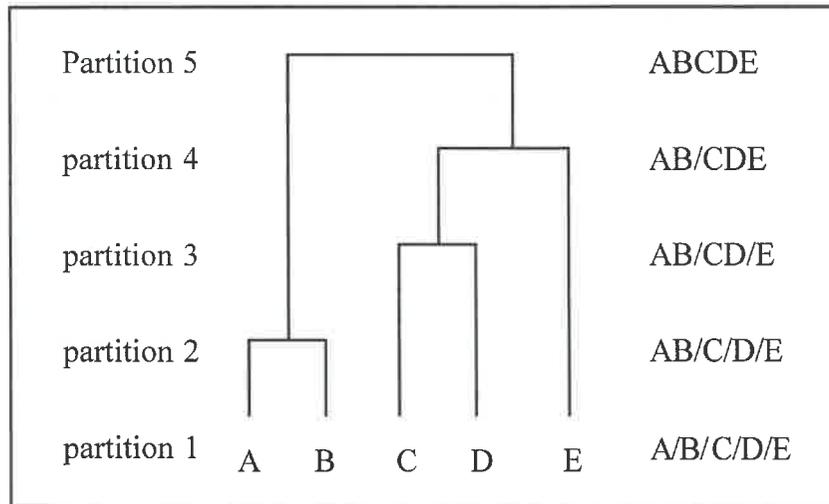


Figure 1: exemple d'arbre de classification

Dans cet arbre de classification, une coupure réalisée au niveau de la partition 3 permet de remplacer les 5 produits par 3 familles.

5. Choix du critère pour effectuer le regroupement de 2 classes

Le choix d'un critère revient à définir une distance, une proximité ou une similarité entre classes et à regrouper les 2 classes qui ont la plus faible distance et ainsi de suite ; les caractères observés dans chaque classe peuvent être de type :

- quantitatif (modalités numériques)
- qualitatif (modalités ordinales ou nominales)

On parle de caractères quantitatifs s'ils peuvent être mesurés et représentés par des nombres sur lesquels on peut faire la plupart des opérations (addition, soustraction, comparaison, classement...) ; exemple : longueur surface, volume, poids..

On parle de caractères qualitatifs ordinaux s'ils peuvent être représentés par des nombres sur lesquels on peut appliquer une relation d'ordre, une préférence ; par exemple classer des produits par ordre de préférence en leur donnant une note ; les opérations arithmétiques n'ont dans ce cas aucun sens.

On parle de caractères qualitatifs nominaux si on associe des nombres purement conventionnels aux caractères que l'on souhaite coder ; par exemple pour la couleur, le matériau..., les relations d'ordre ne s'appliquent pas. Les caractères qualitatifs nominaux permettent simplement de diviser la population en classes pour lesquelles les caractères ont la même valeur. On utilisera par la suite les caractères binaires (présence/absence, 0/1) qui sont un cas particulier des caractères qualitatifs nominaux.

En règle générale, on dispose pour chaque classe à la fois de caractères quantitatifs et de caractères qualitatifs. Or la mesure de proximité nécessite la manipulation de caractères de même type. Dans ces conditions une opération d'homogénéisation est nécessaire ; certains caractères quantitatifs sont transformés en caractères qualitatifs ordinaux ou nominaux.

Cette transformation conduit malheureusement à un appauvrissement de l'information ; exemple : la dimension d'un produit est transformée en un caractère qualitatif « grand » ou « petit ». C'est probablement le choix des caractères qui a la plus grande influence sur la formation des groupes ; il faut donc se poser les questions suivantes.

- Quels sont les caractères les plus pertinents vis à vis du problème posé ?
- Quels sont les caractères qui véhiculent le plus d'informations ?

5.1 cas des caractères quantitatifs

Dans le cas particulier de caractères uniquement quantitatifs, on définit l'inertie d'un ensemble de points de centre de gravité G par l'expression :

$$I = \sum P_i \cdot E_i^2$$

Dans cette expression, P_i représente le poids de chaque point et E_i représente la distance de ce point au centre de gravité G.

Dans ces conditions, une classe est d'autant plus homogène que son inertie est faible (inertie intraclasse) et deux classes seront d'autant mieux séparées que l'inertie totale de celles-ci est élevée (inertie interclasses). Les restrictions mentionnées précédemment concernant la manipulation de caractères de même type conduisent pratiquement à éliminer cette méthode pour des produits industriels.

