

LECTURE DE MODELES MACROECONOMIQUES  
ET  
CONSTRUCTION DE STRUCTURES CAUSALES \*

par Michel BOUTILLIER

Novembre 1982

N° 82-01

\* Cette étude est une partie de la thèse de troisième cycle de l'auteur qui tient à remercier ici le jury composé de MM. Fourgeaud, Vallée et Malgrange pour son aide et ses critiques. Bien entendu, les lacunes qui subsistent demeurent imputables à l'auteur.

## 1 - INTRODUCTION

Il ressort des pratiques antérieures (voir par exemple MUET [1979] ou LAFFARGUE [1980] ) que l'analyse et la compréhension d'un modèle impliquent la négligence de certaines liaisons, l'interprétation de certaines équations comme mécanismes de fixation de variables économiques, l'ordonnement de ces équations suivant une logique de résolution ... Nous rassemblons toutes ces opérations sous le vocable de lecture.

Un modèle peut être l'objet de plusieurs lectures ; la première est la lecture qui a présidé à son écriture, mais l'une d'entre elles se révèle plus "conforme" à ce qu'est réellement devenu qualitativement et quantitativement le modèle au cours de sa construction. A long terme, notre ambition pourrait être la sélection de cette "meilleure" lecture.

Or le concept de lecture est solidaire du concept de causalité ; en effet, à chaque équation est attaché un sens causal et un modèle écrit sous sa forme structurelle est l'explicitation de structures causales - structure des différents mécanismes économiques et structure de l'interconnection de ces mécanismes -.

Nous allons exposer le concept de causalité dont la construction constitue la première étape de la lecture ; nous verrons qu'il n'y a pas de relation univoque entre une équation et un mécanisme causal et cette multivocité a un impact sur les causalités hiérarchique et circulaire qui sont des sous-produits de la causalité et dont la construction forme la deuxième étape de la lecture.

Cette deuxième étape bénéficie des apports de HENIN [1974], de ROSSIER [1979] ou de GILLI [1979] mais le caractère limité des résultats qu'elle fournit et le phénomène de la circularité causale justifie l'introduction de la notion de bouclage. Cette notion qu'on s'attachera à interpréter économiquement est centrale dans notre exposé et la détermination des bouclages est la troisième étape de la lecture.

Les différentes approches de KELLER [1970], DELEAU et MALGRANGE [1978], GILLI et ROSSIER [1981] et BRILLET [1981] nous permettront de distinguer

deux appréhensions des bouclages, la première minimisant le nombre des bouclages tandis que la seconde fait porter la minimisation sur l'impact quantitatif de leur suppression.

Nous pensons conclure en montrant que la seconde approche est seule conforme à l'esprit d'une lecture de modèles par un macroéconomiste.

## 2 - PREMIERE ETAPE DE LA LECTURE : CONSTRUCTION D'UNE RELATION DE CAUSALITE

Dès 1960, STROTZ et WOLD ont distingué les modèles descriptifs du type "boîte noire" et les modèles explicatifs tels qu'ils apparaissent en macroéconomie. En effet, l'économiste fait plus que d'admettre une relation fonctionnelle entre variables car il investit également ces relations d'une interprétation causale.

La dissymétrie variable explicative / variable expliquée introduite dans l'estimation économétrique s'apparente à la dissymétrie cause/effet même si la causalité introduite est corrigée dans un sens probabiliste.

La particularité des équations comptables est levée en constatant qu'une variable impliquée dans un équilibre est expliquée comme solde de cet équilibre et par conséquent que la fixation de son niveau est "causée" par les valeurs prises par les autres variables. C'est d'ailleurs une marque de bonne spécification pour un modèle que tous les équilibres comptables soient analysés et affectés à la formation de variables.

Ainsi, sans perte de généralité, on fait désormais l'hypothèse que la *i*-ième équation de notre modèle illustre le mécanisme de formation de la *i*-ième variable endogène (la *i*-ième variable apparaît donc dans la *i*-ième équation).

Alors on introduit la relation binaire *C* de causalité et le graphe *G* correspondant :

$$\begin{aligned} y_i \text{ C } y_j &\iff y_i(t) \text{ est "cause" de } y_j(t) \\ &\iff y_i(t) \text{ apparaît dans l'équation déterminant } y_j(t) \\ &\iff (y_i, y_j) \text{ est un arc de } G. \end{aligned}$$

Ici, nous admettrons que cette définition de C implique la réflexivité de C puisque " $y_i(t)$  apparait dans l'équation déterminant  $y_i(t)$ "; par abus de langage, on dira que " $y_i(t)$  est cause" de  $y_i(t)$ ".

Avec cette petite distorsion, on déduit que la matrice booléenne associée à ce graphe G et à cette relation binaire C est tout simplement la matrice booléenne  $\tilde{G}_0$  associée à la matrice  $G_0$  explicitant les interdépendances simultanées dans la forme structurelle du modèle :

$$\begin{aligned}
 y_i C y_j &\iff (y_i, y_j) \text{ arc de } G \iff (\tilde{G}_0)_{ij} = 1 \iff (G_0)_{ij} \neq 0 \\
 y_i \not C y_j &\iff (y_i, y_j) \text{ n'est pas un arc de } G \iff (\tilde{G}_0)_{ij} = 0 \iff (G_0)_{ij} = 0
 \end{aligned}$$

$\tilde{G}_0$ , C et G sont trois représentations équivalentes pour exprimer la causalité.

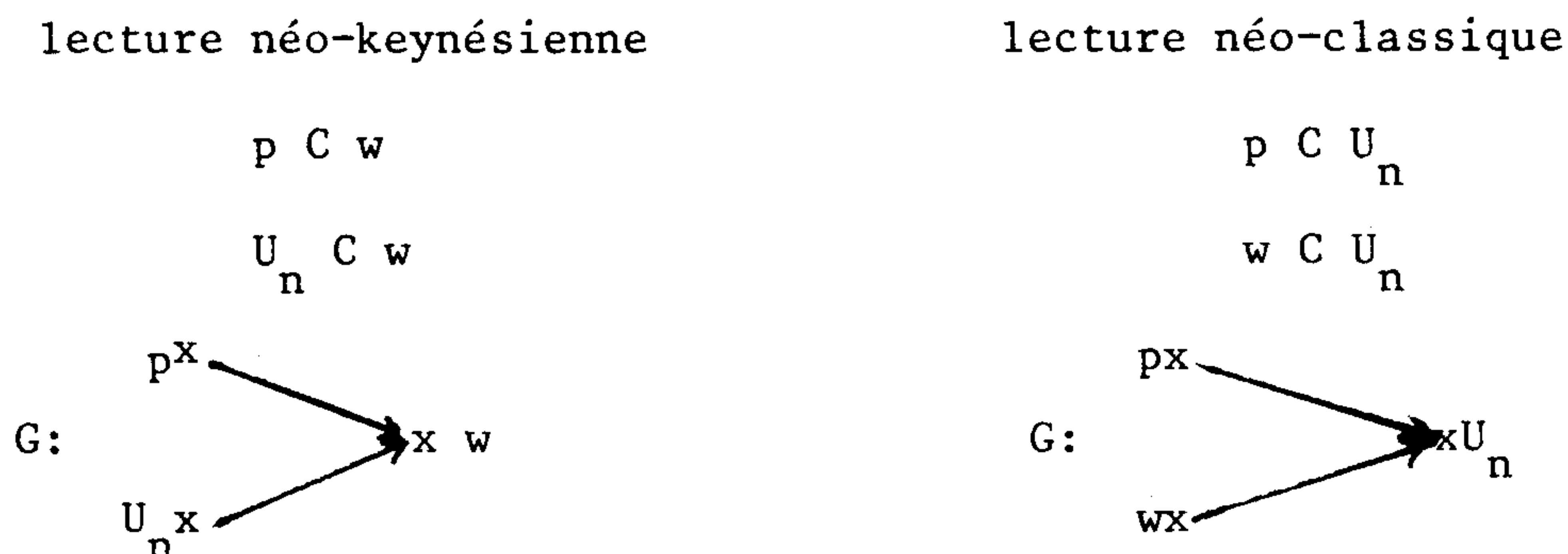
Construisant la fermeture réflexo-transitive  $C^+$  de C ou  $G^+$  de G, on construit la relation de causalité transitive qui est un préordre et qui rend compte des divers enchaînements de causes et d'effets existant dans la lecture du modèle correspondant à C ou G :

