



National Library of Canada

Cataloguing Branch
Canadian Theses Division

Ottawa, Canada
K1A 0N4

Bibliothèque nationale du Canada

Direction du catalogage
Division des thèses canadiennes

NOTICE

The quality of this microfiche is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us a poor photocopy.

Previously, copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this film is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30. Please read the authorization forms which accompany this thesis.

**THIS DISSERTATION
HAS BEEN MICROFILMED
EXACTLY AS RECEIVED**

AVIS

La qualité de cette microfiche dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de mauvaise qualité.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, examens publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de ce microfilm est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30. Veuillez prendre connaissance des formules d'autorisation qui accompagnent cette thèse.

**LA THÈSE A ÉTÉ
MICROFILMÉE TELLE QUE
NOUS L'AVONS REÇUE**

UNE APPROCHE SYSTEMIQUE
A L'ANALYSE DE LA STABILITE STRUCTURALE

par
Hiep N. Cao

Thèse présentée à l'Ecole des études supérieures
de l'Université d'Ottawa en vue de l'obtention
du doctorat en Science économique.

Ottawa, Canada, 1979

RECONNAISSANCE

L'auteur voudrait exprimer ses sincères remerciements au professeur Camilo Dagum, Ph.D., du Département de Science Economique, Faculté des Sciences Sociales, Université d'Ottawa, sous la direction duquel cette thèse a été préparée.

Une bourse généreuse du Conseil des Arts du Canada, durant les années 1974-1977, a grandement facilité la poursuite de ces recherches.

Ce travail de longue envergure exigeant plus que des réflexions intellectuelles, je dois beaucoup de reconnaissance à mon épouse Chau, et à mes parents qui ont su partager mes joies et mes inquiétudes.

CURRICULUM STUDIORUM

Hiep N. Cao naquit à Hanoi, Vietnam, le 24 Novembre 1948. Il obtint sa Licence ès Sciences Economiques et Commerciales de l'Université de Lausanne, Suisse, en Mars 1971. Il reçut sa Maîtrise en Science Economique de l'Université d'Ottawa en Octobre 1973. Pendant l'année académique 1977-1978, il fut professeur invité à l'Universidad Catolica del Peru, Lima, Pérou.

TABLE DES MATIERES

Chapitres	Pages
INTRODUCTION	viii
I SUR LES CONCEPTS DE STRUCTURE ET SYSTEME	1
A. Définitions et rôles du concept de structure	2
B. Définitions et rôles du concept de système	19
C. Synthèse sur les notions de structure et système	26
II LES ELEMENTS D'UNE THEORIE DE LA STRUCTURE	47
A. Définitions de base	48
B. Propriétés dynamiques d'un système	56
C. Structure et graphe	73
D. Hypothèse de travail et méthodologie de l'analyse structurale	81
Conclusion du chapitre	89
III STABILITE STRUCTURALE ET ANALYSE ECONOMETRIQUE	91
A. Le concept de structure dans un modèle économétrique	92
B. Stabilité structurale	102
C. Causalité	117
D. Analyse de la stabilité structurale du modèle de Girshick et Haavelmo	132
Conclusion du chapitre	144
IV L'ANALYSE ENTREE-SORTIE ET LE CONCEPT DE DEPENDANCE	148
A. Le concept de structure dans un modèle entrée-sortie	149
B. Stabilité structurale	160
C. Analyse de la stabilité du modèle de Leontief .	168
Conclusion du chapitre	
CONCLUSION	188
BIBLIOGRAPHIE	190
APPENDICE	203
ABSTRACT OF Une approche systémique à l'analyse de la stabilité structurale	211

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Pages
1.1 Tableau synthétique des éléments des structures et des systèmes	33
1.2 Niveaux de complexité et propriétés des systèmes	43
3.1 Interprétation du concept de causalité	129
3.2 Estimation du modèle de Girshick et Haavelmo par différentes méthodes	138
3.3 Statistiques calculées d'après les différentes méthodes d'estimation	139
3.4 Tests de changement structural pour T_1 (1922-1931) et T_2 (1932-1941)	141
3.5 Test de stabilité structurale du modèle de Girshick et Haavelmo	143
4.1 Taux de croissance réelle annuelle de la demande finale et de la production sectorielle des Etats-Unis, 1919, 1929 et 1939	170
4.2 Matrice booléenne de la demande inter-industrielle de l'économie des Etats-Unis en 1919, 1929 et 1939	175
4.3 Matrice des écarts de la demande inter-industrielle de l'économie des Etats-Unis en 1919, 1929 et 1939	176
4.4 Indice d'interrelation industrielle de l'économie des Etats-Unis, 1919, 1929 et 1939	177
4.5 Indice sectorielle du "pouvoir de dispersion" et de la "sensibilité de dispersion" de l'économie des Etats-Unis, 1919, 1929 et 1939	179
4.6 Effets sur la production industrielle de la substitution des coefficients techniques de 1929 dans la matrice de 1919	182

Tableaux	Pages
4.7 Effets sur la production industrielle de la substitution des coefficients techniques de 1939 dans la matrice de 1929	183
4.8 Taux de changement et erreur-type de la prédiction dus à la substitution des coefficients techniques de 1929 dans la matrice de 1919	184
4.9 Taux de changement et erreur-type de la prédiction dus à la substitution des coefficients techniques de 1939 dans la matrice de 1929	185

LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1.1 Le système social et son environnement	32
2.1 Graphe d'un élément actif	49
2.2 Graphes de couplage	50
2.3 Multigraphe de couplage	53
2.4 Graphe orienté de couplage de la structure primaire	54
2.5 Les trois formes de représentation d'une structure	55
2.6 Types de systèmes	57
2.7 Effet du changement structural sur l'équilibre et la stabilité	63
2.8 Economie avec deux points critiques	68
2.9 Ensemble admissible du problème de programmation linéaire	70
2.10 Espace paramétrique et solution au problème de programmation linéaire	70
2.11 Catastrophe dans un problème de programmation linéaire	71
2.12 Types fondamentaux de localisation du noyau selon Morgenstern	84
3.1 Structure-objectif et modèle	93
3.2 Région de stabilité du modèle de marché de Wold ...	113
4.1 Structure de l'économie des Etats-Unis 1919, 1929 et 1939 à 5% et 10% de signification	172

INTRODUCTION

Le problème, ses limites

L'objet de cette recherche est l'étude du rôle et de l'applicabilité du concept de "stabilité structurale" dans la science économique.¹ Introduit par Frisch dans l'économétrie sous le nom d'"autonomie structurale", et systématisé par Haavelmo, le concept reçu la nouvelle dénomination de "permanence structurale" sous les propositions des économistes R. Bentzel et B. Hansen au Congrès International de la Econometric Society à Uppsala en 1954.² Dans la décennie qui suivit, alors qu'un grand nombre d'économistes se penchaient sur l'analyse économétrique comme instrument privilégié pour dégager les éléments de la structure d'un système économique, le problème de la stabilité structurale ne fut que peu traité, tout au moins, dans le contexte d'un modèle économétrique à équations simultanées. Ce n'est qu'en 1968 que le concept fut de nouveau réemployé par Dagum dans un article de fond où il pose les éléments fondamentaux

¹ On emploiera dans notre recherche l'adjectif "structural" dans des cas bien précis, au lieu de "structurel". Bien que les deux adjectifs peuvent être utilisés indifféramment en français, il est reconnu que le terme de "structurel" est plus usuellement employé comme adjectif lorsqu'on veut faire la description d'un objet ou un phénomène comme un ensemble d'éléments; alors que le terme "structural" est plus directement relié à l'approche structuraliste lorsqu'on veut souligner la méthode ou la philosophie à laquelle on souscrit. Voir à ce propos, Raymond Boudon, A Quoi Sert la Notion de Structure? (Paris: Gallimard, 1968), note 15, chap. 3.

² Ragnar Frisch, "Statistical versus Theoretical Relations in Economic Macro-Dynamics", Miméo., Business Cycle Conference at Cambridge, Angleterre, juillet 1938. Trygve Haavelmo, "The Probability Approach in Econometrics", Econometrica 12, Supp. (1944).

de son axiomatisation.³ En 1974, le concept fut l'objet d'une reformulation nouvelle sous le terme de "stabilité structurale" et d'une intégration dans la théorie économétrique.⁴

Dans les autres sciences sociales également, on s'est rendu compte que les concepts de "structure" et de "système" ont pris de l'importance. On assiste à un courant de pensée qui veut que tout objet soit considéré comme un système et en tant que tel, possède une structure. Mais les termes de structure, système, stabilité structurale sont-ils juste des mots à la mode, un jargon vide de sens, incapable d'une définition précise? Pourquoi sont-ils importants pour les sciences sociales?

Dagum et Dagum ont répondu en ces termes:⁵

Le concept de la stabilité structurale acquiert une importance spéciale qui permet d'envisager d'une façon dynamique l'explication d'une réalité, de localiser les secteurs vulnérables, ses dépendances et dualismes en même temps qu'il participe avec fruit au fondement des prévisions scientifiques et à la prise des décisions. Ces objectifs de la prévision et de la décision seront mieux atteints si l'on part de la connaissance fondée, fournie par l'analyse de la stabilité structurale.

³ Camilo Dagum, "Structural Permanence. Its Role in the Analysis of Structural Dualisms and Dependences and for Prediction and Decision", Research Memorandum no. 98, Econometric Research Program, Princeton University, (1968), rep. dans Zeitschrift Fur die Gesamte Staatswissenschaft Band 125, Heft 2, (1969): 211-35.

⁴ C. Dagum et Estela B. Dagum, "Construction de Modèles et Analyse Econométrique", Economies et Sociétés 8, no. 11-12, (1974): 1649-2146.

⁵ Ibid., p. 2055.

Non seulement il est important de définir et de formaliser les concepts de structure, de système et de stabilité structurale, encore faut-il connaître le processus de changement structural. En d'autres termes, l'étude épistémologique des concepts doit être suivie d'une analyse qualitative et quantitative de la structure. Dans cette recherche, nous essaierons de faire ce triple effort: de conceptualisation, de recherche méthodologique et de quantification. Dans notre cas, ce triptyque est dicté par la nécessité, dans un domaine où les recherches sont encore à l'étape préliminaire.

En résumé, cette thèse tentera de:

- 1) faire une synthèse, du point de vue systémique des concepts de structure et de système employés dans les sciences sociales. Cette synthèse permettra de souligner le rôle de ces concepts dans la recherche en sciences sociales.
- 2) proposer une méthodologie générale pour l'analyse du changement structural en élaborant un modèle conceptuel pour l'étude de la stabilité structurale.
- 3) L'application de cette méthodologie aux deux domaines privilégiés de la science économique où l'analyse structurale est en rigueur, soient l'analyse économétrique et l'analyse entrée-sortie.

Méthodologie et organisation de la recherche

Le premier chapitre ouvre la discussion sur un plan purement épistémologique et conceptuel. Les concepts de structure et système seront l'objet d'une analyse inter- et intra-disciplinaire pour en dégager les éléments communément acceptables dans toutes les disciplines sociales. Pourquoi une telle analyse s'avère t-elle utile?

Sur le plan logique, nous nous sommes demandés si à travers les multiples définitions de ces concepts, on ne trouverait pas un invariant, si à travers les nombreuses théories qui se chevauchent, il n'existerait pas une méthodologie commune? Avec le besoin croissant d'une science pluri-disciplinaire, face à une spécialisation à outrance, cet invariant, ce fondement conceptuel ou cette méthodologie ne devient-il pas le noeud essentiel pour une communication fructueuse entre les disciplines? Sur le plan pratique, il s'avèrerait inconséquent de s'engager dans une étude de la stabilité structurale sans en définir au préalable les concepts de structure et système qui l'englobent.

Le deuxième chapitre poursuit l'effort conceptuel sur le plan de la formalisation. Système et structure retrouvent alors leurs places dans des définitions mathématiques basées sur la théorie des graphes. Un cadre conceptuel pour l'analyse de la stabilité structurale de tout système réel guidera la marche à suivre dans les chapitres suivants.

Le troisième chapitre traitera de l'approche économétrique à l'étude de la structure sous l'angle de la causalité. Une définition formelle de la causalité, tout en préservant le caractère sémantique et opérationnel du terme, permettra néanmoins de classer les structures selon la spécification du modèle économétrique. Cette notion de la causalité sera ensuite utilisée comme base conceptuelle pour une analyse de la stabilité structurale du modèle.

A titre illustratif de l'application de la méthodologie qui est préconisée au chapitre deux, nous analyserons la stabilité structurale du modèle économétrique à équations simultanées proposé par Girshick

Haavelmo.⁶

Le quatrième et dernier chapitre continue cet effort analytique sur le plan de l'analyse de la stabilité structurale dans un modèle entrée-sortie. Suivant la même démarche analytique: définition rigoureuse des éléments et relations, aperçu synoptique des tests de changement structural, et analyse empirique de la stabilité structurale. Cette dernière étape est illustrée en prenant les tableaux entrée-sortie des Etats-Unis pour les années 1919, 1929 et 1939 comme données.

En guise de conclusion, des suggestions de recherches futures seront proposées.

⁶ M.A. Girshick et T. Haavelmo, "Statistical Analysis of the Demand for Food: Examples of Simultaneous Estimation of Structural Equations", Econometrica 15, (1947): 79-110.

CHAPITRE PREMIER

SUR LES CONCEPTS DE STRUCTURE ET SYSTEME

Qu'est ce qu'une structure? Qu'elle est la signification du mot système? Des difficultés sémantiques surgissent immédiatement dès qu'on en vient aux définitions et signification des mots. Ce premier chapitre, qui se veut exploratoire, tente d'apporter au débat actuel sur l'approche structurale et l'approche systémique, quelques points de repères de nature conceptuelle.

Nous visons un but précis dans ce chapitre: nous tenterons de faire une synthèse et un essai d'évaluation des concepts de structure et de système à partir des multiples définitions rencontrées dans les sciences sociales. Une telle synthèse, dans la mesure où elle atteint son but, débouchera sur une définition minimale, c'est à dire assez abstraite pour être facilement transposée d'un domaine de connaissances à un autre, mais aussi assez précise pour être formalisable.

Savoir si l'objet de référence existe, à travers le mot, c'est d'abord avoir une notion de ce que le mot désigne en d'autres termes "l'ensemble des opérations qui lui correspondent."¹ Or dans les sciences sociales, les termes de structure et système existent non pas indépendamment de l'observateur, ce dernier faisant partie

¹ Percy W. Bridgman, The Logic of Modern Physics (New York: McMillan, 1927), p.5.

intégrante de la réalité même qu'il essaie de comprendre. L'inclusion du chercheur dans la chose à étudier rend la tâche de l'interprétation plus difficile. Dans les sciences naturelles, le terme de structure désigne,² dans le sens le plus commun, celui qu'on retrouve dans tous les dictionnaires classiques: "la manière dont les parties d'un tout sont arrangées entre elles." Par contre, pour un chercheur dans les sciences sociales, cette observation n'est possible, dans la plupart des cas, qu'à travers l'histoire. L'expérimentation est, en règle générale, impossible à réaliser. Ceci donne lieu à des interprétations multiples d'un même phénomène ou d'une même structure observée.³ Ce sont ces interprétations que nous allons passer en revue.

A. Définitions et rôles du concept de structure

A première vue, il semble que le terme de structure a autant de définitions que d'auteurs, ce qui fait dire à Machlup d'une manière, peut-être, exagérée:

Le terme de "structure" fonctionne dans quelques cercles éduqués comme l'expression "vous voyez ce que je veux dire" parmi les gens moins savants.

² du latin *struere*, qui veut dire assembler, construire.

³ Sur l'importance et la difficulté d'arriver à une synthèse du concept de structure dans les sciences, voir la conclusion du Colloque International sur les Sens et Usages du terme Structure dans les Sciences Humaines et Sociales (Paris, The Hague: Mouton, 1972). Voir aussi Centre International de Synthèse, Notion de Structure et Structure de la Connaissance (Paris: Albin Michel, 1957); et Raymond Boudon, A quoi sert la Notion de "Structure"? (Paris: Gallimard, 1968).

et de prononcer son jugement:

Je n'utiliserai pas le terme de structure dans ses significations imprécises... Je refuserai énergiquement tout usage du terme dans ses significations suspectes... En général, le terme apparaît le plus souvent dans la forme d'un jargon dont on pourrait se passer, ou sous la forme d'un mot creux, et rarement, comme un terme technique avec un sens précisément défini.⁴

La structure devient un terme commode, et à la mode, pour désigner tout objet, phénomène ou idée dont le sens exact est difficile à définir, mais qui possède une certaine uniformité ou un certain ordre dont l'auteur voudrait éviter la description. Un tel abus des termes ne peut que nuire à la connaissance qui exige une définition précise et un emploi adéquat des termes. Ce qui suit est une tentative de synthèse des définitions significatives rencontrées dans les sciences sociales.

Définitions de la structure en sociologie

La sociologie est particulièrement riche en définitions de structure. Sous l'influence des auteurs tels que Weber, Parsons, Radcliffe Brown, la sociologie a pris un tournant décisif et peut se définir comme la branche des sciences qui étudie les "formes" de la structure sociale. Pour la discussion qui suivra, nous avons retenu, à titre de référence, les quatre définitions suivantes de la structure sociale.

Définition 1: Le terme de structure sociale désigne un système de relations sociales existantes.⁵

4 Fritz Machlup, Essays in Economic Semantics (New York: Prentice Hall, 1963), p. 96.

5 A.R. Radcliffe Brown, "Structure and Function in Primitive Societies," dans E.E. Evans et als (eds), Structure and Function in Primitive Societies (Glencoe, Illinois: The Free Press of Glencoe, 1952), p. 190.

Définition 2: Les termes de structure sociale ne concernent pas la réalité empirique, mais des modèles qui sont construits d'après celle-ci. Les relations sociales sont la matière première à partir de laquelle on construit des modèles constituant la structure sociale, tandis que la structure sociale ne peut en aucun cas, être réduite à l'ensemble des relations sociales décrites pour une société donnée.⁶

Définition 3: Une simple relation de stimulus-réponse entre deux personnes ne constitue pas une structure sociale. Pour créer une structure, la réponse de A devrait produire des réactions de B de telle manière que les réponses de ce dernier puisse stimuler A à d'autres réponses.⁷

Définition 4: Toute structure est un équilibre précaire, sans cesse à refaire par un effort renouvelé, entre une multiplicité de hiérarchies au sein d'un phénomène social total de caractère macro-sociologique, dont elle ne représente qu'un substitut approché: équilibre entre les hiérarchies spécifiques des paliers en profondeur, des manifestations de la sociabilité, des réglementations sociales, des temps sociaux, des colorations du mental, des modes de division du travail et d'accumulation, et, le cas échéant, des groupements fonctionnels, des classes et de leurs organisations; cet équilibre des hiérarchies multiples est armé et cimenté en particulier par les modèles, signes, symboles, rôles sociaux réguliers et habituels, valeurs et idées, en bref par les oeuvres de civilisation qui sont propres à ces structures, et, si elles sont globales, par une civilisation entière qui les déborde et à laquelle elles participent à la fois comme producteurs et comme bénéficiaires.⁸

La première définition (Radcliffe Brown) met en relief deux points importants: la réalité objective et l'existence des relations sociales

6 Claude Lévy-Strauss, "Structure Sociale," Bulletin de Psychologie 6, (mai 1953): 358-390.

7 Daniel Katz et Robert Kahn, The Social Psychology of Organization (New York: Wiley, 1966), pp. 14-29.

8 Georges Gurvitch, "Le Concept de Structure Sociale," Cahiers Internationaux de la Sociologie 19, (1955): 43, ou dans Georges Gurvitch, Traité de Sociologie, 2 vol. (Paris: Presses Universitaires de France, 1962, 3ième éd. rev. 1967), vol. 1, p. 214.

qui constituent la structure. Cette définition est cependant trop imprécise. Si on comprend par relations sociales, des relations inter-individuelles standardisées (critères, normes, mesures), on définit une culture. Une culture ayant les caractères communs de langage, de comportement, de morale, définit à son tour une société. La définition de Radcliffe Brown reviendrait à définir une structure sociale comme une société. Mais une société comporte une multitude de structures: structure des institutions sociales, structure des mœurs, etc., et une organisation. A défaut de ne pouvoir distinguer entre ces catégories de structures ou sous-structures et entre la structure et l'organisation sociale, la définition de Radcliffe Brown est trop imprécise pour être retenue.

La définition de Lévy-Strauss (déf. 2) ramène le concept de structure sociale à l'idée d'un "modèle" théorique. Selon l'auteur, les structures sociales ne sont pas directement observables, elles sont une pure conceptualisation de l'esprit, un "modèle" qui n'a aucune équivalence avec la "réalité empirique". Cette conception de la structure sociale peut entraîner une certaine confusion de nature sémantique. A la rigueur, on pourrait donc confondre la structure sociale avec le modèle qui, justement, devrait être l'instrument permettant d'expliquer les phénomènes sociaux observés. Alors que Radcliffe-Brown faisant une distinction entre "structures concrètes" et "formes structurelles" pour désigner, dans le premier cas, le phénomène directement observé, et dans le second cas, les formes invariantes de ce phénomène observable, Lévy-Strauss va plus loin et

réduit ces "formes structurelles" à des modèles d'abstraction pure.

Même si la définition de Lévy-Strauss est acceptable dans son ensemble, elle soulève des points d'interrogation dont certains sont difficiles à répondre:

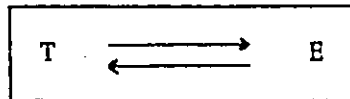
1. La structure sociale ne doit-elle pas concerner la réalité sociale puisqu'elle est le produit de cette réalité? La structure peut-elle être une simple construction de l'esprit?
2. En tant que modèle de la réalité empirique, ce modèle peut-il être une pure conceptualisation de l'esprit? Même le concept de modèle, dans son acceptation actuelle, et défini dans la philosophie des sciences comme un processus analytico-dialectique, ne peut se réduire à une simple abstraction.⁹

Le processus de modélisation d'une structure observée est tout d'abord analytique puisqu'il part de l'observation de la réalité et d'une analyse "ex ante" pour déboucher sur la spécification d'un modèle explicatif. D'autre part, le processus est dialectique, puisque le modèle ainsi construit doit être corroboré de nouveau avec la réalité par une analyse "ex post" et par une resspécification du modèle s'il y a lieu. Le processus de construction d'un modèle (M) dans la terminologie de Wold, n'est pas unidirectionnel du domaine empirique (E) au domaine théorique (T), dans le sens que semble lui accorder Lévy-Strauss, mais bi-directionnel de (E) à (T) et vice versa.

⁹ Herman Wold, "Mergers of Economics and Philosophy of Science, a Cruise in Deep Seas and Shallow Waters," *Synthese* 20, (1969): 427-482, et C. Dagum, "Idéologie et Méthodologie de la Recherche en Science Economique", *Economies et Sociétés*; Cahiers de l'ISMEA no. 29, (mars 1977): 553-586.

Processus analytico-dialectique
de la modélisation selon Wold

domaine
empirique



domaine
empirique

processus de
concordance

Ce schéma symbolise le processus de concordance ("matching process") entre (E) et (T) dans un cadre de référence choisi (c'est à dire le domaine de recherche et les données initiales).

3. La définition de Lévy-Strauss semble restreindre l'utilité du terme structure à un modèle descriptif de la réalité sociale. Or un modèle peut aussi être explicatif ou prédictif.

La définition de Katz et Kahn (déf. 3) met en relief l'idée d'interdépendance dans la structure sociale et sous-tend l'idée d'organisation. Premièrement, une structure sociale est un réseau de liaisons, lesquelles restent à définir, de type stimulus-réponse entre agents sociaux; deuxièmement, ce réseau admet la retroaction (feedback), c'est à dire que la réponse de B suite au stimulus de A peut se retourner contre A; troisièmement, la structure sociale est considérée comme ouverte, c'est à dire qu'elle reçoit des stimuli de son environnement. Cette caractéristique essentielle des systèmes organiques (systèmes vivants) permet à la structure de se transformer pour contrecarrer ou arrêter le processus de la dégradation de l'énergie connu sous le nom de loi d'entropie. Une des formes de cette différenciation de la

structure sociale est la division des tâches et des rôles, une mécanisation progressive. Dans ce processus dynamique, l'organisation sociale devient plus élaborée, plus complexe, l'organisation sociale ayant un rôle essentiel: la transmission et le décodage des signaux.

Katz et Kahn sont donc fortement influencés par la biologie et surtout la cybernétique. Si l'idée de stimulus-réponse est acceptable, certains commentaires restent à faire:

1. Katz et Kahn ne considèrent que les structures interdépendantes qui permettent la rétroaction. Celles-ci sont une catégorie particulière de structure par opposition aux structures hiérarchiques ou quasi-hiérarchiques qui peuvent,¹⁰ elles aussi, constituer une autre forme de structure sociale.
2. Katz et Kahn confondent d'autre part la structure sociale avec le comportement social sous forme de stimulus-réponse. La structure sociale génère, ou permet, un certain type de comportement des agents sociaux. Mais le comportement social est un comportement à l'intérieur d'une structure et n'est pas la structure même. Dans ce sens, Katz et Kahn confondent les concepts de structure et fonction en définissant par structure ce qui est en réalité le fonctionnement étant donné la structure.

¹⁰ Les structures sociales hiérarchiques ou quasi-hiérarchiques sont caractéristiques de certains régimes autoritaires, par exemple le régime patriarcal où il existe une stratification très poussée de la société. Dans ces structures hiérarchiques, le feedback est, à toute fin pratique, impossible.

3. Katz et Kahn semblent confondre aussi structure et organisation. Il peut exister une structure sociale dans une société inorganisée, mais toute organisation sociale suppose une forme de structure (hiérarchique, collégiale, égalitaire, ... etc.). Elle est une forme de contrôle consciente de la société ou d'une partie de la population sur la structure sociale.¹¹

La définition de Gurvitch (déf. 4) est impressionnante par son contenu. Incontestablement, elle gagne en généralité sur toutes les autres définitions. On y distingue six critères fondamentaux des structures sociales: 1) les hiérarchies spécifiques des paliers en profondeur, 2) la sociabilité, 3) les réglementations sociales, 4) les temps sociaux, 5) les colorations du mental, et 6) les modes de division du travail et d'accumulation. A travers cette énumération, on sent l'effort de classification de Gurvitch. Pourtant l'emploi de concepts mal définis, imprécis, tels que les valeurs, les idées, parfois des mots vides de sens, tels que les colorations du mental, les hiérarchies spécifiques des paliers en profondeur, font perdre à la définition de

¹¹ La distinction la plus claire entre structure et organisation nous semble être donnée par Feibleman et Friend:

"La structure est l'agencement des parties dans un tout, l'organisation est le niveau de contrôle de la structure... Ce n'est pas simplement le fait des relations mais le principe sous lequel toutes les relations tombent sous un même ordre de contrôle qui fait une organisation." (James Feibleman et Julius W. Friend, "Structure and Function of Organization," Philosophical Review 54, [1945]: 23).

Gurvitch tout critère d'objectivité. Ce qui fait dire à Sorokin la remarque suivante:

Côte à côte avec les propositions logiques, élégantes et suffisamment claires, la sociologie de Gurvitch contient un certain nombre de concepts, vaguement définis concernant les points stratégiques de sa théorie. Il utilise souvent les termes de totalité sociale, ensemble, groupe, organisations, structure, structuré, collectivité, cadre social, palier en profondeur, et société interchangeablement, pour désigner ce qui est couramment appelé un système social ou culturel.¹²

A part l'imprécision des termes employés par Gurvitch, Plusieurs réserves sont à faire:

1. Que la réalité sociale soit mouvante et en continuel changement structural est un fait indéniable, le mode de penser scientifique est justement de rechercher dans ce qui est mouvant la loi ou les relations causales qui permettent de l'expliquer. Renoncer à chercher une certaine forme de logique, même dans le changement, c'est renier l'approche scientifique. En définissant la structure comme une chose en mouvement incessant, Gurvitch élimine toute possibilité d'une étude objective de cette structure. En d'autres termes, la définition de Gurvitch est équivalente à une proposition universelle (ou un énoncé conventionnel), et en tant que telle, elle n'est pas falsifiable, donc vide de contenu scientifique.¹³

¹² Pitirim A. Sorokin, Sociological Theories of Today (New York: Wiley, 1966), p. 488.

¹³ Karl Popper, The Logic of Scientific Discovery (New York: Harper and Row, 1965).

2. En définissant la structure comme un "équilibre précaire", Gurvitch confond deux catégories scientifiques distinctes: la stabilité d'un équilibre à l'intérieur d'une structure et la structure elle-même.¹⁴ Gurvitch confond ainsi l'instabilité de la structure avec la notion complètement différente de structure avec équilibre instable.

En résumé, on peut tirer les conclusions suivantes sur la structure sociale:

1) Elle est toujours définie sur un ensemble d'éléments; des agents sociaux, des classes sociales, des organisations... La spécification des éléments dépend du domaine de recherche.

2) Elle comporte toujours des relations entre les éléments: soit des relations de hiérarchie, des relations de comportement, des modes de division du travail, etc.

3) Il est possible de représenter la structure par un modèle qui est une construction analytico-dialectique.¹⁵

4) Les relations peuvent être: globalement stables (Radcliffe Brown), partiellement ou relativement stables, ou globalement instables (Gurvitch).

Définition de la structure en science politique

En science politique, les définitions suivantes sont sélectionnées:

¹⁴ Pour caractériser le comportement dynamique d'un système, on peut se référer aux différentes propriétés de son sentier d'équilibre: unique ou multiple, stable ou instable, local ou global, asymptotique ou avec fluctuations. Pour plus de détails, voir infra, chapitre II.

¹⁵ Voir infra, p. 6.

Définition 1: Les arrangements continuels, la structure par laquelle le pouvoir est formé et partagé dans la communauté peut être décrite selon la forme de règle (pouvoir effectif) et plus généralement selon la forme de "polity" (les deux formelles et effectives).¹⁶

Définition 2: Le terme de structure est généralement appliqué à la configuration du pouvoir et de l'autorité qui caractérisent les relations entre dirigeants et dirigés, relations qui sont plus ou moins endurantes et ainsi plus ou moins prévisibles... Dans le processus de demandes et dans la génération de supports, les rôles des leaders, des groupes intéressés et influents de toute sorte, ensemble avec un vaste réseau complexe de relations interpersonnelles, constituent les éléments de la structure politique générale à travers laquelle le pouvoir est maintenu.¹⁷

Définition 3: Un système politique peut être défini comme un ensemble de rôles en interaction ou comme une structure de rôles, si on comprend par structure une configuration des interactions.¹⁸

Dans la science politique, la structure du pouvoir (défs. 1 et 2) et la structure des rôles (déf. 3) tiennent une place primordiale. Par structure de pouvoir, on entend les relations d'autorité entre agents politiques qui peuvent prendre la forme de règles de loi (pouvoir formel) ou d'institutions politiques (pouvoir effectif). Le pouvoir formel supplée au pouvoir effectif est la "polity", dans ce cas la structure du pouvoir définit un régime politique. On distingue d'une part, les relations entre agents de pouvoir inégal (structure hiérarchique) et d'autre part, entre agents de pouvoir égal (structure co-archique).

¹⁶ Harold D. Lasswell et Abraham Kaplan, Power and Society, A Framework for Political Inquiry (Connecticut: Yale University Press, 1950), p. 200.

¹⁷ William C. Mitchell, "Political System," dans International Encyclopedia of the Social Sciences 15, (1968): 474.

¹⁸ G.A. Almond, "Comparative Political Systems," Journal of Politics 18, (1956): 394.

Par structure des rôles, on entend un ensemble de relations et d'interactions entre les individus, chacun portant un rôle spécifique. Des rôles différentiels entraînent une situation de conflit, tandis que des rôles complémentaires, une situation de coopération. Ces rôles différentiels/complémentaires sont à la base du comportement politique, c'est à dire la prise de décision au nom de la société et le contrôle de la performance de ces actions. La structure des rôles et le comportement politique dans un but spécifique (fonction politique) sont les caractères essentiels d'un système politique, alors qu'un système politique ne peut être confondu avec la structure des rôles comme dans la déf. 3 de Almond.

Définitions de la structure en science économique

La science économique a été particulièrement féconde en définition et étude sur la structure. Dès 1930, on parle de réformes structurelles pour désigner un ensemble de réformes fondamentales capables de transformer le système économique.

D'autre part on s'est intéressé à la comparaison des deux systèmes socialiste et capitaliste. D'une discussion sur l'évolution historique et dialectique¹⁹ entre les classiques et les marxistes, elle est devenue une critique réciproque sur l'efficacité des deux systèmes (bien-être, rendement collectif). L'école réformatrice s'est donc substituée à l'école révolutionnaire. La voie capitaliste s'efforçant de modifier l'ordre institutionnel à partir des critères de préférence sur les structures pour arriver à une modification des régimes alors que la voie

¹⁹ Comme opposition entre deux forces antagonistes.

socialiste part du procédé inverse, d'une préférence sur les systèmes, elle essaie de transformer les structures. Ces deux tentatives ont en partie échoué: on s'est rendu compte dans les régimes capitalistes d'une grande instabilité des structures, d'où des crises économiques sporadiques, et dans les régimes socialistes, d'une grande résistance aux changements, d'où des conflits sociaux et politiques fréquents. Ceci est résumé dans un slogan bien simple: "l'utopie, c'est la méconnaissance des structures."²⁰

Le concept de structure économique tient donc une place importante sinon centrale dans les systèmes économiques comparés. Ce n'est qu'à travers une étude approfondie des différentes structures économiques qu'on peut espérer un jour peut-être faire une synthèse des systèmes économiques. Les définitions suivantes reflètent cette préoccupation.

Définition 1: La structure d'un ensemble économique se définit par le réseau des liaisons qui unissent entre elles, les unités simples et complexes et par la série des proportions entre les flux et les stocks des unités élémentaires et des combinaisons objectivement significatives de ces unités.²¹

Définition 2: Proportions et relations caractérisant un ensemble économique localisé dans le temps et dans l'espace.²²

Définition 3: La structure d'un ensemble économico-social donné, c'est l'état des relations (internes et externes, qualitatives et quantitatives) qui spécifient l'ensemble considéré, par double référence: 1) dans le temps, à des périodes-délais (définies elles-mêmes par l'irréversibilité et la discontinuité des mutations),

²⁰ Jean Lhomme, "Sociologie des Systèmes, Régimes et Structures Economiques," dans G. Gurvitch, Traité de Sociologie, Vol. I, p. 406.

²¹ François Perroux, Economie du 20ème Siècle (Paris: Presses Universitaires de France, 1961, éd. 1964), p. 231.

²² François Perroux, Pour un Approfondissement de la Notion de Structure (Paris: Mélanges Wittmeur, 1939).

et 2) dans l'espace, à des espaces-lieux (définis à leur tour par l'existence de correspondances).²³

Définition 4: Dans leur acceptation première et la plus étendue, ils visent un ensemble de caractéristiques immédiatement observables, tel que les rapports numériques existants entre production agricole et production industrielle, ... etc., et plus particulièrement les valeurs moyennes, assises sur une période de quelque longueur, considérées comme représentatives d'une tendance profonde de l'économie.²⁴

Définition 5: Eléments d'un ensemble économique qui au cours d'une période déterminée, apparaissent comme relativement stables par rapport aux autres.²⁵

Perroux fut le premier à souligner l'importance de la structure dans l'économie. Il distingue (déf. 1) les réseaux de liaisons entre "unités simples" (c. à d. entre agents économiques égaux) et "unités complexes" (c. à d. entre agents économiques inégaux) et spécifie (déf. 2) que ces réseaux de liaisons sont localisées par rapport au temps et à l'espace. Définition à laquelle adhère Lhomme (déf. 3) en ajoutant que la localisation de la structure par rapport au temps se réfère à des "période-délais," c. à d. le délai d'adaptation de la structure,

²³ J. Lhomme, op. cit., p. 394.

²⁴ Jan Tinbergen, "De Quelques Problèmes posés par le Concept de Structure Economique." Revue d'Economie Politique 62, (1952): 25.

²⁵ André Marchal, Systèmes et Structures Economiques (Paris: Coll. Thémis, PUF, 1953, éd. 1963), p. 78.

adaptation d'une nature irréversible et discontinue.²⁶

Selon Lhomme, on peut distinguer quatre étapes dans la connaissance d'une structure économique-sociale:²⁷ 1) étape de la reconnaissance: faire un état des lieux, 2) étape de la description: on dégage toutes les relations ayant trait aux divers éléments de l'ensemble, 3) étape du triage: on retient seulement les relations structurelles et on élimine les relations astructurelles,²⁸ et 4) étape de la synthèse: confrontation et vérification entre la structure formée et la structure réelle.

Dans la définition de Tingerger (déf. 4) on retrouve la notion de structure descriptive, c'est à dire l'observation d'une certaine tendance dans les rapports des variables (par exemple, le pourcentage des salaires par rapport au revenu national, le taux de croissance de la

26 La discontinuité et l'irréversibilité se rapportent au concept de "rupture", c. à d. le passage discontinu d'une solution d'équilibre E_1 à une autre solution d'équilibre E_2 d'un système $S(E_1 \neq E_2)$. Lhomme ne distingue pas entre forces exogènes et endogènes au système et donc entre changement structural autonome et induit. Si on entend par "mutation" le changement structural autonome, c. à d. apporté par une variation des forces exogènes qui dépassent les marges permises pour maintenir la même solution E_1 , le changement structural est bien, dans ce cas, de nature irréversible et discontinue. Mais le changement structural induit, provoqué par des forces endogènes est-il aussi de nature irréversible et discontinue? La réponse à cette question très complexe ne peut être une spéculation gratuite. Nous essayerons d'y apporter quelques explications dans le chapitre deux.

27 Ibid., pp. 393-94. Ces quatre étapes peuvent être remplacées par les sept étapes de la construction d'un modèle pour l'étude d'une structure, voir C. Dagum et E.B. Dagum, "Construction de Modèles", p. 1755. Chacune de ces étapes a un sens précis.

28 Lhomme ne définit pas clairement ce qu'il entend par relations structurelles et astructurelles. Il semble pourtant que cette distinction soit le noeud du problème.

production industrielle...)). Dans cette acceptation, la structure descriptive se rapproche des données statistiques. Elles ne fournissent aucune explication des phénomènes réels.

La préoccupation de Marchal (déf. 5) est de donner une définition, à son point de vue, dynamique de la structure.²⁹ Selon lui, il y a des relations qui sont relativement stables dans une période donnée, celles-ci constituent la structure. Mais comment définir la durée d'une période? On retrouve ici la dichotomie entre la période courte et la période longue. Dans la période courte, les relations sont stables et on peut parler de structure mais dans la longue période, les relations ne sont plus les mêmes, la structure change. Mais jusqu'à quand peut-on dire qu'une période est courte ou longue? Marchal, dans un article subséquent, essaie de rattacher le concept de période courte au "délai de prise de conscience" des agents économiques.³⁰ Cependant la définition de Marchal débouche sur une conception assez vague de la période sur laquelle la structure peut être définie car il n'existe aucun critère objectif permettant de prédire les délais de prise de conscience.

Questions posées à la notion de structure

De cette brève revue de la littérature, nous pouvons dégager les points suivants:

²⁹ Voir, par exemple, sa critique de la notion statique de la structure, A. Marchal, op. cit., particulièrement chap. 1, sect. 2, par. 3, "Les limites d'utilisation de la notion statique de structure," pp. 76-83.

³⁰ A. Marchal, "Prise de Conscience, Structure et Concept de Période," Revue Economique 5, (1954): 917-924.

1) L'emploi du terme structure découle d'un besoin commun d'intelligibilité, de classification, pour dégager les éléments essentiels et les relations fondamentales qui peuvent exister dans un domaine de recherche donné.

2) Le mot structure est souvent employé avec des significations diverses dépendant de chaque contexte. Parfois on l'emploie dans une définition de type antinomique pour le distinguer d'un autre concept voisin mais non identique (ex: structure/organisation, structure/conjoncture, structure/système), parfois on l'emploie dans un sens synonyme d'un autre mot (ex: structure/tendance, structure/modèle, structure/équilibre, structure/stabilité). Finalement, il est aussi employé dans le sens "gestaltiste" d'un tout, pour désigner un objet ou phénomène dont la connaissance et l'interprétation est indissociable de l'ensemble des éléments qui le constitue (ex: structure/totalité).

3) Dans un sens statique (Radcliffe-Brown, Mitchell, Perroux, Lhomme), la structure désigne un réseau de liaisons (couplage) entre les éléments d'un ensemble dans une période donnée et dans un espace délimité.

4) Dans un sens dynamique (Gurvitch, Lasswell, Kaplan, Marchal), la structure désigne un processus de changement structurel convenablement énoncé par Perroux comme des mouvements de destructuration et de restructuration.

Ces quatre types de définitions, à des niveaux de complexité et de spécificité différents, nous amènent aux questions suivantes:

Question 1: Si le mot structure ne se limitait qu'aux deux usages décrits dans les points 1) et 2), son emploi est-il justifié? Si le but est de classer les variables et les relations, est-il justifié d'utiliser le mot structure au lieu de "variables importantes" et/ou

"relations fondamentales"? Si l'on veut étudier les propriétés d'un système en tant que totalité, pour dire que "le tout vaut plus que la somme des parties", ne serait-il pas plus précis de parler de "propriétés des éléments"? En un mot, par structure, est-ce qu'on sous-entend l'existence d'une théorie et d'une méthodologie à part?³¹

Question 2: Par rapport aux points 3) et 4) ci-dessus, existe-t-il une dichotomie réelle entre une structure prise dans son sens statique ou dynamique? Sous une autre forme, est-il possible de construire une théorie ou un modèle permettant d'expliquer les mouvements de destruction et de restructuration?

Dans la prochaine section nous ferons de nouveau une revue de la littérature sur le concept de système et nous nous poserons d'autres questions avant d'en faire la synthèse.

B. Définitions et rôles du concept de système

La méthodologie sera la même que la section précédente, à partir de la sélection de quelques définitions représentatives nous essayerons de faire une synthèse des principaux traits communs.

³¹ Aussi, la distinction que fait le sociologue Raymond Boudon entre les définitions de type "intentionnelle" et de type "effective" permet-elle de jeter une lumière nouvelle à la question posée.

"Dans un premier type de contextes, le mot structure est employé soit pour souligner le caractère systémique d'un objet - pour indiquer, en d'autres termes, qu'on a affaire à un ensemble de caractères interdépendants - soit pour souligner qu'une méthode a pour effet de décrire un objet comme un système. Dans ce cas, la notion n'apparaît donc pas à proprement parler dans le cadre d'une théorie des systèmes. Nous dirons alors, pour fixer le langage, qu'elle apparaît dans le contexte d'une définition intentionnelle..."

Le deuxième type de contextes est caractérisé par le fait que la notion de structure y est insérée dans une théorie destinée à rendre compte du caractère systématique d'un objet. Nous dirons dans ce cas que le mot structure apparaît dans le contexte d'une définition effective."

Voir Raymond Boudon, A quoi sert la notion de Structure? (Paris: Gallimard, 1968): pp. 35 et 36.

Définitions du système social

On retrouve les définitions suivantes du système social :

Définition 1: Un système social comme tous systèmes vivants, est inhéramment un système ouvert engagé dans un processus d'échange (ou relations intrant-extrant) avec son environnement, ainsi qu'entre ses unités internes. En tant que système ouvert, il est d'autre part une partie, un sous-système d'une ou plusieurs autres systèmes super-ordonnés.³²

Définition 2: Un système ouvert, qu'il soit social ou biologique, dans un environnement changeant, ou bien change ou périt. Dans ce cas la seule possibilité de survivre est de changer la structure et son comportement.³³

Définition 3: Tout système social actuel consiste en: 1) individus qui sont 2) en interactions les uns les autres sur la base d'un degré minimal de complémentarité des espérances au moyen de, et en conformité avec 3) un système de croyances communes, de modes et de moyens de communication... Chaque système social a certains problèmes fonctionnels qui doivent être résolus si le système veut survivre.³⁴

Parsons (déf. 1) fut le premier à introduire le concept de "système ouvert" et "système vivant" dans la sociologie. On retrouve dans sa définition plusieurs points caractéristiques:

1. Le système social est un sous-système d'un "système général de comportement social"³⁵ qui se compose des quatre sous-systèmes: le sous-système social, le sous-système culturel, le sous-système de la personnalité, le sous-système physique ou organique.
2. Le système social est caractérisé par sa structure interne qui est l'interaction entre des individus qui se comportent comme "acteurs

³² Talcott Parsons, The Social System (London: Tavistock Pub., 1951 éd. 1968), p. 460.

³³ Mervin L. Cadwallader, "The Cybernetic Analysis of Change in Complex Social Organizations," American Journal of Sociology 65, (1959): 155.

³⁴ Victor H. Wiseman, Political Systems (London: Routledge and Kegan Paul, 1966); p. 5-6.

³⁵ T. Parsons, Societies, Evolutionary and Comparative Perspectives New York: Prentice-Hall, 1966), pp. 8-29.

et objets d'orientation envers d'autres acteurs selon des normes bien définies",³⁶ et sa structure externe, c'est à dire les interactions du sous-système social avec les trois autres sous-systèmes du "système général de comportement." Ceux-ci déterminent les fonctions de chaque sous-système.

3. Ces fonctions sont au nombre de quatre: 1) les fonctions latentes (maintien des valeurs et des normes) qui caractérisent le sous-système culturel, 2) les fonctions d'organisation qui caractérisent le sous-système social, 3) les fonctions régulatrices qui caractérisent le sous-système physique ou organique, et finalement 4) les fonctions téléonomiques (orientation vers un but) qui caractérisent le sous-système de la personnalité.

Cadwallader (déf. 2), allant plus loin, spécifie que la propriété essentielle d'un système social est la faculté de changer sa structure et son comportement suivant les conditions changeantes de son environnement³⁷ (par apprentissage et innovation). Cette définition montre en outre que le changement structural est une condition nécessaire pour la survie du système.

