Julrois
25 janv 07.

ANALYSE STRUCTURELLE des SYSTEMES INTERACTIFS
Description et Mise en Oeuvre

Introduction

L'analyse structurelle est une méthode de découverte des structures d'influence dans un système de facteurs interdépendants. L'article ci-dessous se veut à la fois descriptif, et méthodologique. Il s'adresse à tous ceux qui, confrontés à une « foultitude » de variables, cherchent à dégager celles dont l'action est efficace pour faire évoluer le système représenté par lesdites variables. Sachant que le public concerné n'est pas composé uniquement par ingénieurs, des scientifiques ou des informaticiens, la méthode décrite dans cette présentation s'appuie sur l'un des outils, assez fortement diffusés auprès des utilisateurs de Windows, à savoir, le tableur Excel. Celui-ci permet d'obtenir, assez facilement, des résultats tout à fait intéressants, et permet en outre d'éviter la dépense d'un logiciel uniquement dédié à ce type d'analyse, voire celle d'un expert sachant en faire tourner un.

La présentation de la méthode se fera en deux parties : l'exposé général de l'Analyse Structurelle, avec les raisons ayant conduit à privilégier certaines orientations en s'appuyant sur la présentation d'un exemple, à portée générale. Suivi de la manière dont a été élaboré cet exemple, en utilisant le tableur Excel. Nous nous excusons auprès de ceux qui, à l'aise avec les mathématiques, sous-jacentes à l'Analyse Structurelle, trouveront que la présentation proposée n'y a pas suffisamment recours, ce qui a pour effet de surcharger parfois les explications données. Toutefois, c'est en pensant à ceux qui, nombreux, ont oublié les définitions nécessaires pour accompagner le raisonnement, que cette présentation a été conçue.

Ainsi, l'idée de cette présentation n'est pas de faire une analyse mathématique des concepts à la base de l'Analyse Structurelle (essentiellement Théorie des graphes et Calcul matriciel), mais de proposer un outil, facile d'utilisation, pour tout un chacun, en s'appuyant sur l'utilisation d'un ordinateur. Aujourd'hui, l'ordinateur, grâce à sa puissance de calcul, permets d'aborder des problèmes de grande dimension, et de tester, facilement, les diverses hypothèses que pourrait se proposer le groupe d'étude qui s'y atèle. La rapidité que celui-ci confère à l'évaluation des jeux d'hypothèses, grâce aux simulations qu'il permet, concours fortement à la progression du raisonnement. On pourrait parler de « réflexion assisté par ordinateur ».

1 - Généralités :

L'administrateur, l'organisateur, le planificateur, qui veulent que “ça change”, sont inéluctablement confrontés à la question : sur quels facteurs de la situation faut-il agir pour que les éléments que je veux voir changer évoluent effectivement comme je le souhaite ? Cette question, aussi universelle que générale, peut se reformuler de la manière suivante :

Comment trouver, dans un système de facteurs interagissant, ceux qui sont sur lesquels il faudrait agir pour « faire bouger le système », c'est-à-dire, ceux qui ont le plus d'**influence** pour faire évoluer le système. Répondre à cette question est le but de l'analyse structurelle.

Faisons un petit détour pour illustrer ce point : Un groupe de travail de l'Afscet (Association française de sciences des systèmes), s'est penché sur l'origine de la progression de la violence dans la société française contemporaine. Ces travaux ont permis d'identifier une série de variables qui pourrait, éventuellement, rendre compte du phénomène. Ont été cités : prégnance de la société de consommation, chômage, harcèlement policier, mal-logement, polygamie, sectes, communautarisme, clanisme, intégrisme, économie souterraine, racisme, idéologie de toutes sortes (socialisme, libéralisme, etc.), laïcité, victimisation, culpabilisation, discrimination, référence à l'esclavage, à la colonisation, situation géopolitique, etc.

En établissant une telle liste, la question se pose : que peut-on en faire ? Comment des changements dans ces différents facteurs, peuvent-ils contribuer à l'émergence de la violence. Ont-ils tous le même effet sur celle-ci ? Nous pensons que l'analyse structurelle pourrait aider à délimiter ceux des facteurs sur lesquels doit se porter prioritairement l'attention, quite à délaisser certains facteurs, de peu d'importance quant à ce problème.

2) Les différentes étapes de cette présentation :

Dans ce qui suit nous aborderons successivement :

- Le tableau d'influence directe,
- Les calculs pour obtenir les influences indirectes,
- Le champ d'influence totale d'un facteur,
- Le Plan d'influence/dépendance,
- Les classes d'appartenances des facteurs,
- La hiérarchisation des classes de facteurs.

3) Eléments de base :

Commençons par un cas extrêmement simple, qui permettra d'illustrer la méthode. Dans ce texte, nous utiliserons, très souvent, le mot « matrice ». Pour ceux qui ne seraient pas familier avec cette expression, il s'agit d'un tableau de nombres. Chaque case du tableau est désignée par son « adresse », c'est-à-dire, un nombre à deux chiffres, le premier (n) est le nombre de lignes, décomptées à partir la première ligne en haut du tableau et le deuxième (m) est le nombre de colonnes, décomptées à partir de la première colonne à gauche du tableau.

Ci-dessous, on trouvera l'exemple d'une matrice carrée à 9 éléments. La matrice est dite carrée, car elle comporte le même nombre de lignes que de colonnes (ici : 3). Le nombre se trouvant dans la case « ij » est désigné par l'élément $\mathbf{a}_{ij}$. (i= n°de-ligne ; j=n°de-colonne).

Exemple de matrice carrée : a_{ij} est le nombre dans la case à l'adresse : ligne i ; colonne j ("i"allant de 1 à 3; et "j" allant de 1 à 3)

		colonnes		
		(. 1)	(. 2)	(. 3)
lignes	(1 .)	A_{11}	a_{12}	a_{13}
	(2 .)	A_{21}	a_{22}	a_{23}
	(3 .)	A_{31}	a_{32}	a_{33}

Figure 1

Ce vocabulaire étant précisé, passons à son utilisation pour formuler et résoudre le problème systémique des influences entre les facteurs. Commençons par un exemple.

3 - Schéma et Tableau matriciel d'influence directe

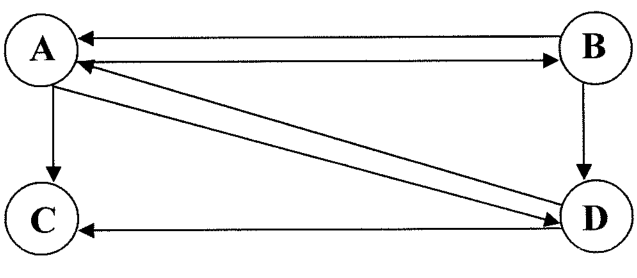

Figure 2

Soit un système à quatre facteurs **A, B, C, D**. Indiquons par des flèches entre les facteurs le sens de l'influence directe de l'un sur l'autre : la flèche qui va de A vers B signifie que, si **A change**, alors, par causalité directe, **B change**, après coup. Attention, il s'agit là d'effet ***direct***, sans l'intermédiaire d'un autre facteur.

En d'autres termes et en adoptant la notation suivante : « E(A) » pour « état de A », et « Δ(A) » pour « changement d'état » de A, on adopte, pour exprimer le fait qu'une influence s'exerce entre deux facteurs, la définition suivante :

Il y a influence du facteur A sur le facteur B si l'état de E(A) changeant, et devenant E(A)+Δ(A), alors, par voie de conséquence, l'état de E(B) devient E(B)+Δ(B).

