

**Revue Internationale de**

ISSN 0980-1472

**systemique**

SYSTÉMIQUE ET COMPLEXITÉ

Vol. 4, N° 2, 1990

**afcet**

**Dunod**

**AFSCET**

**Revue Internationale de**  
**systemique**

**Revue**  
**Internationale**  
**de Sytémique**

volume 04, numéro 2, pages 203 - 229, 1990

Représentations graphiques hiérarchisées  
et intelligence de la complexité

Marie-Josée Avenier

Numérisation Afscet, janvier 2016.



Creative Commons

## REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES HIÉRARCHISÉES ET INTELLIGENCE DE LA COMPLEXITÉ

Marie-Josée AVENIER  
C.N.R.S. (GRASCE)<sup>1</sup>

---

Il dépend essentiellement de la façon dont nous la  
décrivons qu'une structure soit simple ou complexe.

H.A. Simon (9) p. 139

### Introduction

Une des premières images qui viennent à l'esprit lorsqu'on évoque les termes de complexité, de complexes d'actions, de système complexe, est celle d'un enchevêtrement de myriades «d'inter-rétro-actions» (1). Si la représentation que l'on se forge d'un complexe d'actions se présente effectivement comme un enchevêtrement, c'est-à-dire si elle se compose de multiples flèches qui partent dans tous les sens et comportent de nombreux croisements, sa contribution à l'intelligence du complexe considéré est certainement très faible. Les travaux de J. N. Warfield notamment, montrent qu'au contraire, lorsqu'on parvient à «démêler l'enchevêtrement», la représentation graphique peut apporter des éclairages importants sur la structure du complexe.

La méthode qu'il utilise pour «démêler un enchevêtrement» consiste à lui faire correspondre un objet mathématique abstrait appelé graphe qui, dans les cas favorables (graphe orienté sans circuits) peut être «hiérarchisé», c'est-à-dire dans la terminologie de J. N. Warfield, représenté comme une structure à plusieurs niveaux sans cycles, et par conséquent dessiné de telle façon que toutes les flèches pointent dans la même direction. Un tel dessin permet de visualiser facilement certaines caractéristiques structurales du complexe qui n'ont aucune chance d'apparaître dans l'enchevêtrement initial.

<sup>1</sup> GRASCE (CNRS 935), 23, cours Gambetta, 13627 Aix-en-Provence Cedex.

Cette note a pour objet de présenter et de discuter une généralisation de l'approche de J. N. Warfield, applicable à tout enchevêtrement, aussi complexe soit-il.

Cette généralisation repose sur un élargissement du concept de hiérarchie que l'on définit alors comme une manière d'attribuer un niveau à chaque sommet de l'enchevêtrement. Différents critères de hiérarchisation sont considérés, parmi lesquels celui du «rang», privilégié par J. N. Warfield.

La hiérarchisation sert en premier lieu à démêler une représentation enchevêtrée d'un complexe d'actions dans le but de tirer parti des capacités humaines de synthèse visuelle pour découvrir des informations sur la structure du complexe. Afin de faciliter l'interprétation des dessins, de permettre un certain apprentissage de leur lecture et de rendre plus aisées les communications entre plusieurs personnes concernées par un même complexe, une forme canonique de représentation a été associée à chacune des hiérarchies considérées (§ I).

La hiérarchisation permet également de mettre en évidence certaines propriétés du complexe par transcription de concepts et propriétés issus de la théorie des graphes.

Après la présentation de quelques exemples d'application de la méthode proposée, la deuxième partie se poursuit par une discussion des apports potentiels d'un système interactif de visualisation de graphes hiérarchisés (tirant parti des possibilités offertes par les techniques graphiques interactives), à l'intelligence d'un complexe d'actions connu a priori sous la forme d'un enchevêtrement.

## 1. Formes canoniques de représentation de graphes hiérarchisés

### 1.1 Graphe associé à un complexe d'actions

Dans cette note, un complexe d'actions sera supposé connu par l'ensemble de ses éléments (objets ou actions) considérés comme homogènes d'un certain point de vue, et l'ensemble des interactions (supposées complexes) qui existent entre ses éléments. Celles-ci seront représentées par la relation binaire  $B : xBy$  signifiant «l'élément  $x$  est en relation avec l'élément  $y$ ».

Si  $B$  est qualitative, elle est entièrement déterminée par la donnée d'une matrice booléenne  $(m_{ij})$  avec :  $m_{ij} = 1 \Leftrightarrow x_i B x_j$ .

$(m_{ij})$  peut alors être considérée comme la *matrice d'incidence* d'un graphe  $G = (X, U)$ , avec  $X$  ensemble de sommets et  $U$  ensemble d'arcs, dans lequel chaque sommet  $x$  de  $X$  représente un élément du système et

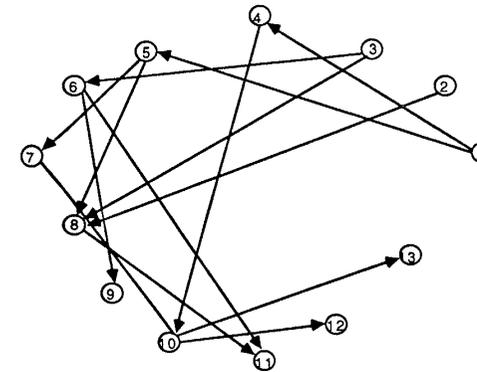


Figure 1. Représentation de  $G$  non hiérarchisée

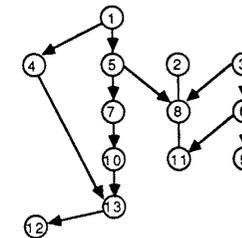


Figure 2. Représentation de  $G$  associée à la hiérarchie de rang

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1				1	1								
2								1					
3						1	1						
4										1			
5							1	1					
6									1	1			
7										1			
8											1		
9													
10											1	1	
11													
12													
13													

Figure 3. Matrice d'incidence de  $G$ .

chaque arc  $u_{ij} = (x_i, x_j)$  de  $U$  représente le fait que  $x_i$  est en relation avec  $x_j$  dans le système.

Si  $B$  est quantitative, la matrice  $(m_{ij})$  est à coefficients entiers ou réels et le graphe associé est un graphe valué dont les arcs  $u_{ij}$  sont associés aux coefficients  $m_{ij}$  non nuls.

Si  $B$  est non symétrique ( $x_i B x_j \neq x_j B x_i$ ), le graphe associé est orienté, alors que si  $B$  est symétrique [ $x_i B x_j \Leftrightarrow x_j B x_i$  pour tous les couples  $(i, j)$ ], le graphe est non orienté.

Si le système est décomposable en sous-systèmes sans relations entre eux, alors le graphe associé n'est pas connexe et réciproquement, et les composantes connexes du graphe correspondent exactement aux sous-systèmes indépendants.

Si le graphe associé à un complexe d'actions est défini mathématiquement de manière unique, il n'en va pas de même du *dessin* du graphe : les sommets peuvent être placés a priori n'importe où dans le plan et les arêtes entre les sommets en relation peuvent être tracées de façon rectiligne ou curviligne. Ainsi, les figures 1 et 2 sont des dessins possibles du graphe dont la matrice d'incidence apparaît dans la figure 3.

Le but de la représentation graphique étant d'accroître la connaissance initiale du complexe d'actions en tirant parti des capacités humaines de synthèse visuelle, le positionnement des sommets joue un rôle crucial : comment placer les sommets pour que non seulement le dessin soit aisément lisible (c'est-à-dire qu'il y ait peu de croisements d'arêtes), mais aussi qu'il mette en évidence certaines caractéristiques structurelles du complexe considéré ?

Si ce problème a une solution généralement acceptée dans le cas des *graphes orientés sans circuits* (cf. notamment Roy [8] et Warfield [10]), il n'en va pas de même pour les *graphes orientés avec circuits* et pour les *graphes non orientés*.