Finalement la définition de Wiseman (déf. 3) montre clairement les deux aspects d'un système social qui est caractérisé par sa structure en terme de relations entre individus, ayant des espérances complémentaires, et par ses fonctions (les quatre fonctions de Parsons).

³⁶ Idem, Politics and Social Structure (New York: The Free Press, 1969), pp. 8-9.

³⁷ Cette idée a été introduite par Ashby sous le terme de ultrastabilité dans la cybernétique. Voir Ross Ashby, An Introduction to Cybernetics (London: Chapman and Hall, 1956, éd. 1971), pp. 82-85.

Définitions du système politique

En science politique on trouve les définitions suivantes:

Définition 1: Pour décrire un système politique il est nécessaire de caractériser toutes les interactions qui existent, c'est à dire tous les rôles définis en terme d'action ou de comportement, et leur interdépendance, ce qui veut dire qu'un changement significatif dans n'importe quel rôle affecte des changements dans d'autres, et ainsi du système tout entier.³⁸

Définition 2: Un système politique peut désigner les interactions par lesquelles les valeurs sont allouées autoritairement pour une société; c'est ce qui distingue un système politique d'autres systèmes qui peuvent être interprétés comme faisant partie de son environnement.³⁹

Définition 3: Le système politique comme sous-système de la société englobe les structures politiques, les rôles politiques accomplis par les acteurs ou agents, qu'ils soient individuels ou collectifs, et un processus politique. Ce dernier est fondamentalement une série de configurations d'interactions entre les agents politiques, dans lequel les leaders assument les supports dont ils ont besoin, et obtiennent de leurs concitoyens l'acceptation des restrictions.

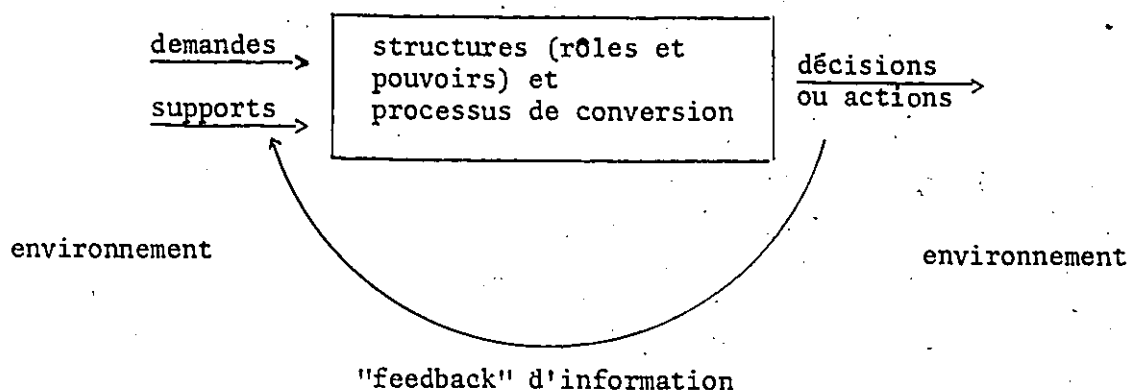
Le concept de système politique désigne 1) un ensemble de structures de rôles ou de pouvoirs définis en terme d'autorité (défs. 1 et 3), 2) incluses dans un processus politique, c'est à dire un processus de changement structural se caractérisant par une série de configurations de ces structures (déf. 3), 3) l'ensemble des structures et des processus caractérisent un système politique compris comme un sous-système de la société (déf. 2).

D'après Easton un système politique peut être résumé dans un schéma simple d'une boîte noire:⁴⁰

³⁸ W.C. Mitchell, op. cit., p. 24.

³⁹ David Easton, A System Analysis of Political Life (New York: Wiley, 1965), p. 21.

⁴⁰ Op. cit., p. 32. Voir aussi Karl W. Deutsch, The Nerve of Government, Models of Political Communication and Control (New York: Free Press, 1963), p. 258.



Les critiques qu'on peut formuler sur une telle définition d'un système politique peuvent se situer sur deux plans:

1. Sur le plan de la réalité, peut-on réduire un système politique à une expression "mécaniciste" ou "organiciste" de type stimulus-réponse? Il semble que les auteurs tels que Easton, Mitchell et Deutsch posent une trop grande similitude entre l'analyse d'un système politique et l'analyse d'un système mécanique. Leurs contributions ont été de transposer les concepts empruntés à la cybernétique et aux sciences naturelles sans trop se demander sur l'application pratique de ces concepts, ni leurs contenus analytiques lorsqu'ils sont employés dans la science politique.
2. Sur le plan de la connaissance, l'emploi des termes notationnels tels que intrant-extrant, demandes, actions, environnement, ou des schématisations complexes, apparemment dans le but de faciliter la compréhension, n'arrivent pas à dégager le vrai sens ni l'utilité de l'emploi de ces termes et notations. Comme le résume bien Kerschner:

Les termes, constructions et concepts qu'il (Easton) utilise sont tellement ambigus et peuvent avoir tant de connotations et dénotations et sont subdivisables en tant de catégories conceptuelles qu'ils ont perdu tout leur sens et n'apportent aucune information additionnelle... La contribution essentielle de la cybernétique à la science politique a été de démontrer le fourre-tout du langage utilisé en même temps qu'elle indique la nécessité d'une nouvelle conceptualisation.⁴¹

Définitions du système économique

On peut mettre en relief les trois définitions suivantes:

Définition 1: Le système économique est un ensemble de structures et de comportements à propos de la lutte contre la rareté.⁴²

Définition 2: Le système économique défini comme le type de mécanisme du calcul économique, c'est à dire le type de relations nouées entre les phénomènes économiques par le jeu des estimations et des décisions, est l'élément essentiel de la structure économique... Un même système peut fonctionner avec des structures différentes... A l'inverse, des systèmes peuvent fonctionner avec des structures relativement semblables.⁴³

Définition 3: Lorsque les structures economico-sociales sont organisées de façon cohérente et logique, on peut dire qu'elles forment un système. Et lorsque ce système trouve une configuration dans les normes nettement définies par le droit, les institutions, voire la théorie politique ou économique, le système prend figure de régime.⁴⁴

La structure économique pour Perroux "c'est avant tout la structure d'un système."⁴⁵ On ne peut donc parler de système en faisant abstraction

41 L.R. Kerschner, "Cybernetics as a Model for Political Science: A Critique," dans John Rose (ed.), Progress of Cybernetics, 3 vol. (London: Gordon and Breach, 1970), 3:1227-1229.

42 André Nicolai, Comportement Economique et Structures Sociales (Paris: Presses Universitaires de France, 1960), p. 66.

43 René Clément, "Prolégomènes d'une Théorie de la Structure Economique," Revue d'Economie Politique 62, (1952): 998.

44 André Piettre, "Les Deux Aspects de la Dynamique des Structures," Revue d'Economie Politique 67, (1957): 164.

45 F. Perroux, Le Capitalisme, (coll. "Que sais-je?", Paris: PUF, 1948).

de la structure. En second lieu on peut parler de cohérence, d'agencement logique des parties. Ces dernières sont des sous-systèmes du système économique (sous-système de production, sous-système douanier, sous-système monétaire, etc.), chacun des sous-systèmes possède une structure propre. De là, la définition d'un système économique comme "un ensemble cohérent de structures liées par des relations relativement stables."⁴⁶

Le deuxième élément est alors apporté par Nicolai (déf. 1): la fonction du système économique est la lutte contre la rareté,⁴⁷ laquelle peut prendre des formes abstraites sous les dénominations de système socialiste, système capitaliste ou système mixte. Chaque système en délimitant les normes admises de justice, liberté, progrès et stabilité, font appel à des normes concrètes d'organisation telles que les institutions économiques, les réglementations commerciales. Ces formes concrètes d'organisation définissent un régime économique (déf. 3), comme par exemple, les modèles socialistes de la Yougoslavie ou de la Russie, les modèles capitalistes des Etats-Unis ou de la France. On comprend alors pourquoi, en se mettant au niveau de la réalité des faits, l'économiste souvent ne discerne que la structure d'un régime

⁴⁶ A. Marchal, Rapport cité au Congrès des Economistes, 1952, cité par J. Lhomme, "Matériaux pour une Théorie de la Structure Economique et Sociale", Revue Economique 5, (1954): 843-880.

⁴⁷ Définition très restreinte de la fonction économique, une définition plus appropriée est donnée par Perroux: "L'économie dans la mesure où elle atteint son objet est la mise en oeuvre de l'homme par l'homme. Mettre à l'oeuvre l'homme c'est le rendre actif et, conformément à sa condition spécifique, capable de travail et de création." F. Perroux, "L'Economie de la Ressource Humaine," Mondes en Développement 7, (1974):52.

économique donné, son organisation et son fonctionnement, le prenant comme modèle d'un système économique idéal.

Il est alors possible de comprendre le point de vue de Clémens (déf. 2) "un même système peut fonctionner avec des structures différentes," lorsque ces structures ne sont pas contradictoires (par exemple; le système capitaliste américain fonctionne avec des secteurs partiellement libéraux et des secteurs plus ou moins réglementés).

C. Synthèse sur les notions de structure et de système

Selon Bunge "la connaissance scientifique est entièrement conceptuelle: elle consiste en un système de concepts interreliés de façon définie."⁴⁸ C'est par l'interprétation et l'expérimentation qu'on approfondit le vrai sens des concepts. A chaque pas, le chercheur devra tenir compte des "intentions" et "extensions" d'un même concept, les intentions forment l'ensemble des propriétés et relations sous-entendues dans le concept ou son contenu théorique, tandis que les extensions comprennent tous les objets, les faits auxquels peut s'appliquer le concept, en d'autres termes, son contenu empirique. L'approfondissement d'un concept consiste donc essentiellement à éliminer les propriétés et relations vagues et les dénnotations ambiguës pour aboutir finalement à un affinement du concept et une redéfinition. L'objet de cette section est d'en arriver à une telle redéfinition.

L'analyse inter- et intra-disciplinaire entreprise dans les

⁴⁸ Mario Bunge, Scientific Research, 2 vol. (Berlin, New York: Springer-Verlag, 1967), Vol. I, The Search for Truth, p. 46.

sections précédentes nous a permis de voir l'étroite relation entre les définitions d'une structure et un système. En fait, structure et système proviennent d'un même domaine de la connaissance, et il serait impossible de définir l'un sans faire référence à l'autre.

La structure comme domaine particulier de la connaissance

Delattre, dans une analyse approfondie du rôle des concepts dans le développement des sciences, a montré qu'un concept peut passer d'une phase exploratoire à une phase opérationnelle dans laquelle le concept est totalement formalisé.⁴⁹ Aussi le concept de structure, qui provient d'une intuition inhérente en nous, ne semble pas encore dépasser définitivement le stade exploratoire dans les sciences sociales.⁵⁰ Son sens est trop riche pour être réduit par une formalisation étroite. Dans la science économique, par exemple, on a pu voir un raffinement remarquable du concept de structure depuis l'avènement de l'économétrie et de l'analyse entrée-sortie de Leontief. Cependant il ne semble pas qu'il y ait un effort conscient pour intégrer les différents domaines de la connaissance dans un corps théorique commun, ni même d'un langage commun capable d'exprimer et de décrire la

⁴⁹ Pierre Delattre, "Formalization Concepts and Exploration Concepts," *Scientia* 8, (1974): 1-32.

⁵⁰ "Les concepts exploratoires nous donnent une connaissance préliminaire des domaines et des faits qui ne peuvent être exprimés par des méthodes rigoureuses. Leurs utilités résident dans la richesse des significations qu'ils connotent chaque fois que nous les utilisons ou dans le résidu laissé par les tentatives de réduction auxquelles nous les soumettons. Ainsi par exemple, la réduction du terme de Structure dont l'utilité répandue et très polysémique a été confirmée par tous, laisse un certain résidu qui ne peut être assimilé par notre connaissance actuelle, et qui pourrait ouvrir la voie à de nouvelles recherches." (*Op. cit.*, p. 20).

structure dans les différentes disciplines des sciences sociales. Aussi, l'intégration des différentes disciplines sociales rend nécessaire la construction d'un corps théorique nouveau à un degré de généralité plus élevé que les théories individuelles.

Le mot structure loin d'être un ensemble ou une classe de définitions plus ou moins éparses, pourrait bien être le point de départ d'une théorie des structures, laquelle admet des axiomes différents des axiomes d'autres théories.⁵¹ Le but de laquelle n'est pas seulement d'introduire "un ordre explicatif dans une incohérence phénoménale,"⁵² puisque toute théorie scientifique si elle dépasse le stade de la description est explicative, sinon de formuler une explication globale, plus générale que toutes autres théories qui ne prennent pas la structure en compte. Cette théorie des structures qui reste encore à construire peut devenir dans le sens de Kuhn un nouveau paradigme pour les sciences sociales.⁵³

51 On rejoint ici le sens qu'accorde Boudon à l'analyse structurale qui est "l'analyse de l'ensemble des caractéristiques apparentes d'un système en tant que totalité", c'est à dire, "l'ensemble des théorèmes qui résultant de l'application d'une axiomatique à cet objet, axiomatique et théorèmes constituant une théorie de l'objet en tant que système." Mais au lieu de concevoir cette théorie comme unique, Boudon pense que le structuralisme n'est autre chose que "la recherche des théories applicables à des systèmes conçus en tant que systèmes. Il s'agit moins d'une théorie que d'une "classe de théories" dont le caractère spécifique est qu'elles prétendent rendre compte du caractère systémique des objets qu'elles considèrent" (Boudon, A quoi sert la Notion de Structure? pp. 125, 210 et 189).

52 Op. cit., p. 210.

53 Thomas Kuhn, The Structure of Scientific Revolution (Chicago: University of Chicago Press, 1962).

La structure comme contenu d'un système

Vogt a montré que l'analyse de processus, c'est à dire l'analyse du développement et de l'évolution d'un système, et l'analyse structurale ne sont que deux méthodes complémentaires dans l'analyse dynamique d'une structure:

Nous partons de l'hypothèse que la tendance fondamentale dans les systèmes sociaux et culturels est vers le changement plutôt que vers un état d'équilibre, nous réalisons qu'en utilisant seulement les concepts structuraux, nous faisons arrêter le tournage d'un film dans un cadre unique pour en étudier les configurations, plutôt que l'étude des séquences d'événements que comprend le film entier. En arrêtant le film nous pouvons décrire avec exactitude la structure de ce que nous voyons dans le cadre, mais le sens et la signification de ce que nous voyons s'estomperait si nous ne regardons pas au moins quelques séquences de chaque côté de ce cadre. Le plus de cadres nous voyons dans la séquence, le plus de sens cette structure dans un cadre unique a pour nous..⁵⁴

Un peu plus loin Vogt nous dit que le changement structurel suit une direction définie dictée par le conscient d'une société:

Ce que j'ai en tête c'est que le processus cumulatif et directionnel ne paraît pas suivre des directions aléatoires, mais plutôt des chemins et des canaux bien définis, et ce qui le fait prendre une direction plutôt qu'une autre ce sont les

54 Trad. infra: "We start with the premise that the basic tendencies in social and cultural systems are toward change, rather than toward coming to rest in states of equilibrium, we would realize that to use only structural concepts is like arbitrarily stopping a movie to study the patterns of a single frame instead of studying the patterned sequences of events that comprise the total movie. Stopping the movie permits us to describe more precisely the structure of what we see within the single frame, but the meaning and significance of what we observe would be lost without viewing at least a few frames on either side - and the more frames we inspected, the more meaning the structure in the single frame would have for us." Evon Z. Vogt, "On the Concepts of Structure and Process in Cultural Anthropology," The American Anthropologist 62, [1960]: 19).

choix de valeur d'une société dans le courant de son histoire.⁵⁵

Cet exemple pris dans l'anthropologie culturelle suffit à démontrer que la dichotomie entre structure statique et structure dynamique n'est pas fondée. Elle ne correspond pas à une différence sémantique sinon à une différence de méthodes d'analyse. Dans le premier cas, elle correspond avec la méthode statique-comparative, dans le second, elle correspond avec la méthode dynamique-comparative.

La méthode statique-comparative dans l'étude du changement structurel est basée sur une comparaison d'une structure d'équilibre empiriquement vérifiée dans une période donnée avec une autre structure d'équilibre dans une autre période.⁵⁶ La méthode statique-comparative permet de déduire la position d'équilibre de la nouvelle structure suite à des changements initiaux de certains paramètres. Il se peut alors que certaines parties de la structure ne changent pas ou changent peu, dû à des effets de blocage ou de freinage dans la structure même. L'analyse statique-comparative est donc un instrument précieux dans l'étude du changement structurel induit et de la stabilité structurale des sous-ensembles de la structure.

Par contre, la méthode dynamique-comparative est fondée sur la conviction de l'existence d'une loi de transformation de la structure et/ou d'une loi de transformation du système (système dynamique). La

55 Trad. infra: "What I have in mind is that the cumulative directional processes found in a system do not appear to move in random directions, but are rather highly patterned and channelized; and that what gives them one directional drift rather than another are the value-choices made by a society in the course of its history." (op. cit., p. 25).

56 L'exemple le plus simple qu'on peut fournir en économie est le cas d'un déplacement de la courbe d'offre ou de demande.

première permet de spécifier pour chaque temps donné une structure unique, comme par exemple lorsque les paramètres structuraux sont en fonction du temps. La deuxième spécifie, pour chaque structure du système, une loi de comportement unique. Dans ce dernier cas, en supposant la structure fixe, la méthode dynamique permet de découvrir les propriétés dynamiques du système à l'étude.⁵⁷

Système: structure et fonction

L'analyse interdisciplinaire entreprise dans la deuxième section de ce chapitre nous a conduit à l'interprétation d'un système, compris dans son sens le plus général, comme un ensemble de sous-systèmes, ouvert dans un environnement qui l'englobe, comme une entité particulière, dans un système de degré supérieur. Ainsi, on peut définir le système social comme un ensemble de trois sous-systèmes interreliés: culturel, politique et économique, dans un environnement qu'on pourrait dénommer le système écologique, physique, biologique et psychologique, lui-même sous-système du système planétaire (fig. 1.1). Les trois sous-systèmes du système social sont non seulement interdépendants mais se superposent partiellement, comme par exemple certains domaines de la science économique font parties de la culture et de la politique et par conséquent ne peuvent pas être analysés par une théorie purement économique.

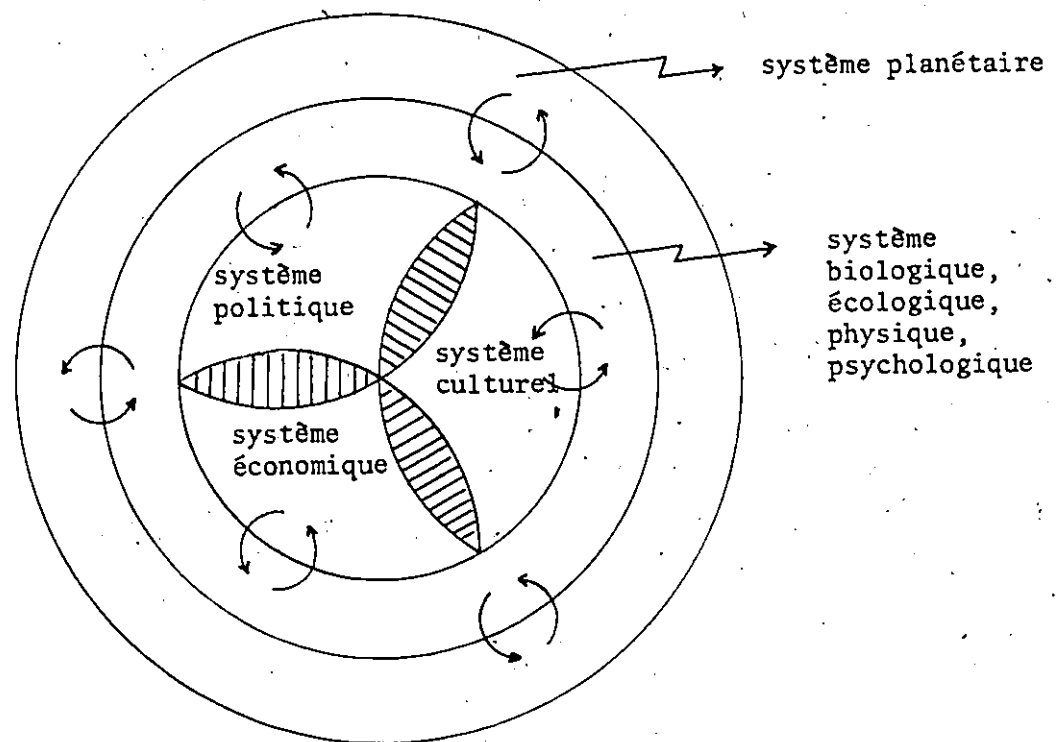
La structure du système social peut donc être définie, sans ambiguïté, comme l'agencement des différentes parties des sous-systèmes culturel, politique et économique, à un moment donné. Quant à la fonction

⁵⁷ Par exemple, les propriétés de l'équilibre dynamique du système.

du système social, celle-ci peut se définir comme la propriété du système de s'adapter à son environnement en changeant son comportement et sa structure.⁵⁸

Figure 1.1

Le système social et son environnement



Le tableau 1.1 résume les relations entre les concepts du système, structure et fonction, en même temps qu'il souligne la place importante qu'occupe le chercheur dans sa mission: la recherche de la vérité.

⁵⁸ Cette propriété est définie dans la cybernétique comme la fonction intrinsèque ou ultrastabilité du système pour distinguer avec la fonction extrinsèque d'un système qui est la propriété commune de plusieurs systèmes ayant des structures différentes. Par exemple, l'horloge et la montre ont des structures différentes mais la même fonction extrinsèque: celle de donner l'heure. Voir R.L. Ackoff et Emery, F.E., "On Ideal Seeking Systems," General System Yearbook 17, (1972): 17-24.

Tableau 1.1

Tableau synthétique des éléments des structures et des systèmes

<u>Système réel</u>: est défini sur l'espace-temps physique comme un agencement cohérent de parties (sous-systèmes) dans un environnement donné.	1. <u>Parties</u>: sous-systèmes réels 2. <u>Relations</u>: spatiales, temporelles 3. <u>Lois de comportement ou fonctions</u>: - intrinsèques: communes aux parties et au système - extrinsèques: propres au système 4. <u>Etat du Système</u>: Toutes les variables qualitatives et quantitatives à un moment donné (c. à d. toutes les valeurs prises par les fonctions associées à cet instant)
<u>Système conceptuel</u>: est choisi par le chercheur comme son domaine de recherche d'après son intérêt personnel, ses convictions et ses points de vue scientifiques et philosophiques	1. <u>Structure</u>: image architecturale de l'agencement des parties 1.a <u>Eléments</u>: un sous-ensemble des parties choisi par le chercheur comme représentatif du système réel 1.b <u>Relations</u>: les relations conceptuelles (ex: causales, fonctionnelles, pouvoir, etc.)
<u>Système général</u>: (Tout objet réel ou conceptuel peut être considéré comme un système)	2. <u>Environnement</u>: Tous éléments et relations qui ne font pas parties de la structure 3. <u>Fonctions</u>: Ensemble des propriétés manifestées par le système, par interaction avec son environnement

Aussi peut-on définir un système, dans le sens le plus général, comme un objet matériel ou conceptuel composé d'un ensemble d'éléments en interaction dynamique entre-eux et avec l'environnement, et possédant des lois de composition et d'évolution structurelle propres. Nous distinguons ensuite entre le niveau réel du système qui comprend l'infinité des variétés de ses sous-systèmes, et le niveau conceptuel du système qui est le cadre de référence du chercheur. Par un choix judicieux, quoique partiellement subjectif, des différents éléments et relations qui entre en ligne de compte dans son système conceptuel, le chercheur construit explicitement un modèle du système réel.⁵⁹ En tant que représentation fidèle de la réalité, ce modèle reproduit les principales caractéristiques structurelles et fonctionnelles du système en cause. On dira alors que le modèle est homomorphe de l'objet observé. En même temps qu'il en fournit une description et une explication de la réalité, le modèle peut également fournir des réponses valables sur les possibilités de changements structurels ou fonctionnels, autonomes ou forcés du système réel.

59 La distinction entre système conceptuel tel que défini et modèle est subtile mais importante à souligner. En parlant de système conceptuel, nous mettons plutôt l'emphasis sur les caractéristiques systémiques du modèle construit. C'est à dire possédant les caractères de "totalité", de "transformations" et "d'autorégulation" tels que définis par Piaget, La Structuralisme, p. 6. Il apparaît que le concept de système conceptuel concorde étroitement avec la théorie de la modélisation, voir tout particulièrement Jean Louis Le Moigne, La Théorie du Système Général ou Théorie de la Modélisation (Paris: Presses Universitaires de France, 1977).

Théorie Générale des Systèmes

Le tout d'horizon inter-disciplinaire nous a permis aussi d'expliciter les apports méthodologiques de chaque discipline. S'il apparaît que la préoccupation commune des différents auteurs cités à se pencher sur les problèmes de structure et système vient d'une prise de conscience que l'objet de la recherche doit être considéré comme un système et comme tel, possède une structure; on se rend vite compte qu'à travers les sciences il existe une logique des systèmes et une similitude des structures.⁶⁰ Les caractères isomorphes ou homomorphes des structures montrent qu'il peut exister une possibilité d'élaborer d'une part, une théorie générale des systèmes et d'autre part, d'exprimer cette théorie par un langage commun.

Le but de ce paragraphe n'est pas de faire une synthèse fouillée de la nouvelle branche des sciences: la Théorie Générale des Systèmes,⁶¹ plutôt son objet est de proposer un point de vue prometteur qui pourrait ouvrir des perspectives nouvelles de recherche dans les sciences sociales.

⁶⁰ Voir, par exemple, N. Rashevsky, "Topology and Life: In Search of General Mathematical Principles in Biology and Sociology," Bulletin of Mathematical Biophysics 16, (1954): 317-47. L'auteur préconise l'emploi de la théorie des graphes pour étudier cette analogie.

⁶¹ Pour ceci, il existe un très grand nombre de volumes qui traitent du domaine. Comme introduction épistémologique, on pourrait prendre l'article introductif de Von Bertalanffy, "The History and Status of General Systems Theory" dans J. Klir (ed.), Trends in General Systems Theory (New York: Wiley-Interscience, 1972), J.T.A. Kramer, Systems Thinking (Leiden: Martinus Nijhoff Social Sciences Division, 1977). Pour une application rigoureuse des concepts systémiques en économie, voir J.M. Montias, The Structure of Economic Systems (New Haven and London: Yale University Press, 1976). Enfin, il y a aussi des ouvrages critiques, voir D. Berlinski, On Systems Analysis (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1976).

Au niveau de la connaissance scientifique d'un système, l'esprit s'est progressivement précisé: de la notion, au concept, puis au modèle. Ainsi de la notion de totalité (Gestalt), de formes (Formen), on est passé aux concepts de relation, d'interaction, d'organisation, de fonctionnement, de structure, finalement aux modèles structuraux, modèles mécaniques ou modèles cybernétiques. A chaque pas on retrouve une remise en question d'un paradigme, c'est à dire un ensemble conceptuel, théorique et méthodologique accepté par les membres d'une profession scientifique. Cette remise en question des notions de base, des instruments, des techniques et de la connaissance, autant dans les sciences naturelles que dans les sciences sociales, représente selon Bertalanffy, une "révolution scientifique".⁶²

Aussi nous pouvons dire, en accord avec Piaget, que le structuralisme, nouveau-né des sciences humaines, en tant que méthode, représente bien cette "révolution scientifique":

Au total, le structuralisme, est bien une méthode et non pas une doctrine, ou, dans la mesure où il devient doctrinal, il conduit à une multiplicité de doctrines. En tant que méthode il ne peut qu'être limité en ses applications, c'est à dire que, s'il est conduit par sa fécondité même à entrer en connexion avec toutes les autres méthodes, il en suppose d'autres et ne contredit en rien les recherches génétiques et fonctionnelles, qu'il renforce au contraire de ses instruments puissants en toutes les zones frontières où le contact s'impose. En tant que méthode, il est d'autre part ouvert, c'est à dire qu'il reçoit au cours de ses échanges, non pas peut-être autant qu'il donne, puisqu'il est le récent venu encore riche d'imprévu, mais un ensemble de données à intégrer et de nouveaux problèmes à résoudre.⁶³

62 "Le concept de "système" constitue un nouveau "paradigme," dans le sens de Thomas Kuhn, ou une nouvelle "philosophie de la nature," dans les propres mots de l'auteur, opposant les "lois inexorables de la nature" du monde comme un système mécanique..., avec un point de vue organique du "monde comme une grande organisation". Voir Bertalanffy, *op. cit.*, p. 36.

63 Jean Piaget, *Le structuralisme*, (Paris: coll. que sais-je?, PUF, 1968), p. 123.

L'analyse structurale, complément de l'analyse fonctionnelle, s'encadre dans une approche globale et systémique de l'explication d'une réalité qu'elle soit physique ou sociale: tandis que l'analyse structurale s'intéresse surtout à la forme de la structure, l'analyse fonctionnelle s'intéresse au contenu de la structure, et a pour tâche de dégager les propriétés intrinsèques et extrinsèques de tout système. Le but de l'approche systémique est de donner une explication en terme de système, c'est à dire de ses fonctions et de sa structure.⁶⁴ Elle s'encadre dans le courant de pensée empirique et logique qui n'admet pour vrai que ce qui est vérifiable, et tente de dégager les 'lois' ou les finalités de tout système. Avec le développement des sciences naturelles et plus récemment de la cybernétique, on a voulu généraliser les résultats acquis dans diverses sciences aussi bien expérimentales que non expérimentales dans un corps théorique et méthodologique nouveau: la Théorie Générale des Systèmes (T.G.S.). Pourquoi une telle théorie est-elle possible?

Récemment, disait Klir, les besoins croissants se sont faits sentir pour développer un corps théorique nouveau qui permettra de discuter les relations générales du monde empirique. C'est le voeu de la Théorie Générale des Systèmes. Elle ne vise pas, bien sûr, à établir une seule et unique 'théorie générale de n'importe quoi' qui remplacera toutes les théories spéciales dans les disciplines particulières. Une telle théorie serait certainement sans contenu, puisque nous devons toujours payer pour la généralité en sacrifiant le contenu et tout ce que nous

⁶⁴ La description interne est essentiellement "structurale", c'est à dire, qu'elle tente de décrire le comportement du système en termes de variables d'états et de leurs interdépendances. La description externe est "fonctionnelle"; le comportement du système est décrit en termes de ses relations avec l'environnement." Von Bertalanffy, op. cit., p. 34. Pour ces raisons l'approche systémique est en même temps structurale et fonctionnelle (analyse structuro-fonctionnelle).

pouvons dire sur n'importe quoi se résume à presque rien. Quelque part, cependant, entre le spécifique qui n'a pas de sens et le général qui n'a pas de contenu, il devrait y avoir pour chaque cas et pour chaque niveau d'abstraction, un niveau optimal de généralité.⁶⁵

Au point de départ, l'analyse structurale présuppose, et l'approche systémique postule, un certain nombre de propositions:

Postulat I: Existence d'une logique des systèmes.

Cette logique des systèmes est caractérisée par les trois éléments dont parlait Piaget: la totalité, les transformations, et l'autoréglage.

On peut en déduire les propriétés suivantes:

Propriété 1: Tout élément d'un système possède des propriétés internes qui résultent de la nature de l'élément, et d'autre part externes qui dépendent de la place qu'occupe l'élément dans la structure.

Propriété 2: Le système possède des propriétés propres différentes de ses éléments.

Propriété 3: Plus le système est complexe, plus sa structure est complexe, et plus les propriétés de celui-ci dépendent de la structure, et moins elles dépendent de la nature de ses éléments.

Propriété 4: Tout système vivant peut évoluer en changeant sa structure.

Postulat II: Existence de structures isomorphes et homomorphes.⁶⁶

⁶⁵ George J. Klir, "On the Relation Between Cybernetics and General System Theory," dans J. Rose (éd.), Progress of Cybernetics, 3 vol. (London: Gordon and Breach, 1970), vol. I:155-65. Klir a également proposé une approche différenciée pour chaque classe de système dans, An Approach to General System Theory, (New York: Van Nostrand-Reinhold, 1969).

⁶⁶ Klir et Valach définissent deux systèmes isomorphes lorsqu'il existe une correspondance bi-univoque entre les caractéristiques structurales et les lois de transformation des éléments entre les deux systèmes, si la loi de correspondance est univoque, les deux systèmes sont homomorphes. Voir G.J. Klir et M. Valach, Cybernetic Modelling (London: Iliffe Books, 1967), pp. 110-13.

On peut en déduire les propriétés suivantes:

Propriété 5: On peut étudier deux systèmes isomorphes d'une façon équivalente, c. à d. que les propriétés structurales et fonctionnelles des deux systèmes sont identiques.

Propriété 6: On peut étudier deux systèmes homomorphes en prenant le plus simple comme modèle représentatif de l'autre.

Postulat III: Existence d'un langage universel transposable d'une discipline à une autre.

On peut en déduire la propriété suivante:

Propriété 7: Le langage mathématique est un langage universel pour toutes les sciences.⁶⁷

Parmi les critiques de la Théorie Générale des Systèmes en tant qu'applications au domaine des sciences sociales, celles de Denis Monière nous paraissent fondamentales.⁶⁸

⁶⁷ Voir R.W. Ashby, "The Set Theory of Mechanism and Homeostasis," General System Yearbook 9, (1964): 83-97, et Mihajlo Mesarovic, "Mathematical Theory of General System and Some Economic Problems," dans Harold W. Kuhn et Szego, G.P., Mathematical System Theory and Economics (Berlin: Springer-Verlag, 1969), pp. 93-116.

⁶⁸ Les critiques de David Berlinski, On Systems Analysis (Cambridge, Mass: MIT Press, 1976) sont certes très intéressantes mais s'appliquent à la forme dans laquelle la T.G.S. est présentée plutôt qu'à l'aspect épistémologique. Ses trois critiques essentielles sont: 1) l'imprécision des termes employés par la T.G.S. comme totalité, stabilité, auto-adaptation, auto-organisation, hiérarchies inter et intra-systémiques (critiques à Von Bertalanffy, Ashby et Laszlo), 2) l'isomorphisme en tant que similitude de forme (critiques à Rapoport), 3) la "logique vulgaire" de la T.G.S. lorsqu'on essaie de transcrire les faits sociaux en langage mathématique (critiques à Mesarovic et Simon). La première critique ne nous semble pas importante dans le sens où les termes critiqués par Berlinski sont de nature qualitative dont la définition dépend du contexte où l'on se place. La deuxième critique sur l'isomorphisme est mal fondée puisque les deux équations (1.10), p. 24, proposées par l'auteur n'indiquent pas qu'elles sont isomorphes. Quant à la troisième critique, on peut se référer aux nombreux travaux de Herbert Simon pour se convaincre que sa logique n'est pas du tout vulgaire.

Cet auteur tente de démontrer qu'il n'existe pas une logique mais des logiques, à quoi se rattachent non pas une méthode mais des méthodes différentes. Le fondement de cette critique est la distinction entre les trois branches: physique, biologique et humaine. La physique faisant partie de l'inanimé inconscient, la biologie faisant partie de l'animé inconscient, et l'humain conscient, autodéterminateur.

Parler de système, disait Monière, pour décrire les phénomènes naturels, les planètes, la matière organique et inorganique, les circuits électriques, etc... n'a pas les mêmes effets épistémologiques lorsqu'il s'agit de phénomènes sociaux. Dans le premier cas, la réalité que recouvre le concept est réalisée, complète, invariable, donc incapable de changements ou de modifications radicales par elle-même, c'est un processus qui est dépourvu de volonté et de liberté, alors que la réalité sociale, elle, est constamment en voie de réalisation: elle est inachevée, capable de modifications par elle-même, elle n'est pas mécanique mais plutôt autodynamique. Les phénomènes sociaux contrairement aux phénomènes physiques, ne sont pas figés dans un mouvement qui contient sa répétition et sa prévision, dans une structure établie une fois pour toute, indépendante du devenir social; ils sont plutôt dans un processus de transformation permanent soumis aux variations du volontaire et de l'imaginaire qui sont propres à la pratique sociale. Ils se caractérisent par le projet.⁶⁹

Selon ce point de vue, le terme de loi de transformation dans un système physique et dans un système social n'a pas le même sens. Dans l'une, elle est une loi invariante dans le temps et l'espace et indépendante de l'observateur, dans l'autre, elle est variable dans le temps et l'espace et dépendante de l'observateur puisqu'il a la faculté

⁶⁹ Denis Monière, Critique Epistémologique de l'Analyse Systémique, (Ottawa: coll. Sciences Sociales No. 4, Ed. de l'Université d'Ottawa, 1976), p. 76..

d'agir et de changer cette loi, étant lui-même sujet des décisions.^{70,71}

Partant de ce point de vue épistémologique, Monière fait la critique de l'emploi de la méthode empirico-logique dans les sciences sociales et refuse toute proposition d'une loi sociale.⁷² Cette opinion, d'ailleurs encore partagée, est critiquable à deux points de vue:

1. Sur le plan de l'approche systémique dans les sciences sociales, Monière ne fait pas de distinction entre les différents paliers de complexité d'un système (voir Tableau 1.2). Plus un système est évolué, plus ses propriétés sont nombreuses et complexes. L'approche systémique, justement, ne se veut pas pour tâche de dégager les lois sociales une fois pour toute, telle que dans un système déterministe, mais de dégager les propriétés qui permettent d'expliquer comment ces lois changent et comment la structure évolue dans le sens de l'autoréglage et de l'auto-détermination. Elle néglige la question du "pourquoi", mais ne serait-elle pas une approche plus réaliste et plus concrète que celle qui se fonde sur le pourquoi sans se poser celle du "comment"? Une telle

70 Peut-être devrait-on parler plutôt de fonctions que de lois dans les sciences sociales, dans ce sens on peut distinguer les fonctions économiques (consommation, production, épargne, investissement...) des fonctions typiquement sociales ou politiques. Ces fonctions peuvent changer évidemment.

71 Les critères de variabilité, de changement sont à l'échelle humaine, les lois physiques paraissent immuables sous l'optique de quelques millions d'années. Que valent ces quelques millions d'années si l'on considère que l'Univers a existé depuis des milliards et milliards d'années? Les lois sociales seront aussi immuables que les lois physiques pour quelqu'un qui ne vivrait que quelques heures. La même remarque s'applique quant à la faculté de l'homme de changer les lois physiques par l'utilisation des armes thermonucléaires.

72 Op. cit., p. 77.

question soulève le problème des valeurs sociales, et rejète toute forme de logique dont on ne pourrait ni retrouver la genèse, ni voir le fondement épistémologique.

2. Monière rejète la méthode scientifique de l'analogie parce que c'est une analogie fallacieuse. On ne peut calquer les phénomènes physiques et les phénomènes sociaux, chose indéniable: donc à une différence de contenu doit correspondre une différence de méthode. Cependant comme l'a montré Bunge la méthode inductive a pour rôle de suggérer l'équivalence par l'analogie sans toutefois l'établir:

Sans analogie il n'y aurait peut-être pas de connaissance: la perception des analogies est la première étape vers la classification et la généralisation... L'inabilité à distinguer entre l'analogie et l'équivalence est à la source de l'erreur classique de voir dans l'analogie la source de l'induction, à son tour supposée à tort d'être la méthode scientifique.⁷³

Etablir une équivalence entre les phénomènes physiques et sociaux (telle que la théorie sociale darwinienne), c'est procéder par un "vol élégant", dans le sens que l'entend Monière, en transposant la théorie d'une discipline à une autre. Or ce n'est pas du tout dans ce sens que l'approche systémique entend le terme "analogie." Celle-ci ne se propose pas de trouver une théorie générale de n'importe quoi, applicable à toutes les disciplines particulières, mais de bâtir des théories à des niveaux de généralité de plus en plus élevé, dans le sens que cette théorie puisse être explicative dans plusieurs domaines de la

⁷³ M. Bunge, Method, Model and Matter, (Dordrecht-Holland, Boston: D. Reidel Publishing Co., 1973), p. 125.

Tableau 1.2

Niveaux de Complexité et Propriétés des Systèmes

<u>Degré de Complexité</u>	<u>Structure</u>	<u>Propriétés</u>	<u>Comportement</u>
a) <u>Système Inerte</u>	<u>Statique</u> Ex.: Arrangement des planètes dans le système solaire, structure des atomes dans une molécule	Equilibre parfait Loi de composition unique	Aucune
b) <u>Système Déterministe</u>	<u>Stable</u> Ex.: Machines, automates, mouvement des planètes	Stabilité parfaite Loi de transformation à valeur unique	Mécanique sans mémoire
c) <u>Système Biologique Ouvert</u>	<u>Changement structural</u> Ex.: Cellules, plantes	Stabilisateur automatique Loi de transformation à valeur unique	Feedback, auto-régulateur, croissance, entropie, mort
d) <u>Système Animal Ouvert</u>	<u>Dynamique</u> Ex.: Animaux, certains artificats	Stabilité dynamique Loi de transformation à valeurs multiples, interaction, différentiation, perception, contrôle des informations	Auto-réglage, feedback, croissance, entropie, but-orienté

Tableau 1.2 (suite)

Degré de Complexité	Structure	Propriétés	Comportement
e) Système Social et Humain	<u>Auto-dynamique</u>	Stabilité auto-dynamique Famille de lois de transformation à valeurs multiples, interaction, différenciation, perception, mémoire, projet, contrôle des informations	Auto-contrôle, auto-régulateur, croissance mort, entropie, fonction-orienté, adaptation

connaissance.⁷⁴

La remarque de Rapoport mérite d'être citée:

Il y a des gens qui savourent l'idée de réduire tous les phénomènes, y compris les opérations mentales et émotionnelles, à des événements physiques; et il y en a d'autres qui sont réticents à cette idée. Le théoricien des Systèmes Généraux contourne cette question. Il est intéressé à cela seulement dans la mesure où l'opération du cerveau peut être reliée à celle de l'ordinateur. La réponse ne doit pas être trouvée dans ce qu'un cerveau et un ordinateur sont, (de telles questions relèvent des vestiges de la métaphysique préscientifique), mais plutôt ce que les cerveaux et les ordinateurs peuvent accomplir. Dans la mesure où certaines opérations du cerveau peuvent être représentées comme le comportement d'un système ayant une structure hypothétique et des propriétés dynamiques, et dans la mesure où tel système peut être simulé par un ordinateur, autant le cerveau que l'ordinateur semblent être des réalisations d'un certain type de système général (à noter que ce n'est pas du tout la même chose que de dire qu'un cerveau est un ordinateur).⁷⁵

⁷⁴ Laszlo montre que le mot originalement employé par Von Bertalanffy 'Allgemeine Systemlehre' prête à une confusion sémantique lorsqu'il a été traduit en anglais mot à mot "General System Theory" qui peut être interprété comme "La Théorie Générale des Systèmes" ou comme "une théorie des Systèmes Généraux." L'idée de Laszlo est qu'il est possible d'avoir une théorie assez générale pour pouvoir intégrer toutes les disciplines de la connaissance de la philosophie aux sciences naturelles. Mais c'est Boulding, économiste et l'un des premiers fondateurs de la Société pour l'Etude des Systèmes et de son journal General System Yearbook qui exprime le mieux les buts de la Théorie Générale des Systèmes: "A un bas degré d'ambition et un haut degré de confiance, elle tend à démontrer les similarités dans les constructions théoriques de différentes disciplines, quand celles-ci existent, et de développer des modèles théoriques pouvant être appliqués à au moins deux domaines différents. A un niveau d'ambition plus élevé mais peut-être à un niveau plus bas de confiance, elle espère développer quelque chose comme un spectrum de théories, un système de systèmes ayant pour fonction de gestalt dans la construction théorique". (Kenneth E. Boulding, "General System Theory, the Skeleton of Science," Management Science 2, [1956]: 197-208). Voir aussi, Erwin Laszlo, "The Meaning and Significance of General System Theory," Behavioral Sciences 20, (1975): 9-23.

⁷⁵ Anatol Rapoport, "Mathematical Aspects of General System Theory," General System Yearbook 11, (1966) 9-10.

Même dans ce cas, ajoute-t-il, "on ne doit pas oublier les limites de l'approche systémique."⁷⁶ Les conclusions quant aux ressemblances structurales entre deux ou plusieurs systèmes sont valides seulement si les modèles mathématiques correspondants sont des représentations assez fidèles de ces systèmes.

76 Ibid.

CHAPITRE II

LES ELEMENTS D'UNE THEORIE DE LA STRUCTURE

L'argument souvent avancé contre l'emploi des méthodes quantitatives et mathématiques dans les sciences sociales en général, et dans la science économique en particulier, est l'existence de variables qualitatives et surtout, le caractère subjectif de l'élément humain limitant toute mesure ou axiomatisation. Cette conception doit être prise avec une certaine réserve. D'une part, elle n'explique pas le développement des sciences si on remarque que les sciences naturelles telles que la physique ou la biologie ont aussi passé par des phases successives de démystification des méthodes mathématiques au XVIème et XVIIIème siècles. D'autre part, elle semble confondre les fins et les moyens. En tant que moyen, la mathématique n'a pas d'équivalent dans la procédure d'élaboration des hypothèses et la déduction logique des résultats. Toute proposition mathématique peut être traduite en langage verbal, mais alors que ce dernier ne permet pas ou permet difficilement une argumentation logique dans le cas d'une multitude de données et de variables, le langage mathématique permet une économie d'effort intellectuel en facilitant la déduction de nouveaux théorèmes, là où la logique verbale devient impuissante. A ce propos, nous pouvons citer Morgenstern:

Le principal problème est de savoir si les lois économiques peuvent être trouvées - ou sont déjà découvertes - dans une qualité comparable aux lois naturelles, quoiqu'elles puissent être différentes dans leur structure. Si de telles lois existent, elles trouveront leur formulation mathématique. De ceci, on ne

peut avoir l'ombre d'un doute. Les lois de la nature sont écrites dans le langage mathématique, comme les anciens l'ont bien compris. Les lois de la société sont écrites dans le même langage, c'est ce que les modernes doivent un jour comprendre.¹

Ce chapitre sera consacré à la formulation mathématique des notions introduites dans le chapitre premier. Pour que la transposition dans le langage mathématique soit possible, la condition nécessaire est une définition claire et précise des concepts ainsi qu'une formulation sans ambiguïté des problèmes. Cette tâche élaborée dans le chapitre précédent sera développée ici par l'élaboration d'un schème conceptuel. Dans une première section, nous proposerons quelques définitions de base. Dans la deuxième section, nous étudierons les propriétés dynamiques d'un système; en particulier les propriétés de stabilité dynamique et de stabilité structurale. Nous ferons une transposition du concept de structure dans la théorie des graphes orientés dans une troisième section. Nous montrerons que le choix de cet outil mathématique n'est pas fortuit mais fondé sur les avantages pratiques qu'il apporte à la résolution des problèmes de structure. Finalement les hypothèses de travail seront développées dans le cadre d'une méthodologie générale appliquée à l'analyse de la stabilité structurale.

