



HAL
open science

Informatique et sciences économiques

Jacques Fontanel

► **To cite this version:**

Jacques Fontanel. Informatique et sciences économiques. Economies et sociétés - Cahiers de l'ISMEA, 1975, Hors-série, 18. hal-03458136

HAL Id: hal-03458136

<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-03458136v1>

Submitted on 30 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Informatique et sciences économiques

Jacques Fontanel

Economies et Sociétés,
Cahiers de l'ISMEA, Série HS n°18.
1975.

Résumé : L'apport de l'informatique dans les sciences sociales est multiple. Elle offre un instrument de calcul précieux, elle améliore la puissance calculatrice des hommes, elle ouvre des voies à l'expérimentation théorique et elle incite l'homme d'action à une préparation scientifique de ses décisions. Il s'agit d'un outil pédagogique exceptionnel, qui améliore l'analyse des informations combinées et devient une aide à l'intuition., par la qualité des modèles de simulation qu'elle est capable d'utiliser de manière heuristique. Elle permet le dépassement des barrières disciplinaires. Cependant, le couple informatique-économétrie ne constitue pas non plus la solution de tous les problèmes, car il est introduit dans les ordinateurs des informations et des concepts dont la qualité reste encore bien discutable. En outre, les valeurs humaines se prête très peu aux calculs économétriques, ce qui fait des systèmes informatiques de simulation des aides à la compréhension de ce qui est de l'ordre du quantitatif.

The contribution of computer science in the social sciences is multiple. It offers a precious calculation tool, it improves the calculating power of men, it opens ways to theoretical experimentation and it incites the man of action to a scientific preparation of his decisions. It is an exceptional pedagogical tool, which improves the analysis of combined information and becomes an aid to intuition, thanks to the quality of the simulation models that it is able to use in a heuristic way. It allows the overcoming of disciplinary barriers. However, the computer-econometrics couple does not constitute the solution of all the problems either, because it is introduced into the computers of information and concepts whose quality remains still quite debatable. Moreover, human values do not lend themselves well to econometric calculations, which makes computer simulation systems an aid to the understanding of what is of the quantitative order.

Informatique, sciences sociales, sciences économiques, modèles de simulation, expérimentation théorique

Computer science, social sciences, economics, simulation models, theoretical experimentation

Informar, c'est matérialiser des connaissances. Un fait social ne devient information que s'il est enregistré et repéré dans le temps et l'espace. L'information est une représentation matérielle composée d'éléments abstraits auxquels il convient de donner un sens grâce à une définition ou par référence à une table. L'information peut alors se prêter aux opérations logiques¹.

Le traitement de l'information combine les informations nécessaires ou disponibles, suivant une certaine logique. Le traitement manuel n'engendre qu'un très faible rendement des informations disponibles. Avec l'informatique, les hommes dépassent un goulot d'étranglement fondamental. D'après le dictionnaire de l'Académie française, « l'informatique est la science du traitement rationnel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances humaines et des communications dans le domaine technique, économique et social ». Les caractéristiques essentielles des calculateurs électroniques résident dans leur grande vitesse de calcul et d'exécution des opérations logiques, dans la possibilité d'exécuter des programmes de traitement fort complexes, dans leur capacité de

¹ F.C.E. SHANNON, « The mathematical theory of communication », Univ. Illinois Press, 1949.

lecture, d'enregistrement, de restitution très rapide d'un grand volume d'informations, dans la sécurité des traitements effectués. L'ordinateur nécessite de nouvelles méthodes d'organisation et la mise en œuvre de nouveaux moyens d'action.

L'introduction de l'ordinateur dans la recherche scientifique — et principalement pour l'objet de notre étude, dans la recherche économique — se présente comme une innovation fondamentale, comme « la mise à la disposition de l'économie d'une technique auxiliaire de portée instrumentale essentielle »².

La première utilisation caractéristique de l'ordinateur demeure le calcul simple. L'homme se décharge sur la machine de tous les travaux embarrassants, longs et difficiles de la résolution numérique des relations économiques. Les calculs automatiques ouvrent la voie à la préparation scientifique de la décision par les informations abondantes qu'ils apportent dans un laps de temps limité. Les chercheurs se sont aperçus aussi qu'un certain nombre de calculs spécifiques, impossibles à traiter manuellement, pouvaient l'être avec une célérité formidable lorsqu'ils étaient traités électroniquement. La théorie de la décision par exemple, nécessitant des informations élaborées en temps réel, ne présentait aucun intérêt pratique avant l'avènement de l'ordinateur. Enfin, avec l'aide fondamentale des techniques économétriques, les machines électroniques se sont avérées extrêmement efficaces dans la simulation de la conduite des systèmes sociaux.

L'apport de l'informatique dans les sciences sociales est multiple :

- L'informatique constitue un instrument de calcul précieux.
 - Elle incite l'homme d'action à la préparation scientifique des décisions économiques.
 - Elle permet l'amélioration de la puissance calculatrice de l'homme.
 - Enfin, elle ouvre la voie à l'expérimentation théorique.
- Nous nous limiterons à ces études, en laissant le vaste champ

² P. LIAU, « Note sur la recherche économique et l'informatique », *Economie Appliquée*, septembre 1969, p. 690.

futuriste des modèles cybernétiques et des recherches heuristiques³.

§ 1. L'INFORMATIQUE EST UN INSTRUMENT DE CALCUL PRÉCIEUX.