Les paragraphes qui suivent ont pour objet de décrire des solutions possibles, respectivement pour les graphes orientés non fortement connexes (§ 1.2), et pour les graphes orientés fortement connexes et les graphes non orientés (§ 1.3).

## 1.2 Forme canonique de représentation des graphes orientés non fortement connexes dans la hiérarchie du rang

On appelle hiérarchie  $H$  dans un ensemble  $X$  toute application surjective de  $X$  dans l'ensemble des  $k$  premiers nombres entiers :  $k$  est le nombre

de niveaux de la hiérarchie, et pour  $x$  appartenant à  $X$  si  $H(x) = n$ ,  $n$  est le niveau hiérarchique de  $x$ .

La hiérarchie traditionnellement considérée dans les graphes orientés sans circuits est la hiérarchie du rang (cf. par exemple Roy [8] et Warfield [10]). Dans un tel graphe, le rang  $r$  d'un sommet est le nombre maximal d'arcs de tout chemin d'extrémité terminale  $x$ . Son niveau hiérarchique est  $n = r + 1$ .

Dans la forme canonique de représentation des graphes sans circuits, les niveaux hiérarchiques sont symbolisés par des lignes horizontales équidistantes ordonnées de haut en bas, sur lesquelles les sommets sont positionnés, et les arcs sont tracés de façon rectiligne. Ceux-ci ne sont pas orientés dans n'importe quel sens. Par construction, ils pointent systématiquement vers le bas. Le dessin communique ainsi instantanément une bonne vision des filières, de ce qui est en «amont», et de ce qui est en «aval». Cette propriété provient de ce que la hiérarchie du rang  $H$  est compatible avec la relation d'ordre  $P$ , appelée relation de précedence, intrinsèque au graphe :

$xPy \Leftrightarrow$  il existe au moins un chemin dans le graphe d'extrémité initiale  $x$  et d'extrémité terminale  $y$  ;

La compatibilité de  $H$  avec  $P$  s'exprime par :

$$xPy \Leftrightarrow H(x) \leq H(y).$$

Avant d'indiquer comment s'effectue l'extension de la hiérarchie du rang aux graphes avec circuits, rappelons quelques définitions données dans [8].

La relation binaire  $C$  définie sur l'ensemble des sommets d'un graphe orienté par :  $xCy \Leftrightarrow$  il existe un circuit passant par  $x$  et  $y$ , est une relation d'équivalence, appelée relation de connexité forte.

Les *composantes fortement connexes* (en abrégé c.f.c.) sont les classes d'équivalence de cette relation. Et si un graphe ne comporte qu'une seule c.f.c., on dit alors qu'il est *fortement connexe*.

Le *graphe réduit*  $R = (X_r, U_r)$  d'un graphe orienté  $G = (X, U)$  est le graphe obtenu par rétrécissement des c.f.c. du graphe  $G$ , c'est-à-dire :

$$- X_r = X/C$$

$$- (c, c') \in U_r \Leftrightarrow \exists x \in c, \exists x' \in c' \mid (x, x') \in U$$

Une propriété immédiate du graphe réduit est qu'il est sans circuits. De ce fait, si la hiérarchie du rang ne s'applique pas directement à un graphe  $G$  avec circuits (puisque la notion de rang d'un sommet n'est pas définie dans un tel graphe), elle peut s'appliquer au graphe réduit  $R$  qui lui

est associé. Par extension, on définira le niveau hiérarchique d'un sommet de  $G$  comme étant celui du sommet qui lui est associé dans  $R$ .

On vérifie facilement que cette hiérarchie est compatible avec la relation de précedence  $P$  définie ci-dessus.

La forme canonique de représentation que nous avons associée (cf. Carpano-Avenier [1]) à cette hiérarchie, appelée *représentation réduite éclatée*, est définie par référence à une représentation en trois dimensions du graphe, dans laquelle les niveaux sont des plans horizontaux à l'intérieur desquels les sommets et les c.f.c. sont positionnés (cf. fig. 4c). Plus précisément, dans la représentation réduite éclatée (fig. 4a), les niveaux hiérarchiques sont représentés par des droites horizontales, équidistantes ordonnées du haut vers le bas ; les sommets d'une même c.f.c. qui, par construction, se trouvent sur une même horizontale, sont juxtaposés et reliés entre eux par un trait horizontal ; tous les arcs du graphe autres que ceux reliant deux sommets d'une même c.f.c. sont tracés normalement.

Dans cette représentation, les arcs sont tous dirigés vers le bas, ce qui permet de distinguer facilement les chemins, les filières, les sous-systèmes sans rétroactions entre eux. Par ailleurs, le symbolisme adopté pour représenter les c.f.c. permet de repérer celles-ci immédiatement, tout en allégeant le dessin. Le détail de chaque c.f.c. peut être donné sur des figures annexes (cf. fig. 4b) dans la représentation centrifuge que nous allons maintenant présenter.

### 1.3 Forme canonique de représentation des graphes non orientés et des graphes orientés fortement connexes dans la hiérarchie de l'écartement

Pour ces deux types de graphes, la hiérarchie précédente est inutilisable : le concept de rang ne peut pas être défini dans un graphe non orienté ; et tous les sommets d'un graphe orienté fortement connexe ayant le même rang sont placés à un même niveau.

Pour pouvoir appliquer cette démarche – hiérarchisation, puis dessin selon la forme canonique correspondante – qui s'est avérée féconde dans le cas des graphes orientés non fortement connexes, d'autres hiérarchies doivent être considérées.

La hiérarchie de l'écartement introduite par M. Delarche a été privilégiée pour essentiellement deux raisons :

- elle permet de mettre en évidence les rôles variables joués par les différents sommets du point de vue de leur accessibilité par rapport au reste du graphe ;

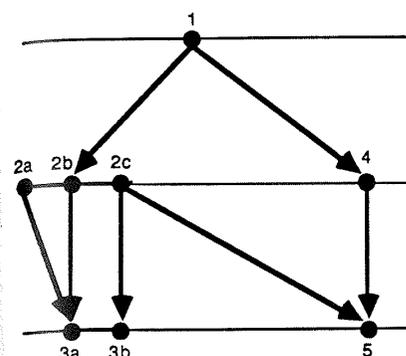


Figure 4a.  
Représentation réduite  
éclatée de  $G'$

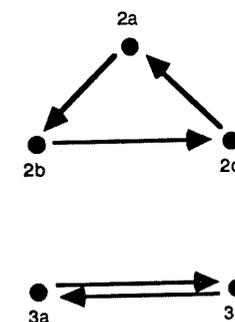


Figure 4b.  
Dessin des c.f.c. de  $G'$

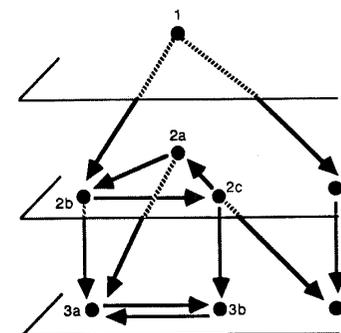


Figure 4c. Représentation de  $G'$  en trois dimensions

– elle est complémentaire de la hiérarchie du rang généralisée, puisqu'elle s'applique à tous les graphes auxquels la hiérarchie du rang généralisée ne s'applique pas, et seulement à ceux-ci.

Pour les graphes orientés fortement connexes, elle permet de mettre en évidence trois types de structures hiérarchiques qui correspondent aux trois points de vue que l'on peut adopter selon le problème posé :

1. classement des sommets en faisant abstraction de l'orientation des arcs qui leur sont incidents ;

2. classement des sommets sur la base des arcs qui en partent ;
3. classement des sommets sur la base des arcs qui y aboutissent.