$$\begin{aligned}
 y_i C^+ y_j &\iff (y_i, y_j) \text{ arc de } G^+ \iff \text{dans } G, \text{ il existe un chemin de } y_i \text{ à } y_j \\
 &\iff y_i(t) \text{ est la cause indirecte de } y_j(t).
 \end{aligned}$$

Revenons à la construction de C et plus précisément à la construction concomitante d'une correspondance bi-univoque entre les variables endogènes et les équations du modèle ; le résultat de cette première étape de la lecture découle de l'état d'esprit du "lecteur" qui stipule que l'équation à laquelle il affecte une variable représente le mécanisme formateur de cette variable. Le résultat n'est donc pas unique, et, dans le cadre de lectures divergentes, l'affectation est souvent modifiée ; un exemple remarquable est la relation de Phillips qui donne le taux de salaire  $w$  en fonction du niveau des prix  $p$  et du taux de chômage  $U_n$  :

$$w = \mu p - \nu U_n + w_0$$

Dans le cadre d'une présentation néo-keynésienne des modèles par MUET [1979] ou d'une lecture néo-keynésienne d'une version de la maquette du CEPREMAP par LAFFARGUE [1980], cette relation fonctionne dans son sens apparent, c'est-à-dire celui où  $p$  et  $U_n$  sont les "causes" de  $w$  ; à l'inverse, dans FIFI - simplifié par MUET - ou dans la lecture néo-classique de la maquette par LAFFARGUE, elle est lue comme fonction d'offre de travail et alors  $p$  et  $w$  sont les "causes" de  $U_n$ . Par conséquent :



La multiplicité des affectations et donc des relations de causalité entraîne ainsi la multiplicité des lectures ; ces multiplicités sont solidaires du caractère très interdépendant des modèles.

### 3 - DEUXIEME ETAPE DE LA LECTURE : CONSTRUCTION DES RELATIONS DE CAUSALITE STRICTE ET DE CAUSALITE CIRCULAIRE

A partir de la relation binaire  $C$  et de sa fermeture réflexo-transitive  $C^+$ , on définit une relation d'équivalence  $C_C$  et une relation d'ordre  $C_S$  :

- Causalité circulaire  $C_C$  :

$$y_i \ C_C \ y_j \ \longleftrightarrow \ \left\{ \begin{array}{l} y_i \ C^+ \ y_j \\ y_j \ C^+ \ y_i \end{array} \right\} \ \longleftrightarrow \ \text{dans } G, \text{ il existe un circuit passant par } y_i \text{ et } y_j.$$

C'est une relation d'équivalence qui a pour classes d'équivalence les composantes fortement connexes (c.f.c.) du graphe  $G$ . On opère alors la condensation de  $G$  qui donne le graphe  $G^*$  dont les sommets sont notés  $y_i^*$ ,  $y_j^*$  ... et correspondent aux c.f.c. de  $G$ .

- Causalité stricte  $C_S$  :