Le calcul automatique offre des avantages importants par rapport au calcul humain. La manière dont sont analysés les résultats, la présentation de documents impeccables, sous la forme désirée (courbes, graphiques, etc.) constituent des éléments intéressants, mais non fondamentaux de l'utilisation de l'ordinateur. Nous retiendrons quatre critères de choix entre le calcul électronique et le calcul humain : la rapidité, le coût, la simplicité et la sécurité.

A. Rapidité :

Les machines calculent très vite, sans commune mesure avec le calcul manuel. Cependant, la programmation est une tâche qu'ignore le calcul manuel. Elle peut engendrer des erreurs matérielles, elle nécessite un premier calcul manuel de vérification, elle retarde la connaissance des premiers résultats. Pourtant, le calcul électronique s'est développé de façon prodigieuse, non seulement pour les problèmes complexes, mais aussi et surtout pour les calculs simples répétitifs.

Deux cas sont à considérer :

- Si le programme de calcul existe déjà, il suffit de préciser les données du problème particulier. La durée de calcul est alors très faible. La durée globale est due essentiellement à la préparation des données et à l'attente de la machine.

- S'il est nécessaire de mettre au point un programme

³ A. KAUFMANN, M. FUSTER, A. DREVET, *L'inventique*, Entr. Mod. Ed., Paris, 1970.

A. KAUFMANN, *L'imagination artificielle*, R.A.I.R.O. Sie V. 1969.

R. LECLERCO, *Le raisonnement scientifique et sa mécanisation*, Dunod, Paris, 1969.

F. ZWICKY et A.G. WILSON, *New methods of thought and procedure*, Springer-Verlag., Berlin, 1967.

L. COUFFIGNAL, « Science économique et la cybernétique de l'économie », *Cahier I.S.E.A.*, n° 98, série W, n° 3, février 1960.

R. HYMES, *The use of computers in anthropology*, Ed. Mouton, 1969.

spécial, la préparation du calcul peut être plus longue. Quelquefois, cette préparation se présente comme un véritable investissement qui — si l'importance du résultat est considérable — sera très vite récupéré en temps par l'exécution électronique des calculs.

Dans certains problèmes économiques, la vitesse de calcul justifie à elle seule l'emploi de l'ordinateur. La rapidité d'obtention des résultats devient nécessaire lorsque ces résultats conditionnent une décision ou la poursuite d'une étude économique. Pour les calculs très complexes, l'utilisation de l'ordinateur constitue une obligation.

La rapidité des calculs permet de recommencer le même calcul avec plusieurs systèmes de données. Elle offre le choix et l'expérimentation.

B. Réduction du coût des calculs :

La définition du problème, son analyse numérique, la programmation, la mise au point entraînent des coûts fixes à amortir sur les calculs successifs qui utiliseront le programme. La préparation des données, les temps morts de prise en charge par la machine et l'exécution du calcul proprement dit sont à imputer à chacun des calculs.

Mais, dans certains cas, le raisonnement précédent n'est pas tout à fait exact. Par exemple, la résolution de systèmes d'équations linéaires, le calcul de coefficients de corrélation, sont souvent programmés par le constructeur lui-même. On peut, dès lors, négliger leur influence sur le prix du calcul. La combinaison du critère coût n'arrête le processus de détermination de la forme du calcul que dans la mesure où l'utilisation du calculateur n'engendre pas un prix supérieur à celui du calcul manuel, car le calcul électronique — de par sa rapidité — épargne un « temps de recherche » difficilement comptabilisable en termes monétaires.

C. Simplicité des calculs :

Il ne faut pas oublier l'influence qu'ont les machines sur les méthodes de travail. L'apparition de l'ordinateur a donné naissance à une nouvelle catégorie de spécialistes, capables de développer entièrement l'aspect numérique des problèmes. Ces spécialistes peuvent oublier le détail d'un calcul lorsque

le programme est au point. La machine se chargera de reproduire ce qui lui a été dicté. L'économiste n'a plus à être rebuté par les calculs numériques qui deviennent automatiques. Un calcul au point peut être exploité par un non-spécialiste. Et beaucoup d'économistes trouveront dans l'ordinateur une nouvelle foi dans les mathématiques et leur introduction dans l'économie.

D. *La sécurité des résultats :*

On a inclus dans la machine des circuits de vérification, destinés à arrêter la machine si une erreur est détectée, ces circuits étant basés sur la redondance des informations. La sécurité des calculs n'est limitée que par des raisons d'économie. On peut affirmer aujourd'hui que l'on est pratiquement certain d'un résultat fourni par la machine. Et si le résultat semble anormal, il convient de vérifier plutôt la programmation. Sachant qu'en l'état actuel des connaissances, l'erreur de programmation et l'erreur du calcul humain ont des ordres de grandeur comparables, il devient évident que l'ordinateur remporte le critère de sécurité.

Le chercheur décharge sur l'ordinateur la partie mécanisable de son raisonnement constituée par le calcul. Les modèles économiques rationnels généraux répondent à des impératifs pédagogiques et portent sur l'analyse économique pure de préférence aux solutions empiriques et numériques. L'introduction d'une variable dans le modèle se réalise lorsque la preuve est faite qu'elle exerce une influence fondamentale sur la conduite totale du système. L'informatique n'apporte pas d'information supplémentaire, car les études de ce type peuvent être résolues analytiquement. Ainsi, le modèle de Harrod⁴ ne peut être rendu plus réaliste par le calcul électronique, mais le modèle de Hicks-Samuelson⁵ possède de nombreuses caractéristiques des modèles économétriques complexes, ce qui lui confère un intérêt pédago-

⁴ R. HARROD, « An essay in dynamic theory », *The Economic Journal*, March 1939.