A. Définitions de base

Klir et Valach ont proposé une systématisation des concepts entrant dans la définition d'un système d'après l'approche cybernétique et

¹ Oskar Morgenstern, "Limits to the Uses of Mathematics in Economics," Mathematics and the Social Sciences Monograph, American Academy of Political and Social Science, Philadelphia, (juin 1963): 27. Il existe à ce propos une longue tradition. A cause des limites de la thèse, nous n'aborderons pas ce sujet qui d'ailleurs est déjà largement traité ailleurs.

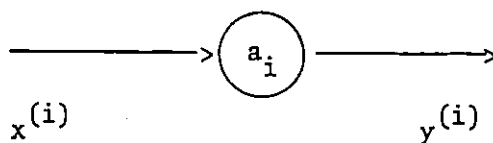
systémique.² Lange a introduit ces concepts en économie.³ Les définitions suivantes reflètent cette tendance systémique.

L'élément actif

Un élément actif ou une composante active est un agent économique, politique ou social, ou un objet matériel qui agit sur et dépend d'autres agents ou objets matériels.

Figure 2.1

Graphe d'un élément actif



où:

$x^{(i)} = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_m^{(i)})$, un vecteur colonne de dimension m des stimuli (ou entrées),

$y^{(i)} = (y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, \dots, y_n^{(i)})$, un vecteur colonne de dimension n des réponses (ou sorties).

On a l'application $T_i: x^{(i)} \rightarrow y^{(i)}$ qui est une fonction vectorielle exprimant la transformation des entrées en sorties.

$$y^{(i)} = T_i[x^{(i)}] \quad (2.1)$$

² G.J. Klir et M. Valach, Cybernetic Modelling. Pour un point de vue interdisciplinaire, voir R.L. Ackoff, "Systems, Organizations and Interdisciplinary Research," General System Yearbook 5, (1960): 1-8; W.R. Ashby, "General System Theory as a New Discipline," General System Yearbook 3, (1958): 1-17, et Ludvig von Bertalanffy, General System Theory: Foundations, Development, Applications (New York: Braziller, 1968).

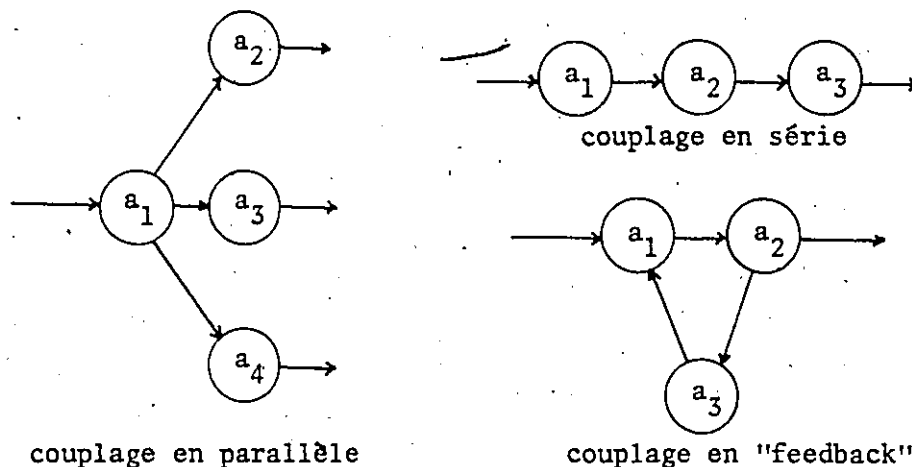
³ Oskar Lange, Wholes and Parts: A General Theory of System Behavior (New York: Pergamon Press, 1965), idem, Introduction to Economic Cybernetics (Warszawa: Polish Scientific Publishers, 1970).

Couplage

Lorsque deux ou plusieurs éléments actifs entretiennent des relations de stimulus-réponse, on dit qu'ils sont couplés, c'est à dire que les entrées de l'un sont les sorties des autres. Les éléments peuvent être couplés en parallèle, en série ou en "feedback".

Figure 2.2

Graphes de couplage



La matrice de couplage C_{ij} de deux éléments a_i et a_j possède les propriétés suivantes:

- 1) elle est carrée d'ordre m si $m \geq n$, ou d'ordre n si $n \geq m$,
- 2) chaque élément de la matrice est défini par:

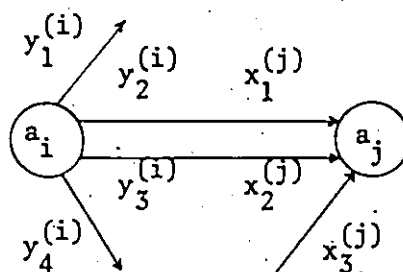
$$\delta_{st} = \begin{cases} 1 & \text{si } x_t^{(j)} = y_s^{(i)} \\ 0 & \text{si } x_t^{(j)} \neq y_s^{(i)} \end{cases}$$

- 3) si $m > n$ la matrice C_{ij} possède au moins $m-n$ lignes composées de zéros et si $n > m$, C_{ij} possède au moins $n-m$ colonnes composées de zéros.

D'où:

$$x^{(j)} = C_{ij} y^{(i)} \quad (2.2)$$

Un exemple de couplage de deux éléments a_i et a_j dont le premier possède quatre sorties $\{y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, y_3^{(i)}, y_4^{(i)}\}$ et le second possède trois entrées $\{x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}\}$ est représenté par le multigraphe:



Comme $m = 4$, $n = 3$, la matrice de couplage est carrée (4×4), avec au moins une ligne composée de zéros.

Mais $y_2^{(i)} = x_1^{(j)}$ ($\delta_{21} = 1$) et $y_3^{(i)} = x_2^{(j)}$ ($\delta_{32} = 1$), d'où la matrice de couplage:

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Structure

En procédant à la généralisation, nous pouvons considérer un ensemble d'éléments:

$$A = \{(a_i) \mid i = \overline{0, \dots, N}\}$$

où $a_1, a_2, \dots, a_N$ sont les éléments du système en considération et a_0 l'environnement du système.⁴

La structure du système est définie comme l'ensemble des couplages des éléments entre eux et avec son environnement.

$$S = \begin{pmatrix} 0 & C_{01} & \dots & C_{0N} \\ C_{10} & C_{11} & \dots & C_{1N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{N0} & C_{N1} & \dots & C_{NN} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

ou

$$S = \begin{pmatrix} 0 & C_{0j} \\ C_{i0} & C_{ij} \end{pmatrix} \quad (i, j = 1, \dots, N) \quad (2.4)$$

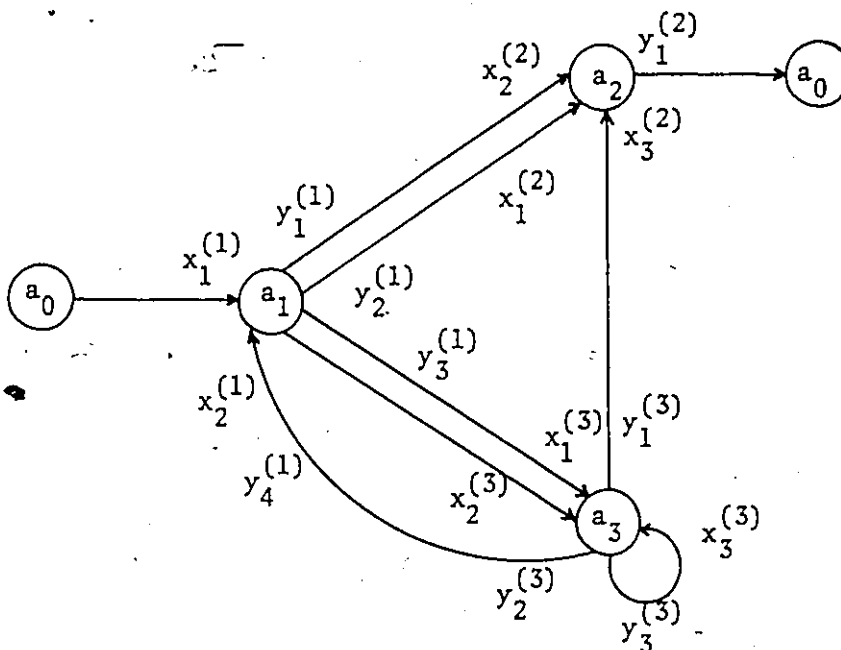
C_{0j} et C_{i0} décrivent les relations externes (entrées-sorties) du système avec son environnement alors que la matrice C_{ij} décrit la structure interne du système.⁵

4 Si a_0 entretient des relations avec les autres éléments, le système est dit "ouvert" sinon il sera "fermé". Tous les systèmes sociaux sont donc ouverts d'après cette définition.

5 Nous supposons que la matrice de couplage de a_0 avec lui même est nulle puisque nous nous intéressons uniquement à la structure du système et non celle de l'environnement.

La figure 2.3 donne un exemple simple d'un système avec quatre éléments.

Figure 2.3
Multigraphe de couplage



Les matrices de couplage peuvent s'écrire:

$$C_{20} = [1] \quad C_{01} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \quad C_{21} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \quad C_{22} = C_{23} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$C_{11} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad C_{12} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad C_{13} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$C_{31} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad C_{32} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad C_{33} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Lorsque le nombre d'entrées et de sorties de chaque élément est large, il est plus commode de représenter la structure du système par la matrice réduite:

$$S^* = \{(s_{ij}) \mid i, j = 0, 1, \dots, N\} \quad (2.5)$$

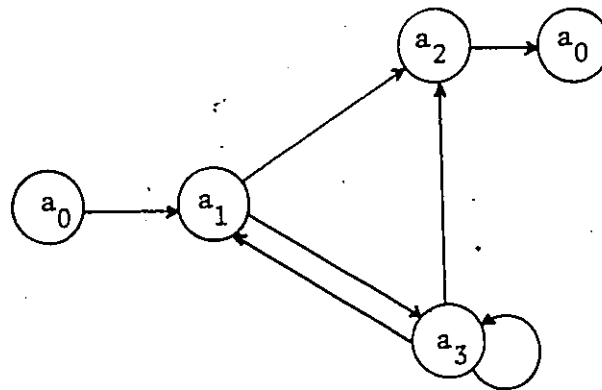
où

$$s_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } C_{ij} \neq [0] \\ 0 & \text{si } C_{ij} = [0] \end{cases}$$

Nous définissons S^* comme la structure primaire du système. D'après l'exemple de la fig. 2.3, on obtient le graphe orienté de couplage de la structure primaire.

Figure 2.4

Graphe orienté de couplage de la structure primaire



La matrice de la structure primaire s'écrit:

$$S^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dans ce qui suit, nous emploierons le terme de structure et la notation S dans le sens de structure primaire pour faciliter la notation.

On peut représenter la structure de trois façons: 1) sous forme de tableau, 2) sous forme de graphe orienté, et 3) sous forme de matrice de couplage. Ces trois formes sont décrites dans la fig. 2.5.

Figure 2.5

Les trois formes de représentation d'une structure

R: $a_i \rightarrow a_j$

$a_1 \quad a_1 Ra_2$

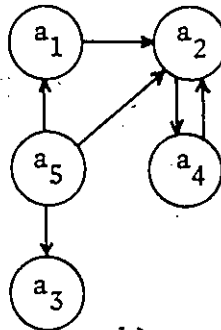
$a_2 \quad a_2 Ra_4$

$a_3 \quad a_3 Ra_i, \quad i = 1, 2, 4, 5$

$a_4 \quad a_4 Ra_2$

$a_5 \quad a_5 Ra_1, a_5 Ra_2, a_5 Ra_3$

a)



b)

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

c)

Système

Soient:

$$X = (x_0^{(1)}, x_0^{(2)}, \dots, x_0^{(N)})'$$

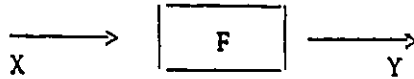
$$Y = (y_0^{(1)}, y_0^{(2)}, \dots, y_0^{(N)})'$$

les relations entrées-sorties de chaque élément avec l'environnement du système. On peut éliminer les éléments qui n'entretiennent pas de relations avec l'environnement, et alors reclassifier les éléments de X et Y :

$$X = ({}^1x, {}^2x, \dots, p_x)'$$

$$Y = ({}^1y, {}^2y, \dots, q_y)'$$

On utilise la notation usuelle pour un système ψ .



où

$$Y = F(X) \quad (2.6)$$

qui s'écrit en entier sous forme de système d'équations:

$$\begin{aligned} 1_y &= f_1(1_x, 2_x, \dots, p_x) \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$q_y = f_q(1_x, 2_x, \dots, p_x)$$

L'équation (2.6) ou le système (2.7) définit la loi de transformation du système. Un système est donc défini par: 1) l'ensemble des éléments A du système et son environnement, 2) sa structure (S), et 3) sa fonction de transformation F.

$$\psi = (A, S, F) \quad (2.8)$$

B. Propriétés dynamiques d'un système

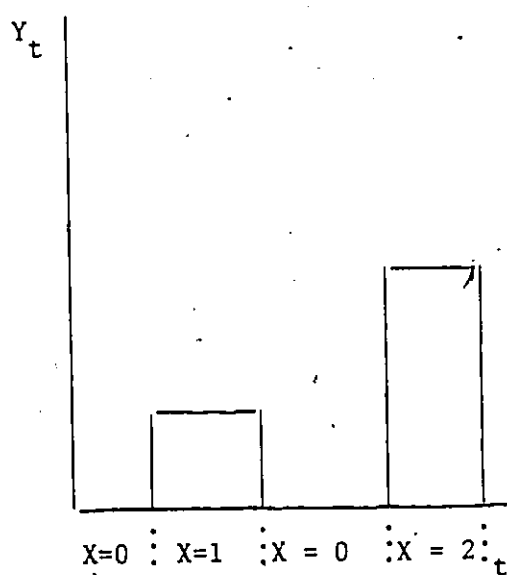
On définit d'abord l'état d'un système au temps t par l'ensemble des valeurs que prennent les entrées et les sorties du système à cet instant, c. à d. par le couple (X_t, Y_t) . Pour un système dynamique on distingue entre:

- 1) un système discret ou continu: si la valeur des sorties change d'une manière discrète ou continue par rapport au temps, et
- 2) un système avec ou sans retard: si la valeur des sorties change instantanément ou avec une période de retard après un changement dans les entrées. La période de retard est dite temps de réaction du système.

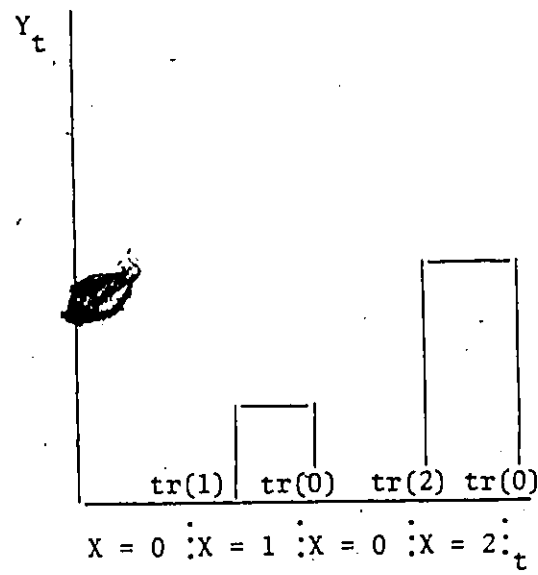
La figure 2.6 donne quelques exemples des types de systèmes.

Figure 2.6

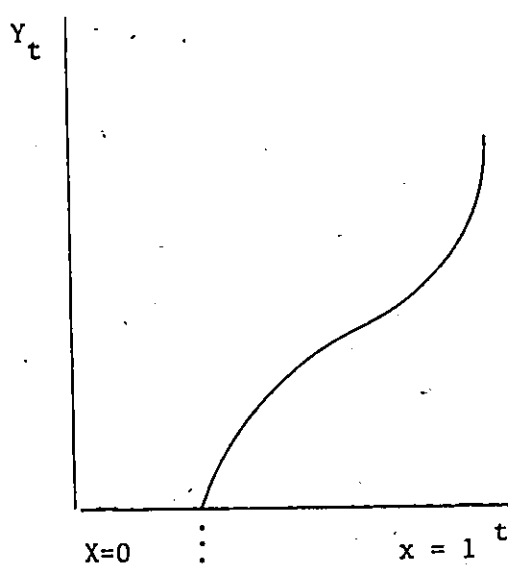
Types de systèmes



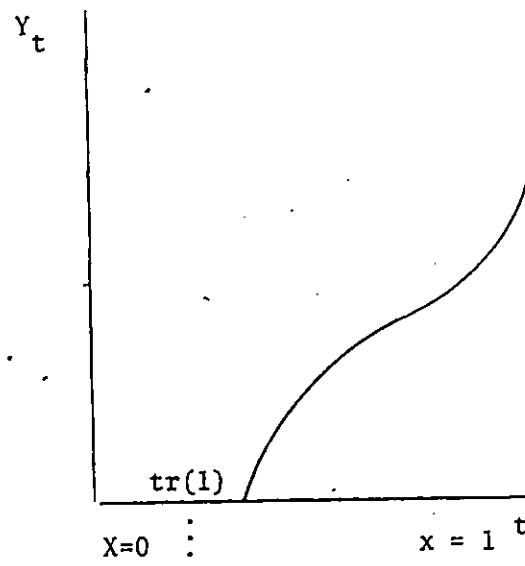
a) système discret sans retard



b) système discret avec retard



c) système continu sans retard



d) système continu avec retard

Lois de développement interne du système

A partir des relations (2.1) et (2.2) nous pouvons écrire pour le cas d'un système discret avec retard:⁶

$$x_{t+\theta}^{(j)} = C_{ij} T_i [x_t^{(i)}] \quad (2.9)$$

$$y_{t+\theta}^{(i)} = T_i C_{ji} [y_t^{(j)}] \quad (2.9)'$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, N; i \neq j)$$

et en remplaçant:

$$R_{ij} = C_{ij} T_i$$

$$P_{ji} = T_i C_{ji}$$

nous avons:

$$x_{t+\theta}^{(j)} = R_{ij} [x_t^{(i)}] \quad (2.10)$$

$$y_{t+\theta}^{(i)} = P_{ji} [y_t^{(j)}] \quad (2.10)'$$

L'action des stimuli s'exerçant pendant toute la durée du temps de réaction, on peut écrire pour le cas discret:

$$x_{t+\theta}^{(j)} = \sum_{\tau=0}^{\theta} R_{ij} [x_{t-\tau}^{(i)}, \tau] \quad (2.11)$$

$$y_{t+\theta}^{(i)} = \sum_{\tau=0}^{\theta} P_{ji} [y_{t-\tau}^{(j)}, \tau] \quad (2.11)'$$

Les fonctions R_{ij} et P_{ji} peuvent être définies comme les "lois de développement interne" du système.⁷ Elles expriment que les entrées

⁶ Pour le cas instantané $\theta = 0$.

⁷ O. Lange, Wholes and Parts, p. 37.

et sorties des éléments peuvent être auto-entretenuës après une variation initiale des stimuli . Ces lois de développement internes, d'après les équations (2.9) et (2.9)' dépendent uniquement des lois de transformation des éléments (T_i) et de la structure du système (C_{ij}).

Les équations (2.11) et (2.11)' peuvent être généralisées dans le cas d'un système continu:

$$x_{t+\theta}^{(j)} = \int_0^\theta R_{ij} [x_{t-\tau}^{(i)}, \tau] d\tau \quad (2.12)$$

$$y_{t+\theta}^{(i)} = \int_0^\theta R_{ji} [y_{t-\tau}^{(j)}, \tau] d\tau \quad (2.12)'$$

Les équations (2.12) et (2.12)' expriment le fait qu'une fois admise un stimulu initial dans la période $[0, \theta]$, θ peut être aussi petit qu'on voudra, le système possède la propriété de se développer de lui-même, après la période de réaction, en transformant ses propres entrées et sorties. En d'autres mots, si on connaît l'état initial du système, sa structure, sa loi de transformation et l'intervalle de réaction, le comportement dynamique du système est parfaitement déterminé.

Stabilité dynamique

On peut d'abord définir un état d'équilibre comme une situation dans laquelle il n'existe aucune force qui pourrait induire un changement du système, ceteris paribus, les forces exogènes au système restant constants: $X_t = X$ et $Y_t = Y$, pour n'importe quel t . La stabilité est alors définie comme:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X_t = \bar{X}, \text{ ou soit } \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta X_t = 0 \quad (2.13)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y_t = \bar{Y}, \text{ ou soit } \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta Y_t = 0 \quad (2.13)'$$

Les conditions (2.13) et (2.13)' peuvent être satisfaites pour certaines valeurs de X et Y et non pour d'autres, définissant ainsi un domaine de stabilité.⁸

D'autre part, dérivant totalement les fonctions (2.11) et (2.11)' sous la forme vectorielle, par rapport au temps, et au point d'équilibre, on obtient:

$$X_t = \sum_{\tau=0}^{\theta} \frac{\partial R}{\partial X_{t-\tau}} \bigg|_{X_{t-\tau} = \bar{X}} \Delta X_{t-\tau} \quad (2.14)$$

et

$$Y_t = \sum_{\tau=0}^{\theta} \frac{\partial P}{\partial Y_{t-\tau}} \bigg|_{Y_{t-\tau} = \bar{Y}} \Delta Y_{t-\tau} \quad (2.14)'$$

Les équations (2.14) et (2.14)' forment un système de 2N équations à différence finie, d'ordre τ , dont la solution générale s'écrit:

$$\Delta X_t = \sum_{j=1}^N K_j \lambda_j^t \quad (2.15)$$

$$\Delta Y_t = \sum_{j=1}^N L_j \delta_j^t \quad (2.15)'$$

où K_j et L_j sont des constants déterminés par les τ conditions initiales et λ_j et δ_j sont les racines caractéristiques des équations (2.14) et

⁸ Correspond à la définition de la stabilité partielle de Liapunov. La référence classique est J.P. La Salle et S. Lefschetz, Stability by Liapunov Direct Method, with Applications (New York: Academic Press, 1961).

(2.14)', ou soient les racines caractéristiques des matrices jacobien-
niennes:

$$\left. \frac{\partial R}{\partial X} \right|_{X=\bar{X}} \quad \text{et} \quad \left. \frac{\partial P}{\partial Y} \right|_{Y=\bar{Y}}$$

Les conclusions suivantes sont déduites:

1. Le système converge vers l'état d'équilibre (stable), si toutes les racines caractéristiques λ_j et δ_j sont toutes inférieures à l'unité, et diverge de l'état d'équilibre (instable) si au moins l'une d'entre-elles est supérieure à l'unité.
2. Si toutes les racines sont réelles, le système converge ou diverge de l'état d'équilibre asymptotiquement (stabilité ou instabilité asymptotique), et s'il existe des racines complexes, le système converge ou diverge de l'état d'équilibre avec des oscillations (stabilité ou instabilité oscillatoire).⁹

Ces résultats peuvent aussi être déduits à partir de la propriété de négativité quasi-définie des matrices jacobien-¹⁰

3. Si les matrices jacobien-¹⁰ sont décomposables en matrices triangulaires, avec les éléments en dessus et sur la diagonale zéros, toutes les racines caractéristiques sont nulles et le système est indéterminé, c. à d., une fois déterminé l'état initial, l'état du système peut prendre n'importe quelle valeur arbitraire. Un tel système s'appelle

9 Voir, par exemple, Kelvin Lancaster, Mathematical Economics (New York: The MacMillan Company, 1968), appendice R.10, pp. 368 et suivantes. Les matrices qui admettent des racines caractéristiques toutes inférieures à l'unité, pour les raisons ci-dessus, se nomment matrices de stabilité.

10. Voir Peter Newman, "Approaches to Stability Analysis," Economica 28, (février 1961): 12-29.

système-neutre. La possibilité de décomposer les matrices jacobienues, ou analogiquement les matrices R et P ¹¹, proviennent du fait que le système admet seulement des couplages du type en série ou du type en parallèle, d'où absence de "feedback". La condition nécessaire, mais non suffisante pour l'existence d'un équilibre stable est qu'il existe au moins un bouclage dans la structure des éléments (couplage en "feedback").

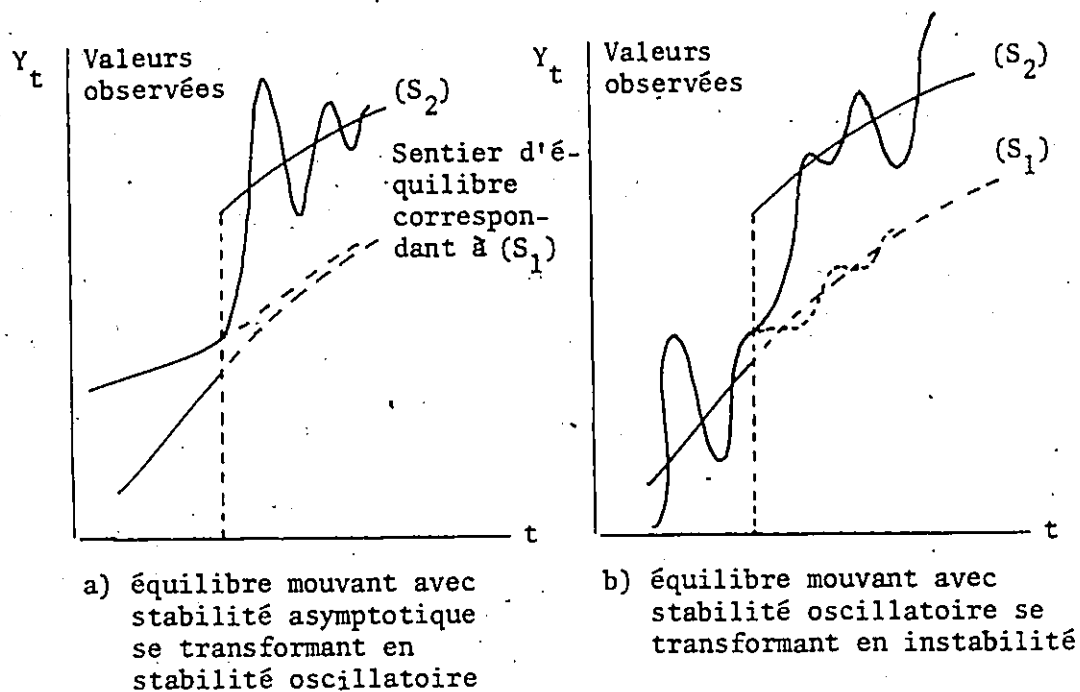
Stabilité structurale

Les résultats précédents concernent la stabilité dynamique d'un système. En particulier, les systèmes d'équations (2.15) et (2.15)' ne sont valides que si la structure S , représentée par les matrices de couplage C_{ij} , reste stable (inchangée). En d'autres termes, à une structure S correspond, d'après les conditions de stabilité décrites dans le paragraphe précédent, un chemin d'équilibre et un type de stabilité du système. Un changement structural nécessite donc une redéfinition de l'équilibre et de la stabilité. Un comportement asymptotiquement stable avant un changement structural peut se transformer en un comportement oscillatoire après ce changement. La figure 2.7 montre quelques exemples des conséquences d'un changement structural sur la définition de l'équilibre et de la stabilité.

¹¹ cf. équations (2.10) et (2.14).

Figure 2.7

Effet du changement structural sur
l'équilibre et la stabilité



Pour un système physique, la structure est relativement stable, et on pourrait se contenter de l'étude de la stabilité dynamique. Mais pour un système social ou économique, la possibilité de changement structural fréquent dans le but de s'adapter aux conditions de l'environnement (ultrastabilité) fait qu'il serait plus pertinent d'étudier leur stabilité structurale. De ce point de vue, la stabilité structurale représente un domaine particulier de l'analyse dynamique d'un système. Sur le plan systémique, l'analyse de la stabilité structurale a pour but la recherche des conditions générales d'équilibre de la structure, et le type de stabilité de celle-ci. Par rapport à

l'approche quantitative de la recherche d'une solution stable à un système d'équations, elle représente une approche qualitative dans la recherche des propriétés intrinsèques (relationnelles) d'une structure.

La stabilité structurale peut se définir dans le contexte d'une structure en équilibre, comme la propriété de certaines parties de la structure de conserver sa configuration (ses couplages) après un changement structural (changement dans les matrices de couplage) dans d'autres parties de la même structure.

En symbolisant par A , l'ensemble des éléments du système:

$$A = \{(a_i) | i = 0, 1, \dots, N\}$$

et par S la structure en équilibre observée pendant un laps de temps T_0 , on opère une partition de A :

$$A = \{(A_k) | k = 1, 2, \dots, K; K < N\}$$

et en désignant par S_k leurs structures partielles respectives.

Nous notons un changement structural dans le sous-ensemble A_s , $s \in K$, dans la période T_1 , si:

$$S_s(T_1) \not\sim S_s(T_0)$$

Le symbole $\sim$ désigne "identique à" et $\not\sim$ le cas contraire.

On définit la stabilité structurale partielle d'un autre sous-ensemble A_ℓ , $\ell \in K$, $\ell \neq s$; par rapport à A_s si:

$$S_\ell(T_1) \sim S_\ell(T_0)$$

qu'on note:

$$SS_p[S_\ell(T_1) \sim S_\ell(T_0) | S_s(T_1) \not\sim S_s(T_0)]$$

Le sous-ensemble A_g possède alors une stabilité structurale partielle par rapport au changement structural dans le sous-ensemble A_s .

De même, on pourra définir la stabilité structurale totale du sous-ensemble complémentaire de A_s :

$$A_s^c = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_{s-1} \cup A_{s+1} \cup \dots \cup A_k$$

si,

$$S_s^c(T_1) \sim S_s^c(T_0)$$

qu'on note:

$$SS_T[S_s^c(T_1) \sim S_s^c(T_0) \mid S_s(T_1) \not\sim S_s(T_0)]$$

Le sous-ensemble A_s^c possède alors une stabilité structurale totale par rapport au changement structural dans le sous-ensemble A_s .

Chaque système possède donc un degré différent de stabilité structurale. Certains systèmes possèdent une structure dissipative dans laquelle les changements structuraux sont transmis ou amplifiés par l'effet de diffusion. D'autres systèmes possèdent une structure anti-dissipative dans laquelle les changements structuraux sont réduits ou éliminés par l'effet de freinage.¹² L'analyse de la stabilité structurale consiste à localiser les éléments qui permettent cette diffusion ou au contraire ceux qui la freinent. Elle conduit ultérieurement à quantifier l'effet de diffusion ou de freinage et le degré de stabilité structurale des différents sous-ensembles de la structure.

¹² Sur les effets de diffusion et de freinage, voir C. Ponsard, Un Modèle Topologique d'Equilibre Economique Interrégional (Paris: Dunod, 1969), R. Lantner, La Théorie de la Dominance (Paris: Dunod, 1974), J. Rota, Graphes de Transfert et Dynamisation d'un Modèle Entrées-Sorties (Paris: Dunod, 1971).

Stabilité structurelle dans le sens de R. Thom

Le concept de stabilité structurelle défini à la section précédente fait appel à la mathématique des structures d'ordre. En 1972, R. Thom développa la théorie des catastrophes basée sur le concept de stabilité structurelle dans le sens de la topologie différentielle.¹³ Pour éviter toute confusion ultérieure, cette section a pour objet de relever les points caractéristiques de la théorie des catastrophes afin de la différencier clairement de l'analyse de la stabilité structurelle.

Il n'est pas question de détailler ici la théorie des catastrophes. Il existe à ce sujet une littérature abondante.¹⁴ Au lieu de procéder par une définition mathématique rigoureuse, nous présentons deux exemples intuitifs ou entrent directement le concept de stabilité structurelle.

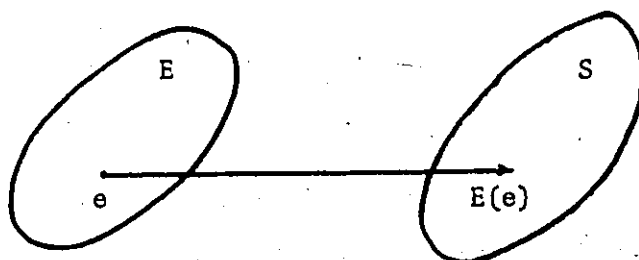
Le premier exemple est tiré de Debreu sur l'application de la topologie différentielle à la théorie de l'équilibre général (TEG).¹⁵

13 R. Thom, Stabilité Structurelle et Morphogénèse, (Paris: Benjamin, 1972).

14 Pour le lecteur non averti, il existe de bons articles de synthèse de la théorie des catastrophes, M. Golubitsky, "An Introduction to Catastrophe Theory and its Applications," Siam Review 20, no. 2 (1978): 353-387, H. Sussmann, "Catastrophe Theory", Synthèse 31, (1975): 229-270. Sur les applications possibles dans les sciences sociales, voir C.A. Isnard et E.C. Zeeman, "Some Models from Catastrophe Theory in the Social Sciences", dans L. Collins (ed.), Use of Models in the Social Sciences (London: Tavistock, 1974). Il faut lire également les critiques sévères, mais probablement exagérées de H. Sussmann et R. Zahler, "Catastrophe Theory as Applied to the Social and Biological Sciences: A Critique", Synthèse 37, (1978): 117-216.

15 G. Debreu, "Regular Differentiable Economics", American Economic Review, Papers and Proceedings 66, no. 2 (1976): 280-287.

Nous concevons une économie e qui est complètement définie par un ensemble de fonctions de demande et la distribution initiale des ressources. Soit E l'ensemble des économies concevables, $e \in E$, $E(e)$ l'existence d'un état d'équilibre correspondant à e et S l'ensemble des états d'équilibre. La TEG a pour objet de démontrer que pour chaque e il existe un $E(e)$, et que dans certains cas, cet équilibre est unique et optimal dans le sens de Pareto.



Pour la TEG, il est désirable que $E(e)$ soit unique et que toute variation infinitésimal des paramètres de e dans le voisinage de e ($N(e)$), n'entraîne pas une variation discrète de $E(e)$. $E(e)$ serait donc défini comme l'attracteur unique pour $N(e)$. Sinon une erreur arbitrairement petit dans la détermination de e entraînerait une indétermination de $E(e)$, ce qui éliminerait une bonne partie du pouvoir explicatif de la TEG. Or la théorie des catastrophes permet de démontrer que pour certains niveaux de contrôle de l'économie (ex. certaines distributions des revenus), les points critiques de variation discrète d'un attracteur à un autre est en nombre fini.

Le passage d'un point d'équilibre à un autre est encore plus clairement défini si l'on fait référence à la fonction d'excès de demande, $F(e, p) = 0$, vérifiée pour chaque point d'équilibre de l'économie. On pourrait concevoir e comme l'ensemble des paramètres

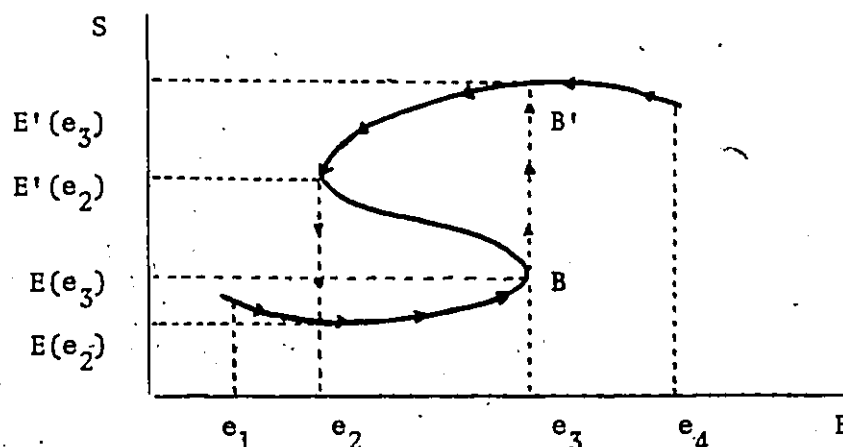
structuraux de l'économie et p le vecteur des prix d'équilibre.

Un point critique est un point où le déterminant du jacobien de F devient nul. De manière équivalente, un point régulier est un point où le déterminant du jacobien de F est différent de zéro.

Un exemple d'une économie à deux points critiques est représenté à la figure 2.8.

Figure 2.8

Economie avec deux points critiques



Supposons une économie où l'on ferait varier de façon continue la distribution initiale des ressources d'une situation e_1 à une autre situation e_4 . L'équilibre stable de cette économie se déplacerait également dans l'espace S d'une manière continue de $E(e_1)$ à $E(e_3)$. Il est clair que le point B correspondant à e_3 est un point critique pour l'économie puisqu'une nouvelle variation de e_3 , toute petite soit-elle, entraînerait une variation discrète de $E(e_3)$ à $E'(e_3)$. C'est là l'idée principale de la théorie des catastrophes. Elle permet de décrire à travers des modèles globaux (catastrophes élémentaires), les

propriétés de g n rescence et de dégénérescence des systèmes dynamiques; en d'autres mots, les propriétés qualitatives de "saut" discret dans l'évolution stable de ces systèmes. La contribution de R. Thom est d'avoir classifié l'infinitt  des cas possibles de catastrophes en un ensemble fini de "formes canoniques", appelées attracteurs universels dépendant du nombre de paramètres k de la fonction. Pour $k \leq 4$, R. Thom a dénombré sept types de catastrophes élémentaires, dont l'écriture se trouve dans tous les articles vulgarisateurs de la théorie des catastrophes.¹⁶

On peut rapporter comme deuxième exemple de la théorie des catastrophes, le problème de la maximisation sous contrainte rapport  par Sussmann.¹⁷

Considérons le problème de maximisation suivant:

$$\text{Max} \quad p_1 x_1 + p_2 x_2$$

s. .

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 \leq a_3$$

$$b_1 x_1 + b_2 x_2 \leq b_3$$

$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0$$

Faisons également l'hypothèse que:

$$a_1 b_2 > a_2 b_1, \quad a_1 b_3 > a_3 b_1, \quad a_3 b_2 > a_2 b_3,$$

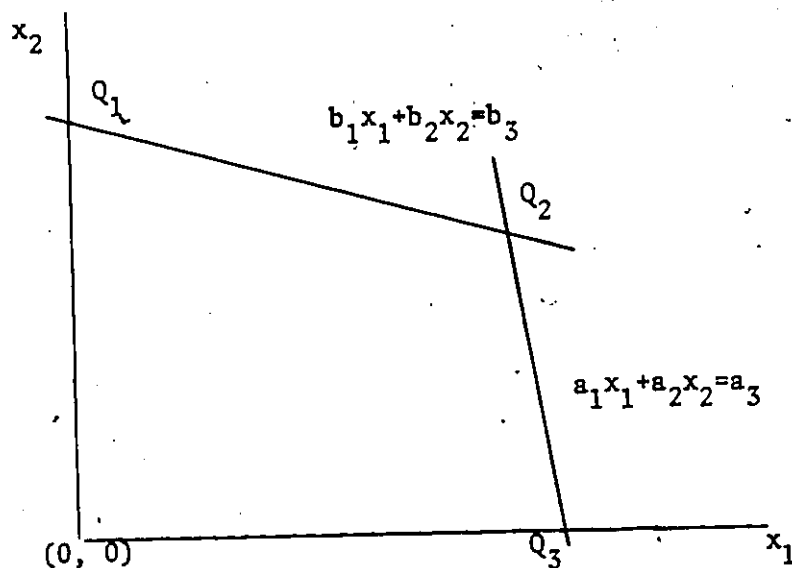
L'ensemble admissible du problème de maximisation est représenté à la figure 2.9.

¹⁶ D. Rand, "Catastrophes and Economic Models" dans Colloque International du CNRS, "Systèmes Dynamiques et Modèles Economiques" (Paris: Editions du CNRS, 1977), pp. 77-87.

¹⁷ H. Sussmann, "Catastrophe Theory", Synthèse 31, (1975): 229-270.

Figure 2.9

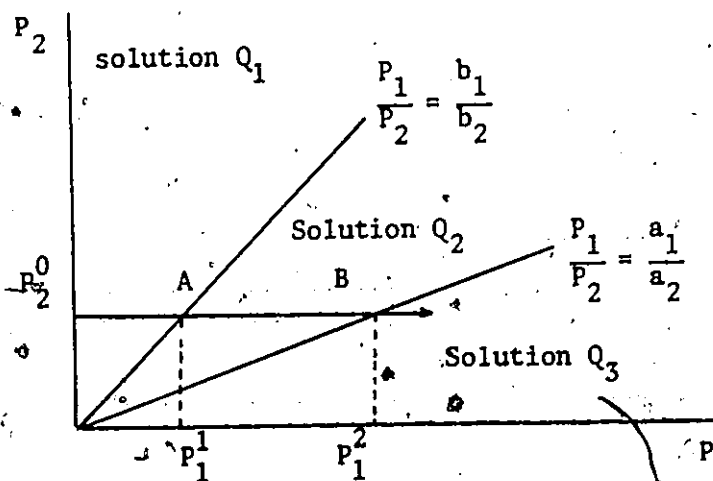
Ensemble admissible du problème
de programmation linéaire



Il y a cinq catégories de solutions possibles dépendant de la relation entre les paramètres p_1 , p_2 , a_1 , a_2 , b_1 et b_2 . Celles-ci sont représentées à la figure 2.10.

Figure 2.10

Espace paramétrique et solutions
au problème de programmation linéaire



Supposons que p_2 reste fixe alors que p_1 augmente régulièrement tel que décrit à la figure 2.10. La solution passerait de Q_1 à Q_2 d'une manière abrupte lorsque $P_1/P_2 = b_1/b_2$, et sauterait de la solution Q_2 à la solution Q_3 lorsque $P_1/P_2 = a_1/a_2$. Les points A et B sont clairement des points de catastrophe. Par exemple, si:

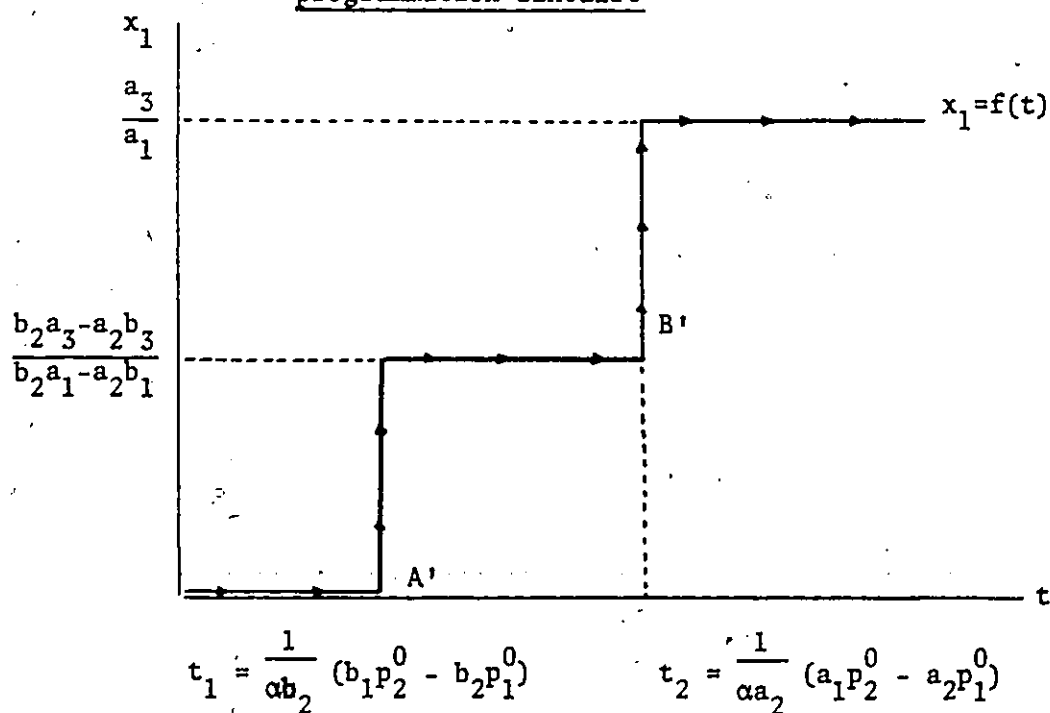
$$p_1(t) = p_1^0 + \alpha t$$

$$p_2(t) = p_2^0$$

Nous obtenons la courbe de l'évolution de x_1 en fonction du temps.

Figure 2.11

Catastrophe dans un problème de programmation linéaire



La fonction $x_1 = f(t)$ est bien définie exceptée aux points de catastrophe A' et B' où on observe un "saut discontinu" et où x_1 admet une infinité de solutions. L'ensemble des catastrophes est donc défini dans la figure 2.10 par les deux lignes droites $p_1/p_2 = b_1/b_2$ et $p_1/p_2 = a_1/a_2$.

En résumé, la théorie des catastrophes, dans son idée fondamentale est assez simple. L'aspect le plus remarquable de cette théorie est, comme on l'a souligné plus haut, la caractérisation et la classification des surfaces évolutives d'un système dynamique. Du point de vue des applications concrètes de cette théorie aux sciences sociales, elle est encore, somme toute, à l'étape conceptuelle. Pour une application réelle de cette théorie, il devient nécessaire d'introduire des informations additionnelles qui permettraient de spécifier la forme particulière des équations différentielles de la dynamique du système. Une telle spécification n'est pas fournie par la théorie des catastrophes.¹⁸ Elle offre cependant un champ vaste à la modélisation, domaine privilégié des sciences appliquées. L'avenir seulement nous permettra de savoir si la théorie des catastrophes passera de l'étape de la conceptualisation à l'étape de la modélisation, finalement aux prédictions des "catastrophes".