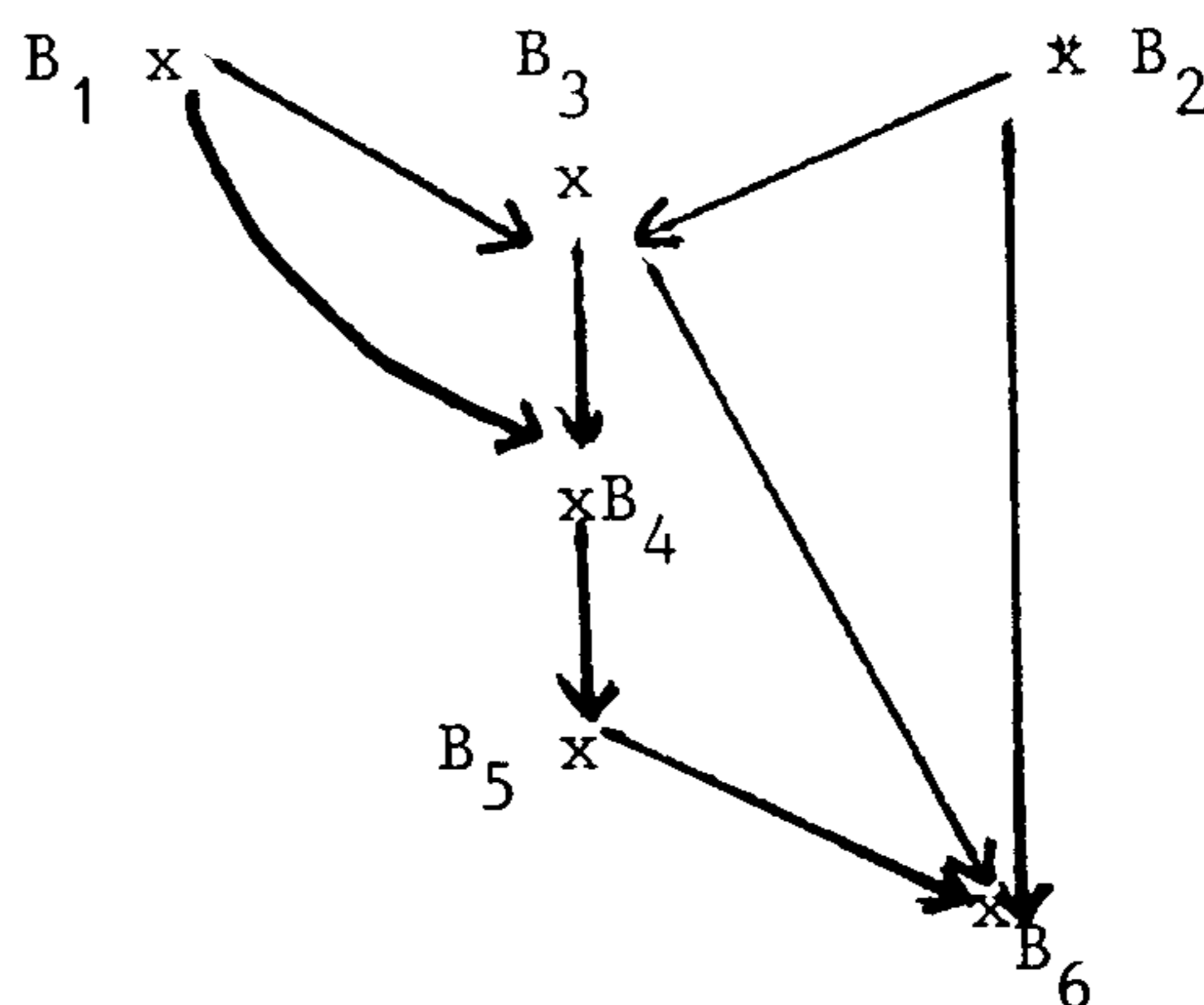
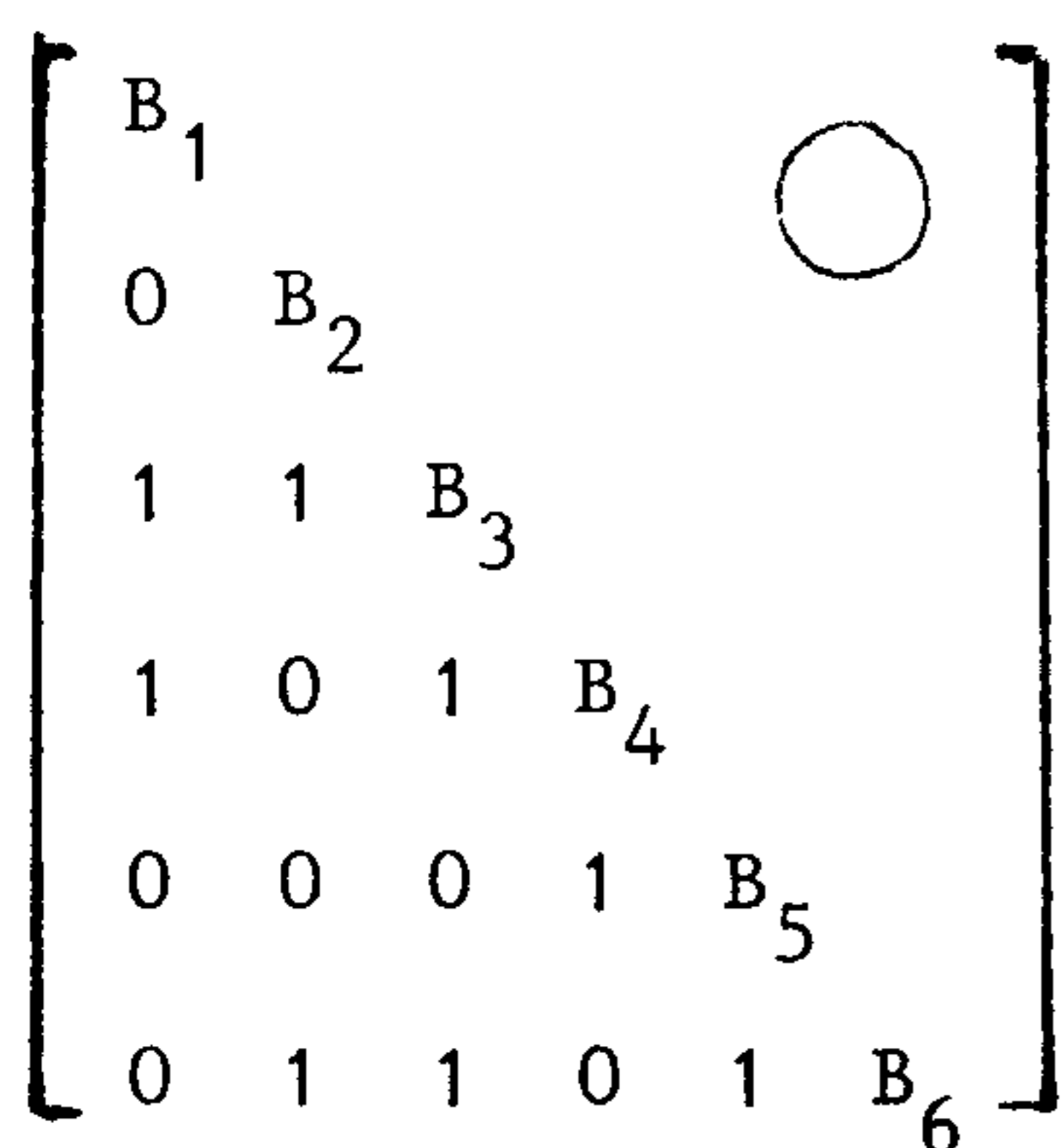
$$y_i^* \ C_S \ y_j^* \ \longleftrightarrow \ \text{dans } G^*, \text{ il y a un arc allant de } y_i^* \text{ à } y_j^*.$$

$$\longleftrightarrow \ \text{dans } G, \text{ il y a un chemin menant de } y_i \text{ appartenant à la c.f.c. } y_i^* \text{ à } y_j \text{ appartenant à } y_j^*.$$

C'est une relation d'ordre strict (généralement partiel) sur les c.f.c. de  $G$ .

La deuxième étape de la lecture est donc la construction de la relation  $C_C$  qui fournit les blocs de variables endogènes (ou les sous-systèmes ou les c.f.c.) et de la relation  $C_S$  qui les ordonne strictement selon des niveaux. SIMON [1957] avait déjà souligné l'importance de la hiérarchie causale ainsi créée ("causal ordering") et l'avait reliée à la nécessité pour l'esprit humain de regrouper de façon plus ou moins cohérente des connaissances ou des idées et de les organiser au sein d'arborescences ou de hiérarchies ; ici, on agrège les variables "fortement connexes" en conglomérats qu'on organise ensuite linéairement de telle manière que la pensée saisisse rapidement leurs rapports.

Comme nous le montre l'exemple arbitraire qui suit, nous obtenons des représentations visuelles remarquables que ce soit le graphe  $G^*$  ou la matrice booléenne associée (qui est équivalente à une matrice bloc-triangulaire inférieure par une permutation adéquate des lignes et des colonnes).