5.2 cas des caractères qualitatifs ordinaux

C'est la nature même du problème qui impose l'utilisation de caractères qualitatifs ordinaux ; par exemple classer des clients (des consommateurs) vis à vis des préférences qu'ils manifestent à l'égard de plusieurs produits.

Si l'on dispose de tels caractères, on peut effectuer le calcul de proximité à l'aide

d'une matrice de rangs qui permet de noter des préférences strictes ($x > y$; x meilleur que y ; x préféré à y) et des indifférences ($x = y$; x équivalent à y). Les préférences seront notées :

$$S_{xy} = 1 \text{ si } x > y$$

$$S_{yx} = 0 \text{ si } y < x$$

$$S_{xy} = S_{yx} = 1/2 \text{ si } x = y$$

Soit par exemple le classement de 6 produits ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$) par n clients ; pour le client i la matrice des préférences est la suivante en utilisant la notation précédente:

exemple : P_1 préféré à P_2 entraîne $(P_1, P_2) = 1$ et réciproquement $(P_2, P_1) = 0$

		Y					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
X	P1	1/2	1	1	1	1	1
	P2	0	1/2	1/2	1	1	1
	P3	0	1/2	1/2	1	1	1
	P4	0	0	0	1/2	1	1
	P5	0	0	0	0	1/2	1
	P6	0	0	0	0	0	1/2

Le score moyen réalisé par chaque produit auprès du client i s'obtient par le calcul suivant :

$$S = \frac{1}{2} (\sum |x > y| + \sum |x \geq y| - 1)$$

Soit : 5 pour P1 ; 3.5 pour P2 ; 3.5 pour P3 ; 2 pour P4 ; 1 pour P5 ; 0 pour P6

On en déduit le rang moyen de chaque produit par la relation suivante :

$$R = P - S \quad \text{si } P \text{ est le nombre de produits à classer}$$

Il est alors possible d'appliquer aux rangs le calcul des distances euclidiennes. Pour le client i , les rangs moyens des produits sont respectivement :

1 pour P1 ; 2.5 pour P2 ; 2.5 pour P3 ; 4 pour P4 ; 5 pour P5 ; 6 pour P6

Si pour le client j , les rangs moyens des produits sont :

2 pour P1 ; 3.5 pour P2 ; 3.5 pour P3 ; 5 pour P4 ; 1 pour P5 ; 6 pour P6

la distance entre les clients i et j s'exprimera par :

$$d_{ij} = \sqrt{(1-2)^2 + (2.5-3.5)^2 + (2.5-3.5)^2 + (4-5)^2 + (5-1)^2 + (6-6)^2} = \sqrt{20}$$

5.3 cas des caractères qualitatifs nominaux

C'est le cas où n objets sont décrits par p variables (attributs) auxquelles on associe un certain nombre de modalités (ces modalités n'étant pas nécessairement numériques).

Soit par exemple six produits a/b/c/d/e/f pour lesquels on recherche des ressemblances à partir de 18 attributs ; on notera par une variable logique 1 l'existence de la modalité h du j ième attribut du produit i et 0 dans le cas contraire.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Σ
a	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	9
b	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	6
c	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	8
d	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	7
e	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5
f	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	10

On en déduit le tableau des coprésences notées P, des coabsences notées A et des non coïncidences notées N.

Le nombre de coprésences s'obtient en comptant le nombre de fois où deux produits possèdent la modalité considérée représentée par 1 dans le tableau ci-dessus.

exemple : coprésence(a,b)=2.

Le nombre de coabsences s'obtient en comptant le nombre de fois où deux produits ne possèdent pas la modalité considérée représentée par 0 dans le tableau ci-dessus.

exemple : coabsence(a,b)=5.