Il ressort également de cette courte incursion dans la théorie des catastrophes qu'elle n'a pas pour but la recherche des causes du

¹⁸ Voir plus particulièrement les critiques de H. Sussmann et R. Zahler, "Catastrophe Theory as Applied to the Social and Biological Sciences: A Critique," Synthèse 37, (1978): 117-216.

changement structurel. Pour cette raison, elle ne poursuit pas les mêmes fins que l'analyse de la stabilité structurale telle que définie dans la section précédente. Alors que la stabilité structurelle est prise comme point de départ dans la théorie des catastrophes, elle est pour notre étude, l'objet même de l'analyse. Les deux approches partagent cependant un point de vue commun, la théorie des catastrophes s'attache à l'aspect qualitatif de l'évolution des systèmes, alors que l'analyse de la stabilité structurale tente de formuler des prévisions qualitatives sur l'évolution des structures.

C. Structure et graphe

La nature des couplages dans une structure a été définie d'une manière intentionnellement vague par les concepts de stimulus-réponse ou d'entrées-sorties. Ceci est nécessaire, dû au niveau de généralité auquel on veut atteindre.

Citons quelques exemples:

1. La relation fonctionnelle est un cas particulier de stimulus-réponse (à chaque valeur de la variable stimulus on peut déterminer une seule valeur de la variable réponse et une seule).
2. La relation causale est un second exemple très fréquemment employé dans les sciences.¹⁹

¹⁹ Ce type de relation sera étudié dans le chapitre trois.

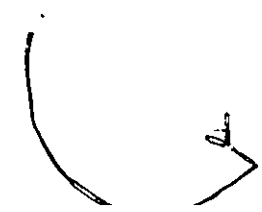
3. La relation de dépendance ou de pouvoir est un autre exemple malheureusement encore peu développé dans les sciences sociales.²⁰

En général, il existe donc une infinité de relations conceptuelles susceptibles d'être représentées par un couplage. En définissant la nature de la relation, on définit en même temps la nature de la structure, laquelle on veut étudier.

La manière la plus simple mais aussi la plus logique est de représenter toute relation ou structure par les notions de relation d'ordre et de structure d'ordre employées dans les mathématiques. Cette relation d'ordre représente en fait une généralisation des autres types de relation plus spéciales. Par exemple les phrases: "il faudrait que x soit déterminé avant que y le soit" dans la relation fonctionnelle, "x donc y et y donc z" dans la relation causale, "x a pouvoir de décision sur y, et y a pouvoir de décision sur z" dans la relation de pouvoir, peuvent être toutes représentées par une relation d'ordre transitive.

En effet, les concepts de structure d'un système et de structure dans les mathématiques ont une affinité profonde:

²⁰ Ce type de relation sera étudié dans le chapitre quatre.



Le trait commun des diverses notions désignées sous ce nom générique (de structure mathématique) est qu'elles s'appliquent à des ensembles d'éléments dont la nature n'est pas spécifiée. Pour définir une structure on se donne une ou plusieurs relations, où interviennent ces éléments; on postule ensuite que la ou les relations données satisfont à certaines conditions (qu'on énumère) et qui sont les axiomes de la structure envisagée. Faire la théorie axiomatique d'une structure donnée, c'est déduire les conséquences logiques des axiomes de la structure en s'interdisant toute autre hypothèse sur les éléments particuliers (en particulier, toute hypothèse sur leur nature propre).²¹

Parmi les "structures englobantes" ou "structure-mères", Bourbaki préconise les structures algébriques caractérisées par les lois de composition telles que l'addition et la multiplication, les structures topologiques caractérisées par les notions d'espace, de voisinage, de limite et de continuité, finalement les structures d'ordre caractérisées par la relation de comparabilité. C'est sur cette dernière notion de structure d'ordre que s'intègre notre analyse de la stabilité structurale. Il serait intéressant de voir quels sont les axiomes fondamentaux.

Propriétés des structures d'ordre

Axiome 1: Un ensemble d'éléments:

$$X = \{(x_i) \mid i=1, \dots, n\}$$

²¹ Nicolas Bourbaki, "L'architecture des Mathématiques," dans François Le Lionnais (éd.), Les Grands Courants de la Pensée Mathématique (Paris: Cahiers du Sud, 1962), p. 40.

Axiome 2: Une relation notée

$R: X \rightarrow X$ ou $R \subset X^2$

La relation R peut avoir les propriétés suivantes:

Propriété 1: R est réflexive si, $\forall x_i \in X$,

$x_i R x_i$, c. à d. $I \subset R$

Propriété 2: R est irréflexive si, $\forall x_i \in X$,

$x_i \not R x_i$, c. à d. $I \cap R = \emptyset$

Propriété 3: R est symétrique si, $\forall x_i, \forall x_j \in X$,

$x_i R x_j \Rightarrow x_j R x_i$, c. à d. $R = R^{-1}$

Propriété 4: R est asymétrique si, $\forall x_i, \forall x_j \in X$,

$x_i R x_j \Rightarrow x_j \not R x_i$, c. à d. $R \cap R^{-1} = \emptyset$

Propriété 5: R est antisymétrique si, $\forall x_i, \forall x_j \in X$,

$(x_i R x_j \wedge x_j R x_i) \Rightarrow x_i = x_j$, c. à d. $R \cap R^{-1} \subset I$

Propriété 6: R est transitive si, $\forall x_i, \forall x_j, \forall x_k \in X$,

$(x_i R x_j \wedge x_j R x_k) \Rightarrow x_i R x_k$, c. à d. $R \circ R \subset R$

Propriété 7: R est intransitive si,

$(x_i R x_j \wedge x_j R x_k) \wedge x_i \not R x_k$, c. à d. $(R \circ R) \setminus R \neq \emptyset$

Propriété 8: R est complète si, $\forall x_i, \forall x_j \in X$,

$x_i \not R x_j \Rightarrow x_j R x_i$, c. à d. $R \cup R^{-1} = X \times X$

La relation R détermine sur l'ensemble X noté (X, R) un:

- 1) préordre (ou quasi-ordre) si R est réflexive et transitive,
- 2) un ordre partiel si R est réflexive, transitive et antisymétrique,
- 3) un ordre linéaire si R est réflexive, antisymétrique, transitive et complète, finalement 4) une relation d'équivalence si R est réflexive, transitive et symétrique.

Définition: Un ensemble (X, R) est dit bien ordonné (ou un ordinal) si tout sous-ensemble non vide $B \subset X$ admet un premier élément; c. à d., pour chaque $B \neq \emptyset$, il existe un $x_0 \in B$ tel que $x_0 R x, \forall x, x \in B$.

On peut démontrer le théorème fondamental suivant d'une structure d'ordre:²²

Théorème: Les propositions suivantes sont équivalentes:

- (1) Lemma de Zorn: Soit (X, R) un pré-ordre. Si toute chaîne dans X est bornée supérieurement, X possède un élément maximal.
- (2) Théorème de Zermelo: Tout ensemble X peut être bien ordonné.

Pour comparer deux structures d'ordre (théorie de la similitude) définissons l'application $f: (X, R) \rightarrow (X', R')$; (X, R) et (X', R') étant des ensembles bien ordonnés.

Définition: f est un monomorphisme si, $(x, y) \in X^2$,
 $x R y \Rightarrow f(x) R' f(y), [f(x), f(y)] \in X'^2$.

(f est une fonction injective qui préserve l'ordre).

Définition: f est un isomorphisme si, $(x, y) \in X^2$
 $x R y \Leftrightarrow f(x) R' f(y), [f(x), f(y)] \in X'^2$

(f est un monomorphisme bijective).

Définition: f est un homomorphisme si,

$f: (X, R) \rightarrow (X', R')$ est continue et bijective

$f^{-1}: (X', R') \rightarrow (X, R)$ est aussi continue et bijective

(f est bi-continue, bi-jective).

²² James Dugundji, Topology (New York: Wiley, 1966), pp. 31-35.

Propriétés des graphes

La spécification additionnelle de toute structure réelle comme une structure d'ordre permet la transposition du symbolisme et les résultats de la théorie des graphes dans l'analyse de la structure.

D'ailleurs un graphe orienté est défini par le couple:²³

$$G = (X, \Gamma)$$

formé par un ensemble fini $X = \{(x_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ de sommets et par une application $\Gamma: X \rightarrow X$ représentée par une famille d'arcs orientés $u_{ij} = (x_i, x_j)$.

On résumera ici les notions essentielles de la théorie des graphes orientés.²⁴

On appelle le demi-degré intérieur (d_i^-) d'un sommet i le nombre d'arcs ascendants à ce sommet et le demi-degré extérieur (d_i^+) le nombre d'arcs descendants de ce sommet:

$$d_i^+ = |\Gamma^+(x_i)|$$

$$d_i^- = |\Gamma^-(x_i)|$$

Le degré d'un sommet est le nombre d'arcs ascendants et descendants, c'est à dire le nombre d'arcs incidents à ce sommet:

$$d_i = d_i^+ + d_i^-$$

²³ Dans la terminologie de Claude Berge, La Théorie des Graphes et ses Applications (Paris: Dunod, 1958) et Aimé Sacher: La Théorie des Graphes (Paris: collection "Que Sais je?", PUF, 1974).

²⁴ Les notions supplémentaires seront développées dans le cours d'exposition des chapitres suivants.

Une chaîne est une collection de points distincts $x_1, x_2, \dots, x_p$ avec $p-1$ arcs: (x_1, x_2) ou (x_2, x_1) ; (x_2, x_3) ou (x_3, x_2) ; ...; (x_{p-1}, x_p) ou (x_p, x_{p-1}) . Un chemin est une chaîne avec l'orientation des arcs bien définie: (x_1, x_2) ; (x_2, x_3) ; ...; (x_{p-1}, x_p) . Une chaîne fermée ($x_p = x_1$) est un cycle tandis qu'un chemin fermé est un circuit. On peut qualifier un chemin, une chaîne, un cycle ou un circuit, de eulérien s'il passe par tous les arcs du graphe une fois et une seule. Il est hamiltonien s'il rencontre tous les sommets d'un graphe une fois et une seule.

On dit que $G = (X, \Gamma)$ est réflexif si:

$$\forall x \in X, (x, x) \in \Gamma$$

l'arc (x, x) est une boucle. Il est transitif si:

$$\forall x, \forall y, \forall z \in X, [(x, y) \in \Gamma \wedge (y, z) \in \Gamma] \Rightarrow (x, z) \in \Gamma$$

On note par G_R et G_T la fermeture réflexive et transitive du graphe G , c'est à dire que si G n'est pas réflexif (transitif) on lui ajoute les arcs nécessaires pour le rendre réflexif (transitif).

La propriété de connexité est une propriété importante dans un graphe. On peut distinguer trois niveaux de connexité:

- 1) une connexité faible (1-connexe). Tout graphe G tel que $\forall x, \forall y \in X, x \neq y$, il existe une chaîne entre x et y est faiblement connexe.
- 2) une quasi-connexité (2-connexe). Tout graphe G tel que $\forall x, \forall y \in X, x \neq y$, il existe un chemin de x à y ou un chemin de y à x est quasi-fortement connexe.
- 3) une connexité forte (3-connexe). Tout graphe G tel que $\forall x, \forall y \in X, x \neq y$, il existe un chemin de x à y et un chemin de y à x est fortement connexe.

Le théorème suivant est évident:²⁵

Théorème: Tout graphe fortement connexe est quasi-fortement connexe (et non l'inverse) et tout graphe quasi-fortement connexe est faiblement connexe (et non l'inverse).

Etant donné la fermeture réflexive de G , la relation "il existe un chemin de x à y et un chemin de y à x " qui caractérise la connexité forte, est une relation d'équivalence puisqu'elle satisfait aux trois conditions: réflexive, symétrique et transitive. Elle détermine une partition de G en sous-ensembles $G_1, G_2, \dots, G_s$, tous fortement connexes, c'est à dire:

$$X_i \cap X_j = \emptyset, (i, j = 1, 2, \dots, s; i \neq j)$$

$$X_i \neq \emptyset$$

$$\bigcup_{i=1}^s X_i = X$$

On symbolise par $G^0 = (X^0, \Gamma^0)$ le graphe réduit du graphe $G = (X, \Gamma)$, possédant s composantes fortement connexes et définies par:

$$X^0 = \{(X_k) \mid k=1, \dots, s; s < n\}$$

et:

$$(X_i, X_j) \in \Gamma^0$$

si et seulement si, il existe $x \in X_i$ et $y \in X_j$, tel que $(x, y) \in \Gamma$

On dit qu'un ensemble de sommets $I \subseteq X$ forme un ensemble stable intérieurement (e.s.i.), si tous sommets quelconques de I ne sont pas adjacents.²⁶

25 Frank Harary, Robert Norman et Durwin Cartwright, Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graph (New York: John Wiley and Sons, 1965), p.50.

26 Bernard Roy, Algèbre Moderne et Théorie des Graphes, 2 vol. (Paris: Dunod, 1970), vol. II, p. 14-22.

$$x \in I \Rightarrow \Gamma(x) \cap I = \emptyset$$

Un ensemble I forme un ensemble stable intérieurement maximal (e.s.i.m.), s'il n'existe pas d'autres e.s.i. I' , tel que $I \subset I'$.

D'autre part on définit un ensemble stable extérieurement (e.s.e.), $E \subset X$, si tout sommet extérieur à E est descendant d'au moins d'un sommet dans E :

$$x \notin E \Rightarrow \Gamma^{-1}(x) \cap E \neq \emptyset$$

ou

$$E \cup \Gamma(E) = \emptyset$$

De même E forme un ensemble stable extérieurement minimal (e.s.e.m.), si tout sous-ensemble strict de E n'est pas un e.s.e.

Finalement, on définit un noyau N d'un graphe G comme un ensemble qui est à la fois stable intérieurement maximal (e.s.i.m.) est extérieurement minimal (e.s.e.m.):

$$x \in N \Rightarrow \Gamma(x) \cap N = \emptyset \quad (\text{e.s.i.m.})$$

$$x \in N \Rightarrow \Gamma^{-1}(x) \cap N \neq \emptyset \quad (\text{e.s.e.m.})$$

D. Hypothèse de travail et méthodologie de l'analyse structurale

Les concepts de connexité, stabilité, noyau sont essentiels dans l'analyse structurale d'un système. Trois exemples suffiront pour montrer l'importance de ces concepts dans l'analyse économique.

1. On peut trouver une étroite analogie entre les concepts de stabilité et noyau dans un graphe et les concepts de domination, stabilité et solution dans la théorie des jeux. C'est à propos d'une

situation de conflit et de domination qu'on peut écrire un problème de jeux en terme de graphe orienté et que la recherche d'une solution (imputation) dans un jeu à deux personnes se résume à la recherche d'un noyau dans un graphe associé.²⁷ La similitude entre le concept de stabilité dans un graphe et dans la théorie des jeux est parfaite. Pour qu'un ensemble N d'imputations soit solution d'un jeu, il faut:

- 1) qu'il n'existe pas d'imputation y dans N dominée par une autre imputation x dans N , et 2) que chaque y non contenue dans N soit dominée par au moins une imputation x contenue dans N .²⁸ Cette définition de la solution d'un jeu est donc identique à celle que nous avons donné d'un noyau d'un graphe.

Cet exemple pris dans la théorie des jeux montre que la relation de dominance peut-être traitée à partir de la théorie des graphes, et que le concept de noyau peut-être pris comme point de départ pour une analyse de la stabilité structurale. Supposons un changement dans l'ordre des imputations non contenues dans N , il n'affectera pas la solution du jeu. Au contraire, si un changement affecte les imputations dans N , par exemple s'il survient un $y \in N$ qui domine un $x \in N$, ce changement affectera l'ordre de toutes les autres imputations et la nature de la solution.

2. Le deuxième exemple peut être pris dans la théorie du commerce international. Dagum a démontré que l'introduction du concept de structure dans la théorie du commerce international oblige non seulement à

²⁷ Voir Berge, Théorie des Graphes, chapitre 6.

²⁸ Ce sont les axiomes fondamentaux de la théorie des jeux, voir John von Neumann et Oskar Morgenstern, Theory of Games and Economic Behavior (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1953), p. 40.

changer les hypothèses classiques et néoclassiques, mais aussi à changer toute la philosophie de l'action basée sur le concept de l'économie dominante.²⁹ Les concepts de connexité, stabilité et noyau retrouvent ici leur plein pouvoir explicatif lorsqu'on fait une distinction entre unités complexes de premier ordre (économies nationales), unités complexes de second ordre (blocs économiques), et unité complexe de troisième ordre (économie internationale), et qu'on essaie de quantifier leurs relations causales, c. à d.

a) leurs degrés de dépendance entre les unités complexes de différents ordres,

b) leurs degrés de vulnérabilité et de domination de chaque unité.

Cette analyse structurale du commerce international est de nature à révéler le caractère très inégal des relations de domination dans l'échange international et montre que le noyau réel d'où dépend toute la stabilité du système se situe dans le bloc des économies industrialisées.

3. Dans la même ligne de pensée, Morgenstern montre que la compressibilité (ou l'expansibilité) d'une économie dépend en grande partie du degré de connexité des éléments du système, et que la stabilité du système dépend de la stabilité du noyau.³⁰ Ses deux types fondamentaux de structure:

²⁹ C. Dagum, "La conséquence de l'Introduction du Concept de Structure dans la Théorie du Commerce International," Economie Appliquée 22, (1969): pp. 65-88.

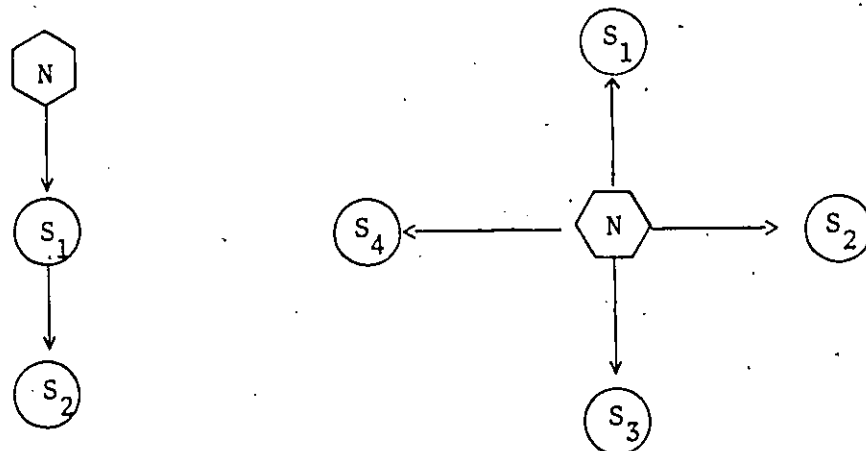
³⁰ O. Morgenstern, "The Compressibility of Economic Systems and the Problem of Economic Constants," Zeitschrift für National Ökonomie 26/I-3, (1966): 190-203.

- a) le type chaîné
- b) le type étoilé

suggèrent fortement l'idée de relation causale dans un système.

Figure 2.12

Types fondamentaux de localisation
d'un noyau selon Morgenstern



a) type chaîné

b) type étoilé

Les trois exemples précédents montrent intuitivement l'idée de la stabilité structurale du noyau par rapport aux autres éléments hors du noyau. Ceci nous amène à la formulation d'une hypothèse scientifique empiriquement vérifiable et potentiellement falsifiable, qui s'énonce comme suit:

Hypothèse: Soit une structure S et son graphe associé

$G = (X, \Gamma)$, et soit N le (s) noyau(x) de G , on a:

$$\forall x \in N, \forall y \in N^c, N^c \cup N = X$$

$$[SS_p(x|y) = SS_T(N|N^c)] \rightarrow 1$$

$$[SS_p(y|x) = SS_T(N^c|N)] \rightarrow 0$$

Si cette hypothèse est vérifiée, elle montre que les éléments du noyau possèdent une grande stabilité structurale partielle et totale par rapport aux autres éléments hors du noyau. Avant de procéder à la vérification dans les chapitres suivants, deux hypothèses de travail seront énoncées sur la nature de la structure d'ordre et une méthodologie pour l'analyse de la stabilité structurale sera proposée.

Hypothèse de travail

Les propriétés de toute structure d'ordre ont été énoncées dans la section précédente, nous formulons maintenant deux hypothèses sur la relation d'ordre.

Hypothèse 1: La relation d'ordre est transitive.

Cette hypothèse est vérifiée dans un grand nombre de cas, en particulier pour la relation de préférence, la relation causale ou la relation de domination.³¹ En admettant l'hypothèse de transitivité au départ, nous supposons que l'action d'un élément sur un autre peut être "directe" ou "indirecte." Ce qui revient à dire qu'au lieu de considérer le graphe initial de la structure comme tel, nous analyserons sa fermeture transitive.

Hypothèse 2: La relation d'ordre est antisymétrique.

Cette hypothèse peut être expliquée en prenant par exemple le cas d'une domination réciproque. Il est alors très difficile sans une certaine mesure du "degré de domination" de voir si A domine réellement B, ou si B domine réellement A s'il existe un troisième élément

³¹ En ce qui concerne la relation de domination d'une imputation sur une autre, Von Neumann et Morgenstern, ne supposent pas la transitivité, voir idem, Theory of Games, p. 38.

tel que A domine B, B domine C et C domine A.³² Dans une approche qualitative où on n'a pas encore développé un moyen pour quantifier le "degré de domination" ou le "degré de préférence" d'un élément sur un autre, cette question ne peut être traitée que sous l'optique ordimale. Nous ferons alors l'hypothèse, dans un tel cas, que les éléments A, B et C forment un nouveau élément D. Ce qui revient à dire qu'au lieu de considérer le graphe initial de la structure, nous analyserons le graphe réduit, c. à d. le graphe où toutes les composantes fortement connexes sont réduites à des points. Cette hypothèse est nécessairement opérationnelle puisqu'elle permet d'éliminer le problème de la comparaison entre A, B et C pour se concentrer sur la relation de D avec les autres éléments. Ce n'est qu'une première étape, analytique et qualitative, qu'il faut lever ensuite lorsque nous aurons une mesure quantitative de la relation.

Ces deux hypothèses serviront de base théorique à l'analyse de la stabilité structurale, objet des chapitres trois et quatre.

Méthodologie de l'analyse de la stabilité structurale

La démarche que nous nous proposons dans l'étude de la structure et de la stabilité structurale d'un système suit la méthode inductive-déductive. Elle peut se résumer aux six étapes suivantes:³³

1. Définir et délimiter le champ de recherche,
2. Description de la structure,
3. Analyse et comparaison de deux structures à deux moments donnés,

³² Dans la théorie des jeux, von Neumann et Morgenstern rejettent cette possibilité en faisant appel au caractère "rationnel" des joueurs, un point de vue peu défendable, voir op. cit., p. 265, par. 30: A: a.

³³ C. Dagum et E.B. Dagum, "Construction de Modèles", pp. 2100 et suivantes.

4. Tests de changement structural,
5. Explication et recherche des causes du changement structural,
6. Prédiction et contrôle.

La première étape commune à toute recherche est de se demander "quoi" étudier. Elle consiste à situer le domaine de la recherche, poser le problème et à trouver son cadre de référence, c. à d. à délimiter toutes les variables endogènes qui entrent en compte dans le système et toutes les variables exogènes qui sont prises comme données.

La seconde étape consiste à se poser la question: "comment" ces variables sont interreliées entre elles dans l'explication du phénomène. Elle se subdivise en trois sous-catégories de problèmes:

- 1) Problème de l'analyse: Dans certains des cas, la structure du système est donnée (ex: les systèmes mécaniques).

Le travail de l'expérimentateur consiste à définir les relations internes et externes (i.e. la structure) et à inférer le comportement dynamique du système.

- 2) Problème de la synthèse: Dans le cas où la structure n'est pas donnée tel est généralement le cas des systèmes socio-économiques, mais où le comportement du système à partir de séries temporelles est connu, la tâche du chercheur est de retrouver sa structure. On pourra se baser principalement sur la théorie pour la construction d'un modèle explicatif structural (ex: modèle de comportement social, modèle économétrique, modèle de jeu, modèle d'intrant-extrant, etc...).

Les prédictions ex-post permettent d'évaluer explicitement la validité du modèle construit si le modèle minimise les différences entre les valeurs prédites et les valeurs calculées. Dans ce cas, on a construit un modèle représentatif de la structure réelle.

3) Problème de la boîte noire: Dans certains systèmes, le problème peut se poser différemment lorsque ni la structure, ni le comportement du système ne sont connus. Ce problème n'est pourtant pas désespéré quand l'expérimentation est possible. On pourra procéder à des expériences répétées en soumettant le système à différents stimuli et en observant les réponses du système. En établissant un tableau de "protocole" et en procédant à des analyses de concordance entre stimuli et réponses, on arrive à une description hypothétique de la structure.

Les étapes (3-6) sont synthétisées par la question du "pourquoi" dans l'explication du changement et de la stabilité structurale. Ces étapes trouvent leur pleine application dans les systèmes socio-économiques caractérisés par des mouvements de destruction et de restructuration.

On commence d'abord par une comparaison de deux ou plusieurs structures estimées à partir des modèles structuraux construits dans l'étape 2 pour différentes périodes de temps. Ensuite on procède à des tests de changement structural. Si les structures $S(T_0)$, $S(T_1)$, ...,

34 Le problème du "black box" est clairement expliqué dans W.R. Ashby, An Introduction to Cybernetics (London: Chapman and Hall, 1956, éd. 1971), chap. 6.

sont significativement différentes pour les périodes $T_0, T_1, \dots$, on doit expliquer pourquoi il y a eu changement structural, c. à d. rechercher ses causes.

Finalement la prédiction et le contrôle sont les deux faces d'une approche intégrée d'une philosophie humaine de l'action centrée sur la planification des activités humaines pour le bien collectif. La prédiction peut se subdiviser en prédiction sous l'hypothèse de statu-quo, c. à d. sans changement structural, ou sous l'hypothèse de changement structural. Le contrôle est la vérification des étapes atteintes et la mesure des efforts futurs pour atteindre une "structure-objectif."³⁵

Conclusion du chapitre

Des définitions mathématiques des notions étudiées dans le premier chapitre ont été données en puisant largement dans la théorie des systèmes ouverts de O. Lange. Les propriétés dynamiques d'un système ont été analysées sous deux aspects: celui de la dynamique de comportement (stabilité dynamique) et celui de la dynamique des structures (stabilité structurale). La notion de structure d'ordre en mathématique est employé pour formaliser le concept de structure d'un système. Cette dernière trouve son analogie dans la théorie des graphes dont les propriétés essentielles ont été données.

Deux hypothèses de travail sont proposées pour certains types de relation qui seront étudiés dans les chapitres suivants, à savoir la transitivité et l'antisymétrie de la structure d'ordre pour l'étude

35. C. Dagum, "Idéologie et Méthodologie de la Recherche en Science Economique", pp. 557 et suivantes.

des relations causales ou de dépendance. Une hypothèse scientifique concernant la stabilité structurale du noyau par rapport aux autres éléments constitue le paradigme auquel nous voulons répondre.

Finalement une méthodologie pour l'analyse de la stabilité structurale a été proposée.

Dans les chapitres suivants, nous appliquerons cette méthodologie à deux types de modèle structural en économie: le modèle économétrique et le modèle entrée-sortie.

CHAPITRE III

STABILITE STRUCTURALE ET ANALYSE ECONOMETRIQUE

Dans ce chapitre, la méthodologie décrite au chapitre précédent sera appliquée à l'analyse de la stabilité structurale d'un modèle économétrique, en se basant sur une définition de la causalité à la fois formelle, c. à d. axiomatisable, et opérationnelle, autrement dit empiriquement vérifiable.

Les concepts de modèle économétrique et de structure seront définis dans une première section. La deuxième section introduit les concepts de stabilité structurale et stabilité dynamique. Le changement structural, ses conséquences pour l'estimation du modèle et son usage dans la prédiction seront analysés, ainsi que différents tests de changement structural. La troisième section sera consacrée à une étude de la nature de la causalité du point de vue déductif-logique et inductif-empirique. Elle conduit à la spécification d'un modèle économétrique à structure causale dont les différentes propriétés seront étudiées, en particulier, celle de l'identification des équations. Finalement, la dernière section présente un exemple intégré d'une analyse de la stabilité structurale du modèle d'offre et de demande de Girschick et Haavelmo.¹ Elle montre, entre autres, que la stabilité structurale du modèle dépend fortement de sa structure causale.

¹ M.A. Girschick et T. Haavelmo, "Statistical Analysis of the Demand for Food: Examples of Simultaneous Estimation of Structural Equations," Econometrica 15, (1947): 79-110.

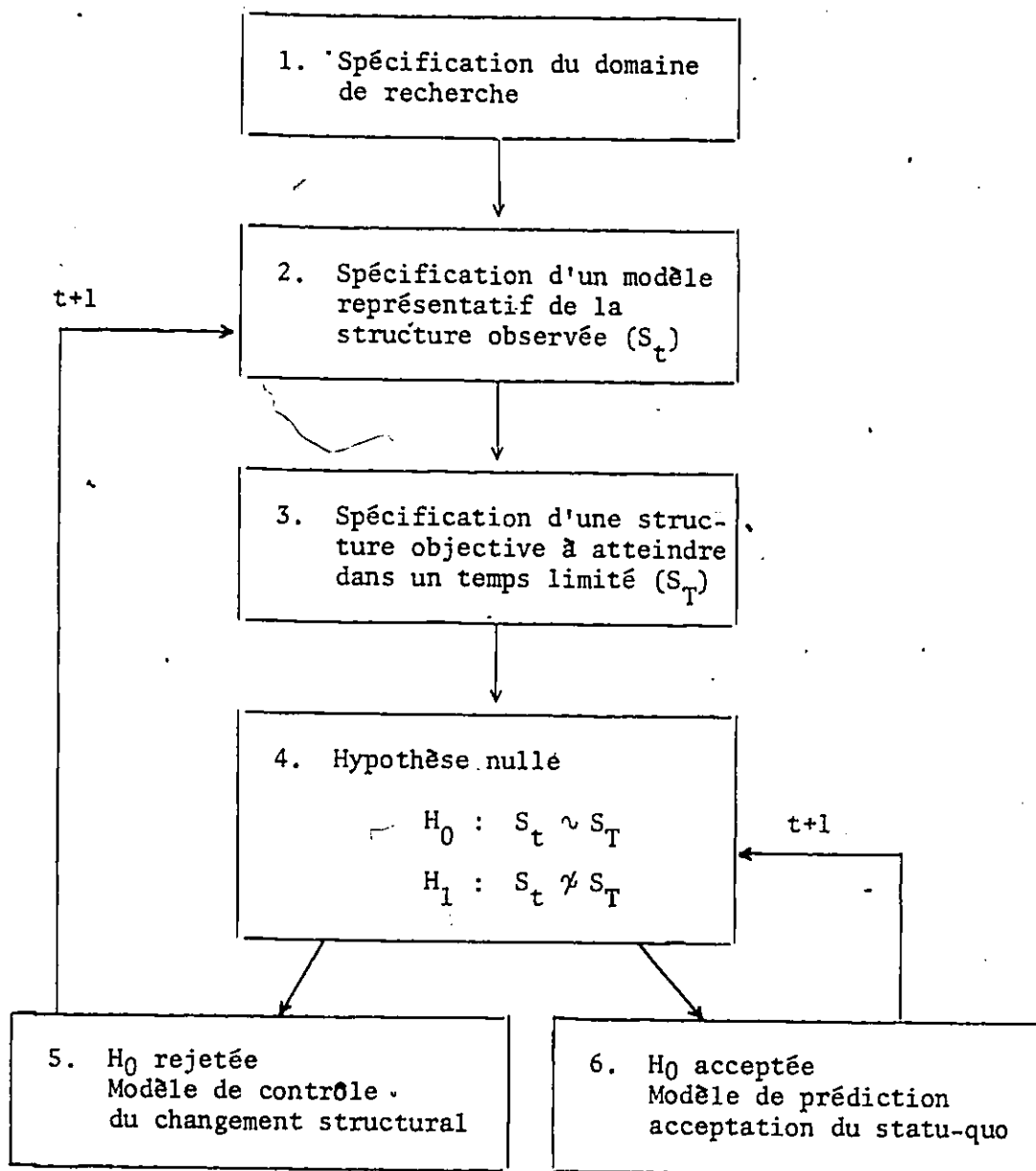
A. Le concept de structure dans un modèle économétrique

Dans le sens général, un modèle dans les sciences sociales peut être défini comme un système hypothético-empirique servant à la corroboration ou la falsification d'une théorie.² C'est un processus de concordance entre le théorique, la construction logique formelle et l'empirique des faits observables, révélé à travers la spécification du domaine de recherche et d'une structure-objectif. Celle-ci est définie comme une nouvelle structure "désirée", en accord avec la philosophie sociale du moment, et à atteindre dans un temps limité. D'où la distinction entre un modèle de prédiction sous l'hypothèse de statu-quo, et un modèle de contrôle sous l'hypothèse de changement structural (fig. 3.1).

Pris comme un ensemble d'énoncés ou d'hypothèses sur les lois de comportement des agents, les lois de transformation technique, les contraintes juridiques et légales, et les identités comptables et conditions d'équilibre, un modèle économétrique est représenté par un système d'équations simultanées de la forme:

² Par "théorie" dans les sciences sociales, on entend un système hypothético déductif, c. à d. un système d'hypothèses scientifiques singulières (propositions initiales), ayant une probabilité $[0,1]$ de corroboration, desquelles on dérive des théorèmes ou des prédictions singulières. Voir C. Dagum et E.B. Dagum, "Construction de Modèles et Analyse Econométrique," Economies et Sociétés VIII, No. 11-12, (novembre-décembre 1974): 1685. Pour le concept de modèle en économie, voir H. Wold, "Mergers of Economics and Philosophy of Science," Synthèse 20, (1969): 427-482.

Figure 3.1

Structure-objectif et modèle

$$BY + \Gamma Z = U \quad (3.1)$$

où

$B = [\beta_{ij}]$ est une matrice $K \times K$ des coefficients des variables endogènes,

$\Gamma = [\gamma_{k\ell}]$ est une matrice $K \times M$ des coefficients des variables prédéterminées,

$Y = (y_{it})'$ est un vecteur colonne des K variables endogènes ($t = 1, \dots, T$),

$Z = (z_{\ell t})'$ est un vecteur colonne des M variables prédéterminées, ($t = 1, \dots, T$),

$U = (u_{it})'$ est un vecteur colonne des K variables aléatoires non observables ($t = 1, \dots, T$),

On élimine le cas où le modèle admet une infinité de solutions en supposant $B \neq 0$. On introduit d'autre part les hypothèses simplificatrices suivantes:

1. Espérance nulle:

$$E(u_t) = E \begin{bmatrix} u_{1t} \\ \vdots \\ \vdots \\ u_{Kt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E(u_{1t}) \\ \vdots \\ \vdots \\ E(u_{Kt}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

2. Homoschédasticité:

$$\text{var}(u_{it}) = E(u_{it}^2) = \sigma_i^2, \quad i = 1, \dots, K$$

3. Non autocorrélation:

$$E(u_{it} u_{is}) = 0, \quad (t, s = 1, \dots, N; t \neq s)$$

4. Indépendance entre u_{it} et $z_{\ell t}$:

$$E(u_{it}z_{\ell t}) = E(u_{it}) E(z_{\ell t}), \quad (i = 1, \dots, K; \ell = 1, \dots, M)$$

5. Indépendance entre u_{it} et u_{kt} :

$$E(u_{it}u_{kt}) = E(u_{it}) E(u_{kt}), \quad (i, k = 1, \dots, K; i \neq k)$$

En prémultipliant (3.1) par B^{-1} , on obtient:

$$Y = -B^{-1}\Gamma Z + B^{-1}U \quad (3.2)$$

et en posant, $\Omega = -B^{-1}\Gamma$, et $V = -B^{-1}U$, on a:

$$Y = \Omega Z + V \quad (3.3)$$

où

$\Omega = [w_{i\ell}]$, est une matrice $K \times M$ des coefficients de la forme réduite

$V = (v_{it})'$ est un vecteur colonne ($K \times 1$) des variables aléatoires de la forme réduite.

Le système d'équations (3.1) est dit forme structurale du modèle, et (3.3) forme réduite du modèle.

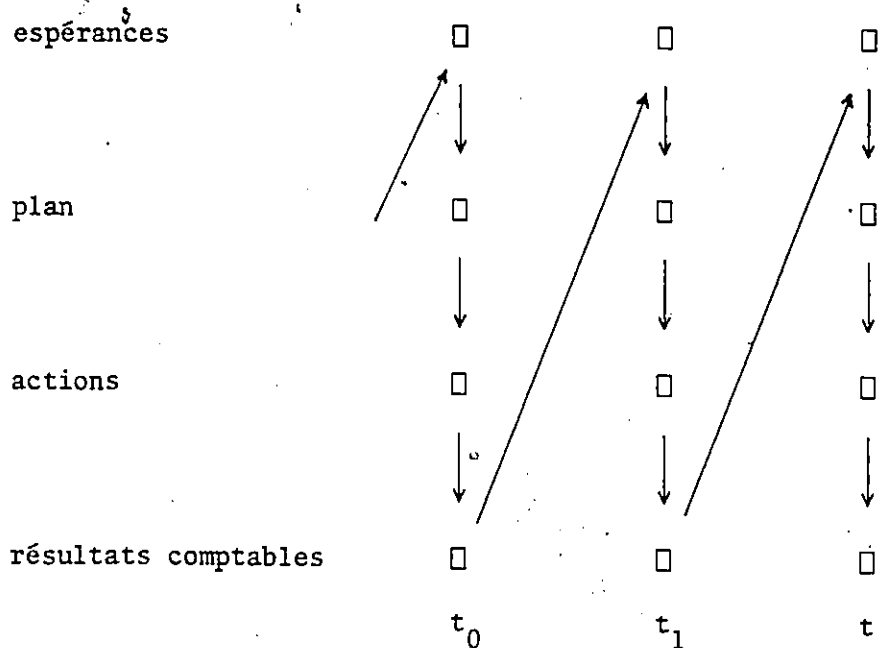
Types de modèles économétriques

Dans la construction d'un modèle économétrique, on distingue entre:

- a. Modèle récursif ou à chaîne causale (CC)
- b. Modèle interdépendant généralisé (ID)
- c. Modèle récursif par blocks (CCID)
- d. Modèle diagonalé par blocks (MDB)

Si la matrice B dans (3.1) est une matrice triangulaire, le modèle est récursif. Celui-ci est désigné par Wold comme un modèle

à chaîne causale.³ Un cas particulier du modèle CC est décrit par Bentzel et Hansen qui est un modèle d'adaptation des espérances:⁴



³ H. Wold, "A Case Study of Interdependent versus Causal Chain System," Review of the International Statistical Institute 5, (1959): 5-25, et idem., "Forecasting by the Chain Principle," dans H. Wold (ed.), Econometric Model Building: Essays on the Causal Chain Approach (Amsterdam: North Holland, 1964).

⁴ R. Bentzel et B. Hansen, "On recursiveness and Interdependency in Economic Models," Review of Economic Studies 22, (1954-5): 153-68. Le modèle d'adaptation des espérances remonte jusqu'à E. Lundberg, Studies in the Theory of Economic Expansion (New York: Augustus M. Kelly, 1939, reprints of Economic Classics, 1964). Synthétisé par E. Lindahl, Studies in the Theory of Money and Capital (London: Allen and Unwin, 1939). Ce modèle a été mal interprété comme un modèle de "déséquilibre", par opposition au modèle d'équilibre statique de Walras, il est plutôt un modèle d'équilibre mouvant, voir Y.S. Jang, Econometric Model Building. A Comparative Study of Simultaneous Equation Systems (Seoul: Yousai University Press, 1973), p. 24.

Une propriété particulière du modèle CC est la possibilité d'obtenir des estimateurs non biaisés et consistents par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) par substitutions successives.⁵

Un modèle est interdépendant (ID) si la matrice B est indécomposable. Dans ce cas, l'estimation par les MCO donne des coefficients biaisés et non consistents.⁶ D'autres méthodes d'estimation permettent d'obtenir des estimateurs consistents, parmi lesquelles on peut citer les moindres carrés à deux étapes (MC2E),⁷ les moindres carrés à trois étapes (MC3E),⁸ les moindres carrés indirects (MCI),⁹ le maximum de vraisemblance à information totale (MVIT),¹⁰ et la méthode du point fixe (PF).¹¹

Le modèle CCID à blocs recursifs est une extension des deux modèles CC et ID. La matrice B doit être décomposable par blocs:

5 La méthode est décrite dans H. Wold, "Forecasting by the Chain Principle." Les trois conditions suivantes sont nécessaires et suffisantes pour l'emploi des MCO: 1) triangularité de B, 2) matrice de variance-covariance des résidus diagonales, et 3) non autocorrélation. Voir aussi Y.S. Jang, Econometric Model Building, pp. 66-73.

6 Ceci est dû à l'existence de corrélation entre u_{it} et y_{jt} pour quelques i et j , $i \neq j$.

7 Méthode indépendamment développée par R.L. Basmann, "The Computation of Generalized Classical Estimate of Coefficients in a Structural Equation," Econometrica 27, (1959): 72-81, et Henri Theil, Economic Forecast and Policy (Amsterdam: North Holland, 1958, 2ème. éd. révisé 1961).

8 Arnold Zellner et H. Theil, "Three Stage Least Squares: Simultaneous Estimation of Simultaneous Equations," Econometrica 30, (1962): 54-78.

9 S'applique seulement aux systèmes d'équations exactement identifiables, voir J. Johnston, op. cit., pp. 344-346.

10 Tjalling C. Koopmans, "Statistical Estimation of Simultaneous Economic Relations," Journal of the American Statistical Association 40, (1945): 448-466.

11 H. Wold, "A Fix-Point with Econometric Background," Part I, Arkiv för Matematik, Band 6, No. 12, (1964): 209-220, Part II, No. 13, (1965): 221-240. E.J. Mosbaek et H. Wold, Interdependent Systems: Structure and Estimation (Amsterdam: North Holland, 1970).

$$B = \begin{pmatrix} B_{11} & 0 & \dots 0 \\ B_{21} & B_{22} & \dots 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ B_{r1} & B_{r2} & B_{rr} \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Il suffit dans ce cas que la matrice de variance-covariance des résidus soit bloc-diagonale. Chaque bloc est une matrice symétrique des variances-covariances résiduelles du sous-système faisant partie du bloc:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & 0 & \dots 0 \\ 0 & \Sigma_{22} & \dots 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \Sigma_{rr} \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

La méthode d'estimation suggérée par la matrice B en (3.7) est d'estimer chaque bloc isolément par l'une des méthodes systémiques proposées pour un modèle ID-, et de remplacer dans chaque bloc, les variables endogènes observées par des variables instrumentales, dans ce cas, par les valeurs estimées des variables endogènes du bloc précédent.

Finalement, le cas d'un modèle MDB-diagonal par blocs est identique au cas d'un modèle ID- quant à la méthode d'estimation de chaque bloc.

La matrice B se décompose en blocs indépendants les uns des autres:

$$B = \begin{pmatrix} B_{11} & 0 & \dots 0 \\ 0 & B_{22} & \dots 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots B_{rr} \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

et il est suffisant que la matrice des variances-covariances résiduelles soit identique à (3.8).

On peut dire en résumé que l'estimation d'un modèle CC, ID, CCID ou MBD ne pose pas de problèmes majeurs. Selon Wold, les critères de choix entre estimateurs dépendent de leur efficacité et aussi de chaque cas concret.¹² Chaque modèle explicatif construit doit se baser en partie sur la théorie, laquelle on veut vérifier, et en partie, sur la disponibilité des données statistiques.¹³ En définitive, chacun des modèles CC, ID, CCID ou MDB propose une explication différente du fonctionnement d'une économie et ont chacun leurs avantages et désavantages.

Structure causale

Les définitions précédentes des modèles CC, ID, CCID et MDB suggèrent la représentation de la structure causale d'un modèle économétrique par un graphe orienté

$$G = (X, A) \quad (3.10)$$

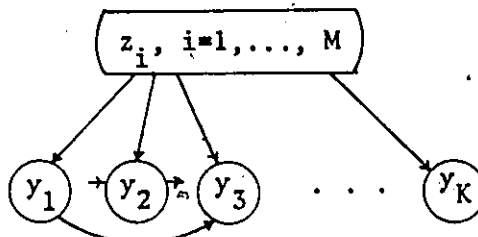
où $X = (y_{1t}, \dots, y_{Kt}; z_{1t}, \dots, z_{Mt})$ est l'ensemble des sommets, et A est la matrice carrée d'ordre $K + M$:

$$A = \begin{pmatrix} B & \vdots & \Gamma \\ \dots & \vdots & \dots \\ 0 & \vdots & I \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

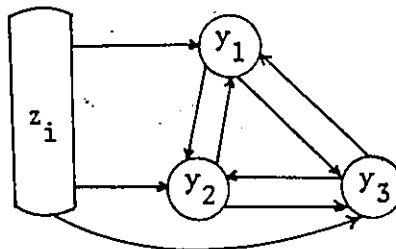
¹² H. Wold, "A Case Study of Interdependent versus Causal Chain Systems."

¹³ Théoriquement on peut toujours réduire un modèle dynamique au type CC- si les données sont adéquatement désagrégées. Mais l'utilisation des données dans un modèle doit parfois céder une partie de la précision pour la pertinence. Il est donc nécessaire d'analyser la taille optimale d'agrégation des données dans la construction du modèle.