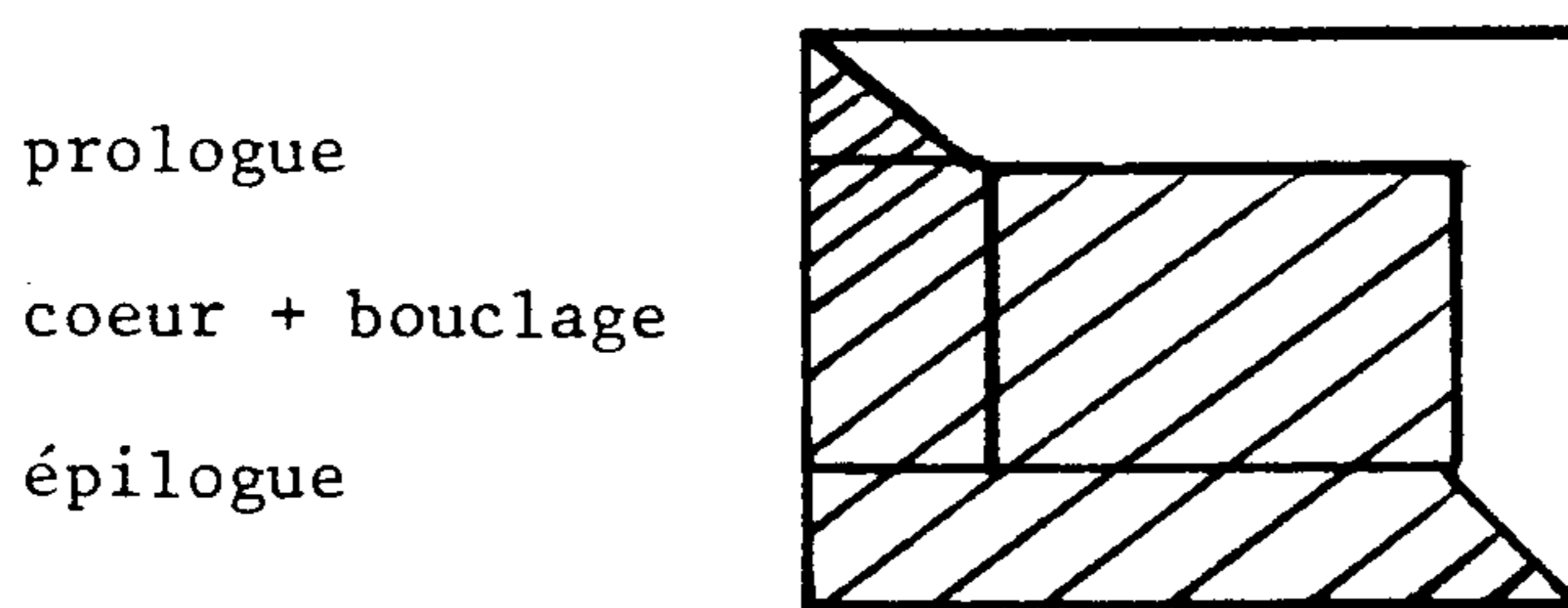


La représentation matricielle illustre également le lien entre le résultat de cette étape de l'analyse (lecture) des modèles et la récursivité que STROTZ et WOLD [1960] avaient en tête en nommant causalité vectorielle ce que nous appelons causalité stricte car, en effet, le vecteur des variables regroupées dans un bloc d'un certain niveau est "cause" d'un autre vecteur de variables regroupées dans un bloc de niveau inférieur.

Avant d'examiner les résultats de cette étape de la lecture sur quelques modèles empiriques, il convient de noter que la deuxième étape de la lecture d'un modèle est un invariant du modèle et ne dépend pas de la première étape du modèle (voir BOUTILLIER [1982]). Autrement dit, les relations  $C_C$  et  $C_S$  sont uniques pour un modèle donné, quelles que soient l'affectation des variables aux équations choisie et la relation  $C$  construite.

Après avoir écrit un programme de recherche des composantes fortement connexes en PASCAL (il opère donc systématiquement la seconde étape de la lecture), nous l'avons testé sur les deux lectures (sans effets de patrimoine) de la maquette du CEPREMAP par LAFFARGUE [1980], sur le modèle trimestriel de Wharton (ses équations sont tirées de GILLI [1979]), sur le modèle trimestriel de FAIR [1976], sur le modèle annuel MINI-DMS (dans la version "nouvelle base" de BRILLET [1981 bis]), sur le modèle trimestriel FRB-MIT-PENN (ses équations sont tirées de ANDO, MODIGLIANI et RASCHE [1972]) et enfin sur le modèle trimestriel METRIC (dans sa première version - voir METRIC [1977]).

Les résultats sont la confirmation d'un fait maintes fois observé par ailleurs ; un prologue et un épilogue totalement récursifs (composés de blocs d'une variable) encadrent un gros bloc qui regroupe la plus grande partie des variables (66 à 93 %). Autrement dit, la matrice booléenne correspondant à la plupart des modèles peut être mise sous la forme suivante (inspirée de NEPOMIASTCHY, RAVELLI et RECHENMANN [1978]) :



Dans le tableau (1), nous avons regroupé les résultats de l'analyse. D'autre part, nous avons vérifié que le gros bloc central contenait presque toutes les variables économiquement significatives du modèle.

Tableau (1) : Résultats de la deuxième étape de la lecture

	Nbre de variables endogènes	Nbre de liaisons causales	Temps de calcul (1/100 de s. CPU)	Nbre de blocs	Taille du bloc (cœur + bouclage)
Maquette lecture keynésienne	15	25	0,5	2	14
Maquette Lecture classique	15	25	0,5	2	14
Wharton	77	187	3	27	51
FAIR	83	219	3,2	9	75
MINI-DMS	166	662	7,4	52	115
FRB-MIT-PENN	168	360	6,3	42	127
METRIC	426	1025	16,2	114	313

Même si ces résultats sont robustes car invariants, ils apparaissent bien décevants puisqu'ils nous livrent peu de choses sur la structure des modèles et ne font qu'illustrer l'importance de l'interdépendance dans les modèles macroéconomiques. Bien que cette étape soit nécessaire, il est important d'aller plus loin en "brisant" ce gros bloc et en trouvant une hiérarchie plus fine des variables significatives ; c'est l'objet de la troisième étape de la lecture.

#### 4 - TROISIEME ETAPE DE LA LECTURE : CONSTRUCTION D'UNE RELATION DE CAUSALITE HIERARCHIQUE APPROCHEE

La causalité circulaire  $C_C$  introduite précédemment semble un concept contradictoire car la causalité suppose une dissymétrie et la circularité une symétrie. D'autre part, la réalité économique est faite de séquences de comportements, de décisions, d'actions... et cela devrait influencer la spécification des modèles de sorte qu'ils soient écrits sous forme structurelle avec  $G_0$  diagonale ou triangulaire (c'est-à-dire sans interdépendance simultanée).