Ainsi, dans l'exemple du commerce international de véhicules à moteur (cf. § 2.1.b ci-dessous) où il existe une c.f.c. comportant 16 pays, selon le problème particulier étudié, on peut vouloir classer ces pays :

- en fonction de leur commerce extérieur global (classement 1) ;
- en fonction de leurs exportations (classement 2) ;
- en fonction de leurs importations (classement 3).

Pour donner une idée plus précise de sa signification, présentons rapidement le principe de construction de la hiérarchie de l'écartement (pour une description détaillée, voir [3]).

Les définitions suivantes seront utilisées.

Dans un graphe  $G = (X, U)$  non orienté et connexe, on appelle :

- *distance entre les sommets*  $x$  et  $y$ , notée  $d(x, y)$ , le nombre d'arêtes d'une plus courte chaîne entre  $x$  et  $y$ .  $G$  étant connexe  $d(x, y)$  est bien définie pour tous les couples  $(x, y)$  avec  $y \neq x$ , et on pose  $d(x, x) = 0$  ;

- *écartement d'un sommet*  $x$ , la quantité  $e(x) = \text{Max}_{y \in X} d(x, y)$  ;

- *centre de*  $G$ , tout sommet  $c$  d'écartement minimal  $r$ , c'est-à-dire tel que  $e(c) = \text{Min}_{x \in X} e(x) = r$

Ainsi, tous les sommets de  $G$  peuvent être atteints à partir d'un centre au moyen de chaînes d'au plus  $r$  arêtes ;

- *sommet périphérique de*  $G$ , tout sommet  $p$  d'écartement maximal  $d$ , c'est-à-dire tel que  $e(p) = \text{Max}_{x \in X} e(x) = d$  (donc  $r \leq d$ ).

La hiérarchie de l'écartement  $H_e$  est définie par :

$$x \in X, H_e(x) = e(x) - r + 1$$

Elle possède les propriétés suivantes :

1. le nombre de niveaux est  $d - r + 1$  ;
2. les sommets de niveau 1 sont les centres ; et les sommets de niveau maximal ( $d - r + 1$ ) sont les sommets périphériques (ils ne sont jamais points d'articulation du graphe) ;
3. toutes les arêtes sont de portée au plus égale à un, et il peut exister des arêtes de portée zéro.

Pour les graphes orientés, les définitions précédentes peuvent être transcrites de trois façons différentes, correspondant aux trois points de vue précédemment évoqués.

Si l'on souhaite faire abstraction de l'orientation (premier point de vue), les définitions précédentes s'appliquent littéralement, ce qui définit une première hiérarchie des écartements pour les graphes orientés fortement connexes. En revanche, si l'on ne souhaite pas faire abstraction de l'orientation, les concepts de distance et d'écartement doivent être adaptés.

Celui de distance est remplacé par celui d'écart :

*l'écart du sommet*  $x$  au sommet  $y$ , noté  $e(x, y)$ , est le nombre d'arcs d'un plus court chemin de  $x$  à  $y$  ;  $e(x, y)$  est bien défini pour tous les couples  $(x, y)$  d'un graphe fortement connexe.

On notera qu'en général  $e(x, y) \neq e(y, x)$ .

Le concept d'écartement pour les graphes non orientés donne lieu à deux concepts d'écartement pour les graphes fortement connexes.

Le *E-écartement du sommet*  $x$ ,  $E_e(x) = \text{Max}_{y \in X} e(x, y)$  est le nombre

maximal d'arcs de tous les plus courts chemins de  $G$  issus de  $x$  (E signifie que l'on se place du point de vue de l'émission).

Le *R-écartement du sommet*  $x$ ,  $E_r(x) = \text{Max}_{y \in X} e(y, x)$  est le nombre

maximal d'arcs de tous les plus courts chemins de  $G$  se terminant à  $x$  (R signifie que l'on se place du point de vue de la réception).

Les notions de E-centre, R-centre, sommet E-périphérique, sommet R-périphérique, sont ensuite définies comme précédemment à partir des notions de E-écartement et de R-écartement.

On en déduit alors deux hiérarchies de l'écartement, orientées : l'une,  $H_e$ , à partir des E-centres et des E-écartements, et l'autre,  $H_r$ , à partir des R-centres et des R-écartements.

Elles possèdent les propriétés suivantes :

1. leurs nombres de niveaux respectifs sont  $D_e - R_e + 1$  et  $D_r - R_r + 1$ , qui sont en général non égaux ;
2. les sommets de niveau 1 sont respectivement les E-centres et les R-centres, et les sommets de niveaux maximaux sont respectivement les sommets E-périphériques et R-périphériques ;
3. il n'y a pas de lien direct entre la position des sommets sur les

niveaux et l'orientation des arcs qui les relient. De ce fait, la représentation des niveaux par des droites parallèles ne présente pas d'intérêt particulier.

La forme canonique de représentation, appelée *représentation centrifuge*, a été choisie de façon à prolonger la métaphore géométrique : les niveaux sont symbolisés par des cercles concentriques ordonnés dans le sens des niveaux croissants. Ainsi, le ou les centres du graphe sont placés sur le cercle du plus petit rayon, et les sommets périphériques sur celui de plus grand rayon.

#### 1.4 Représentation développée des graphes temporalisés

Nous appelons graphes temporalisés une catégorie de graphes orientés qui est particulière non pas d'un point de vue mathématique, mais de par la nature des complexes d'actions qu'ils représentent : leurs arcs traduisent des enchaînements temporels (entre diverses actions symbolisées par les sommets).

Le temps postulé irréversible, (*cf.* notamment Le Moigne [6]), est un critère «naturel» de hiérarchisation des actions d'un tel complexe. Nous appellerons *représentation développée* la forme canonique de représentation associée à la hiérarchie du temps. Les niveaux sont symbolisés par des lignes verticales ordonnées de gauche à droite, sur lesquelles les sommets sont positionnés. Les arcs sont alors tous dirigés de gauche à droite, c'est-à-dire dans le sens de la «flèche du temps» (dans notre culture au moins le temps est généralement symbolisé par une flèche dirigée vers la droite, de même que le nord est symbolisé par une flèche vers le haut).

Si une représentation de ce type est quasi systématiquement employée dans les problèmes d'ordonnement pour visualiser les graphes PERT notamment (*cf.* par exemple [8] et [11]), il n'en va pas toujours de même lorsqu'on étudie un complexe d'actions (temporalisées) dans une perspective de connaissance plus générale. Le graphe est souvent construit en faisant abstraction du rôle particulier joué par la variable temps, et *peut alors comporter des circuits*. Ceci est évidemment exclu lorsque le temps est pris en compte explicitement, puisqu'il est postulé irréversible.

Ce paradoxe s'explique de la façon suivante. Les rétro-mettances apparaissant dans la première représentation (que nous qualifierons désormais de *synthétique*) se traduisent dans la représentation développée, par l'existence de branches dans le graphe qui se reproduisent indéfiniment. Dans la représentation synthétique, le graphe a toujours un nombre fini  $n$  de sommets représentant les  $n$  actions du complexe considéré. Dans la

représentation développée (qui se présente comme une arborescence), il peut y en avoir une infinité, tout ou partie des  $n$  sommets évoqués précédemment se répétant indéfiniment selon des schémas donnés. On a donc affaire à une arborescence qui, si elle est infinie, présente énormément de redondance. Arborescence, redondance, ne trouve-t-on pas là des concepts-clés dans la voie suggérée par H. Simon dans [9] pour l'étude des systèmes complexes ?

La représentation sous la forme d'une arborescence infinie extrêmement redondante peut-elle en fait être qualifiée de plus simple qu'une représentation par un graphe fini comportant des circuits ? Nous débattons de cette question en nous appuyant sur un exemple simple dans le § 2.1.a.

## 2. Contributions des graphes hiérarchisés à l'intelligence de la complexité

Nous commencerons par illustrer sur quelques exemples concrets le type d'aide que peut apporter une représentation graphique hiérarchisée.