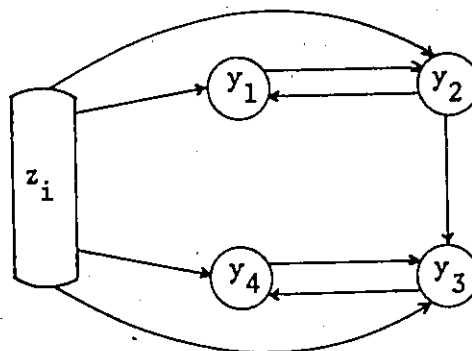
Un modèle CC est représentable par un graphe dont les arcs sont unidirectionnels montrant l'asymétrie et l'irréversibilité d'après le principe de la causalité classique.



Un modèle ID est représentable par un graphe possédant au moins un chemin hamiltonien:¹⁴



Tandis qu'un modèle CCID ou MDB est représentable par un graphe décomposable en composantes fortement connexes:



¹⁴ Si le modèle est ID généralisé on obtient un graphe complet, c. à d. pour tout paire de sommet (x, y) il y a un arc $(x \rightarrow y)$ et un arc $(y \rightarrow x)$. Dans ce cas le modèle est sous-identifiable.

Des propriétés importantes d'un modèle économétrique, telles que l'identification des paramètres structuraux et la stabilité structurale de chaque équation, peuvent être déduites de la propriété de connexité du graphe associé au modèle et seront traitées dans les sections suivantes.

Structure stochastique

L'ensemble des valeurs que peuvent prendre les paramètres structuraux d'un modèle définit un espace paramétrique S . Chaque point de cet espace est un vecteur à s dimensions, si le nombre des paramètres structuraux est s , exprimant une valeur possible de l'ensemble des paramètres contenus en B et Γ . Pour un espace d'échantillonnage donné Ξ et un échantillon de taille T ($T > s$), on peut estimer un point $\hat{\theta}_0$ de cet espace paramétrique:

$$\hat{\theta}_0 = (\hat{\theta}_{01}, \hat{\theta}_{02}, \dots, \hat{\theta}_{0s})$$

si les estimateurs sont non biaisés et consistents, alors:

$$E(\hat{\theta}_0) = \theta_0$$

$$\text{plim}_{T \rightarrow \infty} \hat{\theta}_0 = \theta_0$$

$\hat{\theta}_0$ est le centre d'une ellipsoïde de confiance $R_{1-\epsilon}$ ou région d'estimation de θ_0 avec une probabilité $1-\epsilon$ de contenir les vraies valeurs des paramètres structuraux

$$\hat{\theta}_0 \in R_{1-\epsilon} \subset S \subset R^s \quad (3.12)$$

tel que:

$$P(\theta_0 \in R_{1-\epsilon}) = 1 - \epsilon$$

Le vecteur $\hat{\theta}_0$ et les fonctions de distribution des variables aléatoires définissent la structure stochastique du modèle pour la période T.

B. Stabilité Structurale

Changement structural

Le changement structural peut être clairement défini en utilisant le concept d'ellipsoïde de confiance. Soit $\hat{\theta}_0 \in S \subset R^S$ les paramètres structuraux estimés dans la période $T_0 > s$, et soit $\hat{\theta}_1 \in S \subset R^S$ un autre ensemble de paramètres structuraux estimés dans une autre période (période $T_1 > s$), on admet l'hypothèse de changement structural si $\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0$ rejette l'hypothèse nulle, c'est à dire si $\hat{\theta}_1 \notin R_{0.95}^S(\hat{\theta}_0)$ ou alternativement $\hat{\theta}_0 \notin R_{0.95}^S(\hat{\theta}_1)$. On admet l'hypothèse de stabilité structurale, c'est à dire que la structure n'a pas changé dans les deux périodes T_0 et T_1 , si $\hat{\theta}_1 \in R_{0.95}^S(\hat{\theta}_0)$.

Tests de changement structural

Dans l'analyse de la stabilité structurale d'un modèle, les tests de changement structural tiennent une place particulièrement importante pour déterminer si un échantillon donné appartient à une seule ou plusieurs structures différentes. Dans ce dernier cas, les coefficients structuraux appartiennent à des structures différentes et les coefficients estimés pour tout l'échantillon ne sont plus fiables,

les variances des résidus tendent à être plus grandes, et le modèle ne peut plus être utilisé pour la prédiction..

Quatre types de tests statistiques de changement structural sont proposés par différents auteurs. Le test de Chow et celui de Gujarati sont des tests applicables à des équations individuelles, le test de Wold est basé sur le coefficient de Janus et applicable dans le cas d'une prédiction ex-post, le test de Dagum et Dagum est une généralisation du test des intervalles de confiance et peut-être applicable à un ensemble d'équations simultanées, ainsi qu'à des équations individuelles.¹⁵

1. Test de Chow

Le test de changement structural pour une équation unique proposé par Chow peut se décomposer en deux étapes. Dans la première étape on estime:

$$y_t = \beta x_t + u_t ; \quad t = 1, \dots, T \quad (3.13)$$

où x_t est un vecteur d'ordre k .

¹⁵ Gregory C. Chow, "Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two-Linear Regression," Econometrica 28, (1960): 591-605.

Amodar Gujarati, "Use of Dummy Variables in Testing for Equality Between Sets of Coefficients in Linear Regression: A Note," The American Statistician 24, (1970): 50-52.

H. Wold, "Toward a Verdict on Macroeconomic Simultaneous Equations," dans, The Econometric Approach to Development Planning (Amsterdam: North Holland, 1965), pp. 115-166.

C. Dagum et E.B. Dagum, "Construction de Modèles et Analyse Econométrique," Economies et Sociétés 8, (1974): 1649-2146.

On calcule:

$$\Sigma e_t^2 = \Sigma (y_t - \hat{\beta} x_t)^2 \quad (3.14)$$

Dans la deuxième étape, on estime l'équation (3.13) dans chacune des périodes correspondantes où l'hypothèse de changement structural est faite:

$$y_{t1} = \beta_1 x_{t1} + u_{t1} ; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (T_0) \quad (3.15)$$

$$y_{t2} = \beta_2 x_{t2} + u_{t2} ; \quad t = n + 1, \dots, T \quad (T_1) \quad (3.16)$$

on calcule:

$$\Sigma e_{t1}^2 = \Sigma (y_{t1} - \hat{\beta}_1 x_{t1})^2 \quad (3.17)$$

$$\Sigma e_{t2}^2 = \Sigma (y_{t2} - \hat{\beta}_2 x_{t2})^2 \quad (3.18)$$

et on définit ensuite:

$$\Sigma e_t^{*2} = \Sigma e_t^2 - (\Sigma e_{t1}^2 + \Sigma e_{t2}^2) \quad (3.19)$$

On applique finalement le test de F sur le quotient:

$$F(K, T-2K) = \frac{\Sigma e_t^{*2}/k}{(\Sigma e_{t1}^2 + \Sigma e_{t2}^2)/(T-2k)} \quad (3.20)$$

2. Test de Gujarati

Gujarati propose l'utilisation de variables tampons dans l'équation:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 x_t + \beta_3 (Dx)_t + u_t ; \quad t=1, \dots, T \quad (3.21)$$

où $D = 1$, si l'observation appartient à la période T_1

$D = 0$, si l'observation appartient à la période T_0

On applique les tests de t sur chacun des coefficients estimés pour tester leur signification.

3. Test de Wold

Le coefficient de Janus s'écrit:

$$J^2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_{t=n+1}^{n+m} (\hat{y}_t - y_t)^2}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad \text{ou } J = + \sqrt{J^2} \quad (3.22)$$

où y_t sont les valeurs actuelles, et $\hat{y}_t$ les valeurs calculées à partir du modèle. Théoriquement le coefficient de Janus compare les variances des résidus calculées dans la période T_0 d'échantillon (n observations) et la période T_1 de prédiction (m observations). Pour une structure stable on devrait obtenir:

$$E(J^2) \rightarrow 1$$

Dans le cas où $E(J^2)$ diverge significativement de l'unité, il y a une forte probabilité que les structures obtenues en T_0 et T_1 soient différentes.¹⁶

¹⁶ Evidemment le coefficient de Janus peut être inférieur à l'unité quand le changement structural prend la forme d'un changement non significatif dans les paramètres combiné avec une large réduction dans la variance des termes d'erreur. Le cas du coefficient de Janus supérieur à l'unité peut correspondre au changement structurel dû à un changement significatif des paramètres ou à une large augmentation de la variance des résidus.

4. Test de Dagum

Le test de Dagum est un test généralisé de χ^2 sur les coefficients structuraux:

$$\chi^2(k) = (\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0)' V^{-1} (\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0) \quad (3.23)$$

où V est la matrice de variance-covariance de $\hat{\theta}_0$, et k le degré de liberté de l'équation. Le test de χ^2 peut être transformé en test de F :

$$F(k, n-k) = \frac{(\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0)' V^{-1} (\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0)/k}{\hat{\sigma}^2/\sigma^2} \quad (3.24)$$

qu'on peut simplifier en écrivant:

$$\frac{\sigma^2}{k} (\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0)' V^{-1} (\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_0) \leq F_{0.95}(k, n-k) \hat{\sigma}^2 \quad (3.25)$$

ou $\hat{\sigma}^2$ est l'estimation de σ^2 obtenu à partir de $Y = \hat{\theta}_0 X + e$

Stabilité structurale et stabilité dynamique

Avec la définition précédente du changement structural et les tests proposés, on peut définir sans ambiguïté le concept de stabilité structurale dans un modèle économétrique.¹⁷ Celle-ci est une généralisation du concept d'autonomie structurale de Frish et de Haavelmo.¹⁸ La stabilité structurale d'une relation de comportement désigne la propriété de cette relation de continuer à expliquer le comportement d'un secteur économique étant donné des changements structuraux dans d'autres secteurs.

¹⁷ C. Dagum, "Structural Permanence."

¹⁸ R. Frish, "Statistical versus Theoretical Relations on Economics Macro-Dynamics." T. Haavelmo, "The Probability Approach in Econometrics."

En nous référant au système (3.1) et en désignant par J l'ensemble indice des n premiers nombres entiers, on définit une correspondance bi-univoque entre J et l'ensemble des équations du système (3.1).

En symbolisant par J_T , J_P et J_E des sous-ensembles de J , tel que:

$$J = \{1, 2, \dots, n\} \quad (3.26)$$

et satisfaisant aux conditions suivantes:

$$J_T \subset J: J_T^C = J \setminus J_T = J \cap J_T^C \neq \phi \quad (3.27)$$

où ϕ désigne l'ensemble vide, et J_T^C le complément de J_T dans J .

$$J_P \subset J; J_E \subset J; J_P \cap J_E = \phi \quad (3.28)$$

$$(J_P \cup J_E \neq J) \Rightarrow J \setminus (J_P \cup J_E) \neq \phi \quad (3.29)$$

Donc:

$$SS_P[J_P(J_E)] = SS_P(J_P/\text{changement structural dans } J_E) \quad (3.30)$$

$$SS_T[J_T(J_T^C)] = SS_T(J_T/\text{changement structural dans } J_T^C) \quad (3.31)$$

symbolisent respectivement le degré de stabilité structurale partielle et totale du sous-système J_P et J_T par rapport aux changements structuraux dans J_E et J_T^C . Si $J_P = \{g\}$, alors (3.30) symbolise le degré de SS_P de l'équation g par rapport au sous-système J_E , $g \notin J_E$. Si $J_T = \{g\}$, alors (3.31) symbolise le degré de SS_T de l'équation g par rapport à toute autre équation du système.

Le concept de stabilité structurale qui vient d'être défini peut être applicable soit sous la forme structurale, soit sous la forme réduite du modèle. Nous allons étudier le problème de la stabilité

structurale et son rapport avec la stabilité dynamique en prenant comme exemple un modèle à chaîne causale simple. Les résultats seront facilement généralisables aux autres types de modèle.

1. Stabilité structurale sous la forme structurale du modèle

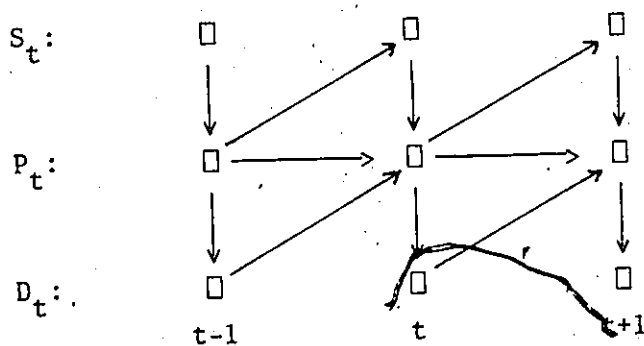
Wold a proposé le modèle de marché suivant pour illustrer l'exemple d'un modèle d'adaptation des attentes:¹⁹

$$D_t = \alpha_1 - \beta_1 P_t + u_{1t}; \quad \alpha_1, \beta_1 > 0 \quad (3.32)$$

$$S_t = \alpha_2 + \beta_2 P_{t-1} + u_{2t}; \quad \beta_2 > 0 \quad (3.33)$$

$$P_t = P_{t-1} + \lambda(D_{t-1} - S_t) + u_{3t}; \quad \lambda > 0 \quad (3.34)$$

Les relations (3.32)-(3.34) expliquent respectivement le comportement des consommateurs, des producteurs et le processus institutionnel d'ajustement des prix. Le processus de transmission des informations dans le modèle CC est récursif:



19 H. Wold et L. Juréen, Demand Analysis. A Study in Econometrics (New York: John Wiley, 1953). Le modèle a été aussi étudié extensivement dans C. Dagum, "Structural Permanence," et dans, "Le Concept de Permanence Structurale et l'Analyse Économétrique."

La mise sous forme compacte du modèle est:

$$By_t + \alpha + \Gamma y_{t-1} = u_t, \det. B \neq 0 \quad (3.35)$$

où

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \lambda & 1 & 0 \\ 0 & \beta & 1 \end{pmatrix}; \quad \alpha = \begin{pmatrix} -\alpha_2 \\ 0 \\ -\alpha_1 \end{pmatrix}; \quad \Gamma = \begin{pmatrix} 0 & -\beta_2 & 0 \\ 0 & -1 & -\lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$y_t = \begin{pmatrix} S_t \\ P_t \\ D_t \end{pmatrix}; \quad y_{t-1} = \begin{pmatrix} S_{t-1} \\ P_{t-1} \\ D_{t-1} \end{pmatrix}; \quad u_t = \begin{pmatrix} u_{2t} \\ u_{3t} \\ u_{1t} \end{pmatrix}$$

L'estimation des paramètres contenus en B, Γ et α , d'après un échantillon de taille T, est faite d'après le processus itératif de Wold.

Nous commençons par estimer l'équation (3.33) par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO):

$$S_t = \hat{\alpha}_2 + \hat{\beta}_2 P_{t-1} + e_{2t} \quad (3.36)$$

comme $\text{cov}(P_{t-1}, u_{2t}) = 0$, l'estimation des coefficients α et β est convergente et asymptotiquement efficace. Ré-emplaçant les valeurs calculées de S_t dans l'équation (3.34), et employant de nouveau les MCO dans l'estimation de λ :

$$P_t = \hat{\lambda}(D_{t-1} - S_t) + e_{3t} \quad (3.37)$$

$\text{cov}(S_t, u_{3t}) = 0$ si et seulement si $\text{cov}(u_{2t}, u_{3t}) = 0$. Cette dernière condition est remplie dans un modèle récursif. De plus $\text{cov}(D_{t-1}, u_{3t}) = 0$. D'où l'application des MCO est pleinement justifiée.

Finalement les valeurs de P_t calculées dans (3.37) sont remplacées dans l'équation (3.32). Les MCO sont de nouveau appliqués à l'équation:

$$D_t = \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 P_t + e_{1t} \quad (3.38)$$

De même $\text{cov}(P, u_1) = 0$ puisque $\text{cov}(u_1, u_3) = 0$ et l'emploi des MCO est de nouveau justifié. L'hypothèse $\text{cov}(u_2, u_3) = \text{cov}(u_1, u_3) = 0$ revient à dire que la matrice de variance-covariance des résidus est diagonale. En termes économiques ceci équivaut à dire que les différents secteurs économiques réagissent entre-eux d'une manière causale et que les actes économiques se succèdent dans le temps.

On peut aussi affirmer que la stabilité structurale de (3.38) dépend de la stabilité structurale de (3.36) et (3.37), et que la stabilité structurale de (3.37) dépend de la stabilité structurale de (3.36) puisque $\hat{\lambda}$ dépend de $(\hat{\alpha}_2, \hat{\beta}_2)$ et que $(\hat{\alpha}_1, \hat{\beta}_1)$ dépend de $\hat{\lambda}$. Ceci peut-être exprimé dans la forme synthétique:

$$SS_T(D|P, S) \rightarrow 0 \quad (3.39)$$

$$SS_P(P|S) \rightarrow 0 \quad (3.40)$$

$$SS_P(P|D) \rightarrow 1 \quad (3.41)$$

$$SS_T(S_t|P_t, D_t) \rightarrow 1 \quad (3.42)$$

2. Stabilité structurale sous la forme réduite du modèle

En supposant B non singulière, l'équation (3.35) s'écrit en multipliant membre à membre par B^{-1} :

$$B^{-1}By_t + B^{-1}\Gamma z_t = B^{-1}u_t \quad (3.43)$$

$$y_t = -B^{-1}\Gamma z_t + B^{-1}u_t \quad (3.44)$$

La forme réduite (3.44) s'écrit en entier:

$$B_t = \alpha_2 + \beta_2 P_{t-1} + u_{2t} \quad (3.45)$$

$$P_t = -\lambda\alpha_2 + (1-\lambda\beta_2)P_{t-1} + \lambda D_{t-1} - \lambda u_{2t} + u_{3t} \quad (3.46)$$

$$D_t = (\alpha_1 + \lambda\alpha_2\beta_1) - \beta_1(1-\lambda\beta_2)P_{t-1} - \beta_1\lambda D_{t-1} + \lambda\beta_1 u_{2t} - \beta_1 u_{3t} + u_{1t} \quad (3.47)$$

Sous cette forme, on voit que la stabilité des coefficients α_2 et β_2 dans (3.45) détermine la stabilité des coefficients-joints $\lambda\alpha_2$, $\lambda\beta_2$ dans (3.46) et $\lambda\alpha_2\beta_1$, $\lambda\beta_1\beta_2$ dans (3.47). On arrive donc aux mêmes résultats quant à la stabilité structurale des équations du système décrits dans (3.39)-(3.42).

Les résultats qui viennent d'être obtenus à partir d'un modèle CC peuvent être élargis et généralisés aux modèles ID, CCID ou MDB:

- a. Pour un modèle ID, l'hypothèse de stabilité structurale de n'importe quelle équation du système ne peut en général se faire lorsqu'il y a eu des changements structuraux dans au moins une des équations.
- b. Pour un modèle CCID, lorsque des changements structuraux sont survenus dans les équations du bloc r, les équations du bloc 1 à r-1 retiennent leur stabilité structurale tandis que les équations des blocs

r à s subissent des changements structuraux induits.

c. Pour un modèle MDB, lorsque des changements structuraux affectent une ou plusieurs des équations du bloc r, les autres équations des autres blocs retiennent leur stabilité structurale.

3. Stabilité dynamique

En symbolisant par y^* , la solution d'équilibre du système (3.35), nous obtenons:

$$y^* = (B + \Gamma)^{-1}(-\alpha) \quad (3.48)$$

$$y^* = \begin{pmatrix} S^* \\ P^* \\ D^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2} \begin{pmatrix} \alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1 \\ \alpha_1 - \alpha_2 \\ \alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1 \end{pmatrix} \text{ donc, } S^* = D^* \quad (3.49)$$

Etant donnée la condition initiale $y_{t_0} \neq y^*$, on peut déduire la solution générale qui décrit le comportement dynamique du vecteur y_t :²⁰

$$y_t = y^* + (-B^{-1}\Gamma)^{t-t_0} (y_{t_0} - y^*) + \sum_{n=0}^{t-t_0-1} (-B^{-1}\Gamma)^n u_{t-n} \quad (3.50)$$

Une particularité de la matrice $(-B^{-1}\Gamma)^{t-t_0}$, qui peut être vérifiée par récurrence, est la suivante:

$$(-B^{-1}\Gamma)^{t-t_0} = \delta^{t-t_0-2} (-B^{-1}\Gamma)^2 \quad (3.51)$$

$$t-t_0 \geq 2; \delta = 1 - \lambda(\beta_1 + \beta_2)$$

Par conséquent, la condition nécessaire pour un comportement dynamique stable est:

$$|\delta| = |1 - \lambda(\beta_1 + \beta_2)| < 1 \Rightarrow 0 < \delta < \frac{2}{\beta_1 + \beta_2} \quad (3.52)$$

²⁰ Voir C. Dagum, "Structural Permanence," p. 218.

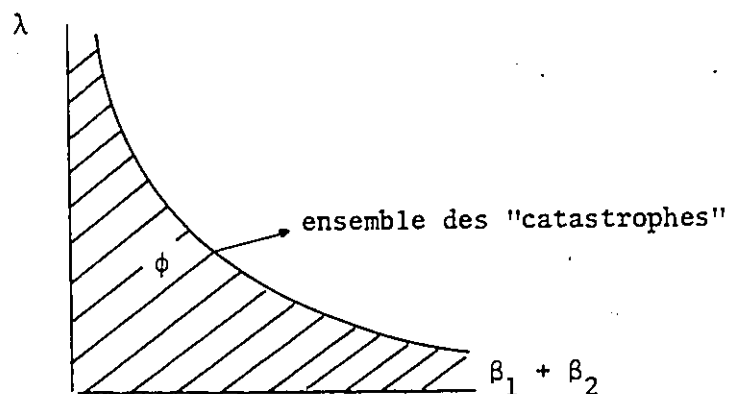
Cette condition nécessaire peut aussi être vérifiée à partir des racines caractéristiques de la matrice $(-B^{-1}\Gamma)$ qui peuvent être déduites de l'équation caractéristique:

$$|\delta I - (-B^{-1}\Gamma)| = 0 \quad (3.53)$$

On obtient, $\delta_1 = \delta_2 = 0$; $\delta_3 = 1 - \lambda(\beta_1 + \beta_2)$. Pour un comportement dynamique stable, toutes les racines caractéristiques doivent être inférieures à 1 en valeur absolue. On retrouve la condition (3.52). La région de stabilité S du modèle est représentée par la partie hachurée, bornée par l'hyperbole rectangulaire $\lambda(\beta_1 + \beta_2) = 2$, dans la figure 3.1, selon laquelle on peut dire que les définitions de la stabilité dynamique et de la stabilité structurale diffèrent sur un point essentiel: la première désigne la stabilité à l'inférieur d'une structure donnée alors que la seconde désigne la stabilité de la structure elle-même. Les deux sont complémentaires dans le sens que la stabilité dynamique pour être fiable doit se baser sur le concept de stabilité structurale.

Figure 3.2

Région de stabilité du modèle de marché de Wold



$$\phi = [(\beta_1 + \beta_2, \lambda) \mid \beta_1 + \beta_2 > 0, \lambda > 0, \lambda(\beta_1 + \beta_2) < 2]$$

Prédiction

L'analyse de la stabilité structurale tient une place importante dans un modèle décisionnel et de prédiction. A ce propos, Arrow écrit:

Si les lois étudiées sont vraiment immuables, l'autonomie deviendrait un concept inutile, et la forme réduite serait une aussi fidèle description de la réalité que n'importe quelle autre forme. Le besoin d'une structure aussi autonome que possible est spécialement critique si les résultats de l'analyse sont destinés à des fins de politiques sociales. Ici, la question est de choisir parmi les formes d'équation possibles qui expriment le comportement du gouvernement, celle qui permet le comportement le plus satisfaisant. Cependant, cette procédure ne peut être appliquée que si les équations autres que celle du gouvernement sont invariants aux changements de celle-ci. Pour la prédiction sous le changement structural et pour la prise de décision, il est alors important que la structure soit exprimée sous une forme aussi autonome que possible.²¹

Pour la prédiction et la prise de décision, l'information contenue dans la structure et l'estimation du degré de SS_p et SS_T de chaque équation du modèle représentatif rend possible la formulation de politiques économiques cohérentes. Pour cela, il est nécessaire de distinguer entre:

- 1) prédiction sous l'hypothèse "ceteris paribus,"
- 2) prédiction sous l'hypothèse de changement structural prévisible,
- 3) prédiction sous l'hypothèse de changement structural imprévisible.

Ces trois cas ont été analysés par Marschak et Dagum.²² Leurs résultats seront résumés ici brièvement.

²¹ Kenneth J. Arrow, "Mathematical Models in the Social Sciences," dans May Brodbeck (ed.), Readings in the Philosophy of the Social Sciences (New York: McMillan, 1968), p. 635.

²² Jacob Marschak, "Economic Measurement for Policy and Prediction," dans William C. Hood et T.C. Koopmans (eds.), Studies in Econometric Methods, Cowles Commission Monograph No. 14, (New York: John Wiley, 1953), pp. 1-26. C. Dagum, "Structural Permanence."

Une prédiction est un énoncé concernant la probabilité d'occurrence d'un ou de plusieurs événements futurs donc incertains.²³ Soit $E_1 = (y_1, \dots, y_T)$, un vecteur de variables dans l'espace d'échantillonnage à T dimensions, $E_2 = (y_{T+1}, \dots, y_{T+n})$, un vecteur de variables dans l'espace à n dimensions et $E = (y_1, \dots, y_{T+n})$, un vecteur de variables dans l'espace à $T+n$ dimensions. On peut écrire les probabilités des événements E , E_1 et E_2 :

$$p(E) = p(y_1, \dots, y_{T+n}) \quad (3.54)$$

$$p(E_1) = p(y_1, \dots, y_T) \quad (3.55)$$

$$p(E_2|E_1) = p(y_{T+1}, \dots, y_{T+n} | y_1, \dots, y_T) \quad (3.56)$$

D'où:

$$p(E) = p(E_1)p(E_2|E_1) \quad (3.57)$$

Pour la période $[1, T]$, on estime la structure:

$$\hat{\theta} = \theta(y_1, \dots, y_T)$$

Une prédiction basée sur l'hypothèse de stabilité structurale est une prédiction "ceteris paribus":

$$p(E_1, \hat{\theta}) = p(y_1, \dots, y_T; \hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_s) \quad (3.58)$$

$$p(E_2|E_1, \hat{\theta}) = p(y_{T+1}^*, \dots, y_{T+n}^* | E_1; \hat{\theta}) \quad (3.59)$$

²³ On peut cependant faire des prédictions "ex-post" sur des événements connus, sur lesquels on veut tester, la validité du modèle. Le sens accordé ici à la prédiction est de type "ex-ante".

Elle consiste à faire l'hypothèse très restrictive que l'expérience du passé continue à expliquer le futur. Comme le montre Marschak, on n'a même pas besoin de connaître la forme structurale du modèle, la forme réduite du système suffit pour la prédiction ponctuelle.²⁴ L'agent économique n'a pas besoin de "théorie", c'est à dire d'expliquer le phénomène, il lui suffit pour prédire de connaître les tendances passées et de faire une projection temporelle.

Un autre type de prédiction, plus général, tient compte des possibilités de changement structural. Ce type de prédiction se présente dans deux cas:

Cas 1: Si on estime que la structure n'a pas changé dans le passé, mais on connaît les directions, l'amplitude et la durée de temps nécessaire pour l'accomplissement des changements structuraux dans le futur, la prédiction est possible. Dans ce cas la connaissance de la partie (sous-ensemble d'équations) de la structure où il y a eu changement structural est nécessaire pour estimer la nouvelle structure.²⁵

²⁴ J. Marschak, op. cit., p. 3.

²⁵ Dans le cas idéal, on aura estimé les paramètres en fonction du temps:

$$B(t)y_t + \Gamma(t)z_t = u_t$$

Un cas de ce type de changement structural a été étudié récemment par Charles M. Beach, "An Alternative Approach to the Specification of Structural Transition Functions," Canadian Economic Journal 10, (1977): 132-141. Il spécifie une fonction de densité binomiale dans la période transitionnelle d'ajustement structural.

Cas 2: On estime que la structure a changé dans le passé d'après les tests de changement structural et qu'elle changera dans le futur d'une manière imprévisible. La prédiction dans ce cas est en général impossible. Cependant, la prédiction se basant sur les équations possédant un degré élevé de stabilité structurale est toujours valable. C'est ici qu'entre pleinement en compte l'analyse de la stabilité structurale de chaque équation du modèle.

Nous avons montré dans cette section la grande affinité entre les concepts de stabilité structurale et de causalité. Dans la section suivante nous essayerons de redéfinir le concept de causalité dans un sens plus formel.

C. Causalité

La longue tradition qui s'est prolongée jusqu'au siècle dernier, unissant les sciences sociales à la philosophie et marquée par les noms tels que Hume et Wittgenstein, refusait à la notion de cause le caractère scientifique d'une explication.²⁶ Même Auguste Comte voulait la remplacer par la recherche des lois plutôt que celle des causes.²⁷ Alors que Weber propose de lui substituer une explication fonctionnelle.²⁸ Le développement des recherches empiriques sur une

²⁶ David Hume, Traité de la Nature Humaine, (Paris: Ed. A. Leroy 1946). Ludwig Wittgenstein, Tractatus Logico-Philosophicus, (Londres 1922, traduit par P. Klossowski, Paris, 1931).

²⁷ Auguste Comte, Cours de Philosophie Positive, (Paris: Hermann, éd. 1975), vol. 4.

²⁸ Max Weber, The Theory of Social and Economic Organization (New York: Oxford University Press, 1947).

grande échelle dans les sciences sociales a fait remonter à la surface la notion de cause sur un autre plan: comme un type d'explication basé sur des relations statistiques. Notre approche est une continuation du courant de pensée initié par Durkheim et poursuivi par Boudon et Lazarsfeld dans la sociologie, par Wold et Simon dans l'économie.²⁹ Ce courant de pensée à l'encontre de la métaphysique, refuse à la notion de cause une tentative de la raison pure pour connaître la raison ultime ou les propriétés d'un objet, mais plutôt comme un mode d'explication des phénomènes dont on essaie de donner un sens. En tant que mode d'explication la causalité telle qu'elle est employée dans les sciences sociales, ne se réfère pas à un principe causal, ni à une loi universelle, mais à une méthode d'analyse scientifique qui, dans certains cas, peut donner des résultats valables.

Définitions de la causalité

Les termes de cause, causalité, principe causal, relation causale, seront employés dans le même sens pour désigner l'approche scientifique qui consiste à attribuer à chaque phénomène une explication de type cause-effet ou stimulus-réponse.

On peut distinguer trois catégories de définitions de la causalité: 1) des définitions sémantiques, 2) des définitions opérationnelles et 3) des définitions formelles. Les premières s'attachent à lui donner un sens à partir d'autres concepts clairement définis dans

²⁹ Raymond Boudon et Paul Lazarsfeld, L'analyse Empirique de la Causalité (Paris: Mouton, 1966). H. Wold, "Causality and Econometrics," Econometrica, 22 (1954): 162-177. Herbert Simon, "On the Definition of the Causal Relation," Journal of Philosophy 49, (1952): 517-528.

un domaine de la connaissance et dotés d'une signification empirique et universelle. Celles de la deuxième catégorie essayent de la remplacer par une relation statistique en terme de corrélation ou de probabilité, tandis que les définitions du troisième type tendent de lui substituer un système axiomatique au moyen d'un langage logico-mathématique.

1) Définitions sémantiques

La philosophie aristotélicienne distingue quatre types de cause:³⁰

- a. la cause est la raison même de l'objet qui fait qu'il est constitué de parties distinctes engendrées dans un ordre physique défini,
- b. la cause est l'antécédent ou la condition nécessaire qui engendre une conséquence,
- c. la cause efficiente est la source primaire qui entraîne le processus,
- d. la cause finale est le but pour lequel la chose est faite.

Les définitions (a) et (b) furent le point de départ de la pensée positiviste qu'on retrouve dans les principes de Newton et de Descartes, et qui furent les fondements de la physique classique. L'essence des principes newtoniens se résume à considérer la Nature comme une entité organique où tout élément retrouve la place qu'il doit occuper, car il est l'une des causes de cette entité. Cela signifie que toutes les propriétés de l'Univers peuvent être traduites dans un langage descriptif universel, en occurrence la mathématique, où tout phénomène serait

³⁰ William A. Wallace, Causality and Scientific Explanation (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1972), pp. 11-13.

expliqué, car il est le résultat nécessaire d'un autre phénomène qui lui est antécédent.

Les définitions (c) et (d) se réfèrent à des concepts métaphysiques et téléologiques de la connaissance dont nous n'abordons pas ici, non pas parce que les questions de cause efficiente et finale soient sans importance, mais bien parce qu'elles sont vouées à un énigme éternel.

2) Définitions opérationnelles

Les définitions opérationnelles tentent de "révéler" le concept de causalité d'après un type donné de faits empiriques.³¹ Wold définit la causalité proche du critère expérimental dans les sciences naturelles, Granger lui fait correspondre un critère de prédictabilité, tandis que Boudon lui associe un coefficient de dépendance statistique.³²

Pour Wold le concept de causalité qualifie une relation de dépendance statistique. Soit par exemple la relation stochastique:

$$y = f(x) + u \quad (3.60)$$

$$E(y|x) = f(x) \quad (3.61)$$

Cette relation symbolise la relation de cause à effet ou de stimulus-réponse, et ne peut être renversée sans détruire en même

³¹ Dans le sens que les données "génèrent" le modèle.

³² H. Wold, op. cit., et, "Cause-effect Relationships: Operative Aspects," dans Ernest Nagel; Patrick Suppes et Alfred Tarsky (eds.), Logic, Methodology and Philosophy of Science (Amsterdam: North Holland, 1973), pp. 789-801. C.W.J. Granger, "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross Spectral Methods," Econometrica 37, (1969): 424-438. R. Boudon, L'Analyse Mathématique des Faits Sociaux (Paris: Plon, 1967).

temps le sens de cette relation. En effet:

$$E(x|y) \neq f^{-1}(y) \quad (3.62)$$

La relation (3.60) est donc causale car on peut écrire:

$$y|_{cp} (x + x + \Delta x) \rightarrow y + \Delta y \quad (3.63)$$

$$\Delta y = f(x + \Delta) - f(x) \quad (3.64)$$

où "cp" symbolise l'hypothèse "ceteris paribus". Sur quels critères est basée cette hypothèse? Ici survient le problème de la différence fondamentale entre le cas expérimental et non expérimental:

Si l'expérience révèle qu'une variable observée varie systématiquement quand la variable contrôlée varie, la relation ainsi obtenue est un cas type de relation causale. Par répétition de l'expérience, la relation causale peut être testée par d'autres chercheurs, et en cela réside la supériorité de la méthode expérimentale... Dans le cas non expérimental la situation typique est celle où la relation causale est une hypothèse à tester ou à démontrer. Logiquement le concept est le même dans les deux cas.³³

Mais logiquement le concept peut-il être le même dans le cas expérimental et non expérimental? Dans le cas expérimental une théorie est déduite à partir des expériences dans lesquelles on peut fixer les valeurs des variables (variables de contrôle):

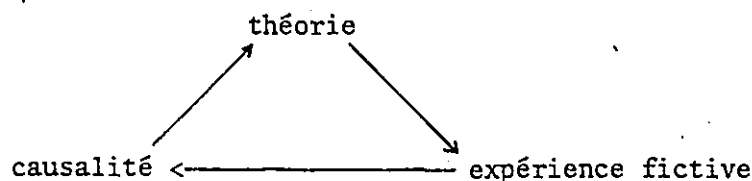
expériences $\longrightarrow$ causalité $\longrightarrow$ théorie

Dans le cas non expérimental, la relation causale fait partie du domaine des hypothèses scientifiques sous la base d'une "expérience fictive", c'est à dire imaginée.³⁴ Cette expérience fictive a-t-elle

³³ H. Wold, "Causality and Econometrics," pp. 165-166.

³⁴ En fait c'est une observation systématique de la réalité sans possibilité de la repliquer. "Les relations causes-effets sont des relations stimulus-réponses dans des expériences artificielles ou fictives." Voir H. Wold, "Mergers of Economics and Philosophy of Science," p. 449 ou H. Wold, "Cause-effect Relationships," p. 794.

le même caractère objectif que dans une expérience réelle? La réponse est évidemment non en général, puisque le chercheur n'a aucun moyen matériel pour isoler les variables causales et pour répéter les expériences. Du point de vue méthodologique, la généralisation des méthodes expérimentales du domaine des sciences naturelles, sans conditions supplémentaires, ne peut se faire au domaine des sciences sociales. Du point de vue sémantique et logique, la définition de Wold nous ramène à un énoncé de type circulaire:



En résumé, l'approche de H. Wold qui tente de procéder par une généralisation du concept d'expérimentation, se résorbe finalement dans l'acceptation à priori d'une théorie causale.

Granger note que le concept de causalité employé dans les sciences sociales a toujours pour but la prédiction. Il propose alors une définition basée sur l'efficacité de cette prédiction.³⁵

Une variable x est cause d'une variable y si nous pouvons mieux prédire les valeurs de y en utilisant toutes informations I , y compris celles de x plutôt que sans celles-ci. C'est à dire si:

$$\sigma^2(y|I) < \sigma^2(y|I-x)$$

où I est l'ensemble des informations qu'on peut obtenir. Remarquons

³⁵ C.W.J. Granger, op. cit.

tout de suite que cette définition est difficile à défendre dans les cas où:

$$\sigma^2(y|I) < \sigma^2(y|I-x)$$

et

$$\sigma^2(x|I) < \sigma^2(x|I-y)$$

On ne peut alors plus dire si x est cause de y ou l'inverse. Une autre critique plus fondamentale est l'erreur sémantique de confondre causalité et prédictabilité. La causalité se réfère à un type d'explication alors que la prédiction se réfère à l'action. Toutes relations prédictives ne sont pas nécessairement causales, alors que toutes relations causales sont prédictives.

Boudon propose, à notre point de vue, une définition acceptable de la causalité. En remarquant d'abord:

Qu'une relation statistique si elle ne peut s'accompagner d'une interprétation causale est dépourvue de sens: elle peut donner lieu à une proposition constatant l'existence de cette relation, mais non à un énoncé empirique. Une relation statistique ne correspond à un savoir que si elle est interprétable en termes de causalité.³⁶

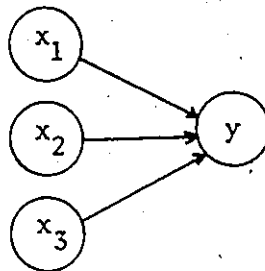
Il élimine l'idée de corrélation come base pour la définition de la causalité:

En effet supposons qu'une variable x_1 exerce une action sur la variable x_2 et que celle-ci détermine à son tour la variable dépendante x_d : il serait illégitime de tirer de l'examen des corrélations entre x_1 et x_d d'une part, de x_2 et x_d d'autre part la proposition x_1 et x_2 influencent x_d . En d'autres termes, dès qu'on utilise, comme c'est le cas général dans les sciences sociales, plusieurs variables

³⁶ Boudon, "L'Analyse Mathématique des Faits Sociaux," p. 22.

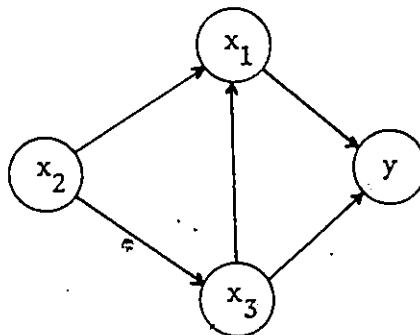
explicatives, il est nécessaire non de décider simplement de la présence ou de l'absence d'une liaison statistique, mais de déterminer la structure causale des variables en présence.³⁷

Une structure causale est simple si les relations de causalité sont unidirectionnelles:



Elle caractérise la plupart des cas expérimentaux sous contrôle, par exemple on fixe x_2 et x_3 et on observe les variations conjointes de x_1 et y .

Une structure causale est complexe, s'il existe plusieurs variables non contrôlables et interreliées:



Elle caractérise la plupart des cas non-expérimentaux et l'analyse statistique des corrélations et des covariances ne permet pas de

³⁷ Ibid, p. 31.

déceler les liaisons causales.³⁸

3) Définitions formelles

Selon Bunge, on ne peut parler d'un évènement C comme cause et d'un évènement E comme effet, que si C et E remplissent l'un des trois axiomes suivants:³⁹

Axiome 1: (condition nécessaire)

si C alors E

Axiome 2: (condition nécessaire et suffisante)

si et seulement si C alors E toujours

Axiome 3: (ceteris paribus)

si et seulement si C, dans des conditions identiques,
alors E toujours.

De ces trois axiomes Bunge définit quatre types de définitions de la causalité:

Définition 1: (causalité simple). Si et seulement si C, ceteris paribus, alors E est produit par C. Cette définition est déduite des axiomes 2 et 3.

- ³⁸ Corrélation fallacieuse. Durkheim a initié dans la sociologie la méthode des variables tests. Il s'agit chaque fois qu'on est indécis sur le choix d'une variable causale (x ou y), d'introduire une ou plusieurs variables tests de contrôle et dichotomisée (t et non t), et de voir l'effet sur les $cov(x,y)$, $cov(x,t)$, $cov(y,t)$, ainsi que les covariances conditionnelles $cov(x,y/t)$ et $cov(x,y/\bar{t})$. Voir R. Boudon et P. Lazarsfeld, op. cit. et R. Boudon, op. cit. Bien que cette méthode peut devenir un outil puissant pour l'inférence causale en sociologie où en général les variables sont dichotomiques, elle semble être d'une utilité restreinte pour la science économique où on doit travailler la plupart des cas avec des variables continues.
- ³⁹ Mario Bunge, Causality: The Place of the Causal Principle in Modern Science, (Cambridge: Harvard University Press, 1959).

Définition 2: (causes multiples mais disjonctives). Si et seulement si C_1 ou C_2 ou C_3 , ceteris paribus, alors E toujours. Cette définition est déduite des axiomes 1 et 3.

Définition 3: (effets multiples mais disjonctifs). Si et seulement si C alors E_1 ou E_2 ou E_3 toujours. Cette définition est aussi déduite des axiomes 1 et 3.

Définition 4: (chaîne causale). Si et seulement si C_1 , ceteris paribus, alors E_1 toujours; et on peut associer E_1 à C_2 tel que si et seulement si C_2 , ceteris paribus, alors E_2 toujours. Cette définition est déduite de l'application répétée des axiomes 2 et 3.

Remarquons tout de suite que ce système axiomatique caractérise une relation fonctionnelle 1) unidirectionnelle, c'est à dire qu'elle élimine la relation réciproque, 2) et disjonctive, c'est à dire qu'elle élimine les conjonctions de causes ou d'effets. Les définitions de Bunge limitent bien inutilement le concept de cause, elles représentent en fait un retour au principe classique de la causalité: "telle cause, tel effet" ou "à chaque effet, sa cause."

Simon, par ailleurs, propose une définition originale de la causalité:

Nous pouvons dire que lorsque A et B sont reliés fonctionnellement et si A précède B dans le temps, alors A cause B... Nous allons argumenter que le temps, en fait, fournit une base pour l'asymétrie entre A et B, mais c'est l'asymétrie qui est le point important et non la séquence temporelle. En admettant l'asymétrie, sans nécessairement impliquer le temps comme base à notre définition, nous admettrons un ordre causal même dans le cas atemporel.⁴⁰

⁴⁰ H. Simon, "Causal Ordering and Identification" dans W.C. Hood et T.C. Koopmans, Studies in Econometric Methods, pp. 49-74.

La définition de Simon est basée sur le système axiomatique suivant:

Axiome A.1: Soit une structure linéaire A comprenant $n(A)$ équations, $n+m$ variables et satisfaisant aux conditions de régularité.⁴¹

Axiome A.2: Soit une relation d'équivalence $R_e: n(A) \rightarrow n(A)$ c'est à dire réflexive, symétrique et transitive. Elle détermine une partition de $n(A) = \{n(A_i) | i = 1, \dots, S\}$

$$n(A_i) \cap n(A_j) = \phi ; i \neq j$$

$$\bigcup_{i=1}^S n(A_i) = n(A)$$

Axiome A.3: Soit une relation d'ordre partiel R_p sur $n(A_i)$ c'est à dire antisymétrique, réflexive et transitive.

La définition de Simon se résume à admettre un ordre causal dans la structure A chaque fois qu'on peut partitionner A en sous-ensemble d'équations $A_1, \dots, A_S$ d'après la relation R_e , puis ordonner ces sous-ensembles d'après la relation R_p .

Hénin reprend l'idée de Simon et en donne l'interprétation en terme de graphe de la structure,⁴² puisqu'il y a une correspondance biunivoque entre:

41 Dans un système d'équations homogène 1) le nombre d'équations doit être égal au nombre de variables endogènes, 2) tout sous-ensemble d'équations sont linéairement indépendants.

42 Pierre Yves Hénin, "Sur la Définition des Structures Causales en Econométrie," Cahiers du Séminaire d'Econométrie, CNRS 15, (1974): 9-27. La définition de Hénin est proche de celle de Malinvaud, voir Edmond Malinvaud, "Pour une Axiomatique de la Causalité," dans H. Wold (ed.), La Technique des Modèles dans les Sciences Humaines (Monaco: Union Européenne d'Édition, 1966).

X , les sommets du graphe et $n+m$, les variables du modèle,

Γ , les arcs du graphe et A , la matrice augmentée de la structure écrite en (3.11).

Hénin définit trois types de causalité:⁴³

- a. Causalité directe: Une variable x sera dite cause directe ou immédiate d'une variable y si l'arc $(x \rightarrow y)$ existe dans G . Elle n'admet donc pas l'asymétrie de la dépendance causale. En fait, elle admet comme cas particulier la causalité réciproque lorsque $(x \rightarrow y)$ et $(y \rightarrow x)$.
- b. Causalité transitive: Une variable x sera dite cause indirecte ou transitivement causale d'une variable y , si l'arc $(x \rightarrow y)$ existe dans G_{RT} , c'est à dire la fermeture réflexive et transitive de G . Et puisqu'elle est réflexive et transitive, on peut déterminer un préordre sur l'ensemble X .
- c. Causalité stricte: Un ensemble de variables $S \subset X$ sera dit cause strictement d'un autre ensemble de variables $T \subset X$, $S \cap T = \emptyset$, si l'arc $(S \rightarrow T)$ existe dans $G^0(X^0, \Gamma^0)$, le graphe réduit de G .