Selon BENTZEL et HANSEN [1954] puis STROTZ et WOLD [1960], la différence entre le caractère séquentiel des opérations microéconomiques et le caractère interdépendant des modèles macroéconomiques est liée au choix - forcé - de la base temporelle dans la modélisation macroéconomique. La périodicité, trimestrielle ou annuelle, des modèles est plus grande que la périodicité des phénomènes économiques et est responsable de l'apparition des interdépendances simultanées et de la circularité causale.

Par son "principe de correspondance", FISHER [1970] établit que la condition pour qu'un modèle interdépendant soit une approximation ou encore une description de l'état d'équilibre d'un modèle séquentiel est que le modèle interdépendant (macroéconomique) soit stable ; ce dernier est ainsi considéré comme le résultat d'un processus de convergence du modèle séquentiel et donc comme le résultat d'un processus d'équilibre intrapériodique (établi au cours du trimestre ou de l'année).

Ainsi, derrière la relation de causalité  $C$  liée au modèle macroéconomique et sa dissymétrie cause-effet, se profile une dissymétrie temporelle légitimée par le modèle séquentiel sous-jacent ; de ce fait, la causalité circulaire  $C_C$  devient intellectuellement admissible.



Par exemple, si nous considérons le cercle causal de STROTZ et WOLD :

$$\begin{cases} p(t) = a_1 + b_1 q(t) \\ q(t) = a_2 + b_2 p(t) \end{cases}$$

On lit que  $q(t)$  est cause de  $p(t)$  et que  $p(t)$  est cause de  $q(t)$ . Cette affirmation semble se contredire mais elle se comprend comme un équilibre où certaines relations mutuelles doivent être satisfaites ; plus précisément, cet équilibre est intrapériodique et les "vraies" équations sont :

$$\begin{cases} p(t) = a_1 + b_1 q(t - \Delta\theta_1) \\ q(t) = a_2 + b_2 p(t - \Delta\theta_2) \end{cases}$$

Nous retrouvons la problématique de FISHER où le modèle simultané est dû à une base de temps supérieure à  $\Delta\theta_1$  et à  $\Delta\theta_2$  et les processus séquentiels convergent vers les valeurs d'équilibre décrites par le cercle causal.

Maintenant, considérons la bicausalité de STROTZ et WOLD :

$$\begin{cases} q(t) = c_1 + d_1 p(t) & \text{(demande)} \\ q(t) = c_2 + d_2 p(t) & \text{(offre)} \end{cases}$$

On lit que  $p(t)$  est cause de  $q(t)$  selon les deux équations. Mais cette redondance surprenante cache le modèle suivant :

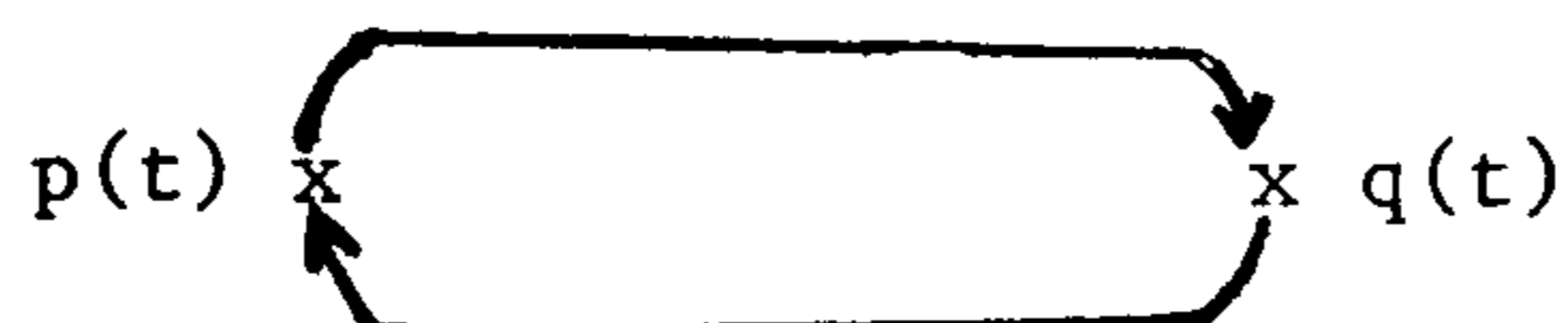
$$\begin{cases} q_d(t) = c_1 + d_1 p(t) & \text{(demande)} \\ q_s(t) = c_2 + d_2 p(t) & \text{(offre)} \\ q_d(t) = q_s(t) & \text{(équilibre)} \end{cases}$$

Là encore, l'équilibre est réalisé par un processus séquentiel d'ajustement de  $p$  :

$$p(t) = p\{t, q_d(t - \Delta\theta), q_s(t - \Delta\theta), p(t - \Delta\theta)\}$$

Par conséquent, dans les deux cas évoqués, la circularité est la manifestation d'un processus d'ajustement séquentiel (idée souvent reprise en économie - notamment dans le modèle connu du commissaire-priseur -). Les équations symbolisent soit la formation conjointe de l'offre et de la demande, soit directement l'état d'équilibre obtenu itérativement sur un marché.

Les deux cas sont d'ailleurs si proches qu'ils se traduisent par un même graphe G :



A partir de cas simple (deux variables et un seul circuit), il est licite d'opérer une généralisation à des cas plus complexes comportant un grand nombre de variables et dont le graphe rassemble un grand nombre de circuits de longueur quelconque; alors de nombreux équilibres distincts se réalisent simultanément dans le modèle bien que leur base de temps respective soit probablement différente.

Cette démarche d'analyse des simultanités constitue précisément la troisième étape de la lecture ; elle a pour objet la recherche des processus séquentiels d'équilibrage sous-jacents aux interdépendances simultanées et donc la recherche des circuits économiques pertinents compris dans le modèle ; elle est couramment reconnue comme la recherche des BOUCLAGES du modèle.

Dans leur méthode d'analyse des modèles intitulée "méthode des structures de résolution", DELEAU et MALGRANGE [1978] introduisent des variables de bouclage ; ces dernières ont la propriété de lever l'interdépendance d'un modèle lorsqu'elles sont fixées, autrement dit leur exogénéisation fournit un sous-modèle récursif et la relation de causalité C devient hiérarchique (le graphe G correspondant à toutes ses c.f.c. réduites à un seul sommet). La méthode de DELEAU et MALGRANGE a pour but l'examen des bouclages, c'est-à-dire de la modification issue de la réintroduction des variables de bouclage dans le sous-modèle récursif.

Alors que DELEAU et MALGRANGE modifiaient le modèle analysé en le résolvant partiellement, KELLER [1970] le conserve intégralement et détermine les variables de bouclage pour la résolution itérative du modèle. A la k-ième itération, les

valeurs d'amorçage des variables de bouclage  $y_k$  permettent le calcul récursif des autres variables du modèle puis celui des nouvelles valeurs des variables de bouclage  $y_{k+1}$  ; la solution - qui est la valeur d'équilibre si on imagine que ce processus mathématique illustre un mécanisme séquentiel sous-jacent et convergeant au cours de la période - est obtenue à la 1-ième itération lorsque les valeurs d'amorçage  $y_1$  sont égales aux valeurs finales  $y_{1+1}$ .