⁵ C.K. HICKS, « A construction of the theory of trade cycle », Clarendon Press, Oxford, 1950.

P. SAMUELSON, « Interactions between the multiplier analysis and the principle of acceleration », *R. Eco. Stat.*, May 1938.

gique exceptionnel exploité en de nombreuses occasions sur ordinateur. L'approche de Goux-Daloz intègre avec bonheur l'instrumentation informatique⁶ malgré son extrême simplicité. Ce type d'étude constitue une expérience intéressante, mais elle reste limitée de par sa trop grande simplicité qui rend sa résolution parfaitement concevable par les techniques traditionnelles⁷.

Les théories économiques sont insuffisantes pour l'organisation de l'action. L'informatique incite les économistes à la construction de modèles plus complexes et plus réalistes. L'économie s'engage dans une pragmatique ou théorie de l'action (théories de la politique économique et des programmes économiques) et dans une cybernétique ou théorie de l'action efficace. Le rôle de l'informatique dans la recherche économique tend à s'accroître, mais c'est l'expérimentation théorique des décisions qui donnera aux machines électroniques un rôle capital.

§ 2. L'INFORMATIQUE INCITE L'HOMME D'ACTION À LA PRÉPARATION SCIENTIFIQUE DES DÉCISIONS.

La théorie mathématique de l'information permet de mesurer le degré d'ordre d'une suite de résultats. A une extrémité apparaissent des structures régies par aucun ordre ; cette condition de désordre n'intervient que lorsque tous les résultats sont également probables. A l'autre extrémité, l'ordre parfait n'engendre qu'un seul résultat. Entre ces cas extrêmes, toutes les possibilités d'ordre que peut offrir une suite de résultats sont plausibles. Elles sont innombrables. L'information permet de limiter le désordre, de combattre l'entropie d'un système. L'action scientifique ne peut s'exercer réellement qu'à cette condition.

L'analyse théorique des phénomènes économiques doit aboutir à des propositions d'action. La construction des systèmes explicatifs se prolonge normalement par l'élaboration de systèmes opérationnels destinés à informer l'homme de l'impact de ses décisions.

⁶ C. GOUX, J.-P. DALOZ, *Macroéconomie appliquée*, Cujas, 1970.

⁷ J. FONTANEL, « Les techniques de simulation informatique dans l'analyse macroéconomique », thèse, Nanterre, 1974.

Une action s'exerce sur une surface limitée du milieu extérieur ; elle commence à un instant déterminé et sa durée est limitée ; son but réside dans la modification désirée de l'environnement. La préparation de l'action aboutit à un programme composé d'un ensemble d'actes élémentaires dont les réalisations successives sont présumées atteindre le but poursuivi. Il convient, ensuite, de prendre la décision d'agir, en fonction d'un jugement de valeur préalable. L'action sera efficace si elle conduit au but assigné. S'il n'y a qu'une seule possibilité d'action, la préparation de la décision devient inutile, ainsi d'ailleurs que toutes les procédures de planification. Mais le monde économique refuse en général ce déterminisme, et l'homme d'action doit recueillir toutes les informations utiles et disponibles pour choisir une politique sinon optimale, du moins efficace.

La décision se présente fondamentalement, en économie, comme la réponse à une information. Chaque fois qu'une information utile apparaît, le processus de décision est engendré. De même, sans formulation des décisions, l'information de base est sans valeur. Il existe un système de « feed-back » des informations toutes les fois que la perception de l'environnement conduit à une décision affectant cet environnement (fig. 1).

Le système comprend trois caractéristiques essentielles :

- 1) une structure qui explique les relations entre les différents sous-ensembles ;
- 2) des délais de disponibilité d'informations, de la décision basée sur l'information, et de la prise de décision elle-même ;
- 3) une amplification des décisions engendrée par l'information supplémentaire.

La rapidité constitue l'une des qualités essentielles de l'information. Ces décisions économiques impliquent la connaissance du désir (déterminé partiellement par la perception du monde réel), de l'état apparent des conditions actuelles (limité évidemment par des « time-lag » et des distorsions des sources d'information) et du processus de génération de l'action, qui tend à réduire l'écart entre état désiré et état actuel (fig. 2).