### 2.1. Exemples d'application

#### 2.1.a. Le modèle canonique de la décision Simonien

La représentation habituelle de ce complexe d'actions temporalisées (complexe parce que comportant des circuits) est la représentation synthétique de la fig. 5. Sa représentation développée qui est donnée dans la fig. 6, peut-elle être considérée comme plus simple ? Elle est effectivement *plus simple* par certains aspects : arborescence sans rétro-mettance, communiquant une vision détaillée des divers enchaînements possibles ; mais aussi *plus compliquée* par d'autres : arbre infini, extrêmement redondant. Comment cette redondance pourrait-elle être exploitée pour simplifier la description, comme le suggère H. Simon ?

On peut par exemple réaliser l'identification topologique du sommet initial «intelligence» avec sa première réapparition dans les chemins 1, 2 et 3, et du sommet «conception» avec sa réapparition dans le chemin 4 de la figure 6. Qu'obtient-on alors ? La représentation synthétique précisément ! Cette représentation peut donc être considérée comme une représentation simplifiée de la représentation développée. Elle communique effectivement une meilleure vision globale du phénomène. Celle-ci risque cependant, lorsque le nombre des sommets est élevé, d'être entravée par le fait que les arcs peuvent être pointés dans n'importe quelle direction sans logique parti-

culière. Cet inconvénient peut évidemment être pallié par la construction d'une représentation hiérarchisée (réduite éclatée ou centrifuge selon les cas).

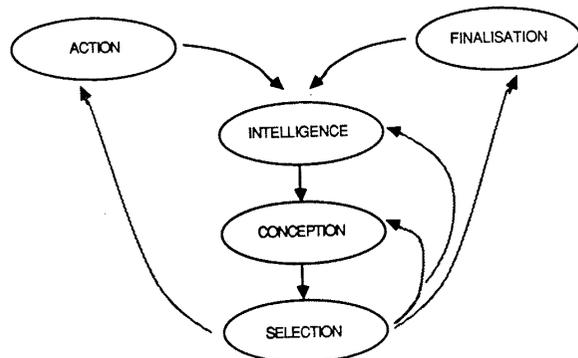


Figure 5. Représentation synthétique du modèle canonique de la décision Simonien.



Figure 6. Représentation développée du modèle canonique de la décision Simonien.

Par ailleurs, la représentation synthétique risque de donner lieu à des interprétations erronées. Par exemple, suggérer que l'on peut revenir en arrière, alors qu'une rétrocession signifie qu'une certaine action sera conduite à nouveau, mais dans un contexte qui aura vraisemblablement évolué.

Le graphe de la figure 5 étant fortement connexe, on peut a priori en construire trois types de représentations hiérarchisées par l'écartement. Mais comme le sens des arcs importe fondamentalement, seules  $H_e$  et  $H_r$  sont susceptibles de présenter un intérêt.

La représentation centrifuge associée à  $H_e$  (cf. fig. 7a) souligne le rôle central de l'action «sélection» en matière d'accès aux autres actions, ce qui n'est clair sur la représentation initiale que parce que le graphe est de très petite taille.  $H_e$  et  $H_r$  mettent en évidence le rôle périphérique des opérations «action» et «finalisation» : à partir de celles-ci, on ne peut accéder qu'à

l'action «intelligence», et on ne peut accéder à celles-ci qu'à partir d'une opération de «sélection». Ce sont donc des opérations qui ne seront probablement pas menées fréquemment.

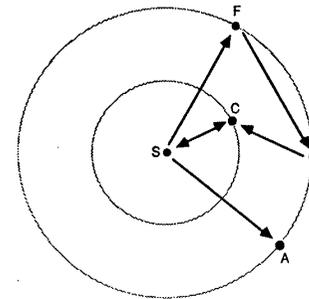


Figure 7a - Représentation e. centrifuge

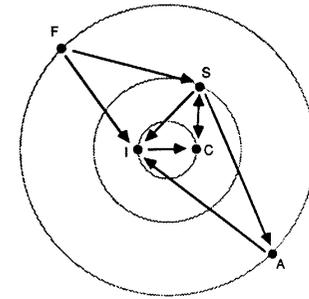


Figure 7b - Représentation r. centrifuge

I = intelligence ; C = conception ; S = sélection ; F = finalisation ; A = action

Figure 7. Représentations centrifuges orientées du modèle de la décision Simonien

La représentation centrifuge associée à  $H_r$  souligne au contraire le caractère central des opérations «intelligence» et «conception» : c'est à ces types d'opérations que l'on recourra le plus fréquemment.

Si cela paraît peut-être évident maintenant, cela ne l'a certainement pas toujours été, puisque ces opérations ont longtemps été négligées dans les recherches sur les processus de décision : mis à part quelques travaux pionniers (ceux de H. Simon notamment) peu reconnus alors, jusqu'au milieu des années 70, les recherches en matière de décision (analyse de la décision, théorie de la décision, etc.) ont été consacrées quasi exclusivement à l'aspect «sélection».

2.1.b. Le commerce international de véhicules à moteur

Le problème était de tenter de comprendre à partir des seules informations figurant dans le tableau de la figure 8 comment s'organisait en 1973 le commerce international des véhicules à moteur.

Divers seuillages du tableau (consistant à remplacer par des zéros tous les coefficients qui représentent un pourcentage trop faible du total de leur ligne et de leur colonne) ont fait apparaître deux plages de stabilité distinctes :

\* Une zone de forte stabilité jusqu'à 10% : 11 c.f.c. réparties sur trois niveaux :

	USA	CAN	RFA	BLX	FRA	G.B	N.L	ITA	SUI	SUE	AUT	AUS
USA	-	4.654.940	2.216.553	298.565	86.828	364.915	4.205	178.657	-	235.681	4.573	1.601
CAN	4.130.771	-	135.533	323	15.295	58.145	453	18.036	-	38.747	1.422	172
RFA	75.279	7.676	-	620.016	783.438	132.250	95.277	379.307	-	21.884	18.373	1.190
BLX	109.384	1.467	1.276.910	-	487.523	232.746	97.684	85.300	-	74.920	150	300
FPA	59.984	2.800	877.600	360.860	-	93.555	71.000	322.743	-	11.690	570	355
G.B	71.784	3.207	373.925	119.741	311.644	-	72.201	133.471	-	185.290	6.875	4.375
N.L	19.410	1.034	442.535	387.940	246.480	71.345	-	70.894	-	43.750	5.310	40
ITA	12.245	819	498.340	161.790	490.000	71.490	7.290	-	-	2.105	5.523	185
SUI	19.914	613	369.884	50.017	118.681	41.342	4.480	99.636	-	67.885	35.795	77
SUE	21.650	7.935	336.550	36.203	50.213	135.658	7.363	24.047	-	-	4.053	40
AUT	3.053	580	367.015	44.926	79.270	35.085	1.151	44.142	-	33.605	-	-
AUS	87.777	13.355	72.075	241	17.992	101.876	307	17.027	-	28.193	165	-
DAN	9.884	335	191.632	37.201	39.219	64.560	3.770	17.223	-	105.118	8.032	137
MEX	293.244	27.252	86.389	1.142	13.121	6.400	-	492	-	34	-	22
FIN	7.134	627	78.516	22.580	13.815	30.075	3.159	8.246	-	104.415	360	47
NOR	5.566	3.878	132.231	26.311	24.507	19.497	3.883	3.453	-	74.780	675	-
N-Z	6.028	2.166	7.560	-	2.986	87.780	39	5.876	-	985	-	121.940
NGA	2.995	290	59.357	3.524	28.972	48.460	1.194	8.926	-	1.890	5.766	161
VEN	130.695	44.040	34.915	24	4.640	11.857	12	14.154	-	94	23	68
YOU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SIN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ARG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AFS	49.531	11.290	248.590	316	50.278	148.721	3.099	23.975	-	8.795	16	63.918