KELLER propose de sélectionner les variables de bouclage afin d'obtenir par leur suppression "le plus grand sous-graphe possible compatible avec une relation d'ordre" c'est-à-dire le plus grand sous-graphe hiérarchique. Autrement dit, il cherche le plus petit nombre de variables dont la suppression fournisse un sous-modèle récursif ou un sous-graphe hiérarchique. On appellera maintenant ensemble de bouclage, un ensemble de variables de bouclage, ensemble minimal de bouclage, un ensemble de bouclage dont aucun sous-ensemble n'est ensemble de bouclage, ensemble minimum de bouclage, un ensemble minimal de bouclage de cardinal minimal (pour un modèle donné) et index du modèle, le cardinal minimal.

Bien que MODULECO utilise des algorithmes de résolution du type Newton ou Séchantes pour la résolution des modèles plutôt que du type Gauss-Seidel comme le suggère KELLER, il recherche d'abord comme KELLER un ensemble minimum de bouclage (voir NEPOMIASTCHY, RAVELLI et RECHENMANN [1978]). Ainsi se définit une première approche des bouclages que nous qualifierons de "mathématique" et qui tend à minimiser leur nombre.

Néanmoins, BRILLET [1981] fait remarquer que l'algorithme de Gauss-Seidel, qu'on interprète économiquement comme un processus d'équilibration intrapériodique, ne converge pas toujours avec un ensemble minimum de bouclage et qu'on est souvent obligé d'agrandir l'ensemble de bouclage pour assurer la convergence. Ainsi, l'algorithme de résolution le plus fidèle à la vision économiste de l'interdépendance n'est pas toujours compatible avec l'idée de minimalité du cardinal de l'ensemble de bouclage.

A la lecture des textes de MUET [1979] ou de LAFFARGUE [1980] par exemple on interprète plutôt les bouclages comme des corrections marginales du sous-modèle récursif ; cette approche "économique" (\*) tend à distinguer dans

-----  
(\* ) Les caractérisations des approches comme mathématique ou économique sont des appellations commodes et ne contiennent aucun jugement de valeur.

l'équilibre général représenté par le modèle un versant fort représenté par le sous-modèle récuratif et un versant faible représenté par les bouclages. On s'attache alors à obtenir un sous-système récuratif en minimisant l'impact et non le nombre des variables de bouclage. De ce fait, alors que l'approche "mathématique" est purement qualitative, l'approche "économique" prend en compte l'aspect numérique (ou quantitatif) du modèle puisque c'est l'erreur entraînée par la suppression des bouclages qui doit être minimisée.

Ainsi, nous dégagons deux approches dont on ne saisit pas toujours la distinction et qui nous permettent d'obtenir une hiérarchie approximative mais plus fine que celle de la seconde étape de la lecture. Nous pensons que l'approche "économique" donne une approximation hiérarchique pertinente dans le cadre de la lecture d'un économiste, et que c'est elle que nous devons retenir pour sa troisième étape. Contrairement à la seconde étape qui est invariante par rapport à la première étape de la lecture, il semble que cette troisième étape dépende de l'affectation des variables aux équations réalisée dans la première ; en particulier, il est facile de démontrer pour l'approche "mathématique" que l'index varie en fonction de l'affectation des variables aux équations (voir BOUTILLIER [1982]).

Pour étayer notre thèse, nous avons fait tourner le programme m.m.g. de GILLI et ROSSIER [1981] sur le graphe de la lecture keynésienne de la maquette (sans effets de patrimoine) par LAFFARGUE [1980] pour examiner les résultats. La figure (1) représente le graphe et la figure (2) les ensembles minima de bouclage.

Figure (1) : Graphe de la lecture keynésienne de la maquette de LAFFARGUE.

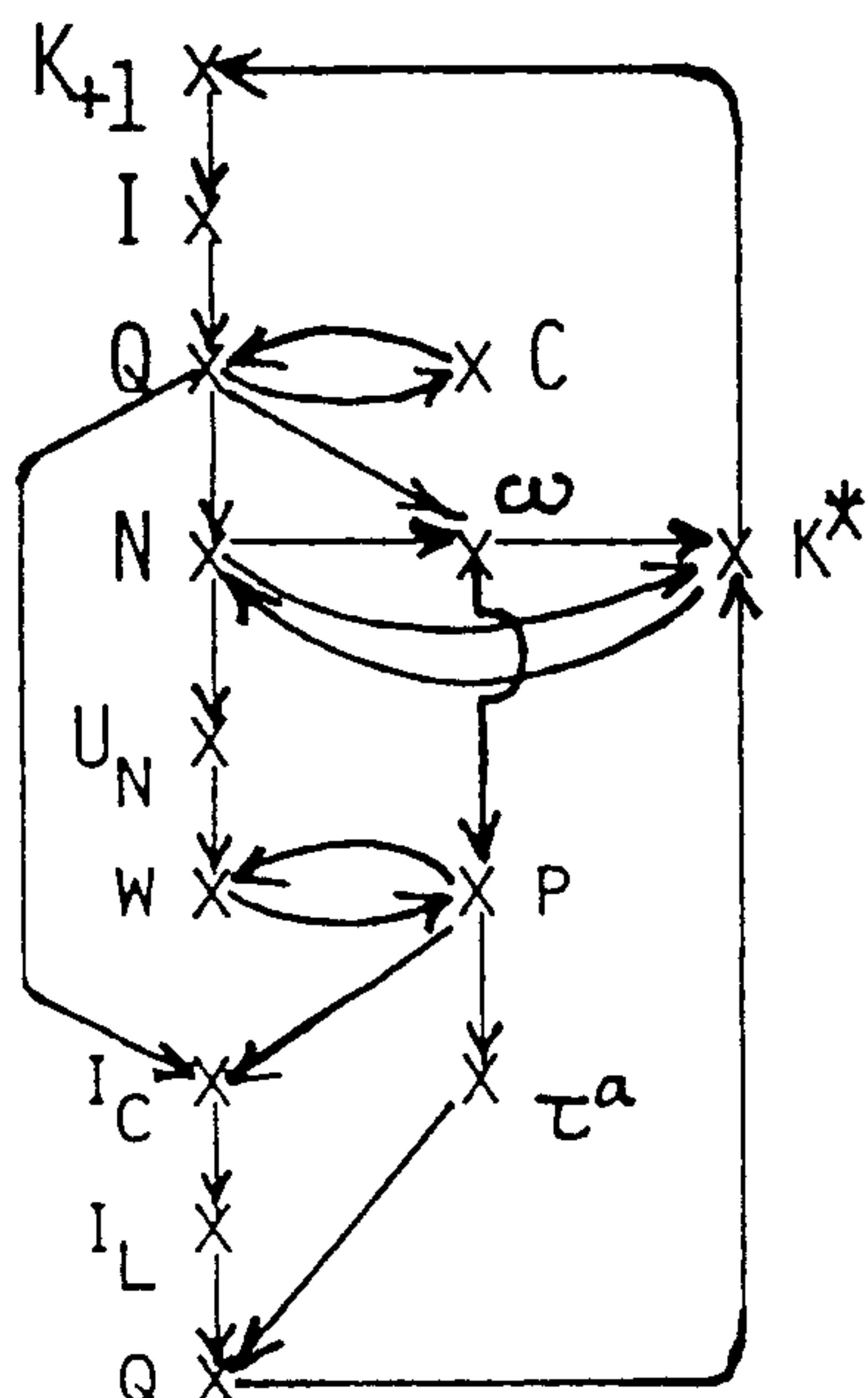


Figure (2) : Ensembles minima de bouclage de la lecture keynésienne de la maquette de LAFFARGUE.