FIG. 1. — Dynamique de la décision

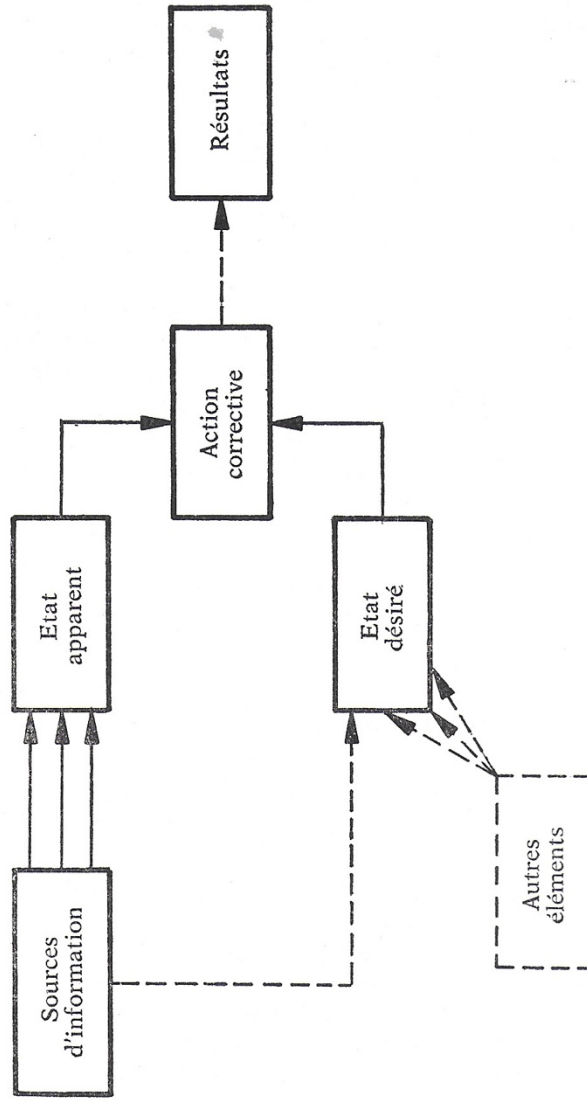
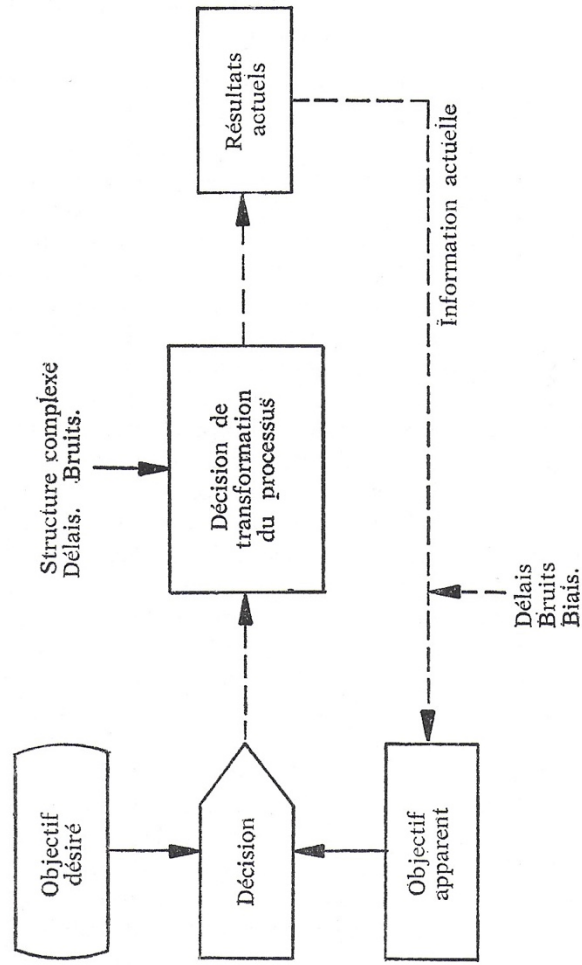


FIG. II. — Schéma sommaire de la décision



L'adéquation de l'état apparent-état désiré, réalisé par le catalyseur action correctrice, ne se présente guère sous le visage de la simplicité. Il paraît alors fondamental de posséder un « laboratoire décisionnel », constitué par le couple Informatique-Econométrie.

A. *Nécessité du traitement automatique des informations pour la décision :*

Une décision invoque des buts, la connaissance de faits partiels sur l'environnement et quelques déductions tirées de ces buts et de ces faits. L'organisation de la connaissance fait appel à tout moment à des fonctions de choix : choix d'une finalité, choix d'une stratégie, choix d'un opérateur.

Pour connaître et commander la stratégie qui transforme une situation A en une situation B, il ne suffit pas d'établir une liaison électronique entre l'information d'entrée représentant A et celle représentant B, car lorsque l'avenir est en cause, l'information incomplète devient l'hypothèse normale. On ne peut admettre non plus, *a priori*, que la qualité de nos décisions soit une fonction continue et sans cesse croissante du niveau d'information. Mais l'homme n'est pas capable de faire la synthèse de tous les éléments fondamentaux qui déterminent un système complexe. L'homme ne se présente guère comme un subtil et puissant calculateur des phénomènes dynamiques, impliquant des systèmes de feed-back de l'information. Le dirigeant reçoit des informations en très grand nombre, mais elles se présentent en vrac, non triées et peu condensées, ce qui les rend quasiment inexploitable. L'homme d'action connaît le type de décisions qu'il doit prendre, mais il dispose très rarement du modèle économétrique adéquat lui permettant de faire face à l'abondance des informations. Il ne connaît pas toujours les règles décisionnelles ou les éléments de contrôle nécessaires à l'action. Les modèles disponibles doivent obligatoirement donner des garanties de simplicité. Or, ce qui est simple trahit la réalité. Le couple complexité-rapidité, nécessaire à la décision, peut aisément être obtenu par la réalisation du couple Informatique-Econométrie. Dans les problèmes d'entreprises, chaque fois qu'une décision présente des processus suffisamment connus, elle devient automatique.