L'axiomatisation de Simon, Malinvaud et Hénin conduit à l'interprétation de la causalité dans les sciences sociales comme une hypothèse scientifique à tester, incorporée dans un modèle causal, et non comme une loi universelle incapable de changement dans le temps et dans l'espace. Elle s'intègre dans une explication de type structural en postulant une hiérarchie dans l'ordre causal des variables et incorpore

⁴³ Pierre Yves Hénin, op. cit., p. 20.

la notion de causalité temporelle comme un cas particulier. Les définitions précédentes de la notion de causalité peuvent être synthétisées dans le tableau suivant:⁴⁴

Tableau 3.1

Interprétation du concept de causalité

	<u>Interprétation en termes de graphe</u>	<u>Interprétation en termes de relation binaire</u>
Causalité directe	G , digraphe représentant A	Relation irréflexive sur $n(A)$
Causalité transitive	G_{RT} , fermeture réflexive et transitive de G	R , préordre sur $n(A)$
Causalité stricte	G^0 , graphe réduit de G	R_p , ordre partiel sur $n(A_i)$

Structure causale et identification

Le concept de causalité qui vient d'être défini est cependant incomplet. Il ne sera vraiment opérationnel qu'au moment où on pourra spécifier les conditions sous lesquelles un modèle particulier, admettant une structure causale telle que définie par G^0 , reste invariant par rapport aux transformations de cette structure. En d'autres mots, peut-on s'assurer que G^0 représente bien la structure unique du modèle et non pas celle d'une autre structure G^1 ? Simon rattache à ces conditions l'idée de contrôle expérimental:

"Pour établir un ordre causal nous devons avoir une connaissance à priori des limites imposées par les expérimentateurs, dans ce cas la connaissance que certains des coefficients de la matrice sont zéros. Si le concept d'ordre causal veut avoir un

⁴⁴ Voir Pierre Yves Hénin, op. cit., p. 25.

sens opérationnel, il faut absolument que l'expérimentateur possède le pouvoir d'altérer au moins certaines équations dans chaque sous ensemble déterminé.⁴⁵

A partir de la forme matricielle:

$$By_t + \Gamma z_t = u_t$$

La prédiction de l'effet du vecteur z_t sur y_t , a la forme équivalente suivante:

$$(TB)y_t + (T\Gamma)z_t = Tv_t, \quad |T| \neq 0$$

puisque nous avons $(TB)^{-1}(T\Gamma) = (B^{-1}\Gamma)$, si nous connaissons TB et T Γ .

Mais pour connaître l'effet d'une variable y_{it} sur une autre variable y_{jt} (i.e. le coefficient β_{ji}) nous devons connaître B^{-1} (ou B, $|B| \neq 0$)

lui même, qui ne peut pas être déduit de la connaissance de TB et T Γ .

C'est là l'essentiel du problème de l'identification et il concerne uniquement l'interprétation causale des variables sous la forme structurale du modèle. Si à partir de $B^{-1}\Gamma$ [ou alternativement $(TB)^{-1}T\Gamma$] nous ne pouvons déterminer les matrices B et Γ , le modèle est sous-identifiable; au contraire si nous pouvons déterminer plus d'une équation pour la solution de chaque paramètre en (B, Γ), le modèle est sur-identifiable. Un modèle est exactement identifiable si on peut déterminer uniquement le couple (B, Γ) associé à $B^{-1}\Gamma$.

Pour interpréter causalement un modèle, il ne suffit donc pas de regarder les équations et de le transcrire dans le langage des graphes, il est encore nécessaire, avant qu'une telle interprétation puisse être faite, de vérifier que la structure du modèle soit exactement

⁴⁵ H. Simon, op. cit., p. 65. En italique dans le texte.

identifiable.⁴⁶ Les conditions pour l'identification d'une structure ont été démontrées par Koopmans, et peuvent se subdiviser en condition d'ordre (condition nécessaire) et condition de rang (condition nécessaire et suffisante).⁴⁷ La condition d'ordre pour l'identification peut s'énoncer alternativement en terme de graphe G associé au modèle:

$$d_i^+(G) \leq K \quad (3.65)$$

où K est le nombre de variables prédéterminées du modèle.⁴⁸

Démonstration: La condition d'ordre peut s'écrire:

$$G_i'' + K_i'' \geq G - 1 \quad (3.66)$$

où

G_i' = nombre de variables endogènes présentes dans la i-ème équation,

G_i'' = nombre de variables endogènes absentes de la i-ème équation,

K_i' = nombre de variables prédéterminées présentes dans la i-ème équation,

K_i'' = nombre de variables prédéterminées absentes de la i-ème équation.

D'où:

$$K = K_i' + K_i'' \quad (3.67)$$

46 Cette condition ne s'applique que si on estime le modèle sous la forme réduite. Pour les modèles contenant des équations sur-identifiables ou sous-identifiables, l'estimation sous la forme réduite donne des coefficients non-fiables. L'interprétation causale de ces modèles peut quant même être faite si on peut estimer le modèle sous la forme structurale, d'où l'importance des méthodes d'estimation systémique.

47 T.C. Koopmans, "Identification Problem in Economic Model Construction," dans W.C. Hood et T.C. Koopmans (eds.), Studies in Econometrics Methods, pp. 27-48.

48 Si $d_i^+(G) > K$, l'équation i est sous-identifiable; si $d_i^+(G) < K$, l'équation i est sur-identifiable.

$$G = G'_i + G''_i \quad (3.68)$$

En remplaçant (3.67) et (3.68) dans (3.66) et en simplifiant:

$$K - K'_i - G'_i + 1 \geq 0 \quad (3.69)$$

La condition nécessaire pour l'identification peut s'énoncer alternativement: pour que l'équation (i) soit identifiable, il faut que le nombre de variables endogènes et prédéterminées contenues dans l'équation (i) soit plus petit ou égal au nombre de variables exogènes du modèle plus un.

Soit G_R le graphe réflexif de G associé au modèle. L'équation i est représentée par le point $x_i \in X$, le nombre d'arcs incidents à x_i (le degré positif de x_i): $d_i^+(G_R)$, est aussi le nombre de variables endogènes et prédéterminées contenues dans l'équation i ou alternativement, $d_i^+(G)$ représente le nombre de variables endogènes et prédéterminées contenues dans l'équation i moins un.

$$d_i^+(G) = K'_i + G'_i - 1 \quad (3.70)$$

L'équation (3.70) remplacée dans l'inéquation (3.69) donne la condition (3.65) C.Q.F.D.

D. Analyse de la stabilité structurale du modèle de Girshick et Haavelmo

L'exemple du modèle de Girshick et Haavelmo permettra d'illustrer l'approche causale dans l'analyse de la stabilité structurale.⁴⁹ Le

⁴⁹ M.A. Girschick et T. Haavelmo, "Statistical Analysis of the Demand for Food." Ce modèle a été aussi traité par H. Simon, op. cit., comme exemple de la détermination de l'ordre causal dans un modèle et par C. Dagum et E.B. Dagum, "Construction de Modèles," pour illustrer l'exemple d'une structure récursive par blocs.

choix de ce modèle est dicté par sa convenance et non pour sa valeur explicative. La méthode qui sera développée pourra d'ailleurs être appliquée à tout autre modèle.

La démarche suivante est proposée pour tester la stabilité structurale du modèle:

- 1) Analyse de la structure causale du modèle et estimation de la structure pour T périodes d'observations,
- 2) Hypothèse de changement structural dans deux sous-périodes hypothétiques $T_1 < T$ et $T_2 < T$, $T_1 \neq T_2$, et estimation du modèle pour ces deux sous-périodes,
- 3) Test de l'hypothèse de changement structural,
- 4) Réestimation des paramètres du modèle dans la période T_1 , en fixant les paramètres de l'équation i aux valeurs estimées dans la période T_2 . Ceci nous permet d'évaluer la stabilité structurale des autres équations face aux changements dans l'équation i,
- 5) Tester de nouveau 3) pour les autres équations.

Structure causale du modèle

Sous la forme matricielle le modèle s'écrit:

$$y_t = By_t + \Gamma z_t + u_t$$

où

$$B = \begin{pmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} & 0 & 0 \\ b_{21} & 1 & 0 & b_{24} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & b_{45} \\ 0 & b_{52} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \Gamma = \begin{pmatrix} g_{10} & 0 & 0 & g_{13} & g_{14} \\ g_{20} & 0 & 0 & g_{23} & 0 \\ g_{30} & 0 & g_{32} & 0 & g_{34} \\ g_{40} & g_{41} & 0 & g_{43} & 0 \\ g_{50} & 0 & 0 & g_{53} & 0 \end{pmatrix}$$

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \\ y_{4t} \\ y_{5t} \end{bmatrix} \quad z_t = \begin{bmatrix} 1 \\ z_{1t} \\ z_{2t} \\ z_{3t} \\ z_{4t} \end{bmatrix} \quad u_t = \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \\ u_{3t} \\ u_{4t} \\ u_{5t} \end{bmatrix}$$

y_{1t} = consommation de produits agricoles, per capita, au temps t ,

y_{2t} = prix des produits agricoles/indice des prix à la consommation (IPC), au temps t ,

y_{3t} = revenu disponible/IPC, au temps t ,

y_{4t} = production des produits agricoles, per capita, au temps t ,

y_{5t} = prix reçus par les fermiers/IPC, au temps t ,

$z_{1t} = y_{5,t-1}$ = prix reçus par les fermiers/IPC, au temps $t-1$,

z_{2t} = investissement/IPC, per capita, au temps t ,

$z_{3t} = t$ = temps,

$z_{4t} = y_{3,t-1}$ = revenu disponible/IPC, au temps $t-1$.

Le modèle permet d'expliquer le processus d'ajustement de l'offre et de la demande des produits agricoles aux Etats-Unis durant la période 1922-1941. Les cinq équations expliquent chacune le comportement d'un secteur particulier du marché: 1) demande des consommateurs, 2) offre des détaillants, 3) revenu des consommateurs, 4) offre des producteurs, 5) demande du secteur commercial.

Le modèle peut se mettre sous la forme réduite:

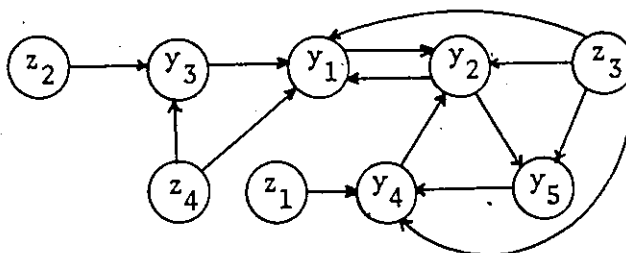
$$y_t = (I-B)^{-1} \Gamma z_t + (I-B)^{-1} u_t, \quad |I-B| \neq 0$$

En supposant qu'on puisse trouver les valeurs de $(I-B)^{-1}\Gamma$ et en connaissant les valeurs initiales y_{50} , y_{30} et les valeurs de z_{2t} pour la période $[0, T]$, les trajectoires des variables endogènes du modèle sont uniquement déterminées pour tout $t \in [0, T]$.

Pour retrouver la structure causale du modèle, on écrit la matrice:

$$A = \begin{pmatrix} I-B & \Gamma \\ 0 & I \end{pmatrix}$$

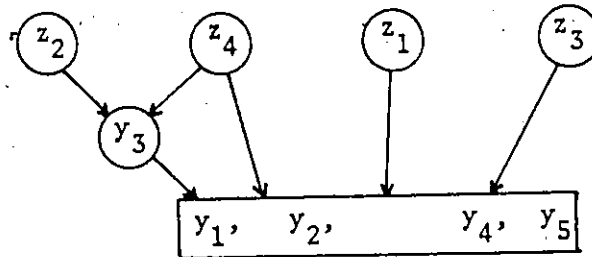
Le graphe G de cette structure est:



On remarque que les variables prédéterminées, au nombre de quatre, n'ont que des arcs incidents extérieurement. Après avoir compté le nombre des degrés positifs des sommets y_1 à y_5 , on peut dire que la première équation est exactement identifiable et les autres équations sur-identifiables. La décomposition du système d'équations en sous-ensembles d'équations complètement interdépendantes se ramène à la décomposition du graphe G en composantes fortement connexes maximales (CFCM).⁵⁰ L'ordre causal du modèle peut alors être déduit du graphe

⁵⁰ Voir Yves Muller, Applications Pratiques des Graphes à la Recherche d'un Optimum (Paris: Ed. Eyrolles, 1972), pour la décomposition d'un graphe en CFCM. Une méthode intéressante de décomposition d'un système d'équations est donnée par D.V. Steward, "On an Approach to Techniques for the Analysis of the Structure of Large Systems of Equations," SIAM Review 4, (1962): 321-342, et "Partitioning and Tearing Large Systems of Equations," SIAM Journal, Numerical Analysis, Ser. B., vol. II, no. 2, (1965): 345-365.

réduit G^0 .



Le modèle de Girshick et Haavalmo possède donc une structure causale réursive par bloc (CCID).

Choix de la méthode d'estimation

Plusieurs méthodes d'estimation systématique d'un modèle CCID sont possibles, parmi lesquelles nous avons testé les méthodes suivantes:

- 1) méthode des moindres carrés ordinaires (MCO),⁵¹
 - 2) méthode des moindres carrés à deux étapes (MC2E),
 - 3) méthode du point fixe (PF),
 - 4) méthode du point fixe fractionnaire (PFF).⁵²
- Le choix final de la meilleure méthode sera dicté par celle qui donne les résultats les plus raisonnables concernant les statistiques sur: 1) la racine carrée de la moyenne des carrés des erreurs (RMSE), 2) le coefficient de détermination corrigé ($\bar{R}^2$), 3) le coefficient de Durbin-Watson (D.W.), 4) la variance estimée des résidus ($\hat{\sigma}_u^2$).

La méthode du PF peut se décrire comme une méthode d'estimation itérative, chaque itération a deux étapes:

⁵¹ Donne des coefficients biaisés et non convergents.

⁵² Développée par A. Agren, "Fractional Fix-Point Estimation," dans E.J. Mosbaek et H. Wold, Interdependent Systems, Structure and Estimation, pp. 129-136.

1^{er} étape: Estimer par MCO le modèle sous la forme structurale:

$$y_t = By_t + \Gamma z_t + u_t, \text{ donc: } y_t = \hat{B}y_t + \hat{\Gamma}z_t + e_t$$

Calculer les valeurs de:

$$y_t^{(1)} = y_t - e_t$$

2^{ème} étape: Estimer par MCO le système:

$$y_t = By_t^{(1)} + \Gamma z_t + u_t, \text{ donc: } y_t = B^{(1)}y_t^{(1)} + \hat{\Gamma}^{(1)}z_t + e_t^{(1)}$$

Calculer:

$$y_t^{(2)} = y_t - e_t^{(1)}$$

On retrouve à la première étape par itération successive jusqu'à ce qu'on ait obtenu:

$$y_t^{(r+1)} - y_t^{(r)} < \epsilon, \epsilon \text{ une valeur petite choisie.}$$

L'estimation par la méthode du PF du modèle de Girshick et Haavelmo ne converge pas assez rapidement. Pour aider la convergence, la méthode du PFF a été utilisée, elle est identique à celle du PF sauf que dans la deuxième étape les valeurs de $y_t^{(r)}$ sont remplacées par:

$$y_t^{(r)} = \alpha y_t^{(r)} + (1-\alpha)y_t^{(r-1)}$$

Avec cette substitution et en admettant $\alpha = 0.1$ et $\epsilon = 0.001$, l'estimation est convergente après trois à dix itérations.⁵³ Les résultats des estimations sont donnés dans les tableaux 3.2 et 3.3.

⁵³ α est une variable de relaxation définit entre 0 et 1. Si $\alpha = 1$, nous retournons à la méthode du PF. D'après la méthode du PFF, à chaque itération successive, une correction est faite pour aider la convergence.

Tableau 3.2

Estimation du modèle de Girshick et Haavelmo
par différentes méthodes
(1922-1941)

Méthode	1ère équation			2ème équation		
	b_{12}	b_{13}	g_{13}	g_{14}	g_{10}	g_{20}
G et H ¹	-0.246	0.247	-0.104	0.051	97.677	-84.834
MCO	-0.336	0.277	-0.234	0.064	103.967	-181.957
MC2E	-0.486	0.290	-0.317	0.097	115.561	-56.768
PF2	0.035	0.167	0.041	0.016	76.027	-280.065
PF3	-0.265	0.247	-0.114	0.056	99.160	-40.376

Méthode	3ème équation			4ème équation			5ème équation		
	g_{32}	g_{34}	g_{30}	b_{45}	g_{41}	g_{43}	b_{52}	g_{53}	g_{50}
G et H ¹	0.203	0.367	40.731	0.556	-0.300	-0.190	2.883	0.656	-200.067
MCO	0.203	0.367	40.768	0.037	0.066	-0.202	2.301	0.431	-139.145
MC2E	0.203	0.367	40.768	0.436	-0.215	-0.193	2.788	0.619	-190.101
PF2	0.203	0.367	40.768	0.333	-0.065	-0.147	2.493	0.505	-159.196
PF3	0.203	0.367	40.768	0.450	-0.227	-0.194	2.821	0.632	-193.547

1 Estimation de Girshick et Haavelmo, op. cit., p. 109.

2 Ne converge pas dans les limites de 10 itérations. Les valeurs sont prises après la dixième itération.

3 Converge après 3 itérations.

Tableau 3.3

Statistiques calculées d'après les
différentes méthodes d'estimation

<u>Equation</u>	<u>Méthode</u>	<u>RMSE</u>	<u>$\bar{R}^2$</u>	<u>D.W.</u>	<u>$\hat{\sigma}_u^2$</u>
1	MCO	0.849	0.880	1.28	0.96
	MC2E	1.014	0.828	1.27	1.03
	PF	1.404	0.670	1.33	2.63
	PFF	1.350	0.695	1.55	2.43
2	MCO	4.038	0.336	1.15	20.38
	MC2E	4.814	0.056	1.79	23.17
	PF	2.730	0.696	1.01	9.32
	PFF	3.876	0.388	0.83	18.75
3	MCO	3.939	0.870	1.08	15.51
	MC2E	3.939	0.870	1.08	15.51
	PF	3.939	0.870	1.08	15.51
	PFF	3.939	0.870	1.08	15.51
4	MCO	4.007	0.026	0.72	20.07
	MC2E	5.389	-0.188(*)	1.13	29.04
	PF	3.355	0.317	1.59	14.07
	PFF	3.316	0.333	1.40	13.75
5	MCO	4.813	0.836	0.87	27.26
	MC2E	5.375	0.796	0.91	28.89
	PF	10.038	0.288	0.89	118.55
	PFF	7.606	0.591	1.26	68.06

* $\bar{R}^2$ et R^2 sont liés par la formule:

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{T-1}{T-K}$$

on en déduit que: 1) $R = \bar{R}^2$ si $k = 1$, 2) $R^2 > \bar{R}^2$ si $K > 1$, et
3) étant donné la formule pour calculer $\bar{R}^2$, si R^2 est petit, il
est possible que pour $K > 1$ le facteur $(T-1)/(T-K)$ domine $(1-R^2)$
et le produit soit plus grand que un, donc, $\bar{R}^2$ serait négatif.

Ces résultats montrent une légère supériorité de la méthode PFF sur les MC2E, tandis qu'ils montrent une nette supériorité de la méthode du PFF sur les MCO et la méthode du PF. La méthode du PFF est donc choisie comme méthode d'estimation pour le modèle de Girshick et Haavelmo.

Tests d'hypothèses

Nous divisons la période 1922-1941 en deux périodes T_1 (1922-1931) et T_2 (1932-1941), et nous faisons l'hypothèse que les structures du modèle pour les périodes T_1 et T_2 sont significativement différentes et nous testons l'hypothèse:

$$H_0: S(T_1) \sim S(T_2)$$

contre l'hypothèse alternative:

$$H_1: S(T_1) \not\sim S(T_2)$$

Les tests de changement structurel ont été décrits dans la section B. Les résultats des tests sont donnés dans le tableau 3.4. Tous ces tests corroborent l'hypothèse de changement structural pour les deux périodes T_1 et T_2 , sauf dans une certaine mesure pour la troisième équation qui est relativement stable.

Analyse de la stabilité structurale de chaque équation

La stabilité structurale de chaque équation du modèle est évaluée à partir de différentes hypothèses de changement structural:

Tableau 3.4

Tests de changement structural pour
 T_1 (1922-1931) et T_2 (1932-1941)

Test ¹	Equations				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Test de Chow ²	2.275	2.202	0.841	4.384	2.322
Test de Dagum ³	1505.418	252.682	8.490	1545.217	20.645
Test de Wold (coefficient de Janus) ⁴	22.925	5.144	3.613	18.927	89.162

- 1 Le test de Gujarati n'a pas été fait par manque de degrés de liberté.
- 2 Test de F pour $F(5, 10) = 3.33$, $F(4, 12) = 3.26$, $F(3, 14) = 3.34$ au niveau de signification 0.05. Le test de Chow rejette l'hypothèse H_0 pour la quatrième équation.
- 3 Test de χ^2 pour $\chi^2(5) = 11.05$, $\chi^2(6) = 12.6$, $\chi^2(7) = 14.07$ au niveau de signification 0.05. Le test de Dagum rejette l'hypothèse H_0 pour toutes les équations sauf l'équation (3).
- 4 Le coefficient de Janus est un coefficient modifié:

$$J^2 = \frac{\sum_{t=11}^{20} (y_t^* - y_t)^2}{\sum_{t=1}^{10} (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

où y_t^* sont les valeurs prédites de y_t dans la période T_2 , utilisant le modèle estimé pour la période T_1 connaissant les valeurs des variables exogènes et les valeurs initiales des variables endogènes de retard; $\hat{y}_t$ sont les valeurs calculées dans la période T_1 ; y_t sont les valeurs actuelles. Les coefficients de Janus calculés étant significativement différents de 1, on rejette l'hypothèse H_0 pour toutes les équations.

Hypothèse 1: Changement dans l'équation 4. Les paramètres de l'équation 4 prennent les valeurs estimées pour la période T_2 .

Hypothèse 2: Changement dans l'équation 2. Les paramètres de l'équation 2 prennent les valeurs estimées pour la période T_2 .

Hypothèse 3: Changement dans les équations 2 et 4. Les paramètres des équations 2 et 4 prennent les valeurs estimées pour la période T_2 .

Hypothèse 4: Changement dans l'équation 3. Les paramètres (g_{30} , g_{32} , g_{34}) prennent les valeurs (100, 4.0, 0.0).

Hypothèse 5: Changement dans les équations 1 et 4. Les paramètres des équations 1 et 4 prennent les valeurs estimées pour la période T_2 .

Chacune de ces cinq hypothèses formulées correspond à des changements structuraux dans le comportement de divers groupes ou macro-agents économiques. Ainsi, les trois premières hypothèses correspondent successivement à un changement dans le comportement des producteurs, des intermédiaires ou détaillants, et de ces deux groupes combinés. La quatrième hypothèse formule le cas d'un changement prononcé dans la détermination des revenus, comme par exemple après une révolution, qui élimine la relation entre le revenu passé et le revenu présent.⁵⁴ Finalement, la cinquième hypothèse représente l'effet combiné d'un changement dans le goût des consommateurs et du comportement des producteurs.

Après avoir fixé les paramètres des équations en question, nous réestimons le modèle et nous appliquons le test de Dagum pour estimer s'il y a eu changement structural induit sur les autres équations. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.5.

⁵⁴ Cette hypothèse est avancée puisque les tests de changement structural ont montré que l'équation (3) est relativement stable dans les deux sous-périodes.

Tableau 3.5

Test de stabilité structurale du
modèle de Girshick et Haavelmo

Hypothèse	Equations				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	0.0	90.463	0.0	1544.700	0.0
2	0.003	252.615	0.0	3.062	0.0
3	2.870	252.615	0.0	1544.700	1214.647
4	18.633	0.0	189961.8	0.0	0.0
5	1507.181	65.257	0.0	1544.700	0.0

Le tableau 3.5 mérite certains commentaires:

- 1) Sous l'hypothèse 1, le changement structural dans l'équation (4) s'est transmis à l'équation (2) qui a subi des changements structuraux induits, les équations (1), (3) et (5) retiennent cependant leurs valeurs explicatives. En d'autres mots, si le comportement des producteurs change dans la période T_2 et en supposant stable le comportement des autres agents économiques, on aurait pu quand même observer un changement dans le comportement des détaillants.
- 2) Sous l'hypothèse 2, le seul changement dans l'équation (2) entraîne des changements dans les équations (1) et (4), mais le test de χ^2 sur ces deux derniers ne permet pas d'affirmer la présence de changement structural.
- 3) La troisième hypothèse invalide l'utilisation des équations (2), (4) et (5), mais les équations (1) et (3) retiennent leurs structures. Les

hypothèses 4 et 5 ont des interprétations analogues et ne nécessitent pas une analyse plus détaillée.

4) La colonne correspondant à l'équation (3) a une signification particulière. Sauf pour l'hypothèse 4, l'équation (3) retient sa validité quel que soit les changements structuraux qui peuvent affecter les autres équations. Ceci est une conséquence directe de la spécification du modèle de Girshick et Haavelmo du type CCID.

Ces résultats montrent qu'en effet lorsqu'il y a un changement structural dans l'une des équations du modèle, il y a un changement structural induit dans une ou plusieurs autres équations invalidant l'utilisation de ces équations pour des fins pratiques. Ils montrent également que l'effet induit du changement structural suit les canaux tracés par la structure causale du modèle, et que l'effet indirect tend à la limite à être négligeable.

Conclusion du chapitre

Ce chapitre présente une première approche à l'analyse de la stabilité structurale dans un modèle économétrique. L'économétrie par son approche empirique de construction de modèles permet la représentation et l'estimation de la structure d'un système économique donné. Le concept de stabilité structurale, complémentaire du concept de stabilité dynamique est un instrument précieux dans l'évaluation des propriétés prédictives du modèle. La prédiction si elle ne rend pas compte de la stabilité structurale de chaque équation, conduit à des prédictions biaisées ou fausses. Le concept de stabilité structurale peut aussi servir comme instrument de politique économique: quand on ne

peut pas influencer directement le comportement d'un secteur économique donné, on peut quand même l'influencer indirectement en changeant le comportement d'un autre secteur dont le premier est fortement dépendant.

Une revue de différentes définitions de la notion de causalité a été faite. Elle conduit à admettre la causalité comme un type d'explication parmi d'autres,⁵⁵ susceptible d'être formalisable dans un modèle, et qui doit être jugée uniquement par la corroboration empirique de ses hypothèses et la précision qu'elle apporte à la prédiction. A la différence des sciences expérimentales, la causalité dans les sciences empiriques mais non expérimentales, ne se réfère pas à une loi universelle ni à un principe causal, elle est une hypothèse à tester dans la construction de modèles explicatifs. L'erreur, à l'opposé, est de n'accorder à la causalité aucune valeur explicative, tout ce qui compte c'est une bonne corrélation quelque soit la validité des hypothèses.⁵⁶ On connaît les déficiences sérieuses d'une telle thèse,⁵⁷ qui confond la prédiction et la prise de décision. La

⁵⁵ Parmi les autres formes d'explication on peut citer: 1) l'explication par l'interaction ou le feedback, 2) l'explication par les statistiques, 3) l'explication par les fonctions du système, 4) l'explication par la dialectique, l'opposition entre deux forces, 5) l'explication par la taxonomie, la classification des membres d'une classe de phénomènes, 6) l'explication par la réduction ou la généralisation. Voir Gerald Garb, "The Problem of Causality in Economics," Kyklos 4, (1964):594-609.

⁵⁶ L'extrême position de l'école positiviste, voir Milton Friedman, Essays in Positive Economics (Chicago: University of Chicago Press, 1953), chap. 1, "The Methodology of Positive Economics."

⁵⁷ Voir par exemple Terence W. Hutchison, The Significance and Basic Postulates of Economic Theory (New York: Sentry Press, 1938, ed. 1965). Fritz Machlup, "The Problem of Verification in Economics," Southern Economic Journal 22, (1955):1-21. Peter McClelland, Causal Explanation and Model Building in History, Economics and the New Economic History (Ithaca: Cornell University Press, 1975), pp. 136-144.

prédiction sous l'hypothèse de stabilité structurale n'a pas besoin du concept de causalité, tandis que la prise de décision nécessite une distinction entre variables instrumentales et variables objectives, et une analyse de la structure causale de ces variables.

La formalisation du concept de causalité conduit à analyser la structure d'ordre des variables du modèle. Dès que le système possède un ordre causal et qu'il est identifiable, on peut admettre que le modèle est causal. Au risque de tomber dans un formalisme excessif, il faut alors s'abstenir de porter tout jugement de valeur sur le modèle et sa structure causale avant que des vérifications empiriques soient faites sur la structure stochastique du modèle. En particulier, la vérification des changements structuraux nous a permis de voir qu'elle se base principalement sur des tests d'hypothèse.

Finalement, constater un changement structural et en proposer une explication sont deux étapes différentes dans l'analyse de la stabilité structurale d'un système. Nous avons tenté de l'expliquer par la structure causale du modèle: plus une équation est autonome, dans le sens qu'elle ne dépend pas causalement d'une autre, plus les coefficients structuraux de cette équation ont des chances de rester stables. Au contraire, pour un modèle ID, les variables sont interdépendantes les unes des autres et l'hypothèse de stabilité structurale de n'importe quelle équation, suite à un changement structural dans une seule des équations, ne peut plus être faite. La stabilité structurale dépend donc de la spécification causale du modèle, c'est à dire du degré de connexité du graphe associé à la structure. Finalement l'analyse du

modèle de Girshick et Haavelmo permet de corroborer cette thèse.

L'argument avancé n'est cependant pas un argument en faveur des systèmes d'équations complètement "autonomes." Ceci est un idéal difficile à atteindre et à cause du manque de données suffisamment désagrégées, ou de la présence de phénomènes réellement simultanés, la construction de modèles CC, ID, CCID ou MDB continueront d'être des types de modèle explicatif valables. Chacun de ces modèles comportent des implications importantes pour la stabilité structurale, et en utilisant tel ou tel type de modèle on doit être conscient de leurs conséquences.

CHAPITRE IV

L'ANALYSE ENTREE-SORTIE ET LE CONCEPT DE DEPENDANCE

L'analyse entrée-sortie offre un autre exemple de l'utilisation de la méthode empirique inductive pour décrire et étudier la structure d'un système économique. Elle s'encadre dans le courant de pensée physiocratique et structuraliste des économistes tels que François Quesnay et Léon Walras.¹

Quesnay par son fameux "tableau économique", a tracé en grandes lignes l'approche entrée-sortie que Leontief développera deux siècles plus tard.² Finalement, le système Walrasien d'équilibre général donne une assise théorique au modèle de l'interdépendance sectorielle. L'interdépendance, à la limite la dépendance, est l'objet même de l'analyse entrée-sortie. Dans les termes mêmes de Leontief:

L'approche entrée-sortie représente une façon simple de combiner faits et théorie dans l'analyse empirique des relations inter-industrielles pour l'analyse de la structure et les opérations d'une économie moderne... Toute économie nationale peut-être décrite par un système ou un ensemble d'industrie interreliées, ou, si l'on préfère, en termes³ plus abstraits, d'activités économiques interdépendantes.

L'idée d'interdépendance étant admise, les résultats de ce que

- 1 François Quesnay, Tableau Economique des Physiocrates (Paris: 1758, Calmann-Levy, 1969). Léon Walras, Eléments d'Economie Politique Pure ou Théorie de la Richesse Sociale (Paris: 1874, Librairie Générale de Droit et de Jurisprudence, 1976).
- 2 Wassily Leontief, Studies in the Structure of the American Economy (New York: Oxford University Press, 1953). Pour une discussion de Quesnay comme précurseur de Leontief, voir Almarin Phillips, "The Tableau Economique as a Simple Leontief Model," Quarterly Journal of Economics 69, (1955): 137-44, et Shlomo Maital, "The Tableau Economique as a Simple Leontief Model: An Amendment," Quarterly Journal of Economics 86, (1972): 504-7.
- 3 W. Leontief, op. cit., p. 2.

l'on a appelé le tableau ou le modèle de Leontief a servi jusqu'à maintenant à deux fins: 1) au niveau théorique, elle a permis une démonstration simple de l'existence et de l'unicité d'un équilibre général d'un système économique linéaire⁴ et, 2) au niveau pratique, elle a fourni une base opératoire pour aborder les problèmes de la planification nationale ou régionale et étudier les changements structuraux.⁵

L'objet de ce chapitre est d'élargir et de généraliser la base conceptuelle et méthodologique de l'analyse de la stabilité structurale, décrite au deuxième chapitre, à un modèle entrée-sortie.

Dans une première section, nous développerons les concepts et théorèmes fondamentaux dans l'analyse de la structure d'un modèle entrée-sortie. Une définition et une étude sur la nature du changement structural conduisant aux différents tests empiriques du changement structural sera l'objet d'une deuxième section. Finalement, la méthodologie pour l'analyse de la stabilité structurale sera illustrée par une étude empirique du système économique américain.

A. Le concept de structure dans un modèle entrée-sortie.

L'apport essentiel de l'analyse entrée-sortie réside dans son caractère systémique par lequel est représenté le tableau organique.

⁴ La généralisation du système walrasien se retrouve dans, Michio Morishima, Equilibrium, Stability and Growth, A Multisectorial Analysis (Oxford: Clarendon Press, 1964), et, Hukukane Nikaido, Convex Structures and Economic Theory (New York: Academic Press, 1968).

⁵ On pourra se référer à Jean Viet, Input-Output; Essai de présentation documentaire du système de W. Leontief (Paris: Mouton, 1966), pour une bibliographie complète jusqu'en 1965 et subsequmment aux Conférences Internationales sur les Techniques d'Input-Output tenues régulièrement à Genève.

d'un système productif d'une économie. Ce tableau révèle alors les dépendances et les interdépendances des différents secteurs ou sous-systèmes productifs formant un réseau extrêmement complexe si le degré de désagrégation est assez élevé. C'est pourquoi il est nécessaire, dans l'étude d'une structure, de réduire notre ambition à l'analyse de certaines relations en se basant sur un critère objectif d'importance. Cette section de la recherche tentera de développer un tel critère à partir du concept de domination, ou de son antonime, de dépendance. Ceci nous amène à considérer le tableau entrée-sortie non seulement du point de vue comptable où tout se balance statistiquement, mais également comme un schéma structural du système économique dont l'intérêt réside dans les relations de dépendance d'un secteur envers un autre, plutôt que les relations d'interdépendance entre secteurs.⁶

Concepts de base

L'observation quantitative et qualitative d'un système économique pendant une certaine période conduit à la conclusion que divers secteurs économiques possèdent des degrés différents de domination sur, ou de dépendance envers d'autres secteurs. Une industrie, à moins qu'elle ne soit complètement autonome, dépend ou bien de ses achats (par les entrées), ou bien de ses ventes (par les sorties) d'autres industries,

⁶ Le point de vue systémique consiste à étudier le réseau de liaisons qui lient les éléments du système selon le degré de dépendance. Il conduit finalement à une hiérarchisation de ces éléments selon un critère d'offre ou de demande, voir L. Tovissi, "A Systemic Approach Conception of Input-Output Models," Economic Computation and Economic Cybernetic Studies and Research, no. 1, (1975): 25-33.

dans le sens qu'une diminution ou une augmentation des achats ou des ventes de celles-ci affectent à des degrés différents de sévérité son niveau de production. La nature de ces relations de dépendance réside dans les degrés du pouvoir de décision directe ou indirecte de ces secteurs économiques. Ces liaisons de dépendance forment donc la structure de dépendance de l'économie en général.

Les hypothèses de Leontief sont bien connues: 1) chaque industrie possède seulement un bien, pas de produits joints, 2) tous les produits sont homogènes, et 3) la consommation intermédiaire de chaque bien est proportionnelle à la production totale de cette industrie. On note par a_{ij} , le montant de produit i nécessaire pour produire une unité de produit j , et par b_{ij} , la quantité de produit que l'industrie i vend à l'industrie j par unité de sa production.⁷

Postulat 1: La dépendance technologique du secteur j envers le secteur i est caractérisée par le coefficient technique a_{ij} et la dépendance commerciale du secteur i envers le secteur j est caractérisée par le coefficient de débouché b_{ij} .

Postulat 2: Si le secteur j dépend technologiquement (commercialement) du secteur i , lui-même dépendant technologiquement (commercialement) du secteur k , alors j dépend de k .

Dans ce qui suit, nous ferons abstraction de la dépendance en amont (par les ventes) pour nous concentrer sur l'étude de la

⁷ Le coefficient technique a_{ij} caractérise une dépendance en aval du secteur j envers le secteur i , soit une dépendance par les achats intermédiaires. Tandis que le coefficient de débouché b_{ij} caractérise une dépendance en amont du secteur i envers le secteur j , ou soit une dépendance par les ventes intermédiaires.

dépendance en aval (par les achats). Remarquons que l'analyse des deux types de dépendance est tout à fait symétrique et ne réduit pas la généralisation des résultats.⁸

Le point de départ théorique est le concept de domination tel que défini par Perroux:

A ne considérer que deux unités économiques, nous dirons que A exerce un effet de domination sur B quand, abstraction faite de toute intention particulière, de A, A exerce une influence déterminée sur B, sans que la réciproque soit vraie ou sans qu'elle le soit au même degré. Une dissymétrie, ou irréversibilité de principe ou de degré est constitutive de l'effet en examen.⁹

Notons que la domination est l'inverse de la dépendance et symbolisons par D la relation asymétrique de dépendance définie sur un ensemble m d'éléments qui peuvent être les branches, des industries, ou des secteurs économiques.¹⁰ Soit l'ensemble X des éléments:

$$X = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$$

L'industrie j dépend de l'industrie i:

$$D: a_j \rightarrow a_i \text{ ou } a_j Da_i$$

⁸ Pour une étude consacrée à la domination en amont, voir René Lantier, Théorie de la Domination Economique (Paris: Dumod, 1974).

⁹ F. Perroux, "Esquisse d'une Théorie de L'Economie Dominante," Economie Appliquée, no.2-3, (1948):248, repris dans F. Perroux, Economie du XXème.

¹⁰ Bien qu'il y ait une différence sémantique entre les concepts de "branches", "secteurs" et "industries", nous ne ferons pas cette distinction dans ce chapitre. Dans la terminologie courante, la "branche" désigne un agrégat de produits semblables, pouvant être obtenus à partir des industries les plus diverses. Par exemple, la branche "chimie" comprend tous les produits chimiques qu'ils soient fabriqués ou non par les industries chimiques. Le "secteur" est un agrégat d'entreprises classées selon leur activité principale. Par exemple, le secteur "chimie" est l'agrégation des firmes produisant principalement des produits chimiques, des engrais ou des produits pharmaceutiques. Enfin, une "industrie" est un agrégat d'activités les plus divers dont la fonction principale est la transformation des matières premières en richesses économiques.

si le niveau d'activité de j dépend du niveau d'activité de i , c'est à dire si $a_{ij} > 0$. La relation est asymétrique si:

$$a_j Da_i \Rightarrow a_i \nexists a_j, \quad i \neq j,$$

et transitive si:

$$a_j Da_i \wedge a_i Da_k \Rightarrow a_j Da_k$$

D'après les postulats 1) et 2) et la définition précédente, la relation de dépendance est une relation d'ordre asymétrique et transitive.

Définition: (dépendance simple) Une industrie j dépend d'une industrie i , en faisant abstraction des autres industries si $(a_{ij} > 0 \Rightarrow a_j Da_i) \wedge (a_{ji} = 0 \Rightarrow a_i \nexists a_j) \vee (a_{ij} > a_{ji} > 0 \Rightarrow a_j Da_i)$.

Définition: (dépendance complexe) Une industries m dépend d'une industrie i s'il existe une suite $e, k, \dots, j$, tel que:

$$a_m Da_e, a_e Da_k, \dots, a_j Da_i.$$

Dans l'étude de la dépendance il faut donc prendre en compte aussi bien la dépendance simple (directe) que la dépendance complexe (indirecte), c'est à dire toute la structure relationnelle du système.

Définition: (structuré relationnelle) La structure relationnelle du système de Leontief est un couplage, défini à l'instant t_0 par une application de l'ensemble X dans X :

$$S_0: X \rightarrow X$$

tel que:

$$S_0 = \{\delta_{ij}\}, \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si } a_{ij} > 0 \\ 0, & \text{autrement} \end{cases}$$

Si A_0 est la matrice des coefficients techniques à l'instant t_0 , S_0 est la matrice booléenne déduite de A_0 . Dans la pratique, on peut parfois éliminer les coefficients techniques proches de 0 (par exemple si on se résoud à un niveau de signification de 1%, on ne considère que les $a_{ij} \geq 0.01$). Ceci nous donne alors une bonne approximation de S_0 . On désignera par $S_0(\epsilon)$ la structure relationnelle à un certain niveau ϵ de signification.¹¹

¹¹ Au moins trois façons de simplifier la structure relationnelle sont possibles: 1) élimination des coefficients plus petits qu'un certain nombre arbitrairement choisi, 2) sélection des coefficients plus grands qu'un certain nombre arbitrairement choisi, et 3) sélection basée sur le critère de liaison. La deuxième solution se ramène à la première, il suffit de choisir un niveau de signification assez élevé. La troisième solution, adoptée par Leontief, se ramène dans une matrice entrée-sortie d'ordre m , à considérer seulement les flux qui sont $(1/m)$ fois plus grands que la production du secteur. Ceci permet de différencier les niveaux d'agrégation des secteurs ainsi que de considérer uniquement les liaisons sur la base de l'importance relative de la liaison par rapport à la production totale du secteur. Le choix de $(1/m)$ est cependant aussi arbitraire que le choix d'une valeur quelconque, d'autre part cette méthode est biaisée envers les industries ayant une grande importance en faveur des industries de faible importance. Par exemple, si presque toute la production d'une petite industrie i est utilisée dans une grande industrie j , alors:

$$x_{ij} \approx X_i \Rightarrow x_{ij} > (1/m)X_i$$

où x_{ij} est la transaction interindustrielle et X_i la production du secteur i . Donc a_{ij} est pris en considération. D'où $a_j Da_i$, la grande industrie j dépend de la petite industrie i , ce qui est contradictoire. La première solution est donc, à notre point de vue, la plus acceptable. Voir W. Leontief, "Some Basic Problems

A chaque structure relationnelle S , on peut associer un graphe $G(X, S)$ ayant autant de sommets que d'industries. Un sommet isolé représente une industrie totalement indépendante (autarcique) des autres industries, c'est à dire une industrie qui n'utilise aucun des produits intermédiaires et dont la production est totalement destinée à la consommation finale. De telles industries peuvent être définies comme des unités économiques d'auto-subsistance ou d'industries autarciques. Dans une économie moderne actuelle, l'existence de telles unités est pratiquement impossible, et le développement d'une économie est souvent corrélé avec une interdépendance accrue entre les différents secteurs.

Une industrie articulatrice est celle qui, par sa présence, lie deux ou plusieurs sous-systèmes ensemble. Son élimination ou sa destruction entraîne la dissolution du système connexe en sous-systèmes autonomes. La vulnérabilité d'un système économique peut donc se mesurer par le nombre et la nature de ces industries articulatrices. Un système économique fortement intégré, non nécessairement totalement connexe, ne possède pas d'industrie articulatrice et se caractérise par un niveau très bas de vulnérabilité.

Une industrie-clé (key sector) peut se définir comme celle dont la majorité des autres industries dépendent fortement mais qui elle-même, est très faiblement dépendante des autres. Une augmentation de

of Empirical Input-Output Analysis," dans National Bureau of Economic Research, Input-Output Analysis: An Appraisal, Studies in Income and Wealth, vol. 18 (Princeton: Princeton University Press, 1955), pp. 9-22.

sa production (ou de sa demande de consommation finale) a un effet cumulatif sur le système entier. Une telle industrie peut aussi être qualifiée de "propulsive."¹²

Finalement les industries qui ne peuvent être classifiées dans l'un des types précédents peuvent être définies comme industries secondaires ou "propulsée."

Les concepts d'industrie autarcique, articulatrice, clé ou secondaire définis plus haut peuvent jouer un rôle important dans la politique économique. On constate, par exemple, que l'on peut intégrer plusieurs systèmes économiques indépendants en installant certaines de ces industries articulatrices à des endroits géographiques ou des niveaux de production stratégiques jouant le rôle de transmetteurs d'information et de matière d'un secteur à un autre. D'autre part, les concepts d'industrie autarcique et d'industrie articulatrice ont une application directe dans l'analyse du dualisme et du développement économique.¹³ Enfin, les concepts d'industrie-clé et d'industrie secondaire ont une utilité pratique pour l'économie régionale.

Théorèmes fondamentaux

Le paragraphe précédent nous permet de nous situer sur le plan de la connexité d'un graphe. En effet, les propriétés de connexité

¹² Le concept d'industrie-clé défini ici n'a pas la prétention d'être générale. Il se limite dans le cas d'une industrie dont l'effet d'entraînement sur les autres industries peut être qualifié de "boule de neige". Il se rattache au concept d'industries "motrices", voir F. Perroux, "Les Industries Motrices et la Planification de la Croissance d'une Economie Nationale", dans On Political Economy and Econometrics (London: Pergamon Press, 1965), pp. 463-497, et idem, "Note sur la Notion de 'Pôle de Croissance'", Economie Appliquée 8, (1955): 307-320.

¹³ Ce point sera traité plus en détail dans le chapitre suivant.

(faible, quasi-connexe, fortement connexe) définies dans le deuxième chapitre peuvent être appliquées dans l'analyse structurale du système de Leontief. Dans ce paragraphe d'autres définitions seront données et certaines propriétés seront démontrées.