Le nombre de noncoïncidences s'obtient en comptant le nombre de fois où deux produits sont différents pour la modalité considérée ; exemple : noncoïncidence(a,b)=11

	a			b			c			d			e			f			
P	A	N	P	A	N	P	A	N	P	A	N	P	A	N	P	A	N		
9	9	0	2	5	11	3	4	11	5	7	6	1	5	12	6	5	7	a	
			6	12	0	4	8	6	2	7	9	2	9	7	2	4	12	b	
						8	10	0	2	5	11	2	7	9	1	1	16	c	
									7	11	0	2	8	8	5	6	7	d	
												5	13	0	3	6	9	e	
															10	8	0	f	

Différents indices de proximité ou de similarité peuvent être utilisés ; parmi les plus simples on trouve :

$$\frac{P}{T} ; \frac{P+A}{T} \text{ avec } T : \text{ nombre total d'attributs}$$

Soit par exemple pour le couple (a,f) l'indice de proximité se calcule en faisant le rapport P/T avec P=6(nombre de coprésences) et T=18(nombre total d'attributs).

$$P/T=6/18=0.33$$

Pour les produits a/b/c/d/e/f on obtient, en utilisant l'indice P/T le classement suivant :

$$af = 0.33; ad = df = 0.28; bc = 0.22; ac = ef = 0.17; bd = ab = bc = bf = ce = de = 0.11$$

$$cf = ac = 0.05$$

6. application concrète : constitution de familles sur 15 références de chaînes charnières

6.1 familles à options

Les attributs sélectionnés et leurs modalités sont :

- **La matière constituant les palettes:** acier cimenté traité(ACT), acier inoxydable type1 (AI 17.7), acier inoxydable type 2(AI 18.8), une matière plastique(MP).
- **La taille de la chaîne :** petite(P), moyenne(M), grande(G)
- **La flexibilité de la chaîne :** chaîne rigide(R), chaîne flexible(F)
- **Le revêtement :** glissant(G), neutre(N) ou antiglissant(A)
- **La matière constituant les axes :** acier cimenté traité(ACT), acier inoxydable(AI), matière plastique(MP)

Le nombre total d'attributs s'élève à 15

6.2 Tableau des données logiques

	matière palettes				taille			flex		revêtement			matière axes		
ref	AC T	AI1 7	AI1 8	MP	P	M	G	R	F	G	N	A	AC T	AI	MP
1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
3	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0
4	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0
5	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
6	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
8	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
9	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
10	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
11	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1
14	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
15	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0

Le tableau (non représenté) des coprésences, coabsences et non coïncidences fait apparaître à l'issue du calcul des indices de proximité les familles du niveau 2 au niveau 14.

Pour obtenir le tableau des coprésences, coabsences, et non coïncidences, les références sont comparées 2 à 2 et font l'objet d'un calcul de proximité (ici l'indice $(P/(P+N))$) ; par exemple, la comparaison des références 11 et 14 fait ressortir :

- 6 coprésences notées P
- 9 coabsences notées A

- 15 le nombre total d'attributs

On vérifiera aisément que les références 11 et 14 possèdent l'indice de proximité le plus élevé : $6/6=1$. Cela ne signifie nullement que les 2 références en question soient parfaitement identiques mais que les attributs retenus ne permettent pas de faire ressortir de différences sensibles.

Lorsque 2 références telles que 11 et 14 ont été regroupées, elles ne constituent plus qu'une seule et unique référence qui sera considérée comme telle dans les regroupements suivants.

La famille de niveau 2 est donc constituée à partir des références 11 et 14

Pour la famille de niveau 3 constituée à partir des références 3 et 4

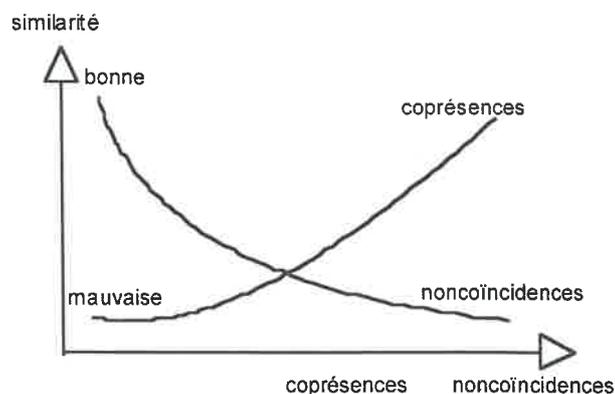
- les coprésences s'élèvent à 6
- les coabsences s'élèvent à 7
- les non coïncidences s'élèvent à 2

Pour la famille de niveau 4 constituée à partir des références 6 et 9

- les coprésences s'élèvent à 6
- les coabsences s'élèvent à 7
- les non coïncidences s'élèvent à 2
- etc.....