Il s'agit, en général, de cause et non de corrélation. En effet si deux facteurs sont en corrélation (on pourrait dire, dans le cas présent : co-relation), l'un des deux ne peut pas changer sans l'autre ne change, ce qui est marqué par des « 1 » dans les cases symétriques par rapport à la diagonale de la matrice (si $\mathbf{A_{ij}} = \mathbf{A_{ji}} = 1$, alors on peut parler de corrélation). Ces considérations seront reprises dans la section « classe d'appartenance ».

Dans ce cas, nous dirons que A influence B et noterons « **Influence (A sur B) = 1** », alors que si, Δ(A) n'étant pas nul, et que Δ(B) l'est, nous dirons que A n'influence pas B, et nous écrirons « **Influence (A sur B)=0** ». Si on se réfère au schéma représentatif des interactions entre les quatre facteurs, et qu'il existe une flèche entre les facteurs A et B (ce qui est le cas), on notera « 1 » dans la case correspondante de la matrice, et « 0 » lorsqu'il n'y a pas de flèche. Le résultat de cette correspondance se trouve ci-dessous. (Sur cette matrice les zéros sont enregistrés par l'ordinateur, mais ne sont pas affichés, afin de maintenir une meilleure lisibilité).

Transcription dans une matrice d'influence, et à partir du schéma ci-dessus, des influences entre les facteurs A,B,C,D,		**A**	**B**	**C**	**D**	**Influence de Facteur "Colonne Gauche" sur Facteur "Ligne du Haut"**
	A		1	1	1	
	B	1			1	
	C					
	D	1		1		

Figure 3

Notons tout d'abord que les cases de la diagonale de la matrice, correspondant aux influences qu'un facteur a sur lui-même, sont toutes mise à zéro. Ces cases de la diagonale, nous les appelons des **autoboucles**. Lorsque les autoboucles sont nulles, cela veut tout simplement dire qu'un facteur est considéré comme ne s'influençant pas directement lui-même. Mais cela n'exclu pas qu'il ne fasse pas en passant par les autres, comme on le verra dans la suite. Dans l'annexe on trouvera une discussion sur ce sujet précis. Mais pour en apprécier la portée, il faut avoir pris le temps de lire les développements qui vont suivre.

Notons aussi que l'influence n'est pas une relation **nécessairement réciproque**. Si A influence B, cela n'entraîne pas nécessairement que B influence A. Si l'on pense que l'un ne va pas sans l'autre, il faudrait inscrire 1 dans la case Influence(A sur B), ainsi que dans la case Influence(B sur A). On dira dans ce cas que l'influence est **symétrique** et, comme noté plus haut, on peut parler de corrélation. Comme exemple d'influence **asymétrique**, on peut penser que (en général !) l'influence directe d'un patron sur l'un de ses employés puisse être considérée comme asymétrique, ce qui justifierait Influence(Patron sur Employé) =1 et

Influence(Employé sur Patron)=0. Dans l'exemple choisi, les relations entre A et B, et entre A et D sont symétriques, alors que les autres ne le sont pas.
C'est en construisant le tableau des influences par le, ou les, systémicien(s), que la décision de mettre 1 ou 0 dans chaque case devra être arrêtée.

Remarque Importante :

Il est important de se souvenir que l'étape préalable de déterminations des facteurs et de la matrice d'influence qui les lient constituent l'essentiel de l'activité du groupe chargé de l'étude du système.

Le groupe d'étude doit commencer par se mettre d'accord sur les facteurs pertinents dans l'étude du système pour, ensuite, se mettre aussi d'accord sur l'influence directe que chacun des facteurs retenus a sur chacun des autres (et non par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres facteurs). Ce n'est pas, loin s'en faut, la tâche la plus aisée qu'il soit. Les acteurs du groupe doivent être déjà instruit de la problématique du système étudié, et doivent prendre le temps de la réflexion pour créer la matrice d'influence.

Il est essentiel de ne pas perdre de vue que la manipulation des matrices d'influence des travaux du groupe ne permettra pas de redresser des erreurs initiales sur le recueil des données. Toutefois, cette manipulation permettra, éventuellement, de faire apparaître les invraisemblances de conclusions auxquelles conduisent les hypothèses de départ. Une bonne analyse structurelle doit donner 80 % de résultats « dont on se serait douté, par simple bon sens, et par expérience » et 20 % de résultats insoupçonnés au départ, et qui se révèleront cruciaux. Ce sont les 80 % de résultats qui s'avèrent très probablement « vrais » qui avalisent les 20 % restants, ceux dont on ne se doutait pas.

Une fois que la première mouture du tableau aura été remplie, l'analyse structurelle permet de voir les effets « systèmes » de l'influence des facteurs les uns sur les autres. En effet, s'il n'a pas été retenu, dans un premier temps, que D n'agit pas *directement* sur B, on constate que, par l'intermédiaire de A, D agit néanmoins sur B, mais de façon *indirecte*. Cet effet sera mis en évidence par l'étude des opérations de calcul sur la matrice des influences directes, comme on le verra par la suite.

Revenons maintenant à la prise en compte des degrés d'influence directe supposée entre les facteurs. Dans notre raisonnement initial, on a : Si D se modifie, cela entraîne que A se modifie (car : Influence(D sur A) = 1) puis, ensuite, que B se modifie, puis enfin, que D se modifie encore. On a là, une boucle de circulation infinie de l'influence. On verra pour que résoudre ce problème, il est nécessaire de raisonner à l'échelon du système dans son entier.

Forte ou faible, court terme ou long terme : Faut-il pondérer ou non les influences ?

Le réflexe, somme doute assez naturel, de pondérer la relation d'influence entre deux facteurs par un coefficient, indiquant sa « puissance d'action », posent un certain nombre de problèmes. Supposons que "Influence(D sur A)" soit forte et celle de A sur B soit faible. Dans la chaîne d'influence indirecte entre D et B, on aura alors la séquence "Forte => Faible", le résultat ("Influence Indirecte de D sur B") peut-il être considéré comme faible, ou bien forte, voire neutre ? De même on pourra aussi rencontrer des facteurs reliés entre eux par des chaînes « parallèles », dont l'une est faible et l'autre forte. La résultante de ces deux liaisons sera-t-elle Forte (sans contribution de la chaîne parallèle Faible) ou, au contraire, faut-il additionner les effets ?

Si l'on rentre dans cette problématique, cela revient à définir des seuils de sensibilité pour chaque facteur, vis-à-vis de chacun des autres, avec lesquels il est en relation. De même il faut établir pour chacun de ces facteurs le flux d'influence que son changement d'état est susceptible d'enclencher. On rentre là dans une problématique de réseaux de neurones, qui dépasse l'objet de l'étude par l'analyse structurelle.

Celle-ci est la mise en évidence des modalités de l'influence / dépendance entre chacun des couples de facteur, et non de découvrir la dynamique des flux qui les relie. Cette approche pourra faire, éventuellement, l'objet de la prolongation d'une telle étude, avec d'autres outils.

Si l'on veut à tout prix distinguer les influences fortes des influences faibles, il faudra conduire deux études séparées, l'une pour les «fortes» et l'autre, pour les « faibles », puis combiner les conclusions quant à leurs effets.

Venons-en maintenant aux questions de l'action à long terme par rapport à l'action de court terme. Là aussi, il tombe sous le sens, que les effets de l'influence doivent tenir compte du facteur temps. Là encore, la difficulté reste la même. Dans les enchaînements d'influence, comment combine-t-on une suite d'actions agissant à des échelles de temps différentes, sauf à élaborer un modèle détaillé des interactions entre les facteurs. Un modèle prenant en compte, parmi d'autres variables, les délais d'acheminement et de la qualité de l'information reçue par le destinataire.