L'homme d'action utilise un certain nombre de techniques simples, lui permettant de déterminer, avec célérité, les politiques économiques adéquates, dans le domaine de la production, de l'emploi, etc. Mais, en aucun cas, il ne peut se servir des techniques complexes, pour lesquelles le temps de calcul s'avérerait trop élevé pour laisser la décision adaptée à son objectif. On ne peut nier non plus la disproportion flagrante entre le nombre de renseignements disponibles et la faculté pour un groupe de responsables de les assimiler et d'en tirer des conclusions satisfaisantes. C'est à ce niveau qu'apparaît le couple Informatique-Econométrie, dans sa potentialité de calculer rapidement les outputs de techniques complexes ; l'espace de temps entre la réception d'une information et l'action scientifique effective diminue au point de restituer l'information de manière quasi-instantanée et de laisser à l'homme le « time-lag » essentiel, dans le système de feed-back des informations. Pour les décisions stratégiques, le décalage entre le stimulus et la réponse devient l'apanage malheureux de l'homme.

En définitive, l'ordinateur engendre des outputs traités d'après un modèle proche de l'apparence des liaisons économiques, et une information historique des faits économiques accrue. La révolution mathématique a attiré l'attention sur la structure logique de la décision et sur la relation entre les fins désirées et des moyens limités. L'ordinateur illumine la relation entre l'information économique et cette structure logique. Il demande l'établissement d'objectifs non ambigus et ce faisant, il ouvre la discussion sur les buts poursuivis par la société. Le compagnon désirable du modèle informatisé, c'est l'algorithme qui rend possible la rapide élimination des plans non optimaux. Ce procédé consiste dans l'évaluation des décisions de façon à optimiser, à chaque instant, le rendement des objectifs. Si aucun algorithme ne peut être élaboré, l'énumération de toutes les possibilités reste possible. Le choix se porte alors sur deux critères : la satisfaction des contraintes et les valeurs des fonctions. Cependant, cette procédure s'avère rarement applicable dans l'analyse macro-économique. Actuellement, les théoriciens tentent de construire des fonctions d'utilité qui, plus tard, seront utili-

sables par les gouvernants. Mais les résultats restent encore très insuffisants⁸. Mis à part les problèmes de l'optimisation, dérivés de techniques spécifiques, le couple Informatique-Econométrie ne détermine pas les meilleurs résultats dans l'absolu, mais il ne favorise plus implicitement une politique économique dans le contexte de la planification.

Il ne faut pas chercher plus loin l'intérêt porté par les planificateurs économiques aux techniques informatiques.

B. *Le laboratoire décisionnel :*

L'économiste se libère graduellement de l'impossibilité de se livrer à l'expérimentation. Le couple Informatique-Econométrie constitue un véritable laboratoire expérimental, par ses facultés de résolution des solutions numériques des politiques alternatives ou de mise en évidence des décisions adéquates en fonction d'un but défini. Pour ce faire, il doit être capable de représenter — au moins — le squelette complexe fondamental des structures de décision, compte tenu du comportement des agents impliqués dans le processus de l'action.

Une telle démarche nécessite :

— Le recueil d'informations portant sur l'établissement des objectifs, la construction du modèle, l'état du système, les directives, le contrôle (information feed-back) (fig. 3).

— La conceptualisation convenable de la décision et la signification des politiques décrivant le processus de décision.

— La formalisation des structures complexes du système étudié, eu égard aux objectifs.

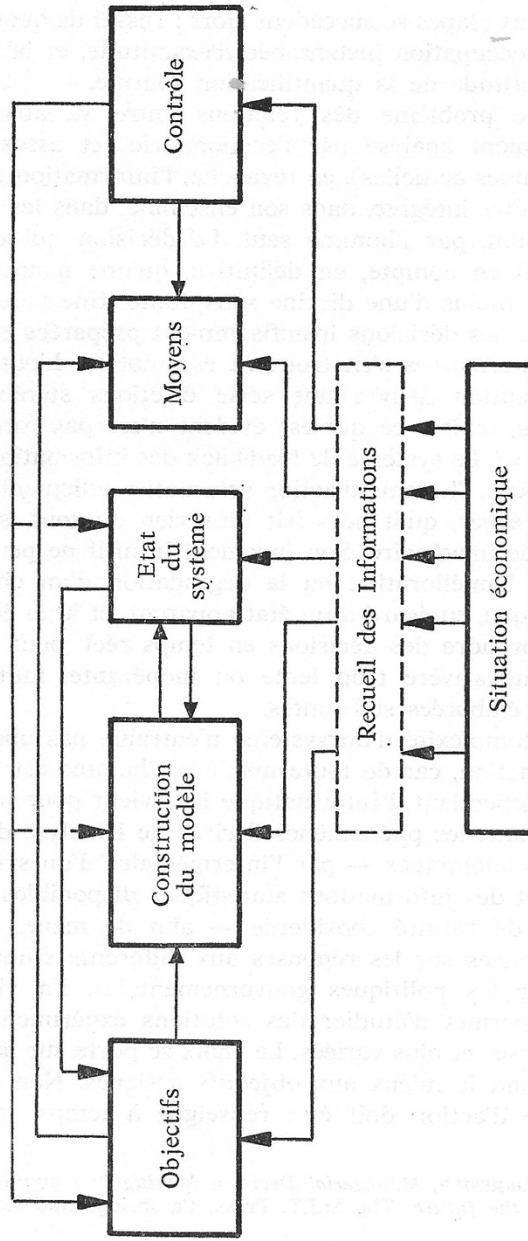
— La perception de l'impossibilité actuelle d'obtenir un haut degré d'exactitude dans la représentation de l'action économique, liée à la recherche de résultats relatifs.