Définition: (noyau d'un système) Un ensemble d'industries forme un noyau du système s'il est totalement connexe. C'est à dire que la destruction du noyau détruit tout le système ou tout au moins réduit le niveau d'activité de celui-ci à presque zéro.

Le cas trivial est lorsque toutes les industries forment un noyau unique. Ceci est démontré par l'existence d'un circuit hamiltonien.

Dans le cas général, on pourra se poser les questions suivantes:

- 1) Un système possède-t-il toujours un noyau?
- 2) Si oui, ce noyau est-il unique?
- 3) Comment peut-on détecter ce (ou ces) noyau(x)?

Théorème: (existence) Dans un système connexe, il existe au moins un noyau et chaque secteur ou industrie est connecté à un noyau ou à plusieurs noyaux par la relation de dépendance D.

Définissons d'abord une composante fortement connexe maximale (CFCM).

Définition: (composante fortement connexe maximale) Un ensemble d'industries $K = \{a_i | a_i \in X\}$ tel que $K \subset X$ forme une composante fortement connexe maximale (CFCM) de premier ordre si tout circuit du système est un circuit dans le sous-système K, ou, ce circuit ne contient aucune industrie en commun avec K.

Lemma 1: Dans un système connexe où il existe n circuits indépendants, c'est à dire n'ayant aucun sommet en commun, il existe n CFCM.

Démonstration: Elle est immédiate à partir de la définition d'un CFCM. Soient $K_k \subset X$, $k = 1, 2, \dots, n$, des CFCM du système, d'après l'hypothèse de connexité du système, il existe au moins deux sommets a_i et a_j tels que:

$$a_i \in K_m \text{ et } a_j \in K_n$$

et ou bien:

$$a_i \rightarrow a_j \Rightarrow K_m \rightarrow K_n$$

ou alors:

$$a_j \rightarrow a_i \Rightarrow K_n \rightarrow K_m$$

mais pas les deux.

Le système est alors réductible à un nouveau système d'ordre supérieur dont les éléments sont:

$$X' = \{K_k, k = 1, 2, \dots, n\}$$

Ce nouveau système est 1-connexe ou 2-connexe mais ne peut-être 3-connexe, c'est à dire qu'il ne peut y avoir de circuit dans $G(X', S')$.

Lemma 2: Dans un système connexe, il existe toujours au moins une CFCM.

Démonstration: Dans un système connexe, il peut se passer seulement trois cas: 1) il existe un circuit hamiltonien et tout le système forme une CFCM, 2) il existe n circuits indépendants et d'après le lemma 1, il existe n CFCM, et 3) il n'existe pas de circuit et chaque

secteur est une CFCM.

Définition: (CFCM-clos dans X).¹⁴ Soit K_e , une CFCM-clos dans X .
Si $a_i \in K_e$, et pour tout j tel que $a_i \rightarrow a_j$ (ou $a_i Da_j$), alors $a_j \in K_e$.

Nous pouvons à présent démontrer le théorème d'existence.

Démonstration: Trois cas sont possibles. 1) Si le système possède un circuit hamiltonien, tout le système forme une CFCM et c'est en même temps un noyau unique. 2) Si le système possède n CFCM, on peut réduire le système X à un nouveau système X' qui soit 1-connexe ou 2-connexe mais non 3-connexe (lemma 1) et d'après le lemma 2 (3), chaque CFCM de X est une CFCM du système réduit X' . Il doit alors exister au moins une CFCM-clos dans X' , et cette CFCM est un noyau pour X' , à plus forte raison pour X aussi. Finalement 3), si le système ne possède pas de circuit, d'après le lemma 2, chaque secteur est une CFCM, il existe donc au moins une CFCM-clos dans X et c'est un noyau du système C.Q.F.D.

L'existence d'un ou de plusieurs noyaux dans un système étant démontrée, dans les prochains paragraphes nous analyserons la nature du changement structural et les tests possibles de changement structural. Finalement, nous tenterons de démontrer inductivement que la stabilité structurale du système dépend, en premier lieu, de la stabilité structurale du noyau.

¹⁴ Cette définition est de David Rosenblatt, "On the Graph and Asymptotic Forms of Finite Relation Matrices and Stochastic Matrices," Naval Research Logistic Quarterly 4, (1957): 151-167.

B. Stabilité structurale

Définition et nature du changement structural

Définir le changement structural par le changement dans la matrice structurale ou les coefficients techniques est aussi simple que tautologique. Ce qui est important dans l'analyse structurale d'un modèle entrée-sortie, ce n'est pas tellement d'observer le changement dans les coefficients techniques, mais plutôt de savoir comment la structure a changé, pourquoi et comment ce changement va t-il affecter le comportement du système. Leontief a, par ailleurs, clairement différencié entre l'analyse structurale et l'analyse dynamique d'un changement:

Dans le contexte d'un système théorique explicitement formulé, le changement économique peut être expliqué ou comme un changement structural, ou comme un processus dynamique. Dans le premier cas, la variation des variables dépendantes est simplement subordonnée à des changements antérieurs de certaines des données de base, dans le second cas, la loi du changement est elle-même considérée comme exogène, i.e. incorporée dans la structure du schème explicatif même. La loi du changement peut, bien sûr, changer de temps en temps; c'est le cas d'une variation structurale d'un système dynamique.¹⁵

Quelles sont ces données de base qui forcent le changement structural? Divers auteurs ont fourni des explications différentes

¹⁵ W. Leontief, Studies, p. 17. A juste titre, il y consacre un chapitre sur le changement structural et un autre sur l'analyse dynamique (chapitres 2 et 3). Cette dernière culminera plus tard dans la spécification et la résolution du problème connu sous le nom de "Leontief inverse dynamique." Celle-ci a eu des influences assez considérables sur les modèles de planification intersectorielle et intertemporelle. Voir, W. Leontief, "The Dynamic Inverse", dans A.P. Carter et A. Brody (eds.), Contributions to Input-Output Analysis, 2 vols. (Amsterdam: North Nolland, 1970), vol. I.

quant aux causes du changement structural. Leontief distingue entre un changement dans la nature de certaines ressources naturelles, un changement dans les goûts des consommateurs et un changement dans les prix relatifs.¹⁶ Arrow et Hoffenberg, au contraire, distinguent entre une variation de qualité due au changement dans le revenu, une variation dans les produits-mixtes due à des adaptations en condition de guerre et en temps de paix, et l'effet d'apprentissage.¹⁷ Sevaldson pense que le changement structural peut se décomposer additivement en un effet du changement de prix, un effet d'innovation technologique et un effet du changement dans le niveau d'activité de l'industrie utilisatrice du produit.¹⁸

Que ce soit l'une ou l'autre des causes citées, celles-ci peuvent être classifiées exhaustivement sous trois catégories de changement: 1) changement dans le mode d'action des agents économiques, 2) changement dans les relations de production, et 3) changement dans le mode de production. On admet, en principe, que le changement, dans les deux premiers cas, affecte toute une ligne du tableau entrée-sortie, et qu'il affecte toute une colonne du tableau dans le troisième cas. En pratique cependant, il est difficile de différencier clairement ces différentes catégories de changement dû aux effets induits, par exemple un changement induit à d'autres changements sans que les données

¹⁶ W. Leontief, Studies, chap. 2.

¹⁷ Kenneth J. Arrow et Marvin Hoffenberg, A Time Series Analysis of Inter-Industry Demands (Amsterdam: North Holland, 1959).

¹⁸ Per Sevaldson, "Changes in Input-Output Coefficients," dans Tibor Barna et al. (eds.), Structural Interdependence and Economic Development (London: MacMillan, 1963). D'autres causes extra-économiques ne sont pas citées, telles une variation temporelle non expliquée, des erreurs d'observation, des résidus ou des différences dans les niveaux d'agrégation des industries.

économiques soient assez fines pour permettre l'étude de leur évolution temporelle.

Analyses empiriques du changement structural

Les efforts d'analyse du changement structural ont principalement suivis deux approches différentes. La première consiste à supposer les coefficients techniques constants et à projeter les productions sectorielles en utilisant le tableau entrée-sortie d'une année de base. Les déviations sont alors comparées avec d'autres types de projection dite "naïve". La deuxième approche compare directement différents tableaux entrée-sortie pour différentes périodes en se basant sur des indices contruits de stabilité structurale.

Christ, Arrow et Hoffenberg, Chenery et Clark, Barnett, Hatanaka et d'autres ont employé la première approche.¹⁹ Elle consiste à projeter un vecteur de production sectorielle à partir d'un tableau entrée-sortie de base et un vecteur de demande finale de l'année-type utilisant la matrice Leontief-inverse. Ce vecteur de production sectorielle est ensuite comparé avec d'autres types de projection moins

¹⁹ Carl Christ, "A Review of Input-Output Analysis," dans National Bureau of Economic Research, Conference on Income and Wealth, Input-Output Analysis: An Appraisal, Studies in Income and Wealth, vol. 18 (Princeton: Princeton University Press, 1955). K.J. Arrow et M. Hoffenberg, op. cit. Hollis B. Chenery et Peter G. Clark, Interindustry Economics (New York: Wiley, 1959). H. Barnett, "Specific Industry Output Projections," dans National Bureau of Economic Research, Conference on Income and Wealth, Long-Range Economic Projection, Studies in Income and Wealth, vol. 16 (Princeton: Princeton University Press, 1954). Michio Hatanaka, The Workability of Input-Output Analysis (Ludwigshafen am Rhein: Fachverlag für Wirtschaftstheorie und Ökonometrie, 1966).

élaborée ("naïve") : 1) par régression multiple du niveau de production sur le P.N.B. et le temps, 2) en supposant un rapport fixe entre la production sectorielle et le P.N.B., ou 3) en supposant un rapport fixe entre la production du secteur et sa demande finale. Dans chacun des cas, Barnett, puis Arrow et Hoffenberg, confirment empiriquement que la méthode des régressions est meilleure que la méthode du Leontief inverse dans la prédiction de la production.

Hatanaka teste le changement structural avec la matrice entrée-sortie des Etats-Unis de 1947 et se concentre sur les coefficients dont la stabilité est cruciale pour la projection. Ses projections avec les tableaux entrée-sortie sont plus adéquates que celles faites avec les méthodes "naïves", mais paradoxalement, ses tests ne sont pas concluants lorsque les méthodes "naïves" n'utilisent pas le temps. Il semble cependant clairement établi que les coefficients techniques changent dans le temps, que certains coefficients sont plus importants que d'autres pour la stabilité générale du système, et que les coefficients changent non pas d'une manière indéterminée, mais suivent une certaine logique.

Nerlove, à juste titre, critique le travail de Arrow et Hoffenberg de négatif dans le sens qu'ils réfutent l'hypothèse de coefficient constant sans toutefois proposer une solution de rechange.²⁰ On est de nouveau réduit à accepter l'hypothèse de base ou à éliminer la technique de l'analyse entrée-sortie pour des fins pratiques.

²⁰ Marc Nerlove, revue critique de Arrow et Hoffenberg, American Economic Review 50, (1960): 182-6.

Les travaux de Leontief, Rasmussen, Campbell, Cartwright et Galbour, Yan et Ames sont du deuxième type.²¹ Ils ont aboutit à des indices de stabilité structurale. Leontief mesure le changement structural de chaque colonne du tableau entrée-sortie par l'indice pondéré du changement relatif:

$$q_j = \frac{1}{\frac{1}{2} \sum_i (x_{ij} + x'_{ij})} \sum_i \frac{a_{ij} - a'_{ij}}{a_{ij} + a'_{ij}} (x_{ij} + x'_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, m$$

où

a_{ij} = coefficient technique de l'année-type

a'_{ij} = coefficient technique de l'année de base

x_{ij} = transaction intersectorielle de l'année-type

x'_{ij} = transaction intersectorielle de l'année de base

Faisant une analyse comparative des années 1919, 1929 et 1939 pour l'économie américaine, Leontief trouve que le changement structural se traduit par une réduction substantielle des coefficients techniques, bien que certains coefficients ont augmenté grâce à la substitution des facteurs. De façon générale, le progrès technique a été plus fort dans la période 1919-29 que dans la période 1929-39.

²¹ W. Leontief, Structure. Poul Norregaard Rasmussen, Studies in Inter-sectoral Relations (Amsterdam: North Holland, 1956).. John Campbell, "Applications of Graph Theoretic Analysis to Inter-industry Relationships, The Example of Washington State", Regional Science and Urban Economics 5, (1975): 91-106. T.J. Cartwright et I. Galbour, "Graph Theory and Managing Urban Change," Socio-Economic Planning Science 9, (1975): 197-204. C.S. Yan et E. Ames, "Economic Interrelatedness," Review of Economic Studies 32, (1965): 299-310.

Rasmussen mesure le changement structural, non pas à partir du tableau Leontief, mais de son inverse.²² Il propose deux indices de stabilité structurale: l'indice du "pouvoir de dispersion" et l'indice de la "sensibilité de la dispersion", respectivement définis comme:

$$u_j = \frac{\frac{1}{m} z_j}{\frac{1}{m^2} \sum_j z_j} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$v_i = \frac{\frac{1}{m} z_i}{\frac{1}{m^2} \sum_i z_i} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

où:

$z_j = \sum_{i=1}^m z_{ij}$, mesure l'accroissement total de la production de tout le système pour une unité d'accroissement de la demande finale du secteur j.

$z_i = \sum_{j=1}^m z_{ij}$, mesure l'accroissement de la production de l'industrie i nécessaire pour faire face à une augmentation unitaire de la demande finale de chaque industrie.

En d'autres termes, si l'industrie j dépend fortement du système productif, $u_j > 1$, le "pouvoir de dispersion" mesure l'effet d'entraînement d'une augmentation de la demande finale du produit de l'industrie j sur toutes les autres industries du système, tandis que v_i mesure la sensibilité de l'industrie i à répondre à une augmentation de la demande finale dans les autres industries.

²² Pan A. Yotopoulos et Jeffrey B. Nugent, "A Balanced-Growth Version of the Linkage Hypothesis: A Test," Quarterly Journal of Economics 87, (1973): 157-71, proposent un indice d'"interrelation totale" presque similaire à celui de Rasmussen.

Campbell, se basant sur la théorie des graphes, propose des indices permettant de mesurer certaines caractéristiques de la structure relationnelle du système de Leontief.

1. Indice de la connexité relative:

$$C_0 = \frac{\text{nombre d'arcs de } G(X, S)}{\text{nombre total d'arcs possibles dans le graphe complet de } G}$$

2. Indice de la centralité relative:

$$C_e(i) = \frac{\sum_{k,j} d(k,j)}{\sum_{j} d(i,j)} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

où:

$C_e(i)$ = centralité relative de l'industrie i dans le système

$d(i,j)$ = la distance de l'industrie i à l'industrie j , mesurée par le nombre minimum d'arcs pour passer de i à j .

On peut ainsi classer les industries selon leur degré de centralité. Une industrie ayant un degré élevé de centralité relative possède un pouvoir d'entraînement en aval sur les autres industries et un degré de dépendance faible.

Cartwright et Galbour proposent un indice de dominance qui peut être employé aussi bien pour une organisation que dans l'analyse intersectorielle:

$$D = \sqrt{\frac{\sum_i (b_i - \bar{b})^2}{n}}$$

où b_i = nombres d'arcs incidents positivement à i , (i.e., dépend de i ou dominé par i)...

$\bar{b}$ = moyenne des arcs = nombre d'arcs/nombres d'industries.

n = nombre d'industries ou de sommets du graphe.

Quand le système est fortement centralisé, le nombre d'arcs incidents à un sommet augmente et le degré de domination est élevé. Cependant lorsque l'économie est parfaitement décentralisée, les industries sont quasi-interdépendantes et le degré de domination tend vers zéro.

Enfin, Yan et Ames dans une étude empirique sur la diffusion et la convergence technologique ont trouvé une relation étroite entre la diffusion technologique et la connexité du système. Ils proposent un indice d'interrelation pour mesurer la connexité entre deux sous-systèmes choisis. Soient, $1, 2, \dots, r$ et $1, 2, \dots, s$, les deux ensembles-indices des éléments des deux sous-systèmes, la fonction d'interrelation est définie comme:

$$R(i_1, i_2, \dots, i_r; j_1, j_2, \dots, j_s) = \frac{1}{rs} \sum_{v=1}^r \sum_{w=1}^s \frac{1}{d(i_v, j_w)}$$

où $d(i_v, j_w)$ est la distance entre le sommet i_v , appartenant au premier sous-système et le sommet j_w , appartenant au deuxième sous-système. En fait, l'indice d'interrelation de Yan et Ames n'est que la moyenne harmonique des éléments d'un sous-ensemble de la matrice des écarts.²³

²³ Notons par $n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_\infty$, le nombre d'éléments de la sous-matrice des écarts dont les valeurs sont $1, 2, \dots, k, \dots, \infty$, l'indice d'interrelation peut aussi s'écrire:

$$R(i_1, i_2, \dots, i_r; j_1, j_2, \dots, j_s) = \frac{1}{rs} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{n_k}{k}$$

Le premier terme de celle-ci, soit $\frac{n_1}{rs}$, est la moyenne des relations directes et montre comment les sommets, $i_1, i_2, \dots, i_r$ sont directement reliés à $j_1, j_2, \dots, j_s$. Le deuxième terme, soit $\sum_{k=2}^{\infty} \frac{n_k}{krs}$ est la moyenne harmonique des relations indirectes et montre l'interdépendance indirecte entre les sommets.

En particulier, les sous-ensembles $(1 \times m)$, $(m \times 1)$ et $(m \times m)$ de la matrice des écarts ont un contenu économique. Dans le premier cas, R dénote la centralité des ventes d'une industrie envers les autres, c'est à dire l'importance de ce secteur comme fournisseur de produits secondaires. Dans le deuxième cas, R dénote la concentration ou la diversification des achats d'une industrie. En dernier lieu, R dénote le niveau de connexité général du système, c'est à dire son degré de spécialisation et/ou d'intégration verticale.

L'étude empirique avec le tableau entrée-sortie des Etats-Unis de 1919, désagregé à 41 secteurs, permet à Yan et Ames de conclure que ce sont les industries avec les plus hauts degrés de R qui facilitent la convergence et la diffusion des innovations technologiques. Parmi celles-ci, ils classent les industries manufacturières, le raffinage de pétrole, l'industrie du charbon, la fabrication des appareils électriques, la construction et le transport.

Dans le but de déceler l'effet de diffusion technologique et de tester le modèle théorique construit dans la première section de ce chapitre, nous emploierons certains des indices décrits ci-dessus dans l'analyse empirique qui suit.

C. Analyse de la stabilité structurale du modèle de Leontief

La plupart des recherches sur la stabilité structurale du modèle de Leontief faites jusqu'à date se base sur les valeurs des coefficients techniques du tableau entrée-sortie ou de son inverse, sans porter trop d'importance à la structure relationnelle des différents

secteurs de l'économie. Or une étude de la structure relationnelle pourrait apporter une explication valable au processus de changement structural. Cette section est une application du schème théorique développé dans la première partie de ce chapitre sur l'analyse de la stabilité structurale du système économique américain. Les tableaux entrée-sortie des Etats-Unis de 1919, 1929 et 1939 à treize secteurs formeront la base empirique de notre étude.²⁴ D'abord nous analyserons l'évolution de la structure relationnelle en clarifiant les différents concepts d'industrie-clé, d'industrie articulatrice, d'industrie secondaire et de noyau. Différents indices structuraux, en particulier l'indice d'interrelation, l'indice du "pouvoir de dispersion" et de la "sensibilité de la dispersion", seront ensuite analysés. Finalement une étude comparative des effets de changement structural des éléments du noyau et en dehors du noyau sur l'erreur de prédiction sera abordée. Ceci nous amènera à certaines tentatives de conclusion quant à des applications pratiques.

Structure de l'économie américaine 1919-1939

La période 1919-1939 peut se diviser en deux sous-périodes clairement distinctes. La première de 1919 à 1929 marquée par une croissance soutenue de la demande et de la production, la deuxième de 1929 à 1939 marquée par la grande dépression faisant baisser la production faute de demande.²⁵ La croissance de la période 1919-29 s'accompagne

²⁴ Les données sont publiées dans W. Leontief, Studies, Chapitre deux.

²⁵ Voir tableau 4.1.

Tableau 4.1

Taux de croissance réelle annuelle de la demande
finale et de la production sectorielle
des Etats Unis, 1919-1939

<u>Secteur</u>	<u>% Demande finale</u>		<u>% Production</u>	
	<u>(1919-29)</u>	<u>(1929-39)</u>	<u>(1919-29)</u>	<u>(1929-39)</u>
1. Agriculture et alimentation	3.16	5.67	2.59	4.64
2. Métaux ferreux	3.19	-0.74	6.33	-2.23
3. Ind. de l'automobile	14.77	-1.20	14.77	-0.77
4. Fab. métallique	2.15	-1.82	2.78	-1.92
5. Métaux non-ferreux	1.14	6.92	7.19	2.63
6. Min. non-métalliques	8.09	-1.70	8.39	-1.33
7. Pétrole et gaz naturel	24.99	1.81	22.18	2.48
8. Charbon, gaz manuf.	4.28	-3.57	1.85	-3.47
9. Services électriques	6.10	0.0	5.99	0.43
10. Produits chimiques	9.82	-0.14	10.66	0.50
11. Bois, papier, imp.	8.21	-0.80	7.45	-0.86
12. Textile et cuir	4.04	-1.56	3.96	-1.36
13. Transport	-1.18	-6.65	1.08	-3.59
TOTAL	4.54	0.06	4.42	-0.26

Source: Calculé à partir des données sectorielles, W. Leontief, Studies, Chap. 2.

de changements structuraux caractérisés par un accroissement du progrès technique dans certaines industries d'extraction et des industries légères de transformation.²⁶ Dans la deuxième décennie 1929-39, le progrès technique continue mais à une cadence modérée et dans d'autres secteurs.²⁷ Y a-t-il effet de diffusion technologique? Peut-être, mais en tout cas, c'est une hypothèse que nous tenterons de vérifier.

²⁶ Ces industries sont: fabrication métallique, métaux ferreux, métaux non-ferreux, minéraux non-métalliques, produits chimiques, bois, papier et impression, textile et cuir. Voir W. Leontief, op. cit., tableau 5, p. 32.

²⁷ Ces industries sont: métaux non-ferreux, pétrole et gaz naturel, services électriques. Voir W. Leontief, ibid.

Du point de vue de la structure relationnelle, les tableaux entrée-sortie de 1919 et 1929 présentent une similitude assez remarquable, et avec celui de 1939, une différence assez prononcée. Pour faciliter le repérage des liaisons fortes, la figure 4.1 trace l'évolution de la structure relationnelle à des niveaux de signification de cinq et dix pour cent. On peut remarquer qu'à cinq pour cent de signification, les structures de 1919 et 1929 sont quasi identiques : les industries métaux ferreux (2), fabrication métallique (4), charbon et gaz manufacturé (8), transport (13), forment une CFCM unique et de laquelle toutes les autres industries dépendent. L'image de 1939 présente, au contraire, une destructuration par rapport à celle de 1929. Dû à une réduction du niveau de dépendance, soit par l'effet du progrès technique qui substitue les facteurs, ou soit par l'effet de diversification des achats, les secteurs de l'agriculture et l'alimentation (1), métaux non-ferreux (5), et services électriques (9) sont devenus indépendants du CFCM (2, 4, 8, 13). Ceci ne démontre pas cependant que les industries (5) et (9) soient devenues autarciques, mais c'est plutôt une réduction de leurs niveaux de dépendance par rapport à la situation antérieure.

Les graphes de la structure au niveau de dix pourcent représentent les liaisons réellement fortes et permettent de déceler les industries articulatrices, l'élimination desquelles impliquerait la dislocation du système en plusieurs sous-systèmes indépendants. On remarque que le transport (13) représente, pour les trois années, une industrie articulatrice; bien qu'en 1939 une diversification et

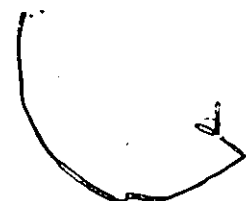
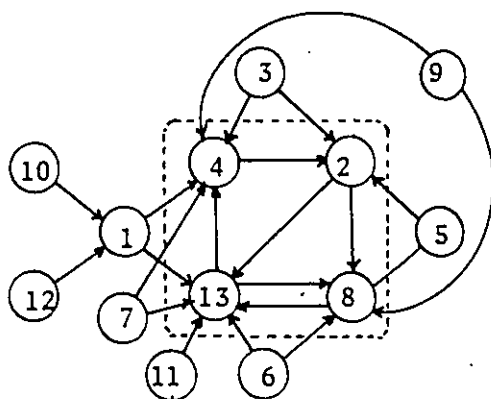
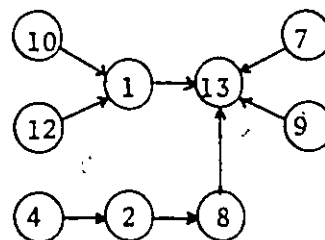
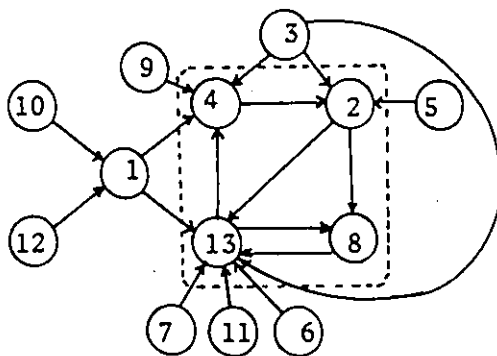
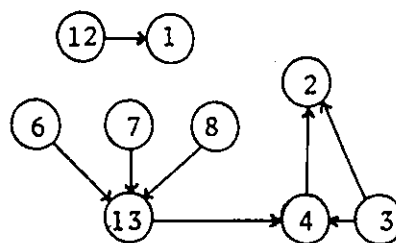
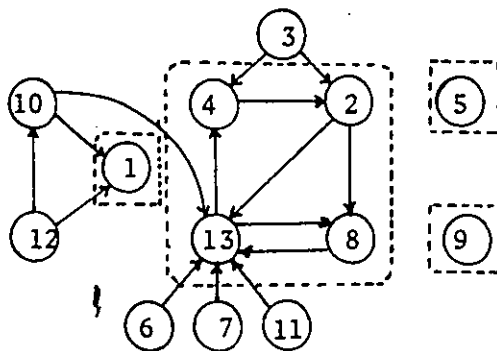
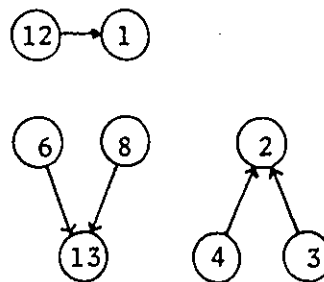


Figure 4.1

Structure de l'économie des Etats Unis 1919,
1929 et 1939 à 5% et 10% de signification

a) 1919 ($\epsilon = 0.05$)b) 1919 ($\epsilon = 0.10$)c) 1929 ($\epsilon = 0.05$)d) 1929 $\epsilon = 0.10$)e) 1939 ($\epsilon = 0.05$)f) 1939 ($\epsilon = 0.10$)

une interdépendance accrues font perdre quelque peu l'importance de ce secteur comme industrie articulatrice.

En somme, par leurs effets d'entraînement qu'elles engendrent et la centralité qu'elles occupent dans la structure, les industries (2), (4) et (8) peuvent être définies comme industries-clés. Dans une moindre mesure, l'agriculture (1) occupe une place importante non seulement par sa production et sa valeur ajoutée, mais aussi par sa place comme industrie-articulatrice entre les industries des produits chimiques (10) et du textile et cuir (12) avec les autres industries. Pour la période 1919-29, l'ensemble (1, 2, 4, 8, 13) peut donc être qualifié de noyau du système. Dans la période 1929-39, les deux industries (5, 9) s'ajoutent à l'ensemble-noyau.

Tests de changement structural

Pour l'analyse qui suit, nous emploierons successivement les deux types de tests statistiques, décrits plus haut, pour tenter d'évaluer l'ampleur des changements structuraux dans chacune des treize industries et pour les trois années observées, l'effet induit de la diffusion technologique et finalement, les conséquences sur la prédiction d'une correction des coefficients de certains secteurs choisis a priori. Tout d'abord, nous utiliserons les tests d'indices (indices d'interrelation, de "pouvoir de dispersion" et de "sensibilité de la dispersion") pour mettre en relief: primo, les changements structuraux observés dans les différents secteurs et secundo, pour mesurer l'effet d'entraînement de ces changements. En second lieu, et après avoir formulé des hypothèses sur les directions de la diffusion technologique, nous appliquerons les

tests de projection pour tenter de falsifier ou corroborer nos hypothèses.

Pour mesurer l'indice d'interrelation de Yan et Ames, nous formons d'abord les matrices booléennes du tableau 4.2 à partir des tableaux entrées-sorties de 1919, 1929 et 1939, au niveau de signification de 0.01 ($a_{ij} \geq 0.01$). A partir de celles-ci, on peut déduire les matrices des écarts (tableau 4.3) par multiplication successive des matrices booléennes.²⁸ Un élément $\delta_{ij} = 1$ de la matrice des écarts désigne une relation directe entre les deux secteurs concernés. Un élément 2 signifie que le secteur i fournit des produits à un secteur k qui fournit ses produits au secteur j, la relation entre i et j est indirecte et nécessite au moins deux étapes de production. Les éléments 3, 4, 5, ... ont les mêmes interprétations. L'élément ∞ indique que les secteurs i et j ne sont reliés en aucune façon, c'est à dire si le produit i n'entre jamais, directement ou indirectement, dans la production de j.

Le tableau 4.4, calculé à partir des tableaux 4.2 et 4.3, présente l'indice d'interrelation pour les trois années 1919, 1929 et 1939. On remarque qu'en 1919, les industries (2, 4, 5, 8, 9, 13) ont un indice d'interrelation supérieur à la moyenne (0.4961), et que parmi celles-ci, les industries (4, 8, 13) ont un coefficient supérieur à 0.8 donc fortement intégrées. En 1929, l'indice augmente en général et les industries (2, 4, 5, 7, 8, 9, 13) ont un indice d'interrelation supérieur à la moyenne (0.5712) avec toujours les industries (4, 8, 13) fortement intégrés. Pour 1939, l'intégration se fait croissance et les industries (2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 13) ont maintenant un coefficient supérieur à la moyenne (0.6278), avec les

²⁸ F. Harary, R.Z. Norman, D. Cartwright, Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graph (New York: John Wiley & Sons, 1965), p. 134.

Tableau 4.2

Matrice booléenne de la demande interindustrielle
de l'économie des Etats Unis en 1919, 1929 et 1939

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
8	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
9	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
11	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0

a) 1919 ($\epsilon = 0.01$)b) 1929 ($\epsilon = 0.01$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
8	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
9	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0

c) 1939 ($\epsilon = 0.01$)

Tableau 4.3

Matrice des écarts de la demande interindustrielle
de l'économie des Etats Unis en 1919, 1929 et 1939

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

a) 1919

b) 1929

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

c) 1939

Source: Calculé à partir du tableau 4.2.

Tableau 4.4

Indice d'interrelation industrielle de
l'économie des Etats Unis, 1919, 1929 et 1939

<u>Industries</u>	$R_{(1,2,\dots,13)}^i$		
	<u>(1919)</u>	<u>(1929)</u>	<u>(1939)</u>
1. Agriculture et alimentation	0.3077	0.5192	0.5513
2. Métaux ferreux	0.6026	0.6154	0.6923
3. Automobiles	0.0	0.0	0.0
4. Fabrication métallique	0.8462	0.8846	0.9615
5. Métaux non-ferreux	0.6410	0.6538	0.6923
6. Minéraux non-métalliques	0.4551	0.4256	0.5641
7. Pétrole et gaz naturel	0.4295	0.6026	0.7308
8. Charbon et gaz manufacturé	0.8846	0.7692	0.7308
9. Services électriques	0.6410	0.6026	0.7564
10. Produits chimiques	0.2692	0.5577	0.7308
11. Bois, papier et impression	0.3077	0.5513	0.4808
12. Textile et cuir	0.2564	0.3974	0.3859
13. Transport	0.8077	0.8462	0.8846
Indice d'interrelation totale			
$R_{(1,2,\dots,m)}^{1,2,\dots,m}$	0.4961	0.5712	0.6278

Source: Calculé à partir du tableau 4.3.

industries (4,13) en tête.

Ceci confirme en partie que les industries du noyau (2, 4, 8, 13) ont les plus forts coefficients d'interrelation et par conséquent assurent une meilleure diffusion technologique.

Afin de comparer l'effet de la demande sur les secteurs industriels, le tableau 4.5 montre les indices du "pouvoir de dispersion" (u_j) et de la "sensibilité de la dispersion" (v_i) pour chaque secteur. On remarque encore une fois, que ce sont les industries (2, 4, 8, 13) qui ont les coefficients u_j supérieurs à l'unité pour les trois années. Leur "pouvoir de dispersion", c'est à dire l'effet d'un accroissement de leurs demandes finales sur les autres industries, est donc plus fort. En ce qui concerne le coefficient v_i , aucune conclusion nette ne peut être dégagée, sauf pour les industries (3) et (8). On peut donc s'attendre à ce qu'une augmentation de la demande des autres secteurs ait un impact relativement plus grand sur leurs niveaux de production.

Ces résultats semblent confirmer la thèse communément admise que la croissance économique des Etats-Unis dans la période 1919-1929 est principalement due aux progrès technologiques qui se sont accumulés vers la fin du XIX^{ème} siècle dans le processus de transformation des métaux.²⁹ La découverte de Bessemer (1856) qui permet la transformation du fer en acier dans les hauts fourneaux, nécessitant une

²⁹ Nathan Rosenberg, Technology and American Economic Growth (New York: Harper and Row, 1972).

Tableau 4.5

Indice sectorielle du "pouvoir de la dispersion" et de la "sensibilité de la dispersion" de l'économie des Etats-Unis, 1919, 1929 et 1939

Industries	(1919)		(1929)		(1939)	
	u_j	v_i	u_j	v_i	u_j	v_i
1. Agriculture et alimentation	1.0795	0.9705	0.9729	0.9622	0.9715	0.9369
2. Métaux ferreux	1.0084	1.0781	1.1461	0.9895	1.0882	1.0609
3. Automobiles	0.7441	1.1360	0.7559	1.2432	0.7803	1.2339
4. Fabrication métallique	1.3442	0.9403	1.3844	0.9847	1.2490	0.9708
5. Métaux non-ferreux	0.8176	1.0178	0.8757	0.9647	0.9285	0.8988
6. Minéraux non-métalliques	0.8104	1.0004	0.8327	0.9804	0.8534	1.0027
7. Pétrole et gaz naturel	0.8025	1.0199	0.8409	0.9521	0.8973	0.9118
8. Charbon et gaz manufacturé	1.3851	1.0236	1.1727	1.1265	1.1072	1.1521
9. Services électriques	0.8547	0.8835	0.8722	0.9122	0.9208	0.8834
10. Produits chimiques	0.8050	1.0295	0.8592	0.9755	0.9186	1.0373
11. Bois, papier et impression	0.8224	0.9159	0.8049	0.9039	0.8112	0.9563
12. Textile et cuir	0.7764	1.0554	0.7813	0.9862	0.8144	0.9845
13. Transport	1.7497	0.9289	1.7010	0.9878	1.6596	0.9706

Source: Calculé à partir de la matrice Leontief-inverse.

utilisation massive du charbon, entraîne une économie d'échelle à toutes les étapes de la production et un "boom" dans la fabrication métallique³⁰ et l'industrie du transport ferroviaire et fluviale. Celles-ci, à leur tour, entraînent une vague d'innovation dans les industries du pétrole, des produits chimiques, du textile, et de la fabrication d'utilités électriques, qui continue juste dans la période 1929-39.³¹

Si l'hypothèse que les changements technologiques prennent leur origine à partir du noyau, il devrait être vrai que la correction des coefficients techniques des éléments du noyau améliorerait la prédiction basée sur le modèle Leontief, sauf dans le cas contraire où les changements technologiques prennent leur origine à partir des éléments hors du noyau. Dans le premier cas, on devrait vérifier que la prédiction est meilleure après les corrections et dans le second cas, que ces dernières n'améliorent pas nécessairement la prédiction.

Afin de mener ce test de sensibilité, nous nous proposons de faire différentes projections de la production sectorielle sous différentes hypothèses:

H1: Hypothèse de statu-quo, sans changement structural, elle donnera la marge d'erreur maximale,

H2: Hypothèse de changement structural dans les industries clés,

³⁰ L'industrie de la fabrication métallique (4) est une aggrégation de douze sous-secteurs: produits du fer et de l'acier, fabrication de bateau, ornements et armes à feu, munitions, machineries agricoles, moteurs et turbines, fabrication d'avions, équipement de transport, équipement industriel et familial, outils, équipement électrique, machines de service et de marchandise.

³¹ L'effet de diffusion technologique dans la période 1929-1939 est étudié en détail dans John H. Lorant, The Role of Capital Improving Innovations in American Manufacturing During the 1920's, dissertation de Doctorat, Columbia University, 1966.

H3: Hypothèse de changement structural dans les industries du noyau,

H4: Hypothèse de changement structural dans les autres industries
hors du noyau.

Pour chacune de ces hypothèses, les tests sont faits pour 1919-29 et 1929-39 et dans chacun des cas, on a calculé le pourcentage d'erreur, la variance et l'erreur-type par rapport à la production actuelle. Les résultats sont résumés, dans les tableaux 4.6 à 4.9.

Pour la période 1919-29, sur la base de la variance de l'erreur on ne peut pas confirmer l'hypothèse que les changements structuraux sont transmis à partir des éléments du noyau. La variance sous l'hypothèse H3 est de 7.56, inférieure à la variance sous l'hypothèse H4 dans la catégorie des "autres industries d'extraction", mais supérieure dans le cas des "autres industries de transformation." Ils ne rejettent cependant pas l'hypothèse de changements structuraux induits puisque pour presque tous les secteurs, les pourcentages absolus d'erreur (colonne 3) sont moindres que sous les autres hypothèses (colonnes 4 et 5), sauf pour l'agriculture et la fabrication métallique qui représentent un gros pourcentage de la production totale (20.74 et 19.64 pourcent respectivement de la production totale en 1919).

Pour la deuxième décennie 1929-39, les tests corroborent pleinement l'hypothèse H3, au niveau de la variance totale et au niveau des pourcentages d'erreur.

Les tests empiriques présentés dans cette section prouvent, dans une certaine mesure, que nous sommes dans la bonne direction. D'autres recherches cependant sont nécessaires pour distinguer l'effet autonome

Tableau 4.6

Effets sur la production industrielle de la substitution
des coefficients techniques de 1929 dans la matrice de 1919*

Industries avec les coefficients de 1929 (toutes les autres industries ont les coefficients de 1919)	Demande finale de 1929					Autres in- dustries de transformation (3,9,10,11,12) (5)	Production actuelle 1929 (6)
	Aucune (tableau actuel de 1919) (1)	Indus- tries (2,4,8) (2)	Indus- tries du noyau (1, 2,4,8,13) (3)	Autres industries d'extrac- tion (5,6,7) (4)			
1. Agriculture et alimentation	12055.2	12062.9	12070.3	12056.5	11273.9	11281.1	
2. Métaux ferreux	2698.1	3045.9	3071.7	2703.9	2910.6	3285.7	
3. Automobiles	2684.9	2684.9	2684.9	2684.9	2684.9	2684.9	
4. Fabrication métallique	10934.2	10974.0	10996.0	10950.1	10778.6	10854.3	
5. Métaux non-ferreux	743.5	966.0	968.8	744.1	787.1	1011.7	
6. Minéraux non-métalliques	2031.9	2042.2	2084.4	2021.4	2066.5	2103.4	
7. Pétrole et gaz naturel	2192.5	2224.6	2284.4	2199.4	2205.4	2301.3	
8. Charbon et gaz manufacturé	3841.5	3590.3	3563.0	3621.4	3732.7	3188.0	
9. Services électriques	3808.2	3858.3	3851.9	3813.7	3767.3	3813.4	
10. Produits chimiques	2659.0	2698.9	2841.0	2667.0	2823.1	3001.9	
11. Bois, papier, impression	6243.6	6259.3	6180.0	6243.9	6143.1	6081.0	
12. Textile et cuir	6836.2	6841.0	6787.7	6836.3	6809.3	6765.1	
13. Transport	6461.1	6532.3	6283.8	6237.5	6378.5	5948.0	
Production totale	63189.9	63780.5	63668.0	62780.0	62361.1	62319.8	

* Production en millions de dollars, base 1939.

Tableau 4.7

Effets sur la production industrielle de la substitution
des coefficients techniques de 1939 dans la matrice de 1929*

Industries avec les coefficients de 1939 (toutes les autres industries ont les coefficients de 1929)	Demande finale de 1939				Autres in- dustries de transformation (3,9,10,11,12) (5)	Production actuelle 1939 (6)
	Aucune (tableau actuel de 1929) (1)	Indus- tries clés (2,4,8) (2)	Industries du noyau (1,2,4,5, 8,9,13) (3)	Autres industries d'extrac- tion (5,6,7) (4)		
1. Agriculture et alimentation	16679.1	16690.3	16667.1	16680.3	16528.3	16517
2. Métaux ferreux	2947.1	2569.6	2517.3	2891.9	2966.7	2552
3. Automobiles	2362.0	2362.0	2480.2	2362.0	2363.0	2479
4. Fabrication métallique	9400.9	9410.6	8811.3	9315.9	9215.1	8769
5. Métaux non-ferreux	1202.9	1187.0	1209.4	1203.4	1292.2	1278
6. Minéraux non-métalliques	1819.1	1850.3	1807.2	1818.6	1818.3	1823
7. Pétrole et gaz naturel	2649.0	2675.1	2839.7	2650.7	2695.1	2873
8. Charbon et gaz manufacturé	2431.6	2338.4	2156.4	2351.2	2401.7	2083
9. Services électriques	3823.9	3865.8	3930.0	3830.9	3866.0	3979
10. Produits chimiques	3172.8	3292.2	2965.5	3175.0	3354.9	3151
11. Bois, papier et impression	5631.7	5585.4	5563.1	5657.2	5601.4	5559
12. Textile et cuir	5747.8	5758.3	5793.5	5750.9	5792.9	5843
13. Transport	4471.5	4527.9	3958.5	4299.0	4498.0	3813
Production totale	62339.4	62112.9	60699.0	61987.1	62394.4	60719

* Production en millions de dollars, base 1939.

Tableau 4.8

Taux de changement et erreur-type de la prédiction dus à la substitution des coefficients techniques de 1929 dans la matrice de 1919

Industries avec les coefficients de 1929 (toutes les autres industries ont les coefficients de 1919)	Aucune (1)	Industries clés (2)	Industries du noyau (3)	Autres industries d'extraction (4)	Autres industries de transformation (5)
1. Agriculture et alimentation	6.9	6.9	7.0	6.9	- 0.1
2. Métaux ferreux	-17.9	- 7.3	- 6.5	-17.7	-11.4
3. Automobiles	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4. Fabrication métallique	0.7	1.1	1.3	0.9	- 0.7
5. Métaux non-ferreux	-26.5	- 4.5	- 4.2	-26.5	-22.2
6. Minéraux non-métalliques	- 3.4	- 2.9	- 0.9	- 3.9	- 1.8
7. Pétrole et gaz naturel	- 4.7	- 3.3	- 0.7	- 4.4	- 4.2
8. Charbon et gaz manufacturé	20.5	12.6	11.8	13.6	17.1
9. Services électriques	- 0.1	1.2	1.0	0.0	- 1.2
10. Produits chimiques	-11.4	-10.1	- 5.4	-11.2	- 6.0
11. Bois, papier, impression	2.7	2.9	1.6	2.7	1.0
12. Textile et cuir	1.1	1.1	0.3	1.1	0.7
13. Transport	8.6	9.8	5.6	4.9	7.2
Variance	14.455	10.225	7.557	11.177	5.611
Erreur-type	3.802	3.198	2.749	3.343	2.369
					184

Source: tableau 4.5

Tableau 4.9

Taux de changement et erreur-type de la prédiction dus à la substitution des coefficients techniques de 1939 dans la matrice de 1929

Industries avec les coefficients de 1939 (toutes les autres industries ont les coefficients de 1929).	Aucune (1)	Industries clés (2)	Industries du noyau (3)	Autres industries d'extraction (4)	Autres industries de transformation (5)
1. Agriculture et alimentation	1.0	1.0	0.9	1.0	0.1
2. Métaux ferreux	15.5	0.7	- 1.4	13.3	16.2
3. Automobiles	- 4.7	- 4.7	0.0	- 4.7	- 4.7
4. Fabrication métallique	7.2	7.3	0.5	6.2	5.1
5. Métaux non-ferreux	- 5.9	- 7.1	- 5.4	- 5.8	1.1
6. Minéraux non-métalliques	- 0.2	1.5	- 0.9	- 0.2	- 0.3
7. Pétrole et gaz naturel	- 7.8	- 6.9	- 1.2	- 7.7	- 6.2
8. Charbon et gaz manufacturé	16.7	12.3	3.5	12.9	15.3
9. Services électriques	- 3.9	- 2.8	- 1.2	- 3.7	- 2.8
10. Produits chimiques	0.7	4.5	- 5.9	0.8	6.5
11. Bois, papier, impression	1.3	0.5	0.1	1.8	0.8
12. Textile et cuir	- 1.6	- 1.4	- 0.8	- 1.6	- 0.9
13. Transport	17.3	18.7	3.8	12.7	18.0
Variance	9.579	8.621	0.749	6.606	8.055
Erreur-type	3.095	2.936	0.866	2.570	2.838
					185

185

Source: tableau 4.6

de l'effet induit du changement structural. Il serait peut-être intéressant de mener ces études sur une base de désagrégation plus fine pour les industries du noyau et d'analyser le changement structural secteur par secteur. L'agrégation, dans certains cas, a pour effet de minimiser le changement structural alors qu'à un niveau plus désagrégé, les industries révèlent des changements structuraux substantiels. Ceci se produit notamment si on agrège deux industries qui subissent des changements structuraux-substitutifs de facteurs dans des directions opposées.