- { K\*
- { Q
- { P
- { K\*
- { Q
- { ω
- { K\*
- { C
- { P
- { K\*
- { C
- { ω
- { N
- { Q
- { P
- { N
- { Q

Il est remarquable que le coût du capital  $q$  donné par LAFFARGUE comme variable de bouclage du modèle dans la lecture keynésienne n'apparaisse jamais dans un ensemble minimum de bouclage (de cardinal 3). Pourtant, les résultats sont facilement explicables par les propriétés topologiques du graphe :

- les paires  $(C, Q)$ ,  $(w, p)$  et  $(K^*, N)$  forment des doublets, à ce titre, au moins un élément de ces paires fait partie d'un ensemble minimum.

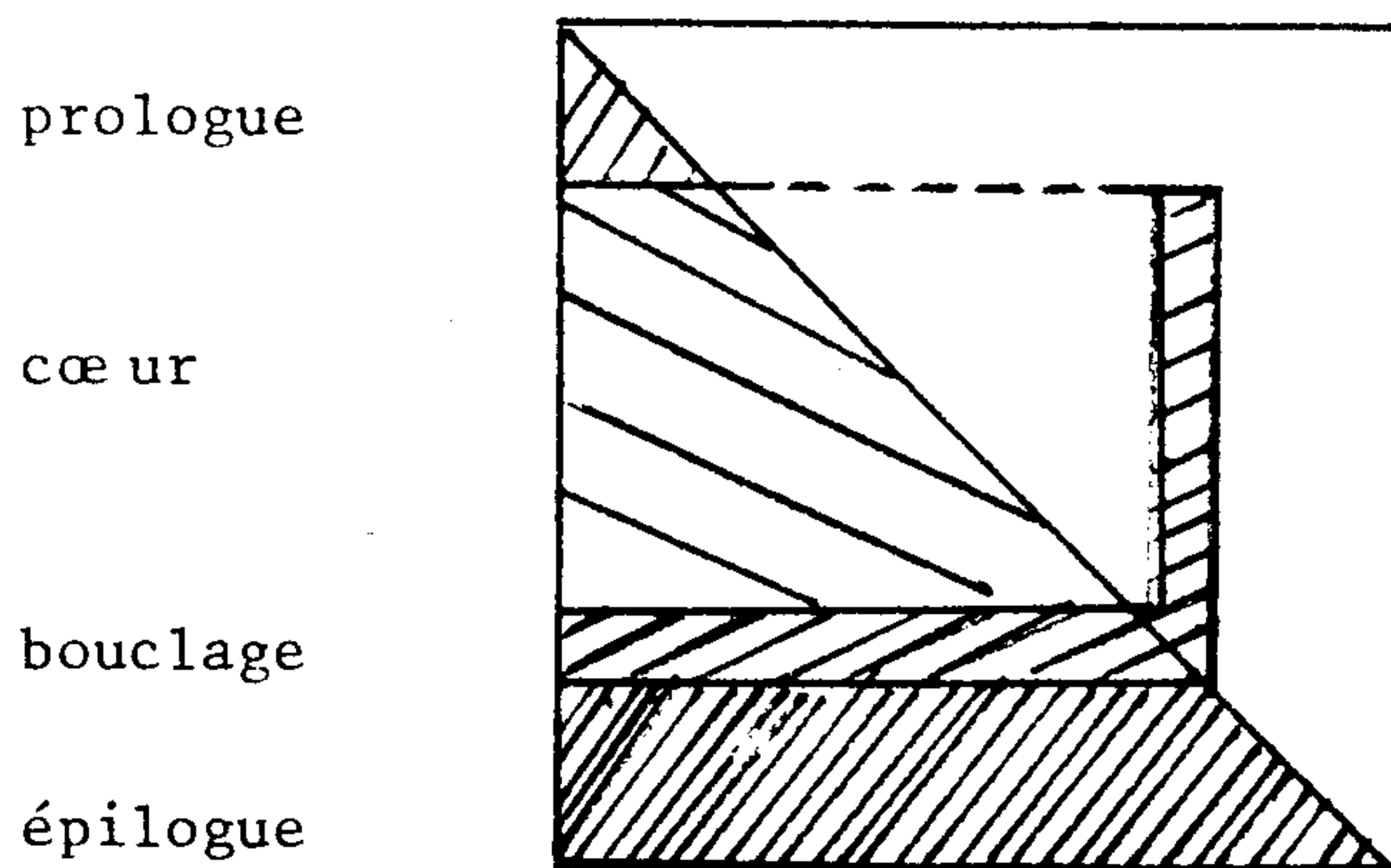
- dans les doublets  $(C, Q)$  et  $(K^*, N)$ ,  $C$  et  $N$  sont moins "bien" situés dans le graphe (moins de circuits passent par eux) et, de ce fait, les retenir dans un ensemble de bouclage fait courir le risque d'augmenter le cardinal de cet ensemble.

Toutes ces propriétés sont purement combinatoires, généralement sans interprétation économique, et il n'est donc pas étonnant qu'elles conduisent à des ensembles minima de bouclage qui ne comportent pas la variable  $q$  déterminée par l'intuition économique.

Notre distinction entre approches "mathématique" et "économique" - qui n'est pas une contradiction puisqu'il peut y avoir coïncidence - se trouve confirmée par ce résultat expérimental comme elle l'était déjà par les remarques de BRILLET [1981].

Cependant, certaines permanences dans la structure des modèles assurent la présence fréquente de certaines variables : en premier lieu, la demande (ou la production ou la valeur ajoutée) qui joue un rôle central dans le secteur réel des modèles apparaît dans de nombreux doublets et appartient à de nombreux ensembles minima. Par ailleurs, la "boucle salaires-prix" est une constante et entraîne l'apparition d'une variable représentative des salaires et plus souvent des prix dans les ensembles minima. Ainsi, certaines propriétés topologiques du graphe de causalité s'expliquent en partie par la spécification des équations faite par le modélisateur.