— L'utilisation optimale des avantages de l'expérience, de l'information descriptive nécessaire, des données numériques et de la statistique formelle.

— Le scepticisme sur l'impossibilité de quantifier les règles de décision. La perte d'exactitude descriptive n'empêche pas de quantifier nos idées sur les politiques économi-

⁸ Cf. les travaux de la Brookings Institution.

FIG. III. — Organisation du recueil d'informations



ques. Deux étapes se succèdent alors : l'essai de quantification sans préoccupation instantanée d'exactitude, et la recherche de l'exactitude de la quantification fournie.

Si le problème des relations entre variables semble correctement analysé par l'économétrie (et assez mal par les machines actuelles), en revanche, l'information disponible ne peut être intégrée, dans son ensemble, dans les processus de décision, par l'homme seul. La décision qui en résulte ne prend en compte, en définitive, qu'une quantité infime d'inputs, moins d'une dizaine sans doute. Une telle situation engendre des décisions insuffisamment préparées et les politiques alternatives s'en trouvent escamotées. L'output d'une telle situation délivre une série d'actions stéréotypées et évidentes, mais « ce qui est évident n'est pas forcément le meilleur »⁹. Le système de feed-back des informations s'avère si complexe, l'homme d'action schématise tellement la réalité pour la saisir, qu'il ne saisit plus rien du tout, si ce n'est un monde imaginaire. Son jugement intuitif ne peut souvent affirmer l'amélioration ou la dégradation d'un changement de politique, eu égard à un état apparent, et à un état désiré. Il doit prendre des décisions en temps réel pour lesquelles la logique s'avère trop lente ou inopérante, faute d'informations élaborées suffisantes.

La complexité d'un système n'entraîne pas une impossibilité d'action, car de toute manière, l'homme est condamné à agir. Cependant, l'Informatique intervient pour prendre en compte tous les phénomènes dérivés de l'analyse des phénomènes économiques — par l'intermédiaire d'un système formalisé et des informations statistiques disponibles sur l'état présent de l'entité considérée — afin de mener une série d'expériences sur les réponses aux différents stimuli constitués par les politiques gouvernementales. La vitesse des calculs permet d'étudier des solutions expérimentales plus nombreuses et plus variées. Le choix se porte sur la politique qui répond le mieux aux objectifs assignés. Non seulement l'homme d'action doit être renseigné à temps, mais il lui

⁹ J. FORRESTER, *Managerial Decision Making in computers and the world of the future*, The M.I.T. Press, Cambridge and London, 1962, p. 63.

TABLEAU I

*Schéma du feed-back des informations
selon les opérateurs, à égalité d'information*

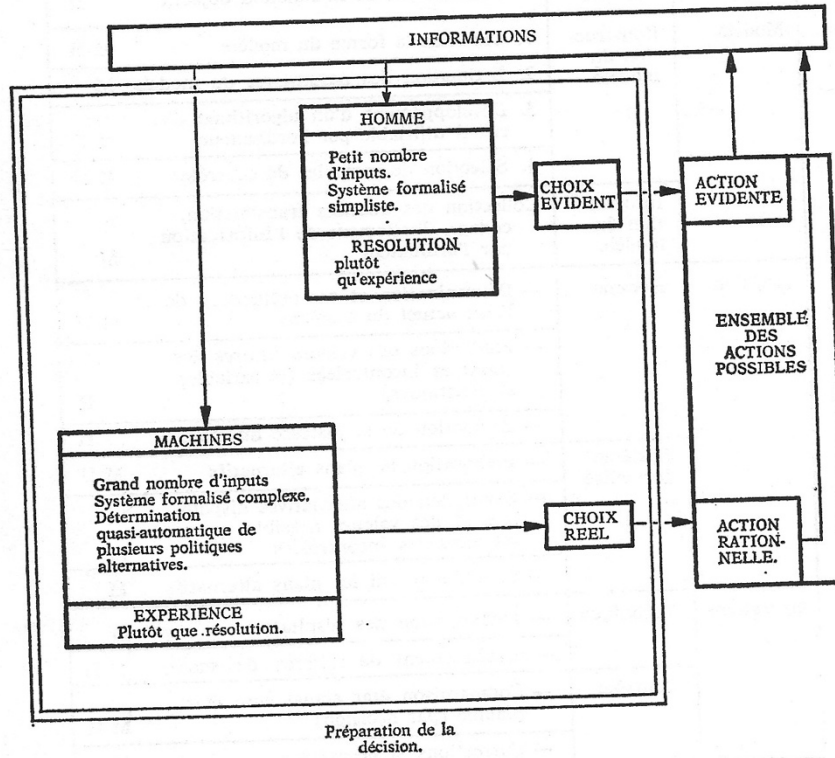


TABLEAU II

Type de modèle de décision macroéconomique

Stades	Formulation Objectif	1. Sélection d'un assortiments d'objectifs	H
		2. Formulation de la fonction objectif	H
Modèle	Construction du modèle	1. Choix de la forme du modèle	M H
		2. Estimation des paramètres du modèle	M
		3. Développement d'un algorithme de calcul utilisable par l'ordinateur	M H
		4. Sélection de variables de contrôle	M H
	Information du modèle	Collection des données transmission, codage. Traitement de l'Information par l'ordinateur	M
Décision	Homme	- Détermination et compréhension de l'état actuel du système	M H
		- Prédications des valeurs futures des variables incontrôlées (\neq variables stochastiques)	H
		- Evaluation de la justesse du modèle	H
	Système formalisé	- Elaboration de plans alternatifs	M H
		- Evaluation des alternatives disponibles et des valeurs possibles pour les variables incontrôlées	M
		- Sélection parmi les plans alternatifs	M
Opérations	Technique	- Transmission des résultats	M
		- Etablissement de critères de succès	M H
	Contrôle	- Comparaison état actuel avec état planifié (par décision)	M H
		- Corrections si nécessaires	M

H = du ressort de l'homme.