Comme pour la pondération des influences, l'introduction de la distinction court terme contre long terme nécessite deux études séparées, dont les conclusions pourraient être fort différentes. Des méthodes fort sophistiquées de résolution de problèmes de réseau existent, mais au stade assez primitif de l'étude du système à laquelle l'analyse structurelle est conduite, ces méthodes n'ont pas lieu d'être utilisées.

C'est pour toutes ces raisons, que nous limiterons l'étude à la recherche de la diffusion de l'influence dans les systèmes de facteurs interactifs, ainsi qu'à celle de la hiérarchie d'influence/dépendance de chaque facteur sur l'ensemble des autres facteurs. L'analyse permettra aussi de déterminer les cheminements de l'influence en retour d'un facteur vers lui-même. L'analyse structurelle se préoccupe avant tout des liaisons entre facteurs et non du comportement des facteurs.

Rappelons que le but de cette présentation est de familiariser à l'analyse structurelle, et d'en permettre l'utilisation rapide, par toute personne sachant utiliser le tableur Excel 97 ou ses successeurs pour conduire les calculs. On n'utilisera que des fonctions courantes déjà disponibles dans le tableur. La présentation faite ici permettra à tout groupe d'étude de faire un « pré modèle » du système qu'il étudie, et même, de voir « en temps réel » l'effet de la variation des hypothèses de départ. Tout cela, sans avoir à recourir à un logiciel dédié.

L'entraînement à l'utilisation de l'Analyse Structurelle pour les Systèmes Interactifs, telle que présentée ici, permettra en outre, de développer, ultérieurement, de nouveaux modèles mieux adaptés à la situation étudiée. Mais en n'oublient pas, qu'en passant de l'Analyse **Structurelle** des Systèmes à l'Analyse **Dynamique** des Systèmes, on franchit plusieurs degrés dans l'échelle de la complexité. C'est l'Analyse Dynamique des Systèmes qui pourrait permettre, éventuellement, de définir la réaction des facteurs, en fonction de l'énergie et de l'information que leur transmet le réseau.

4- Calcul des champs d'influence directe pour chacun des facteurs :

Revenons maintenant au cœur de l'étude. Pour cela, donnons-nous une matrice d'influence directe, un peu plus conséquente, à onze facteurs (A,B,C,D,....K), et voyons les enseignements qu'elle nous permet de recueillir sur le système. Notons que les éléments de la diagonale ont été maintenus égaux à zéro, rappelant ainsi que l'influence d'un facteur sur lui-même est dépourvue de sens, en termes d'influence immédiate. Nous verrons plus loin, dans l'annexe, à quelle absurdité le non-respect de cette règle peut conduire. Etudions donc la matrice d'influence directe suivante :

Matrice d'influence directe

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Influence
A					1		1			1		3
B	1										1	2
C				1					1			2
D					1							1
E				1					1			2
F								1				1
G		1			1						1	3
H												0
I			1									1
J	1				1	1			1			4
K	1					1	1					3
Dépendance	3	1	1	2	4	2	2	1	3	1	2	

Figure 4

À la droite du tableau, on trouve une colonne qui est la somme des éléments de chaque ligne, et qui indique le poids de **l'influence totale exercée** par le facteur de la ligne sur l'ensemble des autres. De même, les nombres que l'on trouve dans la ligne de dessous donnent **l'influence reçue**, par un facteur de la part de l'ensemble des autres que nous appellerons « **Dépendance** ». On peut ainsi associer à chaque facteur un couple de nombres pouvant servir de base à une représentation graphique du système des facteurs. On positionne chaque facteur, avec ces deux nombres, dans un plan où l'on prend comme axe des ordonnées la dimension « influence » et, comme axe des abscisses la dimension « dépendance ».

	Dépendance	Influence
A	3	3
B	1	2
C	1	2
D	2	1
E	4	2
F	2	1
G	2	3
H	1	0
I	3	1
J	1	4
K	2	3

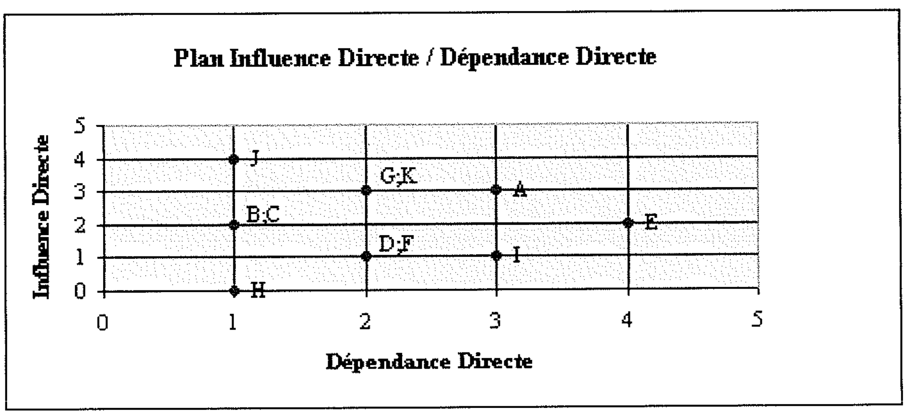

figure 5

À ce stade nous voyons déjà se dégager une certaine tendance : J est le facteur à la fois le plus influent et relativement indépendant, et pourra faire l'objet de toutes les attentions, alors que E, assez peu influent et fortement dépendant ne sera en rien « **moteur** » pour faire bouger le système. Mais l'analyse est encore trop élémentaire pour faire « parler » la structure cachée du système. Car les **influences indirectes** non pas été prises en compte.

5- Influences indirectes entre les facteurs :

Reportons-nous à la matrice d'influence directe. Sur la première ligne on constate que le facteur A influence directement les facteurs E, G et J. L'ensemble {E ;G ;J} constitue le champ d'influence directe de **A**;

E, G et J, ont, eux aussi, un champ d'influence directe :

{D ; I} est celui de **E**,
{B ;E ;K} est celui de **G** et,
{A ;E ;F ;I} est celui de **J.**

Ainsi, par l'intermédiaire de **E** , **I**, **J,** par recouvrement des trois champs d'influence directe de E, J, K, **le champ d'influence indirecte de premier échelon** de **A** est {B ;D ;E ;F ;I ;K}.

Lequel champ, une fois regroupé avec le champ d'influence **directe** de A, soit {E ;G ;J, donne **le champ d'influence de premier échelon** de **A** : {B;D;E;F;G;I;J;K}.

En franchissant un échelon de plus, **A** arrive à influencer **H** et **C**.

L'ensemble des facteurs influencés directement et indirectement par **A**, tous échelons confondus, constitue le « **champ d'influence totale** » de A. Pour **A**, ce champ est {B;C;D;E;F;G;H ;I;J;K}. Ce champ d'influence totale de **A** est constitué de l'ensemble de tous les autres facteurs du système, et cela, en un ou deux échelons. Mais tous les facteurs n'ont pas ce « privilège » de pouvoir influencer tous les autres :

Ainsi, en faisant le même cheminement à partir des autres facteurs, on constatera que **E** peut influencer uniquement {C ;D ;I}. Les autres facteurs sont « hors d'atteinte » de **E**. Il ne sera donc pas question, pour un décideur qui voudrait faire évoluer le facteur **F** ou **G**, par exemple, de déclencher une action à travers **E**.

L'itinéraire pour arriver à découvrir le champ d'influence totale d'un facteur est, comme on le voit, assez long est fastidieux à établir. Lorsque la matrice comporte un grand nombre de facteurs, il est nécessaire de recourir à des méthodes plus performantes. C'est ce que permet de démontrer, à travers les exemples développés dans la suite, l'aide très substantielle que nous apporter le calcul matriciel, en utilisant le tableur Excel. Avec certaines des opérations relativement simples qui nous sont proposées, nous pouvons nous débarrasser de la fastidiosité des calculs. Rappelons tout d'abord, pour ceux qui l'auraient oublié, ou pas encore appris, ce que nous appelons un "produit de composition" de matrice.