Figure 8. Import-Export de véhicules à moteur  
Source : Yearbook International Trade Statistics

	DAN	MEX	FIN	NOR	N-Z	NGA	VEN	YOU	SIN	BRE	ESP	JAP	ARG	AFS
USA	1.431	68.541	70	139	-	-	-	191	0	6.590	20.000	2.304.652	1.742	-
CAN	286	560	724	-	-	-	-	-	-	152	600	221.455	-	-
RFA	2.003	10.790	1.035	1.493	-	-	-	11.056	-	2.490	20.550	75.039	35	-
BLX	910	36	257	1.420	-	-	-	450	-	-	10.334	87.670	13	-
FPA	580	368	360	-	-	-	-	10.525	-	18	74.600	53.563	246	-
G.B	4.317	51	350	229	-	-	-	127	-	167	7.797	176.624	414	1.214
N.L	1.190	-	200	12	-	-	-	1.396	-	47	26.215	74.490	18	-
ITA	190	17	-	-	-	-	-	2.467	-	17	3.083	18.826	122	-
SUI	766	10	640	-	-	-	-	228	-	-	6.351	39.681	-	-
SUE	20.430	-	39.262	28.253	-	-	-	76	-	46	1.143	15.767	-	-
AUT	942	56	70	28	-	-	-	307	-	-	8.420	20.018	-	-
AUS	63	18	-	-	-	-	-	-	-	36	1.051	266.651	-	-
DAN	-	-	209	976	-	-	-	915	-	13	4.465	39.795	-	-
MEX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.790	3.663	21.764	103	-
FIN	1.186	-	-	430	-	-	-	770	-	-	10.497	38.740	-	-
NOR	2.908	-	667	-	-	-	-	-	-	-	1.560	31.785	-	-
N-Z	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	49.090	-	-
NGA	378	42	-	10	-	-	-	-	-	61	945	35.533	61	-
VEN	-	2.355	-	-	-	-	-	-	-	4.854	531	17.655	2.785	-
YOU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SIN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ARG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AFS	33	668	40	-	-	-	-	-	-	684	333	132.360	117	-

en milliers de dollars U.S. (1973)  
(U.N. 1974) - (Figure extraite de Delarche [3])

- le niveau des pays exportateurs : Japon, Brésil, Argentine, Espagne, Yougoslavie ;
- le niveau des pays simultanément importateurs et exportateurs – Amérique du Nord, Europe des neuf, Autriche, Finlande, Australie, Afrique du Sud – qui, en outre, se trouvent tous dans une même c.f.c. (cf. fig. 9), c'est-à-dire ont de nombreux échanges entre eux ;
- le niveau des pays importateurs : Suisse, Nouvelle-Zélande, Nigéria, Vénézuéla.

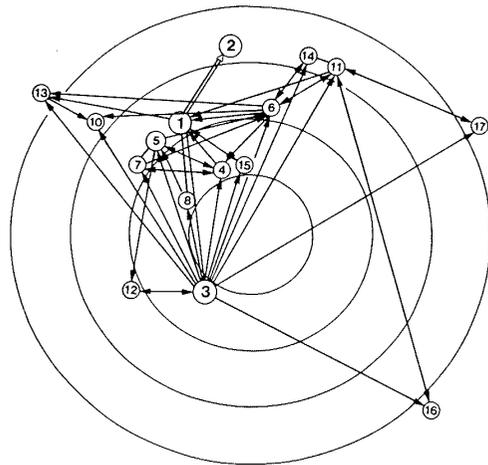


Figure 9. Export import véhicules à moteur 1973.  
CFC principale seuil 10%.

1, Etats-Unis ; 2, Canada ; 3, Allemagne Ouest ; 4, Belgique et Luxembourg ; 5, France ; 6, Grande-Bretagne ; 7, Pays-Bas ; 8, Italie ; 9, Suisse ; Afrique du Sud ; 11, Suède ; 12, Autriche ; 13, Australie ; 14, Danemark ; 15, Mexique ; 16, Finlande ; 17, Norvège ; 18, Nouvelle-Zélande ; 19, Nigeria ; 20, Vénézuéla ; 21, Yougoslavie ; 22, Singapour ; 23, Brésil ; 24, Espagne ; 25, Japon ; 26, Argentine. (Figure extraite de Delarche [3]).

\* Une zone entre 10% et 35%, correspondant à une organisation différente : cinq à six niveaux hiérarchiques avec une croissance régulière du nombre des c.f.c. Ainsi, avec un seuillage relatif mixte de 20%, il apparaît six niveaux hiérarchiques (cf. fig. 10) du fait de la parcellisation de la grosse c.f.c. évoquée ci-dessus, qui donne naissance à 4 c.f.c. plus petites : l'Europe des Six, L'Amérique du Nord, le sous-groupe Scandinave – Norvège, Suède, Finlande –, et le tandem Grande-Bretagne – Afrique du Sud,

ainsi qu'à des filières telles que Europe des Six – Pays Scandinaves – Amérique du Nord, et Europe des Six – Grande-Bretagne – Amérique du Nord.

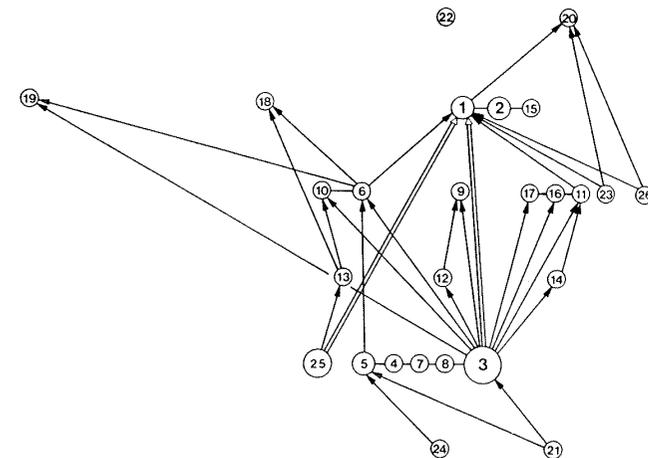


Figure 10. Import export véhicules à moteur 1973.  
Grappe éclatée seuil relatif mixte 20%.

1, Etats-Unis ; 2, Canada ; 3, Allemagne Ouest ; 4, Belgique et Luxembourg ; 5, France ; 6, Grande-Bretagne ; 7, Pays-Bas ; 8, Italie ; 9, Suisse ; Afrique du Sud ; 11, Suède ; 12, Autriche ; 13, Australie ; 14, Danemark ; 15, Mexique ; 16, Finlande ; 17, Norvège ; 18, Nouvelle-Zélande ; 19, Nigeria ; 20, Vénézuéla ; 21, Yougoslavie ; 22, Singapour ; 23, Brésil ; 24, Espagne ; 25, Japon ; 26, Argentine. (Figure extraite de Delarche [3]).

Il apparaît donc (cf. fig. 11) que l'articulation des c.f.c. et des filières suit remarquablement les grandes zones géographiques et/ou économiques. Ceci traduit le fait que c'est avec ses voisins ou ses partenaires économiques traditionnels (anciennes colonies, groupements économiques) que chaque pays a généralement le plus d'échanges.

La représentation e-centrifuge de la c.f.c. de niveau 2 au seuil 10% (cf. fig. 9) met notamment en évidence le rôle central joué par l'Italie, la Belgique-Luxembourg, le Mexique et surtout l'Allemagne en matière d'exportation vers les autres pays de la c.f.c. Elle souligne également le rôle périphérique de la Finlande, de la Norvège et de l'Australie dont les exportations vers les autres pays de la c.f.c. transitent systématiquement pour les premières par la Suède et pour la troisième par l'Afrique du Sud.