M = Mécanisable.

M H = Mécanisable en partie.

faut fournir une réponse rapide, c'est-à-dire avec un retard suffisamment réduit pour être insensible et non gênant. Le dépassement du goulot d'étranglement s'effectue du choix évident au choix rationnel, dans le temps nécessairement limité de la boucle information-action (voir tableaux 1 et 2). « Un grand nombre d'opérations seront mécanisées et automatisées ; des vérifications en série seront incluses dans l'ordinateur, et cela laissera les planificateurs libres de se consacrer aux travaux analytiques véritables. »¹⁰

§ 3. L'INFORMATIQUE PERMET LE DÉVELOPPEMENT DE LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE ET DES ALGORITHMES ÉCONOMIQUES SPÉCIFIQUES.

Il n'est pas possible de faire une étude exhaustive des techniques économiques, eu égard à l'introduction de l'ordinateur dans les méthodes quantitatives des sciences sociales. L'informatique suscite le développement d'algorithmes qui, sans elle, présenteraient un intérêt limité aux seuls problèmes simples. Il ne faut pas, certes, attendre de miracles des machines, car elles ne peuvent exécuter que les travaux entièrement définis par le chercheur. La recherche opérationnelle se présente comme un « complexe méthodologique faisant appel aux méthodes mathématiques de la statistique, de la simulation et de l'optimisation ainsi qu'aux divers procédés qui s'y rattachent »¹¹. En fait, les techniques informatiques influent sur la recherche opérationnelle et sur certaines techniques spécifiques du calcul économique (tableau Leontiev).

A. Méthode d'appréhension des phénomènes sociaux :

Nous ne pouvons pas analyser toutes les méthodes d'appréhension des phénomènes économiques qui sont améliorées en qualité et en utilisation par l'introduction de l'informatique. Si l'ajustement de données expérimentales à une loi théorique s'avère impossible, l'analyste assimile

¹⁰ J. KORNAL, « Mathematical planning of structural decisions », *North Holland Publ. Co.*, Amsterdam, 1967, p. 425.

¹¹ P. DUSSAULT, « Contrôle interne et informatique ». Coll. : « La vie de l'entreprise », Dunod, Paris, 1969.

les fréquences observées aux probabilités d'une loi expérimentale. Celle-ci se présente alors sous la forme de tables numériques; ce procédé n'engendre aucun inconvénient majeur pour l'ordinateur, mais rend difficile, sinon impossible, l'emploi des méthodes analytiques. Cette constatation explique la quasi-inexistence de modèles stochastiques opérationnels avant l'apparition de l'informatique.

La génération de variables aléatoires présente de nombreux problèmes de calcul, lorsqu'un modèle, dans son essence, s'avère stochastique. L'ordinateur peut facilement prendre en compte les éléments aléatoires. Ainsi, le modèle de Klein-Golberger¹², repris par I. Adelman¹³, implique deux séries de perturbations au hasard: un « choc » indépendant imposé chaque année, 1) aux valeurs extrapolées des variables exogènes, et 2) sur chacun des résultats empiriques des équations. Ces variables aléatoires ne sont pas en corrélation et sont normalement distribuées avec une espérance mathématique égale à zéro et un pourcentage constant de déviation-standard, calculé pour chaque variable à partir des erreurs des équations respectives pendant la période échantillon. Certes, il existe, en ce domaine, des méthodes d'analyse mathématique, mais la puissance de l'ordinateur permet de prendre en compte la complexité d'un modèle, avec la nécessaire rapidité des solutions. La génération des nombres au hasard par l'ordinateur modifie le contenu des modèles stochastiques, qui, de trop simples, peuvent s'enhardir dans des assortiments d'équations plus larges et plus complexes.

Les méthodes itératives bénéficient aussi du couple Informatique-Econométrie. Le principe utilisé est simple: l'obtention d'une valeur approximative de la solution d'un calcul sert de base à l'amélioration progressive des résultats. Ces méthodes conviennent parfaitement au calcul automatique, qui peut conserver les valeurs approchées dans les mémoires de la machine.

Cette méthode d'approximations successives pose, pour

¹² KLEIN-GOLDBERGER, « An econometric model of the United States 1929-1952 », *North Holland Publi. Co.*, Amsterdam, 1959.

¹³ I. ADELMAN, « Long cycles — a simulation experiment », p. 158-175; « Symposium on simulation models », Cincinnati, *South Western Publishing Co.*, 1963.

d'autres approches logiques, le problème important de l'arrêt du calcul. La décision imposée pour les modèles complexes informatisés s'avérera d'un autre niveau que la précision exigée pour des modèles économiques simples. Il n'est pas hasardeux d'affirmer que cette méthode ne peut se développer largement dans l'étude des phénomènes macro-économiques qu'avec l'apparition du couple Informatique-Econométrie.