Rappel concernant la méthode de composition d'une matrice carrée.

Pour calculer les éléments d'une matrice composée (éléments notés P_{ik}) : dans la case ik on inscrit la somme (en faisant varier "j") des multiplications des éléments des cases de la ligne ij de la première matrice (éléments notés A_{ij}), par celles des éléments jk des colonnes de la deuxième matrice (éléments notés B_{ij}), soit en termes plus mathématiques, P_{ik} = Somme(A_{ij}*B_{jk}), pour j allant de 1 à n, ou n et le nombre de lignes (et de colonnes), des matrices carrées, donc même dimension (n lignes ;n colonnes). On n'oubliera pas non plus, que **l'ordre de compositions compte** : Produit-de-compositions-(Matrice1;Matrice2) est différent de Produit-de-composition-(Matrice2;Matrice1).

Tous ces calculs sont traités dans Excel par la fonction Produitmat(matrice1 ;matrice2), qui rend le problème de composition de matrice très rapidement résolu.

Exemple de matrice carrée : Aij/ Bij sont les nombres dans la case à l'adresse : ligne i; colonne j .

("i"allant de 1 à 3; et "j" allant de 1 à 3)

		Colonnes		
		(. 1)	(. 2)	(. 3)
lignes	(1 .)	A11	A12	A13
	(2 .)	A21	A22	A23
	(3 .)	A31	A32	A33

$\circ$

		Colonnes		
		(. 1)	(. 2)	(. 3)
lignes	(1 .)	B11	B12	B13
	(2 .)	B21	B22	B23
	(3 .)	B31	B32	B33

=

		colonnes		
		(. 1)	(. 2)	(. 3)
lignes	(1 .)	P11	P12	P13
	(2 .)	P21	P22	P23
	(3 .)	P31	P32	P33

P11 = A11*B11 + A12*B21 + A13*B31	**P21 = A21*B11 + A22*B21 + A23*A31**	**P31 = A31*B11 + A32*B21 + A33*B31**
P12 = A11*B12 + A12*B22 + A13*B32	**P22 = A21*B12 + A22*B22 + A23*B32**	**P32 = A31*B12 + A32*B22 + A33*B32**
P13 = A11*B13 + A12*B23 + A13*B33	**P23 = A21*B13 + A22*B23 + A23*B33**	**P33 = A31*B13 + A32*B23 + A33*B33**

Figure 6

Retournons à notre exemple. À partir de la matrice d'influence directe utilisée jusqu'à présent (figure 4), et que nous avons composées avec elle-même, nous obtenons la matrice ci-dessous (figure 7). Nous pouvons y constater comment celle-ci permet de retrouver, par simple inspection, les champs d'influence de chaque facteur, à **l'échelon 1** de composition.

Matrice d'influence indirecte à l'échelon 1 (Produit de Composition de la matrice d'influence directe avec elle-même)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Influence	Rang
A	1	1		1	2	1			2		1	9	11
B	1				1	1	2			1		6	7
C			1		1							2	3
D				1					1			2	3
E			1		1							2	3
F												0	1
G	2			1		1	1		1		1	7	8
H												0	1
I				1					1			2	3
J			1	1	1		1	1	1	1		7	8
K		1			2		1	1		1	1	7	8
Dépendance	4	2	3	5	8	3	5	2	6	3	3		
Rang	7	1	3	8	11	3	8	1	10	3	3		

Figure 7

En effet, les cases de la première ligne (celle du facteur d'influence A) de cette matrice de composition, indique que B,D,E,F,I et K porte le chiffre 1, ou 2, indiquant qu'il existe une influence (indirecte) de A sur chaque élément de l'ensemble {B,D,E,F,I ;K}.
Les cases portant le chiffre 2, soit E et I, indiquent que ces facteurs sont influencés par A et ce, en passant **deux** chemins différents :

À influence indirectement E à travers G ou J et, en même temps, que son influence indirecte s'exerce sur I à travers E ou J.

L'opération de « produit composé » de la matrice d'influence directe avec elle-même, permet de trouver toutes les influences qui s'exercent avec un seul intermédiaire entre deux facteurs. À influence directement {E,G,J} et indirectement, à l'échelon 1, {B,D,E,F,I ;K}, ainsi A influence-t-il {B,D,E,F,G;J;I ;K}, résultat de la **juxtaposition** des champs d'influence directe et indirecte à l'échelon 1. Cette opération est rendue facile par la simple addition, case par case, de la matrice d'influence directe avec celle de l'influence indirecte à l'échelon 1.

En composant une fois encore la matrice de l'échelon 1 avec la matrice d'influence directe, on obtient la matrice d'échelon 2, laquelle nous donne toutes les influences qui s'exercent entre facteurs, par l'intermédiaire de deux facteurs. Le processus de composition permet d'afficher très rapidement les divers champs d'influence, depuis l'influence directe jusqu'à l'échelon N, quel que soit N, et cela, sans avoir à traquer, à travers une cascade d'intermédiaire, les facteurs influencés par un quelconque facteur.

À droite de la matrice d'échelon 2, ci-dessous, sont inscrites, la somme des influences émanant de chaque facteur vers les autres et lui-même. Ceci permet de calculer le rang qu'il occupe dans la hiérarchie d'influence s'exerçant dans le système, à l'échelon 2. (Le plus influent est noté comme étant le rang supérieur de la hiérarchie). En bas de la matrice se trouvent les lignes correspondantes concernant la Dépendance.

Matrice d'influence indirecte à l'échelon 2

(Produit de Composition de la matrice d'influence Indirecte d'échelon 1 avec la matrice d'influence directe)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Influence	Rang
A	2		1	1	2	1	2	1	1	1	1	13	8
B	1	1		1	3	1	1	1	2	1	1	13	8
C				2					2			4	5
D			1		1							2	3
E				2					2			4	5
F												0	1
G	1	1	1		3	1	2	1		1	1	12	7
H												0	1
I			1		1							2	3
J	1	1	1	2	3	1			3		1	13	8
K	3	1		1	2	2	1		2		2	14	11
Dépendance	8	4	5	9	15	6	6	3	12	3	6		
Rang	8	3	4	9	11	5	5	1	10	1	5		

Figure 8

Cette matrice de composition apporte, en plus, le nombre de chemins, par lequel transite l'influence, entre deux facteurs. Ainsi sur la ligne du facteur B, on voit sur la colonne E, le chiffre 3, indiquant que, entre B et E, il y trois chemins d'influence d'échelon 2, ayant chacun deux facteurs intermédiaires.

Peut-on déduire l'idée d'une intensité d'action sur un facteur, du fait d'influences concourantes ?

Si A exerce sur E une relation d'influence, à la fois directe et, en même temps, indirecte, par le biais d'un intermédiaire X, est-il permis de dire que l'effet combiné de ces deux chemins d'influence est plus fort que s'il n'y avait pas d'intermédiaire ?

Une telle hypothèse revient à proposer que nous connaissions la fonction d'influence reliant A à E autrement que sous la forme « tout ou rien », présupposé de notre analyse, depuis le départ.

Comme, à ce stade de l'étude du système, nous ne savons rien quant à la nature des réactions des facteurs face aux « sollicitations » qu'ils reçoivent. Il serait donc inapproprié de déduire quoi que ce soit du nombre "d'impacts simultanés d'influence" reçue par un facteur en provenance d'un autre facteur.

autrement que par un changement d'état, si la liaison d'influence est « 1 » (postulat à la base de la relation d'influence).