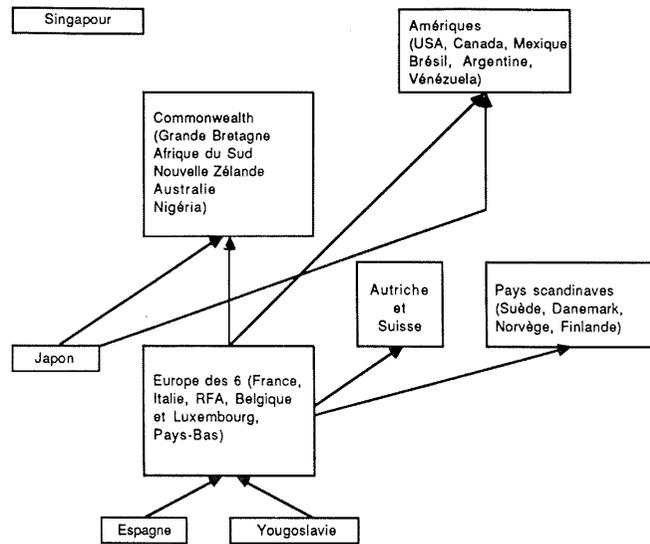


Figure 11. Structure du commerce international de véhicules à moteur  
(Figure adaptée de Delarche [3])

Il n'est pas du tout certain que des caractéristiques structurelles de la nature de celles qui viennent d'être évoquées, auraient pu émerger sur une représentation du tableau sous la forme d'un graphe de 25 sommets et d'une soixantaine d'arcs, non hiérarchisé. Le graphe de la fig. 9 qui comporte près de deux fois moins de sommets et d'arcs (16 sommets et 38 arcs) serait déjà extrêmement difficile à interpréter si l'on ne disposait pas de la référence à la hiérarchie centrifuge.

Le dernier exemple sera celui d'un graphe non orienté.

#### 2.1.c. Les liaisons téléinformatiques en France

Il s'agissait de tenter de comprendre les caractéristiques structurelles du réseau des liaisons téléinformatiques en France en 1978 à partir d'informations données sous la forme de tableaux carrés symétriques de format 20 x 20 à coefficients entiers, dont les bornes représentent 20 villes françaises numérotées de 1 à 20. Les coefficients  $n_{ij}$  d'un tel tableau donnent le nombre de liaisons entre les villes  $i$  et  $j$  pour une certaine gamme de vitesses de transmission.

Différents types de seuillages réalisés à différents niveaux ont apporté des éclairages différents des mêmes informations de base.

Le tableau de la figure 12 résume diverses caractéristiques du réseau des liaisons téléinformatiques pour différents niveaux de seuillage absolu, c'est-à-dire en éliminant tous les coefficients inférieurs aux seuils considérés. Il montre que le degré d'intégration du réseau est assez élevé, puisque sans seuillage toutes les villes sont des centres et que par seuillage on n'obtient qu'un maximum de trois niveaux hiérarchiques avec seulement deux ou trois sommets périphériques (Rennes, Strasbourg et Limoges).

A partir du seuil 6, Limoges se trouve isolée. La méthode de hiérarchisation ne peut donc plus être appliquée pour les 20 villes.

Niveau de seuil	0	1	2	3	4	5	6
Nombre de niveaux hiérarchiques	1	2	3	3	3	3	X
Nombre de centres	20	2	2	2	7	5	X
Nombre de sommets périphériques	0	18	2	3	3	3	X

Figure 12. Caractéristiques du système des liaisons téléinformatiques pour différents niveaux de seuillage absolu.

(Figure extraite de Delarche [3])

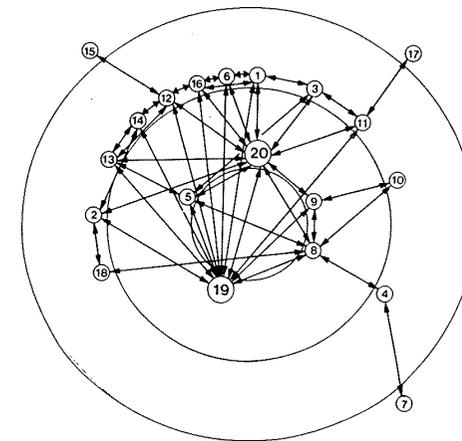


Figure 13. Réseau basse vitesse. Hiérarchie centrifuge seuil absolu 5.

1, Amiens ; 2, Bordeaux ; 3, Châlons-sur-Marne ; 4, Clermont-Ferrand ; 5, Dijon ; 6, Lille ; 7, Limoges ; 8, Lyon ; 9, Marseille ; 10, Montpellier ; 11, Nancy ; 12, Nantes ; 13, Orléans ; 14, Poitiers ; 15, Rennes ; 16, Rouen ; 17, Strasbourg ; 18, Toulouse ; 19, Paris-intramuros ; 20, Paris extra-muros. (Figure extraite de Delarche [3]).

L'étude des graphes obtenus pour les divers niveaux de seuils (voir par exemple la figure 13 pour le niveau 5) conduit aux résultats présentés dans la figure 14 :

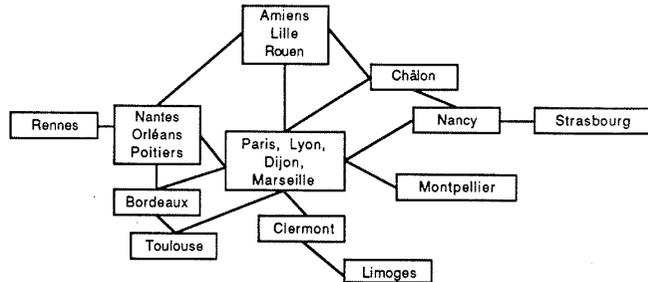


Figure 14. Représentation schématique du système des liaisons téléinformatiques dérivées de l'analyse par seuillage absolu.

(Figure extraite de Delarche [3])

- le cœur du réseau, son «épine dorsale» est l'axe PLM (Paris, Dijon, Lyon, Marseille) avec une forte prédominance de Paris ;
- la partie médiane se présente comme un grand «fer à cheval» allant de Nancy à Toulouse, avec deux cas particuliers (Clermont, Montpellier) ;
- la périphérie du réseau se compose des trois villes Rennes, Strasbourg et Limoges.

Ces résultats ne peuvent être obtenus à partir de simples considérations sur la répartition géographique des villes. En effet, si l'on pouvait s'attendre à trouver Rennes et Strasbourg à la périphérie, pourquoi Limoges, et pourquoi pas Bordeaux et Lille qui sont toutes aussi excentrées géographiquement ?

L'étude précédente a été complétée en explorant la configuration du réseau pour différents niveaux de seuillage relatif, c'est-à-dire en éliminant tous les coefficients inférieurs à un certain pourcentage du total de leurs lignes. Ceci permet une appréciation plus qualitative des liaisons. En effet, le critère relatif permet de conserver des liaisons faibles quantitativement, mais qui représentent un pourcentage non négligeable du nombre total des liaisons d'une ville avec toutes les autres.

Le tableau ci-après (extrait de Delarche [3]) montre que l'on obtient également peu de niveaux hiérarchiques par cette deuxième méthode.

Niveau de seuil	5%	7,5%	10%	12,5%	15%	17,5%	20%
Nombre de niveaux hiérarchiques	2	2	3	3	3	3	X
Nombre de centres	12	6	2	1	2	3	X
Nombre de sommets périphériques	8	14	2	9	6	6	X

Caractéristiques du système pour différents niveaux de seuillage relatif.

Au seuil 17,5%, il ne reste que très peu d'arcs, et au seuil de 20%, le réseau est complètement démantelé.

L'étude des graphes obtenus pour les divers niveaux de seuils (voir par exemple le schéma de la figure 15 et la figure 16 pour le niveau 15%) confirme les résultats précédents en mettant en évidence un clivage Nord-Sud dû à la réduction sélective des zones d'attraction des villes-pôles (Paris, Lyon et dans une moindre mesure, Marseille et Poitiers).