6.3 Tableau des familles à options

Les familles ainsi constituées sont d'autant plus homogènes que l'indice de proximité est élevé, avec le nombre de coprésences le plus élevé possible et un nombre minimum de non coïncidences. La similarité est en effet une fonction croissante du nombre de coprésences et une fonction décroissante du nombre de non coïncidences. Toutefois, on s'aperçoit que l'indice ainsi calculé peut prendre des valeurs identiques pour plusieurs couples de références (cas des familles 3-4 et 6-9). Dans le cas présent, le classement des références 3-4 au niveau 3 et des références 6-9 au niveau 4 est parfaitement arbitraire ; un classement inverse n'aurait pas changé l'arborescence.



Le tableau ci-dessous résume la classification effectuée sur les 15 produits référencés de 1 à 15.

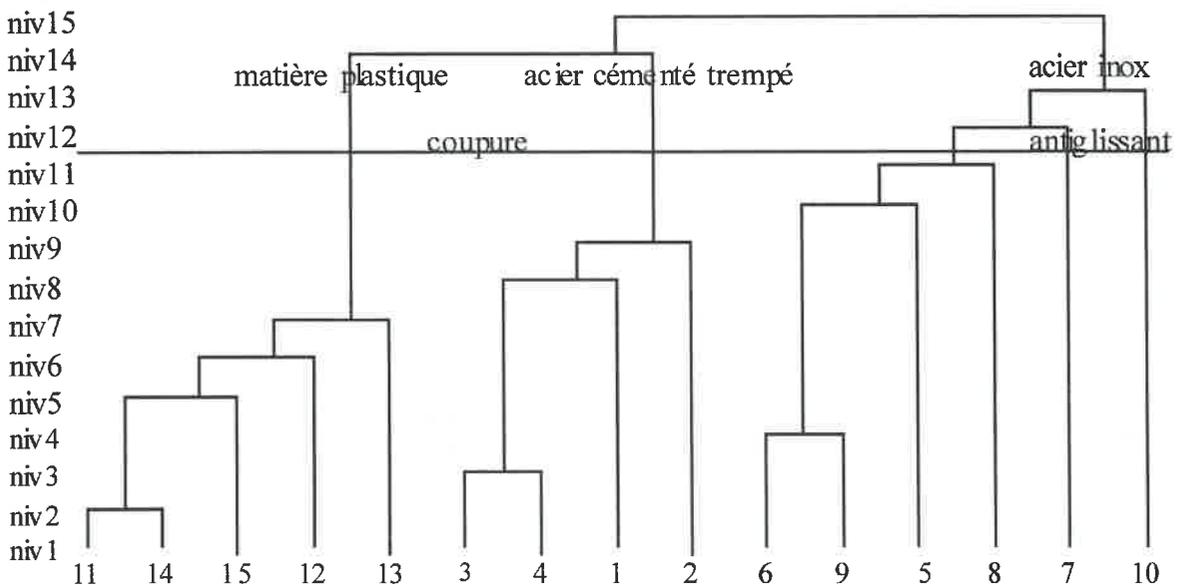
Il ressort de cette classification 3 grandes familles constituées autour des matériaux. La classification fait ressortir également un caractère fonctionnel essentiel pour ce type de matériel : la possibilité pour la chaîne de convoyage de travailler en accumulation (cas des chaînes avec revêtement glissant ou neutre) par opposition à la chaîne avec revêtement antiglissant.

Chaque famille se décline en familles de côtes petites moyennes ou grandes.

familles	coprésences	coabsences	non coïncidences
11-14	6	9	0
3-4	6	7	2
6-9	6	7	2
11-14-15	5	9	1
11-14-15-12	5	8	2
11-14-15-12-13	5	7	3
3-4-1	5	7	3
3-4-1-2	5	7	3
6-9-5	5	7	3
6-9-5-8	5	7	3
6-9-5-8-7	4	6	5
6-9-5-8-7-10	5	6	4
3-4-1-2-11-14-15-12-13	5	4	6

6.4 Arbre de classification

On déduit du tableau précédent l'arbre de classification suivant :



6.5 familles technologiques

Les attributs sélectionnés et leurs modalités représentent les différentes opérations techniques mises en œuvre pour la fabrication des 15 chaînes :

- **Découpage et pliage** sous presses à l'aide d'outils à suivre
- **Traitement thermique** sur ligne continue : cémentation trempe revenu
- **Traitement de surface** : polissage ou revêtement antiglissant
- **Moulage** par injection
- **Cisailage** pour les axes métalliques
- **Contrôle et assemblage**