L'analyse empirique de cette section pointe aussi vers une application possible de la méthode de triangularisation du modèle Leontief. Certaines techniques sont proposées récemment pour projeter un tableau entrée-sortie à partir d'une année de base et ainsi de corriger les coefficients.³² La méthode qui se dégage de ce chapitre, est de corriger seulement les coefficients techniques des industries du noyau, à partir des données technologiques récentes ou à partir de questionnaires, puisque ce sont ces industries qui procurent la plus grande marge d'erreur dans les projections sectorielles. Ceci permettrait de réduire l'effort de compilation des données à un niveau acceptable.

32 T.I. Matuszewski, P.R. Pitts et J.A. Sawyer, "Linear Programming Estimates of Changes in Input Coefficients," Canadian Journal of Economics and Political Science 30, (1964): 203-10. Michael Bacharach, Biproportional Matrices and Input-Output Change (Cambridge: Cambridge University Press, 1970). Ce dernier est basé sur le travail de Richard Stone et du groupe de recherche à Cambridge, voir Richard Stone, (ed.), Input-Output Relationships 1954-1966, A Program for Growth, no. 3, Department of Applied Economics, University of Cambridge (London: Chapman and Hall, 1963).

Aussi il serait intéressant pour des recherches futures de procéder à une analyse comparative des différentes méthodes de projection d'une matrice entrée-sortie.

Conclusion du chapitre

Par rapport à l'économétrie, l'analyse entrée-sortie propose une autre approche structurale d'un système économique. Les possibilités d'application pratique du modèle de Leontief sont assez restreintes si on ne peut pas prédire le changement structural. Pour ceci, nous avons besoin d'un schème théorique clairement défini. Ce chapitre a été consacré au développement d'un tel schème théorique et à sa vérification empirique. Comme instrument scientifique et langage logique, la théorie des graphes se prête à une adaptation facile aux problèmes que nous nous sommes posés. Les tests menés permettent une corroboration partielle de notre thèse. Loin de penser que nous avons posé le dernier mot sur la question très épineuse et extrêmement complexe de la stabilité structurale, on peut espérer que d'autres recherches futures viendront confirmer notre approche.

CONCLUSION

L'étude de la stabilité structurale et de ses multiples applications dans la science économique constituaient le but principal de notre recherche.

L'approche systémique, dont les traits ont été explicités, permet tout d'abord d'approfondir et de synthétiser les éléments qui entrent dans la définition d'une structure et d'un système. Un schème théorique est élaboré, à un niveau très général, pour l'analyse de la stabilité structurale de tout système concret dans les sciences sociales. La généralisation de toute structure concrète comme structure d'ordre n a rendu possible sa formalisation par le langage mathématique de la théorie des graphes.

Ce schème conceptuel fut ensuite appliqué dans les deux branches de la science économique où l'analyse structurale est la plus développée et prometteuse: l'économétrie et l'analyse entrée-sortie. Des définitions formelles ont été données aux éléments et aux relations de la structure dans chacun des cas. Ainsi, une analyse sémantique de la relation causale, principe fondamental de l'analyse économétrique, déboucha sur une définition de type Simon-Malinvaud-Hénin. Pour le modèle entrée-sortie, la seule relation qu'on peut admettre est celle de la dépendance en amont ou en aval. L'analyse empirique de la stabilité structurale, dans les deux cas, avec le modèle à blocks récursifs de Girshick et Haavelmo et les tableaux inter-industrielles des Etats-Unis de 1919, 1929, et 1939, a pu

confirmer partiellement l'hypothèse que les éléments du noyau possèdent une plus grande stabilité par rapport aux autres éléments hors du noyau. Par contre, l'hypothèse nulle, que les changements structuraux dans le noyau n'ont aucun effet sur les autres éléments, doit être rejetée. Par conséquent, la spécification causale et l'identification de la structure dans un modèle économétrique, ainsi que le niveau d'agrégation pour un modèle entrée-sortie jouent un rôle décisif dans la stabilité des coefficients structuraux.

Evidemment, nous ne pensons pas avoir posé le dernier mot au problème extrêmement complexe de la stabilité structurale. Nous nous sommes limités, dans la mesure du possible, à présenter une approche générale facilitant son étude. D'autres recherches viendront élargir le cadre d'analyse présenté dans cette thèse. Parmi celles-ci, on peut en citer certaines voies particulièrement prometteuses: construire un modèle probabilistique permettant d'évaluer quantitativement le degré de stabilité structurale d'un système, développer de nouvelles techniques économétriques pour prédire les changements structuraux induits, formuler des modèles entrée-sortie à structure variable, application de la méthodologie proposée pour la planification du développement dans des cas concrets.

BIBLIOGRAPHIE

- Ackoff, Russell L., "Systems, Organizations and Interdisciplinary Research", General System Yearbook 5, (1960):1-8.
- Ackoff, Russell L. et Fred E. Emery, "On Ideal Seeking Systems", General System Yearbook 17, (1972):17-24..
- Agren, A., "Fractional Fix-Point Estimation", dans Ernest J. Mosbaek et Herman Wold, Interdependent Systems, Structure and Estimation (Amsterdam: North Holland, 1970), pp. 129-36.
- Almond, Gabriel A., "Comparative Political Systems", Journal of Politics 18, (1956):391-409.
- Arrow, Kenneth J., Social Choice and Individual Values (New York: John Wiley and Sons, 1966).
- _____, "Mathematical Models in the Social Sciences", dans May Brodbeck (ed.), Readings in the Philosophy of the Social Sciences (New York: McMillan, 1968), pp. 635-67.
- Arrow, Kenneth J. et Marvin Hoffenberg, A Time Series Analysis of Inter-Industry Demands (Amsterdam: North Holland, 1959).
- Ashby, Ross W., "The Set Theory of Mechanism and Homeostasis", General System Yearbook 9, (1964):83-97.
- _____, An Introduction to Cybernetics (London: Chapman and Hall, 1956, éd. 1971).
- _____, "General System Theory as a New Discipline", General System Yearbook 3, (1958):1-17.
- Bacharach, Michael, Biproportional Matrices and Input-Output Change (Cambridge: Cambridge University Press, 1970).
- Barna, Tibor et al. (eds.), Structural Interdependence and Economic Development (London: MacMillan, 1963).
- Barnett, H., "Specific Industry Output Projections", dans National Bureau of Economic Research, Conference on Income and Wealth, Long Range Economic Projection, Studies in Income and Wealth, vol. 16 (Princeton: Princeton University Press, 1954):191-232.
- Basmann, R.L., "The Computation of Generalized Classical Estimate of Coefficients in a Structural Equation", Econometrica 27, (1959):72-81.

- Beach, Charles W., "An Alternative Approach to the Specification of Structural Transition Functions", Canadian Economic Journal 10, (1977):132-141.
- Bentzel, R. et B. Hansen, "On Recursiveness and Interdependency in Economic Models", Review of Economic Studies 22, (1954-1955):153-68.
- Berge, Claude, La Théorie des Graphes et ses Applications (Paris: Dunod, 1958).
- Berlinski, David, On Systems Analysis (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1976).
- Boudon, Raymond, L'Analyse Mathématique des Faits Sociaux (Paris: Plon, 1967).
- _____, A Quoi Sert la Notion de "Structure"? (Paris: Gallimard, 1968).
- Doubon, Raymond et Paul Lazarsfeld, L'Analyse Empirique de la Causalité (Paris: Mouton, 1966).
- Boulding, Kenneth E., "General System Theory, The Skeleton of Science", Management Science 2, (1956):197-208.
- Bourbaki, Nicolas, "L'Architecture des Mathématiques", dans François LeLionnais (ed.), Les Grands Courants de la Pensée Mathématique (Paris: Cahiers du Sud, 1962):35-47.
- Bridgman, Percy W., The Logic of Modern Physics (New York: McMillan, 1927).
- Brodbeck, May, Readings in the Philosophy of the Social Sciences (New York: McMillan, 1968).
- Bunge, Mario, Causality: The Place of the Causal Principle in Modern Science (Cambridge: Harvard University Press, 1959).
- _____, Scientific Research (Berlin, New York: Springer-Verlag, 1967), 2 vols.
- _____, Methods, Model and Matter (Dordrecht-Holland, Boston: D. Reidel Publishing Co., 1973).
- Cadwallader, Mervin L., "The Cybernetic Analysis of Change in Complex Social Organizations", American Journal of Sociology 65, (1959):154-7.

- Campbell, John, "Applications of Graph Theoretic Analysis to Interindustry Relationships, the Example of Washington State", Regional Science and Urban Economics 5, (1975):91-106.
- Carter, Anne P. et Andrew Brody (eds.), Contributions to Input-Output Analysis (Amsterdam: North Holland, 1970), 2 vols.
- Cartwright, T.J. et I. Galbour, "Graph Theory and Managing Urban Change", Socio-Economic Planning Science 9, (1975):197-204.
- Centre International de Synthèse, Notion de Structure et Structure de la Connaissance (Paris: Albin Michel, 1957).
- Chenery, Hollis B. et Peter G. Clark, Interindustry Economics (New York: Wiley, 1959).
- Chow, Gregory C., "Test of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regression", Econometrica 28, (1960):591-605.
- Christ, Carl, "A Review of Input-Output Analysis", dans National Bureau of Economic Research, Conference on "Income and Wealth; Input-Output Analysis: An Appraisal, Studies in Income and Wealth, vol. 18 (Princeton: Princeton University Press, 1955).
- Clément, René, "Prolégomènes d'une Théorie de la Structure Economique", Revue d'Economie Politique 62, (1952):971-1001.
- Colloque International sur les Sens et Usages du Terme Structure dans les Sciences Humaines et Sociales (Paris: The Hague: Mouton, 1972).
- Comte, Auguste, Cours de Philosophie Positive (Paris: Hermann, 1926, éd. 1975).
- Dagum, Camilo, "Structural Permanence. Its Role in the Analysis of Structural Dualisms and Dependences and for Prediction and Decision", Research Memorandum no. 98, Econometric Research Program, Princeton University, (1968), rep. dans Zeitschrift für die Gesamte Staatswissenschaft, Band 125, Heft 2, (1969): 211-35.
- _____, "La Conséquence de l'Introduction du Concept de Structure dans la théorie du Commerce International", Economie Appliquée 22, (1969):65-88.
- _____, "Les Modèles Econométriques dans la Prévision et la Décision", Economies et Sociétés 4, (1970):481-95.
- _____, "Idéologie et Méthodologie de la Recherche en Science Economique", Economies et Sociétés, Cahiers de l'ISMEA no. 29, (Mars 1977):553-586.

- Dagum, Camilo et Estela B. Dagum, "Construction de Modèles et Analyse Econométrique", Economies et Sociétés 8, no. 11-12 (1974):1649-2146.
- Debreu, Gérard, "Regular Differentiable Economics," American Economic Review, Papers and Proceedings 66, no. 2, (1976): 280-287.
- Delattre, Pierre, "Formalization Concepts and Exploration Concepts", Scientia 8, (1974):1-32.
- Deutsch, Karl W., The Nerve of Government, Models of Political Communication and Control (New York: Free Press, 1963).
- Dugundji, James, Topology (New York: Wiley, 1966).
- Easton, David, A System Analysis of Political Life (New York: Wiley, 1965).
- Feibleman, James et Julius W. Friend, "Structure and Function of Organization", Philosophical Review 54, (1945):19-44.
- Friedman, Milton, Essays in Positive Economics (Chicago: University of Chicago Press, 1953).
- Frisch, Ragnar, "Statistical versus Theoretical Relations in Economic Macro-Dynamics", Miméo, Business Cycle Conference at Cambridge, Angleterre, juillet 1938.
- Garb, Gerald, "The Problem of Causality in Economics", Kyklos 4, (1964):594-609.
- Gilli, Manfred et Gilbert Ritschard, "Un Programme d'Analyse Structurale des Modèles Economiques", miméo, Département d'Econométrie, Université de Genève, avril 1976.
- Girschick, M.A. et T. Haavelmo, "Statistical Analysis of the Demand for Food: Examples of Simultaneous Estimation of Structural Equations", Econometrica 15, (1947):79-110.
- Golubitsky, Martin, "An Introduction to Catastrophe Theory and its Applications", Siam Review 20, no. 2 (1978):353-387.
- Granger, C.W.J., "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods", Econometrica 37, (1969):424-38.
- Gujarati, Amadar, "Use of Dummy Variables in Testing for Equality Between Sets of Coefficients in Linear Regression: A Note", The American Statistician 24, (1970):50-2.

Gurvitch, Georges, "Le Concept de Structure Sociale", Cahiers Internationaux de la Sociologie 19, (1955):3-44.

_____, Traité de Sociologie (Paris: Presses Universitaires de France, 1962, 3ème éd. rev. 1967), 2 vols.

Haavelmo, Trygve, "The Probability Approach in Econometrics", Econometrica 12, supplément, (1944).

Harary, Frank; Robert Norman et Durwin Cartwright, Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graph (New York: John Wiley and Sons, 1965).

Harrod, Roy F., Towards a Dynamic Economics (London: MacMillan, 1948, éd. 1966).

Hatanaka, Michio, The Workability of Input-Output Analysis (Ludwigshafen Am Rhein: Fachverlag für Wirtschaftstheorie und Ökonometrie, 1966).

Henin, Pierre Yves, "Sur la Définition des Structures Causales en Econometrie", Cahiers du Séminaire d'Econométrie, CNRS 15, (1974): 9-27.

Hood, William C. et Tjalling C. Koopmans (éds.), Studies in Econometric Methods, Cowles Commission Monograph no. 14 (New York: John Wiley, 1953).

Hume, David, Traité de la Nature Humaine (Paris, Ed. A. Leroy, 1946).

Hutchison, Terence W., The Significance and Basic Postulate of Economic Theory (New York: Sentry Press, 1938, éd. 1965).

Isnard, C.A. et E.C. Zeeman, "Some Models from Catastrophe Theory in the Social Sciences", dans L. Collins (ed.), Use of Models in the Social Sciences (London: Tavistock, 1974).

Jang, Yung S., Econometric Model Building: A Comparative Study of Simultaneous Equation System (Seoul: Yusei University Press, 1973).

Klir, George J. An Approach to General System Theory (New York: van Nostrand-Reinhold, 1969).

_____, "On the Relation Between Cybernetics and General System Theory", dans J. Rose (ed.), Progress of Cybernetics, 3 vol. (London: Gordon & Breach, 1970), vol. 1:155-165.

Kramer, J.T.A., Systems Thinking (Leiden: Martinus Nijhoff Social Science Division, 1977).

LaSalle, J.P. et S. Lefschetz, Stability by Liapunov Direct Method, with applications (New York: Academic Press, 1961).

Laszlo, Erwin, "The Meaning and Significance of General System Theory", Behavioral Sciences 20, (1975):9-23.

LeLionnais, François, Les Grands Courants de la Pensée Mathématique (Paris: Cahiers du Sud, 1962).

Le Moigne, Jean Louis, La Théorie du Système Général ou Théorie de la Modélisation (Paris: Presses Universitaires de France, 1977).

Leontiel, Wassily, Studies in the Structure of the American Economy (New York: Oxford University Press, 1953).

_____, "Some Basic Problems of Empirical Input-Output Analysis", dans National Bureau of Economic Research, Input-Output Analysis: An Appraisal, Studies in Income and Wealth, vol. 18 (Princeton: Princeton University Press, 1955), pp. 9-22.

_____, "The Dynamic Inverse", dans A.P. Carter et A. Brody (eds.), Contributions to Input-Output Analysis, 2 vols. (Amsterdam: North Holland, 1970), vol. 1, pp. 17-46.

Levy-Strauss, Claude, "Structure Sociale", Bulletin de Psychologie 6, (1953):358-90.

Lhomme, Jean, "Matériaux pour une Théorie de la Structure Economique et Sociale", Revue Economique 5, (1954):843-80.

_____, "Sociologie des Systèmes, Régimes et Structures Economiques", dans Georges Gurvitch, Traité de Sociologie, 2 vols. (Paris: Presses Universitaires de France, 1962, 3ème éd. rev. 1967), vol. 1, pp. 383-418.

Lindahl, Erik R., Studies in the Theory of Money and Capital (London: Allen and Unwin, 1939).

Lorant, John H., The Role of Capital Improving Innovations in American Manufacturing during the 1920's, Dissertation de Doctorat, Columbia University, 1966.

Lundberg, Erik, Studies in the Theory of Economic Expansion (New York: Augustus M. Kelly, 1939, reprints of Economic Classics, 1964).

Machlup, Fritz, "The Problem of Verification in Economics", Southern Economic Journal 22, (1955):1-21.

_____, Essays in Economic Semantics (New York: Prentice-Hall, 1963).

Maital, Shlomo, "The Tableau Economique as a Simple Leontief Model: An Amendment", Quarterly Journal of Economics 86, (1972):504-7.

Montias, J.M., The Structure of Economic Systems (New Haven & London: Yale University Press, 1976).

- Johnston, John, Econometric Methods (New York: McGraw-Hill, 1963, éd. 1972).
- Katz, Daniel et Robert Kahn, The Social Psychology of Organization (New York: Wiley, 1966).
- Kerschner, L.R., "Cybernetics as a Model for Political Science: A Critique", dans John Rose (éd.), Progress of Cybernetics (London: Gordon & Breach, 1970), 3ème vol., pp. 1215-30.
- Klir, George J., "On the Relation Between Cybernetics and General System Theory", dans John Rose (éd.), Progress of Cybernetics (London: Gordon and Breach, 1970), 1er vol., pp. 155-65.
- Klir, George J. et M. Valach, Cybernetic Modelling (London: Iliffe Books, 1967).
- Koopmans, Tjalling C., "Statistical Estimation of Simultaneous Economic Relations", Journal of the American Statistical Association 40, (1945):448-66.
- _____, "Identification Problem in Economic Model Construction", dans W.C. Hood et T.C. Koopmans (éds.), Studies in Econometric Methods (New York: John Wiley, 1953): pp. 27-48.
- Kuhn, Harold W. et G.P. Szego (éds.), Mathematical System Theory and Economics (Berlin: Springer-Verlag, 1962).
- Kuhn, Thomas, The Structure of Scientific Revolution (Chicago: University of Chicago Press, 1962).
- Lancaster, Kelvin, Mathematical Economics (New York: The MacMillan Co., 1968).
- Lange, Oskar, Wholes and Parts: A General Theory of System Behavior (New York: Pergamon Press, 1965).
- _____, Introduction to Economic Cybernetics (Warszawa: Polish Scientific Publishers, 1970).
- Lantner, R., La Théorie de la Dominance (Paris: Dumod, 1971).
- Lasswell, Harold D. et Abraham Kaplan, Power and Society: A Framework for Political Inquiry (Connecticut: Yale University Press, 1950).

Malinvaud, Edmond, "Pour une Axiomatique de la Causalité", dans Herman Wold (éd.), La Technique des Modèles dans les Sciences Humaines (Monaco: Union Européenne d'Édition, 1966).

Marchack, Jacob, "Economic Measurement for Policy and Prediction", dans W.C. Hood et T.C. Koopmans (éds.), Studies in Econometric Methods, Cowles Commission Monograph No. 14 (New York: John Wiley, 1953), pp. 1-26.

Marchal, André, "Prise de Conscience, Structure et Concept de Période", Revue Economique 5, (1954):917-24.

_____, Système et Structures Economiques (Paris: coll. Thémis, Presses Universitaires de France, 1953, éd. 1963).

Matuzewski, T.I.; P.R. Pitts et J.A. Sawyer, "Linear Programming Estimates of Changes in Input Coefficients", Canadian Journal of Economics and Political Science 30, (1964):203-10.

McClelland, Peter, Causal Explanation and Model Building in History, Economics and the New Economic History (Ithaca: Cornell University Press, 1975).

Mesarovic, Mihajlo, "Mathematical Theory of General System and Some Economic Problems", dans H.W. Kuhn et G.P. Szego, Mathematical System Theory and Economics (Berlin: Springer-Verlag, 1969), vol. 1, pp. 93-116.

Mitchell, William C., "Political System", dans International Encyclopedia of the Social Sciences 15, (1968):473-8.

Monière, Denis, Critique Epistémologique de l'Analyse Systémique (Ottawa: coll. Sciences Sociales no. 4, Edition de l'Université d'Ottawa, 1976).

Morgenstern, Oskar, "Limits to the Uses of Mathematics in Economics", Mathematics and the Social Sciences Monograph, American Academy of Political and Social Science, Philadelphia, Juin 1963.

_____, "The Compressibility of Economic Systems and the Problem of Economic Constants", Zeitschrift für National Ökonomie 26/I-3, (1966:190-203).

Morishima, Michio, Equilibrium, Stability and Growth, A Multisectorial Analysis (Oxford: Clarendon Press, 1964).

Mosbaek, Ernest J. et Herman Wold, Interdependent System: Structure and Estimation (Amsterdam: North Holland, 1970).

Muller, Yves, Applications Pratiques des Graphes à la Recherche d'un Optimum (Paris: Ed. Eyrolles, 1972).

Nagel, Ernest; Patrick Suppes et Alfred Tarsky (éds.), Logic, Methodology and Philosophy of Sciences (Amsterdam: North Holland, 1973).

National Bureau of Economic Research, Conference on Income and Wealth, Long Range Economic Projection, Studies in Income and Wealth, vol. 16 (Princeton: Princeton University Press, 1954).

National Bureau of Economic Research, Conference on Income and Wealth, Input-Output Analysis; An Appraisal, Studies in Income and Wealth, vol. 18 (Princeton: Princeton University Press, 1955).

Nerlove, Marc, "Review", American Economic Review 50, (1960):182-6.

Newman, Peter, "Approaches to Stability Analysis", Economica 28, (1961):12-29.

Nicolai, André, Comportement Economique et Structures Sociales (Paris: Presses Universitaires de France, 1960).

Nikaido, Hokukane, Convex Structures and Economic Theory (New York: Academic Press, 1968).

Parsons, Talcott, Societies, Evolutionary and Comparative Perspectives (New York: Prentice-Hall, 1966).

_____, The Social System (London: Tavistock Pub., 1951, éd. 1968).

_____, Politics and Social Structure (New York: The Free Press, 1969).

Perroux, François, Pour un Approfondissement de la Notion de Structure (Paris: Mélanges Wittmeur, 1939).

_____, "Esquisse d'une Théorie de l'Economie Dominante", Economie Appliquée, no. 2-3, (1948):243-300.

_____, "Note sur la notion de 'Pôle de Croissance'", Economie Appliquée 8, (1955):307-320.

_____, Economie et Société; Contrainte, Echange, Don (Paris: Presses Universitaires de France, 1963).

- _____, "Les Industries Motrices et la Planification de la Croissance d'une Économie Nationale", dans On Political Economy and Econometrics (London: Pergamon Press, 1965), pp. 463-497.
- _____, "L'Économie de la Ressource Humaine," Mondes en Développement 7, (1974):15-81.
- Phillips, Almarin, "The Tableau Ecobomique as a Simple Leontief Model", Quarterly Journal of Economics 69, (1955):137-44.
- Piaget, Jean, Le Structuralisme (Paris: coll. Que Sais-Je?, Presses Universitaires de France, 1968).
- Piettre, André, "Les Deux Aspects de la Dynamique des Structures", Revue d'Économie Politique 67, (1957):164-74.
- Ponsard, Claude, Un Modèle Topologique d'Équilibre Économique Inter-régional (Paris: Dunod, 1969).
- Popper, Karl, The Logic of Scientific Discoveries (New York: Harper and Row, 1965).
- Quesnay, François, Tableau Économique des Physiocrates (Paris: Calmann-Levy, 1758, rep. 1969).
- Radcliffe-Brown, A.R., "Structure and Function in Primitive Societies", dans E.E. Evans et al. (éds.), Structure and Function in Primitive Societies (Glencoe, Illinois: The Free Press of Glencoe, 1952).
- Rand, David, "Catastrophes and Economic Models", dans Colloque International du CNRS, Systèmes Dynamiques et Modèles Économiques (Paris: Editions du CNRS, 1977), pp. 77-87.
- Rapoport, Anatol, "Mathematical Aspects of General System Theory", General System Yearbook 11, (1966):1-10.
- Rashevsky, N. "Topology and Life: in Search of General Mathematical Principles in Biology and Sociology", Bulletin of Mathematical Biophysics 16, (1954):317-47.
- Rasmussen, Poul Norregaard, Studies in Inter-Sectoral Relations (Amsterdam: North Holland, 1956).
- Rose, John, Progress of Cybernetics (London: Gordon and Breach, 1970), 3 vols.
- Rosenberg, Nathan, Technology and American Economic Growth (New York: Harper and Row, 1972).

Rosenblatt, David, "On the Graph and Assymptotic Forms of Finite Relation Matrices and Stochastic Matrices", Naval Research Logistic Quarterly 4, (1957):151-167.

Rota, J, Graphes de Transfert et Dynamisation d'un Modèle Entrées-Sorties (Paris: Dunod, 1971).

Roy, Bernard, Algèbre Moderne et Théorie des Graphes (Paris: Dunod, 1970), 2 vols.

Sache, Aimé, La Théorie des Graphes (Paris: Coll. Que Said-Je?, Presses Universitaires de France, 1974).

Sevaldson, Per, "Changes in Input-Output Coefficients", dans Tibor Barna et al. (éds.), Structural Interdependence and Economic Development (London: MacMillan, 1963), pp. 303-28.

Simon, Herbert, "On the Definition of Causal Relation", Journal of Philosophy 49, (1952):517-28.

_____, "Causal Ordering and Identification" dans W.C. Hood et T.C. Koopmans, Studies in Econometric Methods, (Cowles Commission Monograph no. 14 (New York: John Wiley, 1953), pp. 49-74.

Sorokin, Pitirin A., Sociological Theories of Today (New York: Wiley, 1966).

Steward, D.V., "On an Approach to Techniques for the Analysis of the Structure of Large Systems of Equations", SIAM Review 4, (1962):321-42.

_____, "Partitioning and Tearing Large Systems of Equations", SIAM Journal, Numerical Analysis, Ser B, vol. II, no. 2, (1965): 345-65.

Stone, Richard (éd.), Input-Output Relationships 1954-1966, A Program for Growth, no. 3, Department of Applied Economics, University of Cambridge (London: Chapman and Hall, 1963).

Sussmann, Hector J., "Catastrophe Theory", Synthèse 31, (1975): 229-270.

Sussmann, Hertoc J, et Raphael S. Zahler, "Catastrophe Theory as Applied to the Social and Biological Sciences: A Critique", Synthèse 37, (1978):117-216.

Theil, Henri, Economic Forecast and Policy (Amsterdam: North Holland, 1958, 2ème éd. rev. 1961).

Thom, René, Stabilité Structurale et Morphogénèse (Paris: Benjamin, 1972).

Tinbergen, Jan, "De Quelques Problèmes posés par le Concept de Structure Economique, Revue d'Economie Politique 62, (1952): 27-46.

Tovissi, L., "A Systemic Approach Conception of Input-Output Models", Economic Computation and Economic Cybernetic Studies and Research, no. 1, (1975):25-33.

Viet, Jean, Input-Output; Essai de Présentation Documentaire du Système de W. Leontief (Paris: Mouton, 1966).

Vogt, Evon Z., "On the Concept of Structure and Process in Cultural Anthropology", The American Anthropologist 62, (1960):18-33.

Von Bertalanffy, Ludwig, General System Theory: Foundations, Development, Applications (New York, Braziller, 1968).

_____, "The History and Status of General Systems Theory", dans J. Klir (ed.), Trends in General Systems Theory (New York: Wiley-Interscience, 1972).

Von Newmann, John et Oskar Morgenstern, Theory of Games and Economic Behavior (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1953).

Wallace, Williams A., Causality and Scientific Explanation (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1972).

Walras, Léon, Eléments d'Economie Politique Pure ou Théorie de la Richesse Sociale (Paris: Librairie Générale de Droit et de Jurisprudence, 1874, rep. 1976).

Weber, Max, The Theory of Social and Economic Organization (New York: Oxford University Press, 1947).

Wiseman, Victor H., Political System (London: Routledge and Kegan Paul, 1966).

Wittgenstein, Ludwig, Tractatus Logico-Philosophicus (Londres, 1922, traduction française par P. Klossovsky, Paris, 1931).

Wold, Herman, "Causality and Econometrics", Econometrica 22, (1954): 1962-77.

Wold, Herman, "A Case Study of Interdependent versus Causal Chain System", Review of the International Statistical Institute 5, (1959):5-25.

_____, Econometric Model Building: Essays in the Causal Chain Approach (Amsterdam: North Holland, 1964).

_____, "Forecasting by the Chain Principle", dans H. Wold (éd.) Econometric Model Building: Essays in the Causal Chain Approach (Amsterdam: North Holland, 1964):5-36.

_____, "A Fix Point with Econometric Background", Part I, Archiv für Matematik, Band 6, no. 12, (1964):209-20, Part II, Archiv für Matematik, Band 6, no. 13, (1965):221-40.

_____, "Toward a Verdict on Macroeconomic Simultaneous Equations", dans The Econometric Approach to Development Planning (Amsterdam: North Holland, 1965):115-66.

_____, "Mergers of Economics and Philosophy of Science, A Cruise in Deep Seas and Shallow Waters", Synthese 20, (1969):427-82.

_____, "Cause-Effect Relationships: Operative Aspects", dans E. Nagel, P. Suppes et A. Tarsky (éds.), Logic, Methodology and Philosophy of Science (Amsterdam: North Holland, 1973), pp. 789-801.

Wold, Herman et L. Juréen, Demand Analysis, A Study in Econometrics (New York: John Wiley, 1953).

Yan, C.S. et E. Ames, "Economic Interrelatedness", Review of Economic Studies 32, (1965):299-310.

Yotopoulos, Pan A. et Jeffrey B. Nugent, "A Balanced Growth Version of the Linkage Hypothesis: A Test", Quarterly Journal of Economics 87, (1973):157-71.

Zellner, Arnold et Henri Theil, "Three Stages Least Squares: Simultaneous Estimation of Simultaneous Equations", Econometrica 30, (1962):54-78.

APPENDICE

UN PROGRAMME EFFICACE POUR L'ANALYSE STRUCTURALE DES MODELES ECONOMIQUES

Cet appendice a pour but de présenter un programme logique et efficace¹ dans l'analyse structurale des modèles économiques.

Considérons un modèle économique linéaire, et pour être général, stochastique, représenté par un ensemble de n relations structurales qui s'écrit:

$$BY + \Gamma Z = U \quad (1)$$

où $Y \in \mathbb{R}^n$ est le vecteur des variables endogènes, $Z \in \mathbb{R}^m$ est le vecteur des variables exogènes et prédéterminées, $U \in \mathbb{R}^n$ est le vecteur des variables d'erreur stochastique. La structure de ce modèle, à part les spécifications sur les fonctions de distribution de U , est représentée formellement par un digraphe orienté dont les arcs sont valués:

$$G = (X, A) \quad (2)$$

où: $X = (y_1, \dots, y_n; z_1, \dots, z_m)$ est l'ensemble des sommets du graphe et A , la matrice carrée d'ordre $n + m$:

$$A = \begin{pmatrix} B & \vdots & \Gamma \\ \cdots & \vdots & \cdots \\ 0 & \vdots & I \end{pmatrix} \quad (3)$$

où I est la matrice d'identité d'ordre $m \times m$.

¹ Si les étapes du programme sont mutuellement exclusives (non-contradictaires) et communément consistantes, le programme est logique. Si, de plus, le temps de computation augmente proportionnellement avec la taille du problème, il est efficace.

On peut caractériser A selon quatre dimensions:

- a) par son contenu en éléments nuls ou non-nuls, c'est à dire la présence ou l'absence des variables dans chacune des relations dans (1),
- b) par le signe négatif, positif ou nul de ses éléments,
- c) par les valeurs numériques de ses éléments,
- d) par les intervalles de variation de ses éléments, c'est à dire par le degré de stabilité structurale de chaque élément.

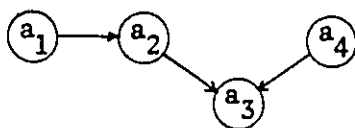
Les dimensions a) à d) ci-dessus représentent les quatre paliers, à un niveau de complexité croissante, de la reconnaissance d'une structure donnée. Les deux premières dimensions a) et b) s'encadrent dans une analyse qualitative de la structure alors que c) et d) sont du ressort de l'analyse quantitative. L'analyse qualitative, première étape de la reconnaissance d'une structure, est en somme l'étude de la structure causale du modèle (1) à partir de l'analyse de la connexité du graphe associé en (2). Tandis que l'analyse quantitative, aboutissement de cette reconnaissance, vise l'estimation numérique pour des fins de prédiction et de décision. Ainsi, les deux étapes de l'analyse structurale ne forment pas deux entités à part, mais deux paliers complémentaires dans un même processus logico-empirique de la construction de modèle en science économique.

Structure et graphe

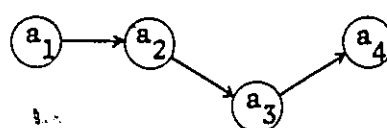
L'analyse de la structure relationnelle du modèle (1) peut se faire indifféramment soit par l'algèbre de Boole, soit par la théorie des graphes. Nous avons choisi, dans le courant de nos recherches,

la théorie des graphes orientés puisqu'elle s'adapte facilement à la notation matricielle et parce qu'elle a des interprétations immédiatement significatives en science économique. Pour illustrer certains concepts fondamentaux dans la théorie des graphes orientés, nous représentons dans les figures qui suivent quelques exemples.

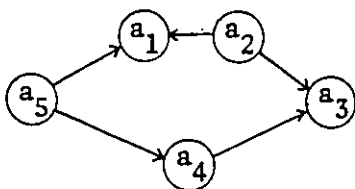
chaîne



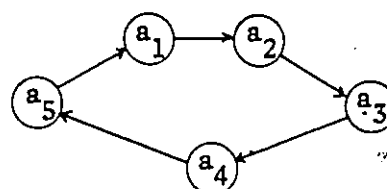
chemin



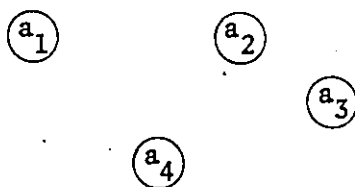
cycle



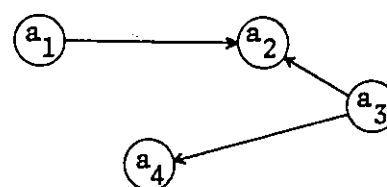
circuit



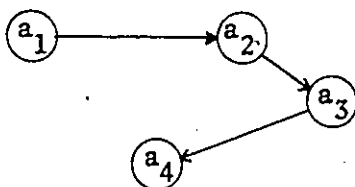
graphe 0-connexe (disconnecté)



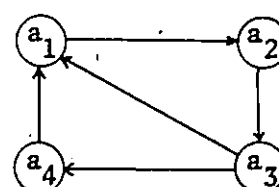
graphe 1-connexe



graphe 2-connexe

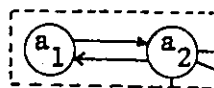


graphe 3-connexe



décomposition en composante fortement connexe maximale (CFCM)

CFCM1



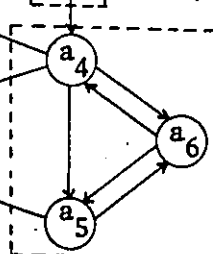
CFCM2



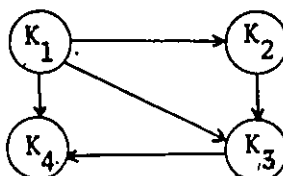
CFCM4



CFCM3



a_7 est un CFCM-clos dans X . Le graphe réduit du précédent est:



Partitionnement et réduction d'un système à n équations et à $n + m$ variables

Dans les modèles économiques de grandes dimensions, il faudrait avoir une technique qui permettrait de solutionner rapidement le système. Il en est de même pour déceler la structure causale du système. Vu que les CFCM du graphe associé ont une interprétation équivalente à un sous-ensemble d'équations interdépendants, il serait souhaitable d'avoir un programme qui permettrait de les détecter.

Nous connaissons la méthode de Gauss pour la résolution d'un système d'équations mais elle devient vite impraticable à mesure que le système devient plus grand. La méthode de Steward permet une première approche systématique mais elle est inefficace.² Gilli et Ritschard ont proposé un programme d'ordinateur (ANAS) pour décomposer la matrice A ainsi que pour étudier les configurations des signes des éléments de A .³ Ce programme, écrit en FORTRAN V UNIVAC se compose de 24 routines et d'un deck d'environ 3000 cartes. Le manie-
ment d'un tel programme est donc assez complexe, encombrant, et nécessitant des entrées-sorties coûteuses.

² D.V. Steward, "Partioning and Tearing Large Systems of Equations", SIAM Journal, Num. An., Ser. B, vol. II, no. 2, (1965):345-65.

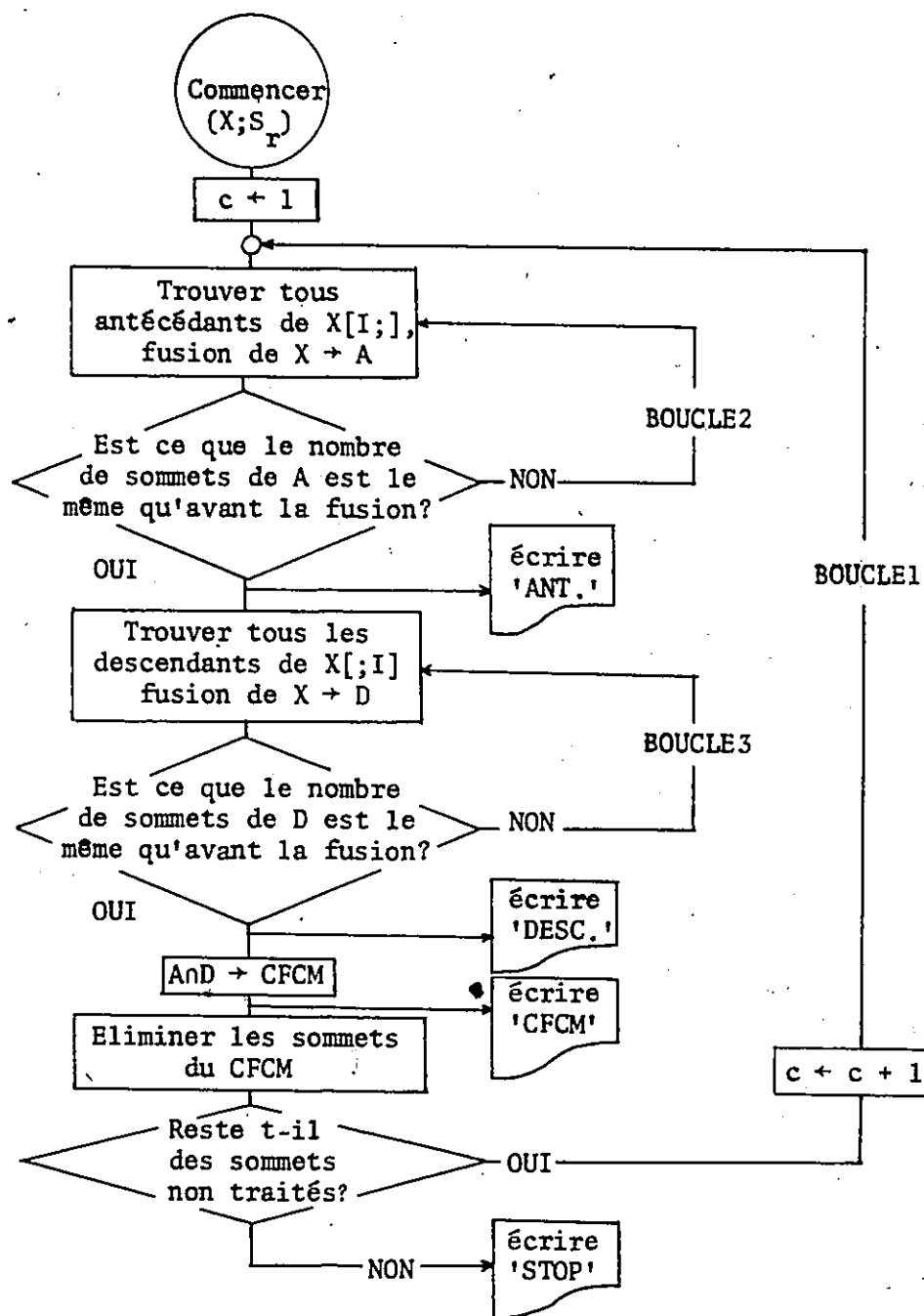
³ Manfred Gilli et Gilbert Ritschard, "Un Programme d'Analyse Structurale des Modèles Economiques", miméo, Département d'Econométrie, Université de Genève, Avril 1976.

Le programme pour la recherche des CFCM que nous allons proposer est à la fois logique et efficace. Le programme se base sur la méthode de décomposition de Malgrange et est décrit dans le "flow-chart" de la page suivante.⁴ Ecrit en langage YORK APL, le programme se compose seulement de 38 instructions logiques. Sur IBM 1721, le temps de computation pour une matrice 40 x 40 est de 5 secondes. Ce programme offre un avantage supplémentaire par la possibilité d'utiliser la version BATCH qui permet une extension considérable de la mémoire, et permet donc de traiter des matrices de dimensions beaucoup plus grandes.

Finalement, on a écrit deux sous-programmes, l'un permettant de détecter les composantes fortement connexes (programme CFC), l'autre permettant de varier le niveau de signification et de contrôler le niveau de connexité du graphe (programme SIMULATE).

4. La méthode est décrite dans Y. Muller, Applications Pratiques des Graphes à la Recherche d'un Optimum (Paris: Ed. Eyrolles, 1972).

FLOW-CHART DU PROGRAMME CFCM



PROGRAMME CFCM

```

      )FNS CFCM
V N CFCM X
[1] ST←R+1N
[2] Z←Np0
[3] J←2pN
[4] U←Jp1,Z
[5] X←XvU
[6] C←1
[7] LOOP1: I←1
[8] XP←X
[9] A←X[;I]
[10] D←XP[;I]
[11] ''
[12] LOOP2: NA←~A
[13] +(1=pA/ST)/16
[14] A←Av(v/X[;A/ST])
[15] +(0=+/NA^A)/ LOOP2
[16] ' ANTECEDANTS DE: ';I;' SONT: ';A/R
[17] LOOP3: ND←~D
[18] +(1=pD/ST)/21
[19] D←Dv(v/XP[;D/ST])
[20] +(0=+/ND^D)/ LOOP3
[21] ' DESCENDANTS DE: ';I;' SONT: ';D/R
[22] FX←A^D
[23] ' C.F.C.M.: ';C;' SOMMETS : ';FX/R
[24] K←~FX
[25] +(0=+/K)/ STOP
[26] SK←K/ST
[27] X←X[SK;SK]
[28] R←K/R
[29] ST←1pR
[30] C←C+1
[31] +(1=pX)/33
[32] →LOOP1
[33] ' C.F.C.M.: ';C;' SOMMETS : ';R
[34] STOP: ' TOUS LES SOMMETS SONT ASSIGNES .'
[35] →0

```

V

PROGRAMME CFC

```

      )FNS CFC
V N CFC X
[1] SL←R+1N
[2] C←1
[3] LOOP1: I←D1[ /D++/X
[4] VA←X[I:]
[5] VA[I]←1
[6] LOOP2: VN←~VA
[7] VA←VA∨(∨/X[;VA/SL])
[8] →(0=+/VN^VA)/LOOP2
[9] VN←~VA
[10] 'COMPOSANTE F.C.:';C; 'SOMMETS: ';VA/R
[11] →(0=+/VN)/STOP
[12] R←VN/R
[13] NA←VN/SL
[14] X← X[NA;NA]
[15] SL←1pR
[16] C←C+1
[17] →LOOP1
[18] STOP:'STOP'

```

PROGRAMME SIMULATE

```

      )FNS SIMULATE
V N SIMULATE X
[1] ' PROGRAMME SIMULATE:'
[2] ' VALEUR DE DELTA:'
[3] DELTA←□
[4] ' VALEUR INITIALE'
[5] START←□
[6] ' VALEUR MAXIMALE'
[7] MAX←□
[8] DD←START
[9] ALPHA:0')LOAD CFCM'
[10] Y←X≥DD
[11] ' MATRICE BOOLEENNE DE LA STRUCTURE A:';DD;' NIVEAU DE SIGNIFICATION'
[12] '0 '$Y
[13] ''
[14] N CFCM Y
[15] ''
[16] DD←DD+DELTA
[17] →(DD≤MAX)/ALPHA
[18] →0

```

ABSTRACT OF

Une approche systémique à l'analyse de la stabilité structurale et contribution à la planification économique¹

This research analyzed the consequences of the introduction of the concept of structural stability in economics. Although economics is defined as the science which studies the structures, functions and organizations of economic agents in space and time, no emphasis has yet been given in the literature to the impacts of structural change. Most often, the economist feels free to assume exogenous all the elements which he thinks is outside the scope of his particular domain.

Starting from an epistemological and interdisciplinary foothold, the concepts of "structure" and "system" were critically analyzed and a synthesis was given based on the systemic approach.

These concepts were then used to build up a theoretical body expanding generalized concepts capable of wide applications in all fields of Social Sciences. The mathematical language of Graph Theory, with its sets of postulates and proved theorems was shown to be useful for the description and analysis of systemic and structural problems.

This theoretical construct was then applied to the study of structural stability in economics, namely the econometric and input-output analyses of structural change. The data base for the

¹ Hiep N. Cao, thèse de Doctorat présentée à la Faculté des Sciences Sociales de l'Université d'Ottawa, 1979, xii, 212 pages.

the empirical studies includes the block recursive model of Girshick and Haavelmo and the 1919, 1929, 1939 input-output tables for the U.S. economy. In the first case, different tests of structural stability (Chow, Wold, Dagum and Dagum) show that structural change follows a definite path depending on the causal interpretation of the econometric model. In the second case, a different set of tests (Yan and Ames, Rasmussen, Leontief) arrives at the same conclusions, based on the dependency interpretation of the input-output model.