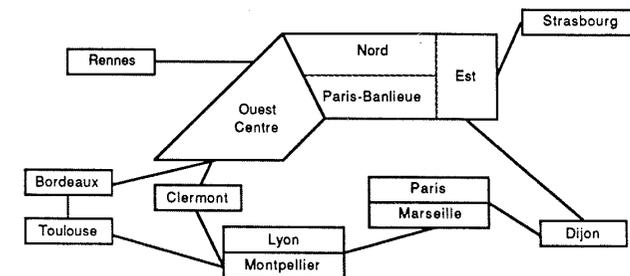


Figure 15. Représentation schématique du système des liaisons téléinformatiques dérivée de l'analyse par seuillage relatif. (Figure adaptée de Delarche [3]).

Ce clivage est déséquilibré en faveur du Nord, Paris étant un pôle plus puissant que Marseille. Il se matérialise sur l'axe PLM au niveau de Dijon qui apparaît comme une ville-relais rejetée à la périphérie.

Là encore, il est quasiment sûr que des caractéristiques structurelles du type de celles qui viennent d'être présentées n'auraient pu être mises en

évidence sur une représentation graphique non hiérarchisée du tableau donné.

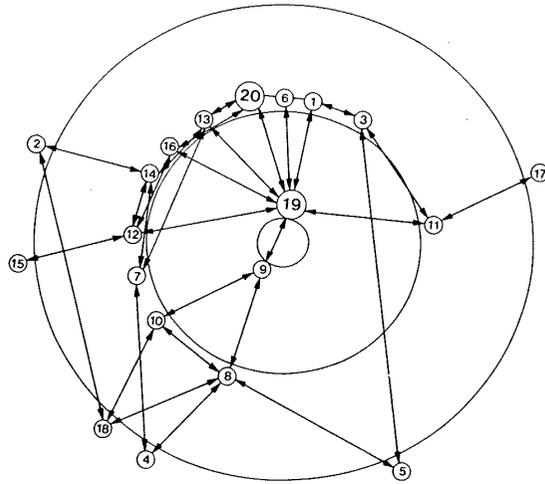


Figure 16. Réseau basse vitesse. Seuil relatif mixte 15%.

1, Amiens ; 2, Bordeaux ; 3, Châlons-sur-Marne ; 4, Clermont-Ferrand ; 5, Dijon ; 6, Lille ; 7, Limoges ; 8, Lyon ; 9, Marseille ; 10, Montpellier ; 11, Nancy ; 12, Nantes ; 13, Orléans ; 14, Poitiers ; 15, Rennes ; 16, Rouen ; 17, Strasbourg ; 18, Toulouse ; 19, Paris-intramuros ; 20, Paris extra-muros. (Figure extraite de Delarche [3]).

Au fil des ces exemples, divers aspects de l'aide que peuvent apporter des représentations graphiques hiérarchisées ont été évoqués. Examinons-les maintenant plus précisément.

## 2.2 Apports d'un système interactif de visualisation de graphes hiérarchisés

On peut distinguer trois niveaux dans l'aide qu'un logiciel de représentation graphique hiérarchisée est susceptible d'apporter à l'intelligence d'un complexe d'actions connu ex ante à travers les relations qui existent entre ses éléments et qui sont supposées résumées dans un ou plusieurs tableaux à double entrée :

niveau 1 : représentation sous forme de graphe, d'un tableau à double entrée ;

niveau 2 : représentations hiérarchisées d'un graphe ;

niveau 3 : système interactif de visualisation de graphes hiérarchisés.

\* Au niveau 1, la représentation sous forme de graphe d'un tableau à double entrée permet de répondre instantanément à des questions concernant les relations indirectes, tels les chemins existant entre deux éléments quelconques du graphe. Ces relations ne peuvent être lues directement sur le tableau (qui par ailleurs s'avère indispensable pour effectuer des calculs sur le graphe).

Ainsi, l'existence des filières Espagne (24) – France (5) – Grande-Bretagne (6) – Nouvelle-Zélande (18) ou Nigéria (19) (cf. fig. 10), ne pourra-t-elle jamais être lue sur le tableau, alors qu'elle apparaîtra sur toute représentation graphique (plus ou moins clairement) du tableau.

L'exemple du métro illustre bien les apports de niveau 1 (et de niveau 2) d'une représentation sous forme de graphe (de graphe hiérarchisé) d'un tableau à double entrée. On imagine quel casse-tête ce serait de concevoir un itinéraire pour se rendre en métro d'un point à un autre dans Paris, si on ne disposait que d'un tableau à double entrée montrant les stations consécutives sur chacune des lignes. Le problème est déjà moins compliqué lorsqu'on dispose d'une représentation du tableau sous forme d'un graphe (niveau 1). Il devient un véritable jeu d'enfant lorsqu'on peut utiliser un «plan», c'est-à-dire lorsque les sommets du graphe sont positionnés selon la «hiérarchie» géographique, ce qui est déjà un apport de niveau 2.

\* Au niveau 2, des représentations hiérarchisées permettent de visualiser instantanément certaines caractéristiques structurelles du complexe d'actions, qui n'ont que peu de chances d'apparaître sur une représentation non hiérarchisée. Par exemple :

– les filières, les circuits, les c.f.c., l'«amont» et l'«aval» d'un élément quelconque, dans la représentation réduite éclatée ; par exemple, sur la fig. 10, les c.f.c. Amérique du Nord, Europe des 6, Scandinavie ; les filières Europe des 6 – Pays Scandinaves – Amérique du Nord, et Europe des 6 – Grande-Bretagne – Amérique du Nord.

– les centres, les sommets périphériques, l'organisation des niveaux intermédiaires dans la représentation centrifuge ; par exemple, sur la figure 9, le rôle central joué par l'Italie, la Belgique-Luxembourg et surtout l'Allemagne, et au contraire les rôles périphériques de la Norvège, la Finlande et l'Australie, dans les exportations mondiales de véhicules à moteur. La structure du réseau basse vitesse telle qu'elle apparaît sur les

figures 13 et 16 dont les schémas des figures 12 et 15 ont été tirés respectivement. Le rôle central joué par les opérations d'«intelligence» et de «conception» dans le processus de décision (fig. 7b), qui n'est absolument pas mis en évidence sur les autres représentations du modèle simonien de la décision.

– les enchaînements possibles dans la représentation développée.

La nature de l'éclairage apporté par la représentation considérée dépend évidemment de la hiérarchie à laquelle elle est associée.

D'autres hiérarchies que celles que nous avons présentées pourraient être conçues. En particulier, une hiérarchie fondée sur la notion de point d'articulation (2) pourrait s'avérer extrêmement intéressante pour mettre en évidence une structure arborescente au sens de H. Simon, et/ou des facteurs de vulnérabilité dans le complexe.

La ou les représentations hiérarchisées que l'on construit du complexe d'actions étudié, font progresser la connaissance qu'on a de celui-ci. Elles peuvent également être considérées comme des moteurs de la connaissance à travers le questionnement qu'elles ne manqueront pas de susciter : pour quoi peut-il en être ainsi ? Quel est le but ? Que se passerait-il si... ?

\* C'est au niveau 3 que nous avons situé les apports provenant des possibilités d'interaction homme-machine à propos des représentations graphiques. En caricaturant quelque peu, on peut dire que le passage du niveau 2 au niveau 3 marque le passage d'un *logiciel de dessin automatique* de graphes hiérarchisés à un *système interactif* de visualisation de graphes hiérarchisés. Dans le système interactif, l'environnement du module «représentation graphique dans telle ou telle forme canonique» ne doit pas être vu comme de la «gadgeterie». Selon les fonctions offertes, il peut jouer un rôle crucial dans l'intelligence des phénomènes étudiés.