6.6 Tableau des données logiques

découpage	tth	traitement de surface		moulage	cisailage	cont/assem
-----------	-----	-----------------------	--	---------	-----------	------------

ref	découpage	tth	polissage	revêtement	moulage	cisailage	cont/assem
1	1	1	0	0	0	1	1
2	1	1	1	0	0	1	1
3	1	1	0	0	0	1	1
4	1	1	1	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	1	1
6	1	0	0	0	0	1	1
7	1	0	0	1	0	1	1
8	1	0	0	0	0	1	1
9	1	0	0	0	0	1	1
10	1	0	0	1	0	1	1
11	0	0	0	0	1	1	1
12	0	0	0	0	1	1	1
13	0	0	0	0	1	0	1
14	0	0	0	0	1	1	1
15	0	0	0	0	1	1	1

6.7 Tableau des familles technologiques

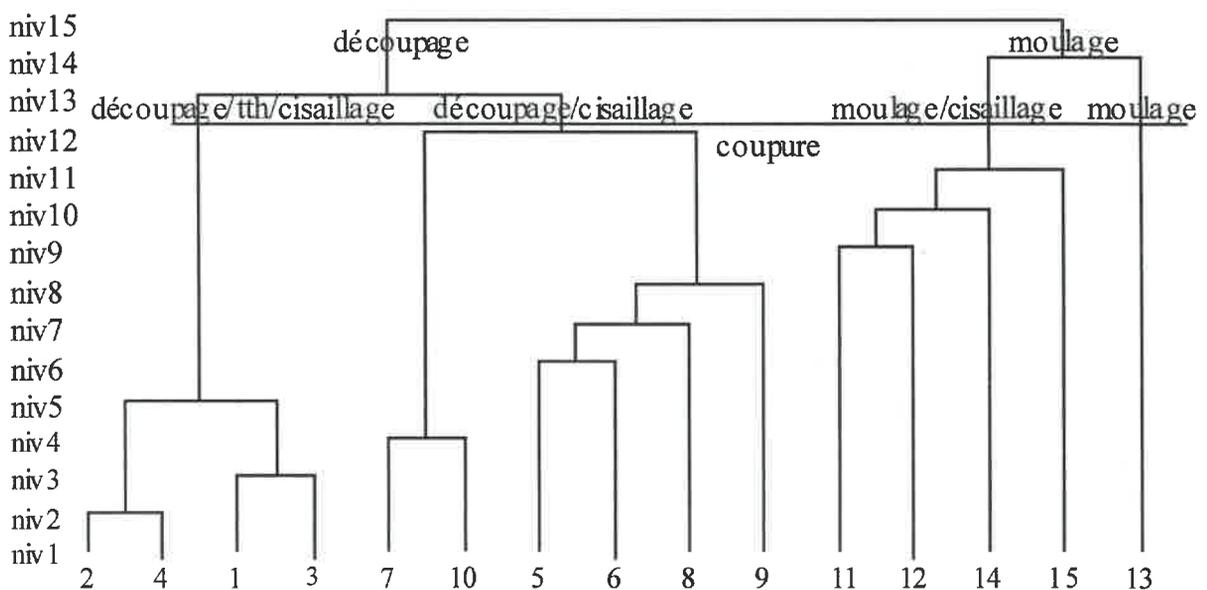
Après calcul des coprésences des coabsences et des non coïncidences, on obtient les familles suivantes par niveau d'agrégation :

familles	coprésences	coabsences	non coïncidences
2-4	5	2	0
1-3	4	3	0
7-10	4	3	0
1-2-3-4	4	2	1
5-6	3	4	0
5-6-8	3	4	0
5-6-8-9	3	4	0
11-12	3	4	0
11-12-14	3	4	0
11-12-14-15	3	4	0
5-6-8-9-7-10	3	3	1
5-6-8-9-7-10-1-2-3-4	3	1	3
11-12-14-15-13	2	4	1

6.8 Arbre de classification

On déduit du tableau précédent l'arbre de classification suivant :

On peut noter une ressemblance certaine avec l'arbre de classification des familles à options ; ceci est normal et rassurant à la fois dans la mesure où les familles à options se constituent autour des matériaux et que les procédés d'élaboration dépendent étroitement de ces mêmes matériaux.