Dans ces conditions, nous choisissons de remplacer tous les nombres indiquant la multiplicité des chemins d'influence liant le facteur en colonne avec celui qui est en ligne, par le chiffre « 1 », signifiant qu'il « existe une influence entre ces deux facteurs ». Le chiffre « 0 » indiquant qu'il n'y a pas d'influence entre ceux-ci. En utilisant la fonction logique « si », fournie par Excel, ce résultat peut-être facilement atteint, sans créer une nouvelle fonction de composition de matrice non fournie par le tableur. Cela revient à transformer les matrices en matrice « booléenne ».

À ce stade, une autre question se pose : Dans la matrice d'influence directe, on se souvient que nous avons pris soin de vérifier que la diagonale ne comporte que des zéros. Cela évite les « autoboucles » (l'influence d'un facteur sur lui-même). Mais qu'en est-il des boucles « en retour » par l'intermédiaire d'un autre facteur ? Dans la matrice qui sert d'exemple, il existe un circuit « **A⇨G⇨B⇨K⇨A** ». Supposons que nous éliminions ce circuit, cela revient à éliminer **K** comme facteur d'influence directe sur **A,** ou à arrêter la composition des matrices à l'échelon 3.

Cela diminuera d'autant le poids d'influence de **K** sur l'ensemble du système. Ainsi, éliminer toutes les boucles en retour, <u>en cours de calcul</u>, aboutirait à une hiérarchie des facteurs erronée, quant à l'influence exercée par chacun des facteurs sur le système.

En outre, la conservation de l'information des boucles de retour, générée par les différents échelons de composition, permet, à la fin du calcul, de connaître, les facteurs qui sont « impactés » par leur propre action. Dans les systèmes où il y a des « décideurs », cela peut-être tout à fait utile, en termes de régulation ou de contrôle.

Nous avons vu qu'à chaque stade de composition supplémentaire correspond l'extension du champ d'influence de chaque facteur. Ce champ est forcément limité à la totalité des facteurs, moins un (le facteur d'origine de l'influence). Mais chaque facteur n'influence pas nécessairement tous les autres facteurs. Ce constat implique que le processus de composition doit trouver sa limite, car la composition supplémentaire au-delà de celle-ci, n'apportera aucune information utile. Alors, comment connaîtrons-nous la « fin du calcul » ?

Nous y parviendrons en utilisant une des propriétés des matrices booléennes, par laquelle la procédure d'élévation cette matrice (désignée par **M**) à une puissance ($\mathbf{N_{limite}}$), ($\mathbf{N_{limite}}$, à déterminer) engendre des matrices identiques (formellement on a : "si $\mathbf{N >= N_{limite}}$ alors il est vrai que : $\mathbf{M^{Nlimite} \times M = M^{Nlimite}}$ "). Cette propriété permet de déterminer l'arrêt du calcul, comme on va le montrer ci-dessous. Cette limite correspond à ce que tous les facteurs atteignables, par un facteur quelconque, ont déjà été atteints. Comme les matrices ne portent, dans leurs cases, que des « 1 », ou que des « 0 », il en résulte, la stabilisation étant acquise, que la **totalisation** de chaque ligne et de chaque colonne, restera la même en passant de la puissance ($\mathbf{N_{limite}}$) à la puissance ($\mathbf{N_{limite} +1}$). Ce critère « d'arrêt de calcul » sera facilement automatisable.

En se reportant aux matrices d'échelon 1 et 2 (figure 7 et 8, ci-dessus), nous avons inscrit le **rang** d'influence (et de dépendance) de chaque facteur, calculé à partir de la totalisation des lignes (ou des colonnes).

Puis, pour surveiller l'advenu de « la fin de calcul », nous inscrirons, en même temps que le résultat de la matrice de composition supplémentaire, une colonne (ou une ligne pour la dépendance) où sera notée **la différence de rangs**, pour chaque facteur, entre cette matrice et la précédente. Le processus de composition doit être poursuivi jusqu'à ce que ces différences deviennent nulles, (marquées par un **Δnul**) **à la fois** dans la ligne et dans la colonne. Si l'on appelle (**N_{limite}+1**) l'échelon auquel cela se produit, cela signifie que la matrice de composition d'échelon (**N_{limite}**) est la matrice « ultime ».

Pour avoir la matrice d'influence totale, il ne restera plus qu'à additionner toutes les matrices entre l'échelon 0 (matrice d'influence directe) et la matrice l'échelon **N_{limite}**. Le résultat sera la **matrice (d'influence/dépendance) totale**, laquelle donnera la liste de tous les facteurs pouvant être influencés par chacun des facteurs (champ d'influence totale de chaque facteur), complétée par la hiérarchie des facteurs quant à leur « puissance » d'influence totale sur le système.

Revenons à l'exemple sur lequel nous avons entrepris le développement de la méthode. Après avoir franchi les premières étapes (composition à l'échelon 1, puis 2), poursuivons les calculs de composition. Ci-dessous, la matrice de l'échelon 4.

	Influence/dépendance indirectes à l'échelon 4													
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**Influence**	**Rang**	**Δ Rang**
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	3
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	3
C				1					1			2	3	Δ nul
D			1		1							2	3	Δ nul
E				1					1			2	3	Δ nul
F												0	1	Δ nul
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	2
H												0	1	Δ nul
I			1		1							2	3	Δ nul
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
Dépendance	5	5	7	7	7	5	5	5	7	5	5	**Test de fin de calcul**		
Rang	1	1	8	8	8	1	1	1	8	1	1	**Continuez la recherche et calculez la matrice suivante**		
Δ Rang	4	2	3	1	3	4	2	Δ nul	1	Δ nul	4			

Figure 9

On voit que le « test de fin de calcul » prévient qu'il faut calculer la matrice de l'échelon 5. En effet, la ligne (en bas) et la colonne (à droite) où sont affichées les différences de rang (**Δ Rang)** ne sont pas tous nuls. On aurait pu tout aussi bien calculer les différences d'influence totale (en bout de ligne) et de dépendance totale (en bas de colonne) entre la matrice d'échelon 4 et celle de l'échelon 3 pour obtenir le même résultat. Des raisons de "comparabilité" entre systèmes de dimensions différentes (dimensions = le nombre de facteurs en interaction), nous font préférer cette présentation.

Influence/dépendance indirecte à l'échelon 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Influence	Rang	Δ Rang
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
C			1		1							2	3	Δ nul
D				1					1			2	3	Δ nul
E			1		1							2	3	Δ nul
F						0						0	1	Δ nul
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
H								0				0	1	Δ nul
I				1					1			2	3	Δ nul
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7	Δ nul
Dépendance	5	5	7	7	7	5	5	5	7	5	5		Test de fin de calcul	
Rang	1	1	8	8	8	1	1	1	8	1	1			
Δ Rang	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul	Δ nul		Arrêter le calcul des influences indirectes	

Figure 10

On voit que nous avons l'étape ultime de composition, puisque toutes les différences de rangs sont nulles. Pour aboutir aux champs d'influences totaux, il faut additionner de façon « booléenne » toutes les matrices depuis l'échelon 0 (influence directe) jusqu'à l'échelon 4 (n'oublions pas la règle d'arrêt : si l'échelon 5 marque l'arrêt des calculs, cela implique que l'échelon 4 est la dernière matrice de composition à prendre en compte pour les calculs des champs d'influence totale).