Ces remarques sur la fréquence de certaines variables dans les ensembles minima de bouclage sont confirmées par les résultats de notre procédure écrite en PASCAL qui trouve un ensemble minimum de bouclage (voir BOUTILLIER [1982]). Il permet d'écrire la matrice booléenne de la plupart des modèles sous la forme suivante (inspirée de NEPOMIASTCHY, RAVELLI et RECHENMANN [1978]) :



Les résultats (sur les mêmes modèles que dans le tableau (1) ) sont regroupés dans le tableau (2). Nous constatons effectivement la présence de variables de revenu national ou de production et de prix dans tous les modèles ; de plus, les modèles où est réalisée une intégration monétaire et financière (FAIR, FRB-MIT-PENN et METRIC) donnent un ensemble minimum comportant des variables monétaires et financières.

Tableau (2) : Résultats de la recherche d'un ensemble minimum de bouclage

	Maquette lecture		Wharton	FAIR	MINI-DMS	FRB-MIT-PENN	METRIC
	k.	c.					
Nombre de variables endogènes	15	15	77	83	166	168	426
Nombre de liaisons causales	25	25	187	219	662	360	1025
Temps de calcul (s. CPU)	0,23	0,23	1,14	1,94	5,1	21	55
index	3	3	7	6	7	10	22
Ensemble de bouclage minimum trouvé . ( <sup>1</sup> désigne les variables production revenu ... <sup>2</sup> les variables de prix et <sup>3</sup> les variables monétaires ou financières.)	Q <sup>1</sup> p <sup>2</sup> K <sup>*</sup>	Q <sup>1</sup> τ <sup>a</sup> ω	NI <sup>1</sup> U <sub>n</sub> <sup>1</sup> Y <sup>1</sup> p <sup>2</sup> P <sub>c</sub> <sup>2</sup> X <sub>m</sub> N <sub>m</sub>	X <sup>1</sup> RBILL <sup>3</sup> LF <sup>3</sup> PX <sup>2</sup> IBTH YNLH	aut2 aut1 pu1 <sup>2</sup> pu2 <sup>2</sup> pc <sup>2</sup> df1 <sup>1</sup> df2 <sup>1</sup>	XOBE <sup>1</sup> YP\$ <sup>1</sup> lnLMHT DCL\$ <sup>3</sup> RTB <sup>3</sup> PXBNF <sup>2</sup> EC YPCC\$ YS\$ <sup>1</sup> POBE <sup>2</sup>	EXIFOB ROM <sup>1</sup> MCH CHO EFS TXTC <sup>3</sup> XI <sup>1</sup> CM LDO RBE DEV1 IMI PCME <sup>2</sup> XBSW <sup>1</sup> PXBI <sup>2</sup> PREI <sup>2</sup> PREA <sup>2</sup> PCM XBEW <sup>1</sup> XC <sup>1</sup> XS <sup>1</sup> XB <sup>1</sup>

5 - CONCLUSION

Cette étude propose de rassembler les opérations d'analyse d'un modèle par un économiste dans le concept de lecture qui se compose de trois phases abstraites.

Un modèle macroéconomique étant de nature explicative, on construit dans un premier temps une relation de causalité entre les variables endogènes ; du fait de sa non-unicité, il faudrait chercher à savoir quelle est la meilleure et peut-être ceci n'est possible qu'en relation avec les résultats de la troisième phase.

La deuxième étape fournit une hiérarchie causale stricte des variables endogènes mais la compréhension ainsi apportée sur la structure des modèles est généralement faible.

La troisième phase va plus loin en calculant une hiérarchie causale approchée mais plus fine des variables endogènes. Ici, on opère une démarcation entre le traitement d'un modèle en vue de sa résolution ou de sa représentation graphique et la lecture économiste d'un modèle ; pour cette dernière, peu importe le nombre de bouclages négligés pour obtenir une hiérarchie approchée, du moment que l'aspect numérique du modèle est pris en compte afin de minimiser l'importance quantitative des bouclages dans l'interdépendance. La logique économique de la lecture suppose qu'on recherche les ensembles de bouclage de poids minimal et nous pensons que c'est possible en "pesant" chaque liaison par rapport à la dynamique du modèle.

B I B L I O G R A P H I E

---

Ando A., Modigliani F. & Rasche R. [1972] :

"Equations and definitions of variables for the FRB-MIT-PENN econometric model" - november 1969 - in B.G. Hickmann (ed.), Econometric models of cyclical behavior. NBER studies in income and wealth n° 36, Columbia University Press.

Bentzel R. & Hansen B. [1954] :

"Recursiveness and interdependency in economic models" - Review of Economic Studies , vol XXII.

Boutillier M. [1982] :

"Lecture des modèles macroéconomiques ; recherche des bouclages" - Thèse de 3ème cycle, Université de Paris I.

Brillet J.L. [1981] :

"La convergence des modèles : développement d'un exemple simple" - Note INSEE-Service des Programmes, n° 320/202 (9 septembre 1981).

Brillet J.L. 1981 bis :

"MINI-DMS, modèle macroéconomique de simulation"- Archives et documents n° 35, INSEE, Paris.

Deleau M. & Malgrange P. [1978] :

L'analyse des modèles macroéconomiques quantitatifs - Economica, Paris.

Fair R.C. [1976] :

A model of macroeconomic activity - vol II : the empirical model. Ballinger, Cambridge (MA).

Fisher F.M. [1970] :

"A correspondance principle for simultaneous equation models" - Econometrica, vol. 38, n°1.

Gilli M. [1979] :

"Etude et analyse des structures causales dans les modèles économiques" - Lang (thèse de doctorat ès Sciences Economiques, Genève).



Gilli M. & Rossier E. [1981] :

"Understanding complex systems"- Automatica, vol 17, n°4.

Hénin P.Y. [1974] :

"Sur la définition des structures causales en Econométrie " - Cahiers du Séminaire d'Econométrie - CNRS n°15.

Keller A. [1970] :

"Etude structurelle de quelques modèles mathématiques de prévision économique à court terme" - Mémoire de D.E.S. de Sciences Economiques, F.D.S.E. de l'Université de Paris.

Laffargue J.P. [1980] :

"Les modèles dynamiques de politique économique : dialogue entre le théoricien et l'économètre" - Annales de l'INSEE, n° 40.

METRIC [1977] :

Annales de l'INSEE, n° 26-27.

Muet P.A. [1979] :

"La modélisation macroéconomique : une étude de la structure et de la dynamique des modèles macroéconomiques" - Statistiques et études financières, série orange, n° hors série.

Népomiatshy P., Ravelli A. & Rechenmann F. [1978] :

"An automatic method to get an econometric model in a quasi-triangular form" - Rapport de recherche I.R.I.A. n° 313.

Rossier E. [1979] :

Economie structurale - Economica, Paris

Simon H.A. [1957] :

Causal ordering and identifiability - in Models of Man, Social and Rational (part 1, ch. 1) - J.Wiley & Sons.

Strotz R.H. & Wold H.O.A. [1960] :

"Recursive versus non-recursive systems : an attempt at synthesis" - Econometrica, vol 28, n° 2.