Deux types généraux de fonctions peuvent être distingués, que nous appellerons respectivement fonctions de soutien et fonctions d'exploration pour indiquer que les premières servent principalement à préciser les informations communiquées par la représentation graphique, alors que les deuxièmes servent plutôt à explorer de nouvelles pistes. Pour fixer les idées dans leur discussion, nous nous appuierons sur un exemple concret : le système GT1VX qui a été développé par M. Delarche [3] et dont une présentation synthétique figure dans [2].

Les principales fonctions de soutien existant dans ce système sont disponibles lors de l'affichage d'un graphe en représentation réduite éclatée ou en représentation centrifuge. Ce sont :

– déplacement d'un sommet à l'intérieur de son niveau hiérarchique pour éventuellement améliorer la lisibilité du graphe. Les arcs qui lui sont incidents sont automatiquement déplacés en même temps que lui ;

– affichage de valeurs alphanumériques : la nomenclature de chaque sommet abrégée en trois lettres, et/ou des informations numériques concernant les sommets et/ou les arcs ;

– les visualisations partielles telles que : agrandissements de portions de l'écran par un facteur de 4 ou de 9 ; visualisation des prédécesseurs, des successeurs, des filières d'un sommet quelconque à un ordre quelconque ; visualisation de tous les chemins existant entre deux sommets donnés ; dans le cas de la représentation réduite éclatée, visualisation de telle ou telle c.f.c. en représentation centrifuge. Le système offre également les possibilités d'affichage d'informations alphanumériques décrites précédemment, sur ces visualisations partielles.

Les deux fonctions d'exploration présentes dans ce système sont le multi-seuillage du tableau initial, et certaines possibilités de simulation.

– le multi-seuillage ne s'applique que lorsque le tableau initial des relations entre les éléments du complexe n'est pas booléen. Dans la construction d'un tableau booléen lui correspondant, on peut vouloir éliminer les coefficients trop «petits» parce qu'on estime qu'ils représentent du «bruit» ou des relations trop faibles pour être prises en compte dans un premier temps au moins. La faiblesse des relations peut être évaluée de diverses manières : on peut choisir de négliger tous les coefficients trop petits dans l'absolu (seuillage absolu) ou ceux qui représentent un pourcentage trop faible du total de leur ligne et/ou de leur colonne (seuillage relatif mixte/seuillage relatif en lignes ou en colonnes). GT1VX permet d'obtenir directement des images du complexe étudié à plusieurs niveaux de seuil d'un même type (jusqu'à 10).

Le multi-seuillage présente un double intérêt. D'une part, comme dans les exemples du commerce international de véhicules à moteur et des liaisons téléinformatiques (§ 2.1. b et § 2.1. c ci-dessus), il permet d'étudier la stabilité des propriétés structurelles mises en évidence. Une propriété présente seulement sur une plage très étroite n'aura pas la même signification que si elle est présente sur une plage large. Et on devra même se demander pourquoi il en est ainsi.

D'autre part, il permet de mettre en évidence la quasi-décomposabilité du système au sens de H. Simon et d'étudier des modes de décomposition possibles du système.

– Les possibilités de simulation offertes par GT1VX sont essentiellement la simulation de la propagation d'une perturbation dans le complexe (lorsque cette question a un sens), la visualisation du cheminement de la perturbation au moyen d'un spot qui se déplace le long des arcs du graphe, et la visualisation des goulots d'étranglement par clignotement des arcs et sommets concernés.

Tel qu'il est conçu, GT1VX ne permet pas de simuler directement sur l'écran l'addition ou la suppression d'un sommet ou d'un arc. Pour ce faire, il faut reprendre la procédure d'introduction des données et modifier la liste des arcs en conséquence. Ceci risque de décourager l'utilisateur du système d'effectuer de nombreuses simulations de ce type. Aussi suggérons-nous que trois fonctions d'exploration complémentaires soient introduites dans un tel système :

– la possibilité de simulation interactive à l'écran de l'addition ou de la suppression d'un sommet ou d'un arc ;

– l'accès à d'autres formes de représentation graphique hiérarchisées associées à d'autres modes de hiérarchisation d'un graphe, de façon à obtenir divers éclairages sur les complexes étudiés ;

– lorsque les informations existent et que la question a un sens, la possibilité d'effectuer un grossissement (et non pas un agrandissement) ou au contraire un rétrécissement d'une portion du graphe pour l'étudier à un niveau de détail plus fin ou au contraire plus agrégé (et non pas seulement visualiser le même graphe, mais agrandi).

### Conclusion

Les exemples concrets de complexes d'actions que nous avons eu l'occasion d'étudier avec l'aide d'un système interactif de visualisation de graphes hiérarchisés nous ont montré que celui-ci nous avait effectivement permis de progresser de façon significative dans l'intelligence de ces complexes. Le fait que le logiciel de représentation graphique hiérarchisée soit intégré à un système offrant des possibilités de dialogue et de simulation sur les images, nous a semblé décisif dans le processus d'intelligence.

Cependant, pour pouvoir employer ce type d'approche, l'utilisateur doit disposer d'un niveau de connaissance préalable du complexe d'actions qui lui permette de le représenter comme un «enchevêtrement de myriades d'inter-rétroactions». Le problème devient alors : comment parvient-on à cette connaissance préalable ?

### Notes

(1) En reprenant la jolie formule d'Edgar Morin [7] p. 82, qu'il applique cependant à la complication plutôt qu'à la complexité. Cette image correspond pourtant parfaitement aux définitions «classiques» de la complexité (cf. par exemple H. Simon : «Un système fait d'un grand nombre d'éléments qui interagissent de façon complexe» [9] p. 106, et J. L. Le Moigne : «Deux facteurs caractérisent la complexité d'un système : le nombre des éléments qui le constituent d'une part ; et le nombre des inter-relations entre ces éléments d'autre part» [5], p. 138).

Dans le cadre limité de cette note de recherche, c'est donc cette image que nous prendrons comme définition de la complexité.

(2) Dans un graphe connexe, un point d'articulation est un sommet dont la suppression donne naissance à un nouveau graphe qui, lui, n'est pas connexe.

### Références

- [1] M.-J. CARPANO (-AVENIER), *Informatique et aide à la décision*. Rapport final d'exécution du contrat de recherche IRIA, N° 71-005, Projet SESORI n° 171.
- [2] M.-J. CARPANO (-AVENIER), M. DELARCHE, Apport des techniques graphiques interactives à l'analyse structurale des systèmes, I et II, RAIRO. *Automatique, Systems Analysis and Control*, vol. 14, n° 2 & 3, 1980, pp. 205-222 et pp. 271-292.
- [3] M. DELARCHE, *Quelques outils infographiques pour l'analyse structurale de systèmes*, Thèse de Dr Ingénieur, USMG, Grenoble, 1979.
- [4] IDATE, Université des Nations Unies, *Science et pratique de la complexité*, Documentation Française, Paris, 1984.
- [5] J.-L. LE MOIGNE, *Les systèmes de décision dans les organisations*, PUF, Paris, 1974.
- [6] J.-L. LE MOIGNE, *La Science des Systèmes*, NR GRASCE n° 87-13, Aix-en-Provence, 1987.
- [7] E. MORIN, Sur la définition de la complexité, in IDATE *op. cit.*, pp. 79-85.
- [8] B. ROY, *Algèbre moderne et théorie des graphes*, Dunod, Paris, 1969.
- [9] H. A. SIMON, *The Sciences of the Artificial*, the MIT Press, Cambridge, 1969, Trad. : *La Science des Systèmes, Science de l'Artificiel*, l'EPI, Paris, 1974.
- [10] J. N. WARFIELD, *Societal Systems, Planning, Policy and Complexity*, John Wiley & Sons, 1976.
- [11] J. D. WIEST, F. LEVY, *A management guide to PERT/CPM with GERT/PDM/DCPM and other networks*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1977.