Champs d'Influence / dépendance totale (avec autoboucles)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Influence	Rang
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7
C			1	1	1				1			4	3
D			1	1	1				1			4	3
E			1	1	1				1			4	3
F						0		1				1	2
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7
H								0				0	1
I			1	1	1				1			4	3
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7les résultat de leur propre changement
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	7
Dépendance	5	5	9	9	9	5	5	6	9	5	5		
Rang	1	1	8	8	8	1	1	7	8	1	1		

Figure 11

Dans ce tableau, nous avons maintenu les « autoboucles », afin de pouvoir nous souvenir des retours d'action. Ces retours qui, générés par les autres facteurs, en position d'intermédiaires, ramènent vers chacun des facteurs les résultats de son propre changement. Et, dans le cas où le facteur est un décideur, la possibilité de réajuster ses décisions. Dans la diagonale de la matrice, ci-dessus, seules les cases F et H n'ont pas de « 1 », signifiant que les actions des facteurs correspondants sont toujours sans « écho » pour eux-mêmes. Enlevons maintenant tous les « retours vers soi-même » de la matrice, afin de déterminer la « vraie » hiérarchie des facteurs, les uns envers les autres.

Champs d'Influence / dépendance totale (sans autoboucles)													
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**Influence**	**Rang**
A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	7
B	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	7
C				1	1				1			3	3
D			1		1				1			3	3
E			1	1					1			3	3
F								1				1	2
G	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	10	7
H												0	1
I			1	1	1							3	3
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	10	7
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	7
Dépendance	4	4	8	8	8	5	4	6	8	4	4		
Rang	1	1	8	8	8	6	1	7	8	1	1		

Figure 12

On remarque que, sur ce tableau, seul change le rang de dépendance du facteur F, du fait de l'élimination des autoboucles.

6- Classes d'appartenance

Nous sommes arrivés à la deuxième étape « utile » de l'Analyse Structurelle. La première étant la détermination, par le groupe d'étude, des composantes du tableau des influences directes. La pertinence de son étude se reflétant dans les résultats du calcul de l'influence totale de chaque facteur.

Revenons à notre exemple. À cette étape des calculs, nous distinguons quatre groupes d'influence, entre terme d'impact sur le système.
Ce sont : {A;B;G;J;K} (Influence :10) ; {C;D;E;I}(Influence : 3) ; {F}(Influence : 1) ; {H}(Influence :0) .
et quatre groupes de Dépendance,
soit : {A;B;G;J;K} (Dépendance :4) ; {C;D;E;I} (Dépendance : 8) ; {F}(Dépendance : 5) ; {H}(Dépendance :6).

À partir des éléments de la matrice d'influence/dépendance totale, nous pouvons établir le plan d'Influence/Dépendance total de cet ensemble de facteurs réunis pour faire « système » soit (figure 13) :

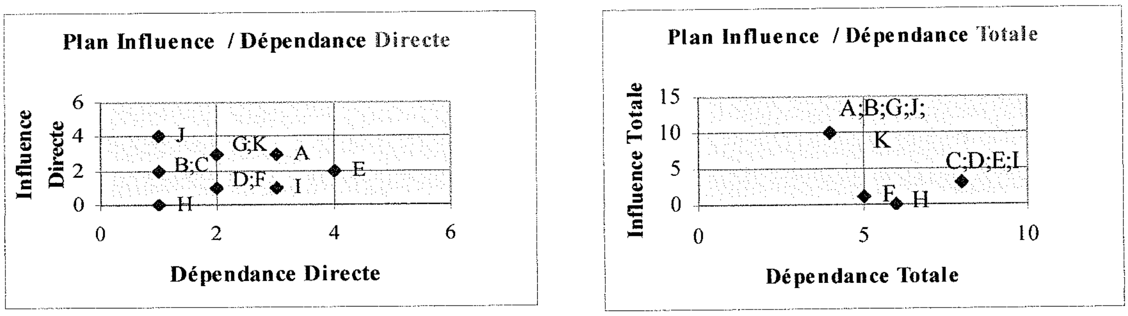

Figure 13

Nous avons mis, pour mémoire, le plan d'influence/dépendance directe, à côté du plan d'influence /dépendance totale. La comparaison de ces deux plans montre bien l'effet de la prise en compte des influences indirectes. Les histogrammes ci-dessous le confirment.

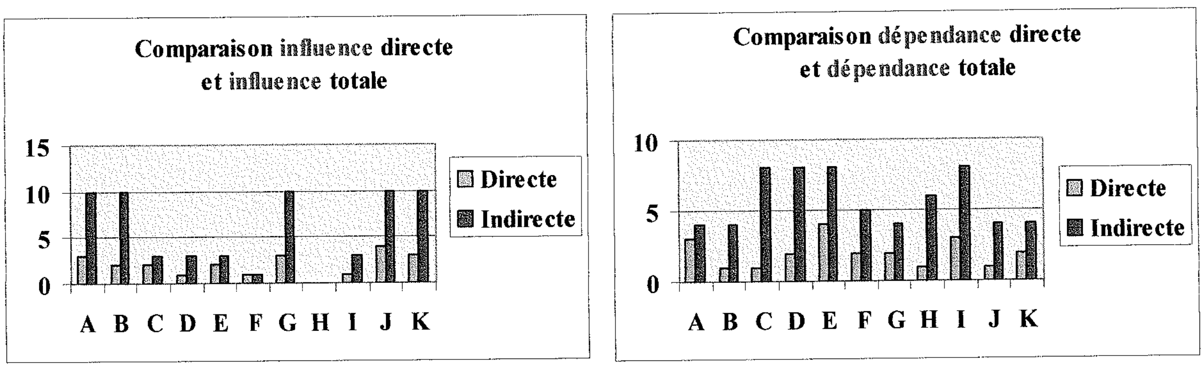

Figure 14

Dans un système où il y a des boucles, il est parfois difficile de dégager une « hiérarchie ». Toutefois, il peut être possible de repérer ceux des facteurs qui, étant liés par des relations d'influence/dépendance réciproque (X influence Y et X est dépendant de Y), vont permettre de faire émerger la hiérarchie « cachée ». Nous appellerons ces groupes des « **classes d'appartenance** ». Dans l'exemple utilisé jusqu'ici nous avons vu se dégager quatre groupes. Ce sont {A;B;G;J;K}, {C;D;E;I},{F},{H}.Comme il se trouve que les facteurs composant ces groupes sont les mêmes, tant en influence qu'en dépendance, on peut les considérer comme des classes d'appartenance.

Pour découvrir, dans un système de facteurs interagissant, les classes d'appartenance, nous devons procéder comme suit :

Choisissons un facteur pour lequel nous voulons trouver quels sont les autres éléments groupés avec lui dans sa classe d'appartenance. Le facteur A, par exemple. Dans la matrice d'influence totale, nous voyons quels sont tous les autres facteurs qui sont influencés par A (en fait tous les autres facteurs du système, dans cet exemple). Il suffit de les lire sur la première **ligne** de cette matrice d'influence totale.

De même, dans la **colonne** de A, nous voyons tous les facteurs qui influencent A, ce sont les facteurs {B;G;J;K}. En cherchant le groupe de facteurs qui sont **à la fois** influencés par A, et « influenceurs » de A (dont A est dépendant). Ce groupe, auquel on doit adjoindre A, est la classe d'appartenance de A. soit {A;B;G;J;K}.

Toutefois, dans les matrices que l'on rencontre, dans la vraie vie, ne font pas apparaître, d'emblée, les ressemblances, et il faut utiliser une procédure plus systématique, comme nous en fourni le tableur.