7. Matrice des demandes

On effectue une coupure sur l'arbre de classification des familles à options ; cette coupure met en évidence par exemple 4 familles à options.

On effectue également une coupure sur l'arbre de classification des familles technologiques ; cette coupure met en évidence par exemple 4 familles technologiques.

La matrice des demandes prend alors la forme suivante :

	FO1 matière plastique 11-12-13-14-15	FO2 ac cémenté trempé 1-2-3-4	FO3 inox 5-6-8-9	FO4 inox antiglissant 7-10
FT1 moulage 11 12 14 15	Q(FO1,FT1) 11-12-14-15			
FT2 moulage cisaillage 13	Q(FO1,FT2) 13			
FT3 découpage cisaillage 5-6-7-8-9-10			Q(FO3,FT3) 5-6-8-9	Q(FO4,FT3) 7-10
FT4 découpage tth cisaillage 1-2-3-4		Q(FO2,FT4) 1-2-3-4		

Dans cette matrice $Q(FO_i, FT_j)$ représente la demande sur les produits de la famille à options i et de la famille technologique j .

La somme en colonne représente la demande sur la famille à options de cette colonne.

La somme en ligne représente la demande sur la famille technologique de cette ligne.

8. Intérêt pratique de la démarche

Si la planification industrielle consiste :

- à quantifier en fonction du temps les besoins exprimés ou potentiels des clients
- à mettre à la disposition de l'outil de production la matière première et les capacités nécessaires et suffisantes pour satisfaire ces besoins, il est évident que la classification hiérarchique peut apporter une aide précieuse.

L'exemple traité au paragraphe 6 montre en effet qu'il est possible de réduire à 4 familles à options et 4 familles technologiques la représentation de 15 références catalogue.

L'arbre de classification établi au paragraphe 64 met en évidence ces quatre familles à options qui sont :

- la famille de chaînes charnières en matière plastique
- la famille de chaînes charnières en acier cémenté trempé
- la famille de chaînes charnières en acier inox sans revêtement
- la famille de chaînes charnières en acier inox avec revêtement

L'estimation des besoins par familles de produits permet de quantifier les besoins matière sur la base d'une chaîne de la famille prise comme référence ; par exemple, pour la famille de chaînes en matière plastique, l'attribut taille peut prendre les modalités « moyenne » ou « grande » ; cette information permet de connaître la quantité de matière nécessaire par unité de chaîne et permet ainsi de remonter au volume global à budgétiser dans le plan industriel.

Dans le cas de la planification des besoins en matière, il sera judicieux de descendre l'arborescence jusqu'à ce que l'on trouve la matière ou le composant à approvisionnement critique.

La planification des capacités de production est également abordée avec les familles technologiques ; il apparaît nettement sur l'arbre de classification du paragraphe 68 deux grandes familles technologiques avec chacune deux sous-familles :

- la famille technologique découpage avec deux sous-familles correspondant à la présence ou à l'absence de traitement thermique.
- la famille technologique moulage avec deux sous-familles correspondant à la présence ou à l'absence de cisailage.

L'estimation des besoins par familles technologiques permet de quantifier les besoins en ressources (en heures de travail) par atelier sur la base d'une chaîne de la famille prise comme référence ; par exemple pour la famille technologique découpage / cisailage / traitement thermique, l'attribut traitement thermique étant systématiquement présent pour toutes les chaînes de cette famille, il sera facile de calculer la charge de travail de cet atelier.

Comme pour les besoins matière il sera judicieux de descendre l'arborescence jusqu'à ce que l'on rencontre une ressource critique.

On voit ici l'intérêt de travailler sur des données agrégées pour dégager les informations essentielles de production ; ce sont en effet ces nouvelles entités qui seront à la base de l'estimation du « volume de la demande » et du « volume de travail par atelier ».

Il faut noter également que l'utilisation d'un tableur permet de réaliser l'essentiel du traitement de l'information à partir de l'instant où l'on a fait le choix des attributs et de leurs modalités.

9. Bibliographie

- CHA CHANDON et PINSON, « Analyse typologique : théorie et applications » aux éditions MASSON
- BOU BOUROCHE et SAPORTA, « Analyse des données » aux éditions Presses Universitaires de France
- BER BERGER, DIDIER, MALOSSE, MEUNIER, MUNIER et LHOTE, « Ingénierie de l'assemblage » rapport du CETIM étude N° 105190