Cette recherche consiste à **comparer les lignes de la matrice d'influence totale, avec ses colonnes**, facteur par facteur, afin de retenir, pour chaque facteur, les cases symétriques (par rapport à la diagonale) qui contiennent le chiffre « 1 ». Ces cases renvoient vers les facteurs qui sont, **à la fois, influents et dépendants**. Dans ce dessein, nous transposons la matrice, et intervertissons ainsi les lignes et les colonnes. Puis nous faisons le produit de ces deux matrices (matrice d'influence totale **X** la même matrice transposée). Cette opération consiste à former une nouvelle matrice où, dans chaque case, se trouve le résultat du produit des nombres (0 ou 1) contenus dans les cases correspondantes des matrices à multiplier. Voyons sur notre exemple, ce que cela donne :

Matrice des champs
Influence / dépendance totales
(avec autoboucles)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C			1	1	1				1		
D			1	1	1				1		
E			1	1	1				1		
F						0		1			
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
H								0			
I			1	1	1				1		
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Matrice TRANSPOSEE des champs
Influence / Dépendance totales
(avec autoboucles)

	À	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
À	1	1					1			1	1
B	1	1					1			1	1
C	1	1	1	1	1		1		1	1	1
D	1	1	1	1	1		1		1	1	1
E	1	1	1	1	1		1		1	1	1
F	1	1				0	1			1	1
G	1	1					1			1	1
H	1	1				1	1	0		1	1
I	1	1	1	1	1		1		1	1	1
J	1	1					1			1	1
K	1	1					1			1	1

Figure 15

Le résultat du produit des deux matrices, ci-dessous, est une matrice symétrique. On y voit, facilement, les lignes (ou les colonnes), qui paraissent dupliquées, et qu'elles sont de fait.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Classes		
A	1	1					1			1	1	C1		
B	1	1					1			1	1	C1		
C			1	1	1				1				C2	
D			1	1	1				1				C2	
E			1	1	1				1				C2	
F														Isolé
G	1	1					1			1	1	C1		
H														Isolé
I			1	1	1				1				C2	
J	1	1					1			1	1	C1		
K	1	1					1			1	1	C1		

Figure 16

Procédure de calcul :

On y constate, aussi, qu'un facteur ne peut appartenir qu'à une seule classe d'appartenance. Cela ne saurait nous étonner, du fait même de leur définition. Prenons un exemple : sur la ligne du facteur A, il y a un « 1 » dans les colonnes de B, de G, de J et de K, et « 0 » partout ailleurs (soit C, D, E, F, H, I). On retrouve la même disposition si l'on s'intéresse aux colonnes.

Il s'ensuit que deux lignes, correspondant à deux facteurs appartenant à deux classes différentes auront, pour chaque colonne, l'une le chiffre « 1 », et l'autre le chiffre « 0 », et que le produit de ces chiffres donnera zéro. Ceci est évident en comparant les lignes de B et de C, par exemple. Si on ne trouve pas zéro, c'est que les deux facteurs, correspondant aux lignes sélectionnées, sont dans la même classe d'appartenance.

Ainsi cette opération de « somme des produits », faite à partir de deux lignes différentes, est donc un bon discriminateur de classes. On part de la première ligne que l'on compare avec toutes les autres lignes restantes, et l'on voit s'afficher, dans la première colonne de droite, les résultats du calcul. On recherche, en descendant cette colonne (Classe C1), la première des lignes ou rien n'est inscrit, signifiant un changement de classe. On repart de cette ligne comme nouvelle base de comparaison et, avec la même procédure, on fait apparaître les facteurs appartenant à la seconde classe, dans la seconde colonne. Et ainsi de suite, jusqu'à ce que tous les facteurs aient été repérés.

C'est à partir de cette procédure qu'est établie, à droite de la matrice ci-dessus, la liste des classes d'appartenance. Ces classes sont :

C1={A;B;G;I;K}
C2={C;D;E;I}
Isolé_1={F}
Isolé_2={H}

7 – Hiérarchie par niveaux d'influences

Les classes d'appartenance sont une sorte de « club » où les facteurs sont interaction étroite, et participent, tous ensemble, à la hiérarchie d'influence qui s'exerce dans le système. À laquelle hiérarchie, nous allons, maintenant, consacrer notre attention.

Commençons par, réordonner la matrice d'influence totale, de façon à regrouper les facteurs d'une classe, les uns à côté des autres. Comme ci-dessous :

Champs d'Influence / dépendance totale (avec autoboucles)
Réordonnées

	A	B	G	J	K	C	D	E	I	F	H
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C						1	1	1	1		
D						1	1	1	1		
E						1	1	1	1		
I						1	1	1	1		
F											1
H											

Figure 17

On constate que dans les deux sous-matrices carrées, correspondant aux deux classes d'appartenances, toutes les cases sont occupées par des « 1 », montrant ainsi que tous les facteurs de la classe sont bien en relation réciproque.

Cela étant fait supprimons, pour chaque classe, toutes les lignes (et colonnes) sauf une, de façon à ne conserver qu'une seule ligne (une seule colonne) pour chacune des classes d'appartenance. Et, dans chaque ligne et chaque colonne restantes, changeons l'intitulé du facteur lui correspondant, pour lui donner l'intitulé de la classe à laquelle ce facteur appartient.

C1={A;B;G;I;K}
C2={C;D;E;I}
Isolé_1={F}
Isolé_2={H}

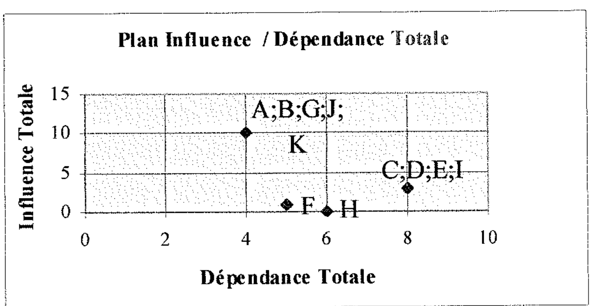

Figure 18

Nous avons repris le plan d'influence/dépendance totale pour montrer les liens forts entre regroupement dans ce plan et le regroupement en classes d'appartenance. L'intérêt, pour celui qui conduit l'étude, est de pouvoir, éventuellement, concentrer son attention sur ce qui passe à l'intérieur des classes, sans préjudice de perdre les liaisons entre les classes. On en revient à l'adage « diviser les problèmes afin de mieux comprendre et agir ». **L'avantage étant que les frontières de division ne sont pas établies au hasard, mais par un processus raisonné.**

Champs d'Influence / dépendance totale (avec autoboucles) Ramenés aux classes

	C1	C2	F	H
C1	1	1	1	1
C2		1		
F				1
H				

Figure 19

Reprenons la matrice des classes (figure19). Elle permet de dégager des niveaux hiérarchiques :

Le champ d'influence de la classe C1 est : {C1 ;C2 ;F ;H}. Celui de C2 est {C2 ;F ;H} ; celui de F est {H}, et celui de H est vide. La représentation graphique de ces influences se trouve sur la figure 20.

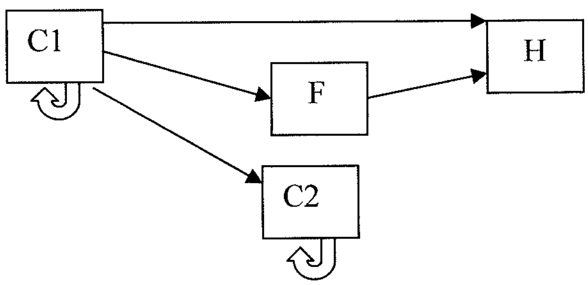

Figure 20

Si, dans cet exemple, le rangement des classes peut se faire par simple inspection de la matrice, il ne peut pas toujours en être ainsi, en particulier lorsque l'on a affaire à de grande matrice. Il faut utiliser une méthode systématique de mise évidence de ce rangement par niveau de classe. Reprenons l'exemple en cours pour montrer comment on procède.

1) On s'assure tout d'abord que les autoboucles (diagonales ramené à zéro) ont été enlevées, de façon à ce que, parmi tous les nombres résultant de la sommation des nombres de chaque colonne, il y en ait au moins un qui soit zéro. Cette façon de faire ne dénature pas le problème puisque nous intéressons exclusivement aux relations entre classe. Dans la matrice ci-dessus, cela concerne deux cases : (C1,C1) et (C2,C2).

2) Pour chaque colonne de la matrice, on fait la somme des nombres qu'elle contient. Si cette somme est nulle, cela signifie, que la classe n'a aucun antécédent. La classe afférente appartient au premier niveau de classement.

	C1	C2	F	H	
C1	0	1	1	1	
C2	0	0	0	0	
F	0	0	0	1	
H	0	0	0	0	
N(1)	0	1	1	2	C1

Ainsi, sur la première ligne de niveau, désignée par N(1), on constate que, seule la colonne C1, a un zéro. C1 est donc l'unique classe au niveau N(1).

3) On enlève la colonne et la ligne relative à C1 de la matrice et, en suivant la même démarche que pour le niveau N(1), nous recherchons les classes du niveau N(2). Ce sont les classes C2 et {F}.

	C2	F	H	
C2	0	0	0	
F	0	0	1	
H	0	0	0	
N(2)	0	0	1	C2;F

4) On termine avec le niveau N(3)={H}.

	H	
H		
N(3)	0	H

Cette procédure est un peu longue et, grâce au tableur, nous pouvons choisir, de la rendre semi-automatique. Nous verrons dans la deuxième partie, consacrée aux procédures d'utilisation du tableur, la façon de procéder.

L'avantage que permet l'établissement du rangement des facteurs en classe d'appartenance, est qu'il permet de les hiérarchiser en niveaux d'influence (ou de dépendance), par une relation hiérarchique. Alors que la visualisation des interactions, apportée par la distribution des facteurs dans le plan d'influence/dépendance directes et/ou indirectes, souligne mieux les effets « système » sur ces interactions. Ces deux approches sont donc bien complémentaires.

Conclusion

L'analyse structurelle des systèmes interactifs, tel qu'elle a été développée ci-dessus, permet de repérer les conséquences d'un changement provoqué par tel ou tel facteur, sur chacun des autres facteurs du système. Elle permet aussi d'esquisser des frontières « naturelles » à l'intérieur d'un système, du fait de la diffusion de l'influence. Il est très néanmoins très important de souligner, une fois encore, que la pertinence des conclusions qu'il est permis de tirer de l'analyse est entièrement conditionnée par la « valeur de réalité » de l'information recueillie pour fabriquer la matrice d'influence directe. Si cette information est par trop éloignée de la réalité, les conclusions de l'analyse risqueront d'induire en erreur les analystes.

Enfin l'analyse n'est qu'un premier pas vers la prise de décision, car le modèle d'influence utilisé est quelque peu sommaire pour déterminer les dosages des actions à entreprendre. Mais elle n'en demeure pas néanmoins une approche très utile pour permettre la décantation et le tri parmi les nombreuses explications que les différents « experts » mettent en avant pour régler les problèmes.

ANNEXE

Pourquoi la matrice des Influences directes ne peut avoir des autoboucles :

Maintenant que le lecteur est familiarisé avec la démarche d'Analyse Structurelle, dont nous rappelons les différentes étapes :

1) Etablissement par le groupe d'études de la matrice des influences directes,
2) Calcul des champs d'influence totale de chaque facteur,
3) Plan d'influence/dépendance, comparaison Influence directe vs indirecte,
4) Regroupement des facteurs en classe d'appartenance,
5) Hiérarchisation des classes par rapport à l'influence et la dépendance.

Concentrons notre attention sur les deux premières étapes, et étudions le système d'influence que constitue une ligne hiérarchique humaine, comme on peut la trouver dans un corps militaire. Ceci se traduit par une matrice d'influence directe ou chaque facteur est en rapport direct avec un seul de ses subordonnés (A est chef de B, qui est chef de B, etc.).

L'influence totale de A s'exerce sur l'ensemble des subordonnés, comme on peut le voir sur la matrice de droite ci-dessus. On voit, qu'en termes de rang, les préséances sont bien respectées.

Matrice d'influence directe (sans autoboucles)

	A	B	C	D	E	Influence
A		1				1
B			1			1
C				1		1
D					1	1
E						0
	0	1	1	1	1	Dépendance
	1	2	2	2	2	← Rang

Matrice d'influence totale (sans autoboucles)

	A	B	C	D	E	Influence	Rang
A	0	1	1	1	1	4	5
B	0	0	1	1	1	3	4
C	0	0	0	1	1	2	3
D	0	0	0	0	1	1	2
E	0	0	0	0	0	0	1
	0	1	2	3	4	Dépendance	
	1	2	3	4	5	← Rang	

Etudions l'effet d'ajouter une autoboucle sur l'un des Subordonnés, disons B, pour commencer. Quel est l'effet sur la hiérarchie de ce changement ?

Matrice d'influence directe (avec une seule autoboucle)

	A	B	C	D	E	Influence
A		1				1
B		1	1			2
C				1		1
D					1	1
E						0
	0	2	1	1	1	Dépendance
	1	5	2	2	2	← Rang

Matrice d'influence totale (avec une seule autoboucle)

	A	B	C	D	E	Influence	Rang
A		1	1	1	1	4	5
B		1	1	1	1	4	5
C				1	1	2	3
D					1	1	2
E						0	1
	0	2	2	3	4	Dépendance	
	1	2	2	4	5	← Rang	

Lorsque B, parce qu'il « s'interroge » lui-même, se promeut, de ce seul fait, au même rang de son chef. Si c'était C qui était doté d'une autoboucle, au lieu de B, le résultat amènerait C au niveau de B, comme ci- dessous :

Matrice d'influence directe (avec une seule autoboucle)

	A	B	C	D	E	Influence
A		1				1
B			1			1
C			1	1		2
D					1	1
E						0
	0	1	2	1	1	Dépendance
	1	2	5	2	2	← Rang

Matrice d'influence totale (avec une seule autoboucle)

	A	B	C	D	E	Influence	Rang
A		1	1	1	1	4	5
B			1	1	1	3	4
C			1	1	1	3	4
D					1	1	2
E						0	1
	0	1	3	3	4	Dépendance	
	1	2	3	3	5	← Rang	

Ainsi le fait d'introduire des autoboucles dans la matrice d'influence, perturbe l'ordonnancement des influences finales dans la hiérarchie.

Par contre, si l'on enlève à chaque étape du calcul, les autoboucles qui sont générées par celui-ci, on perturbe complètement le résultat final. C'est pour cela que nous avons maintenu les autoboucles, jusqu'à l'obtention du champ d'influence totale. Pour ensuite séparer, dans la matrice finale, les parties « influence-sur-les-autres » de celles qui concernent l'effet « boomerang » de l'action d'un facteur envers lui-même.

.

Bibliographie

L'analyse structurelle, dans le sens où nous l'entendons (et non comme on l'entend dans le monde de la mécanique) a fait l'objet de nombreux travaux parmi lesquels on peut citer :

1) La thèse que JF Lefebvre (1982) a consacré à ce sujet.
2) Michel Godet , « Manuel de Prospective Stratégique », (Dunod, Paris, 2001),
3) P. F. Ténière-Buchot , « ABC du Pouvoir » (Editions d'Organisation, Paris,1989).
4) John N. Warfield , Societal Systems, (Planning, Policy, and Complexity), Wiley & Sons, 1976.

On trouvera d'autres références sur le site : w^3.3ie.fr/lipsor/micmac.htm.