B. Le tableau de Leontiev :

Le tableau de Leontiev ambitionne la comptabilisation la plus exhaustive possible de toutes les ressources et emplois des biens et services disponibles. Il résume quantitativement les échanges qui se produisent entre les secteurs d'un ensemble économique. Par l'intermédiaire de cette « matrice », il est facile de poser les équations qui lient les consommations et les productions des divers secteurs. Elle permet non seulement la représentation schématique des relations structurelles existant entre les différentes branches d'une économie nationale, mais aussi de fournir un moyen de prévision fondamental indispensable à la planification économique.

Deux types d'études prévisionnelles peuvent être résolues avec cet instrument :

— Etant donné un objectif de production disponible des branches, il est possible de calculer la demande finale future D en produits de ces branches. Appelons X la matrice de la production disponible, A la matrice des coefficients techniques et Y la matrice de la demande finale future. Le tableau de Leontiev donne l'équation fondamentale :

$$X - AX = Y,$$

soit : $(1 - A)X = Y$.

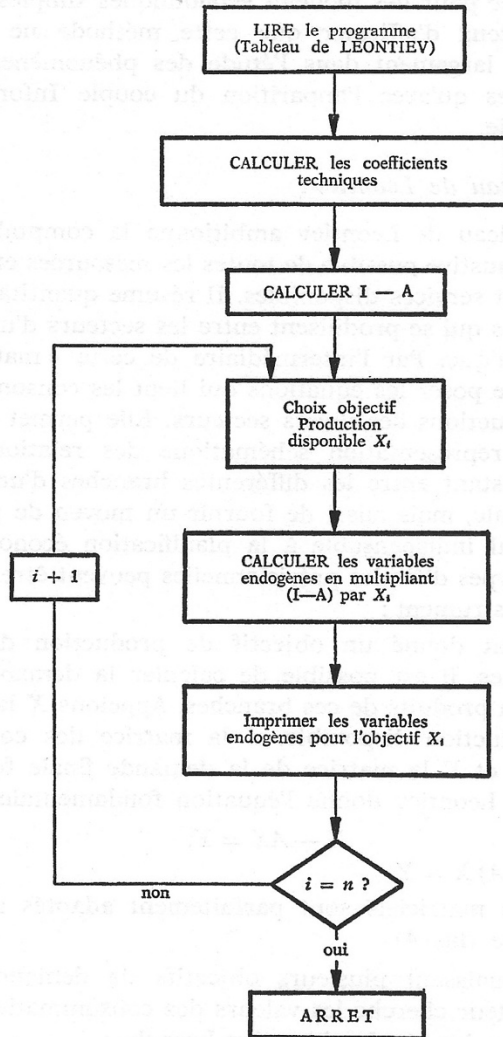
Les calculs matriciels sont parfaitement adaptés au calcul électronique (fig. 4).

— Connaissant plusieurs objectifs de demande finale, le planificateur cherche les valeurs des consommations intermédiaires et les productions par branche :

$$\begin{aligned}(1 - A)X &= Y \\ X &= (1 - A)^{-1} Y.\end{aligned}$$

FIG. 4

Organigramme simplifié de la détermination de la demande finale futu
Plusieurs objectifs



Le calcul pratique d'une matrice inverse représente un travail considérable dès que le nombre de lignes et de colonnes croît. Pour n lignes et n colonnes, le nombre de coefficients techniques à calculer et à inverser est égal à n^2 . Le nombre d'opérations varie avec les méthodes, selon le choix effectué entre la rapidité, le coût et la précision. Pour le calcul électronique, le temps minimum ne correspond pas toujours au nombre minimum d'opérations arithmétiques, mais les « balayages méthodiques » sont grands consommateurs du temps de la machine (fig. 5).

Si le système ne doit être résolu qu'une seule fois, il est plus long d'inverser la matrice que de chercher la solution par les procédés classiques de l'élimination (fig. 6). Par contre, si de nombreuses hypothèses de demandes finales sont suggérées par les planificateurs, il convient de réaliser l'inversion.

Le recours aux machines n'empêche pas la recherche d'algorithmes réduisant le temps d'utilisation de la machine¹⁴. Plusieurs types d'organigrammes apparaissent, dont le choix repose à la fois sur le type d'analyse et les critères précision-coûts-rapidité.

Avec des machines à calculer à main, il n'est pas possible de résoudre un tableau carré de Leontiev d'une dizaine de lignes et de colonnes. Au-delà de la centaine, seuls les ordinateurs sont capables d'aborder des calculs considérés jusqu'alors irréalisables.

C. La programmation linéaire :

La programmation linéaire, formulation mathématique commune à de nombreux problèmes économiques, devient impraticable manuellement dès que le nombre de variables et de contraintes dépasse la dizaine. Il est nécessaire alors, malgré les algorithmes de résolution, de disposer d'un calculateur électronique. Diverses variantes de la méthode du simplexe ont été développées, telles que la « matrice inverse » ou la « mise en facteur de l'inverse ». Elles reposent sur des organisations de calcul différentes et ont pour objectifs

¹⁴ A. PIATIER, « Statistique et observation économique », *Themis*, P.U.F., Paris, 1961, p. 886-903.

Organigramme simplifié de la détermination de la production disponible par branches (plusieurs objectifs).

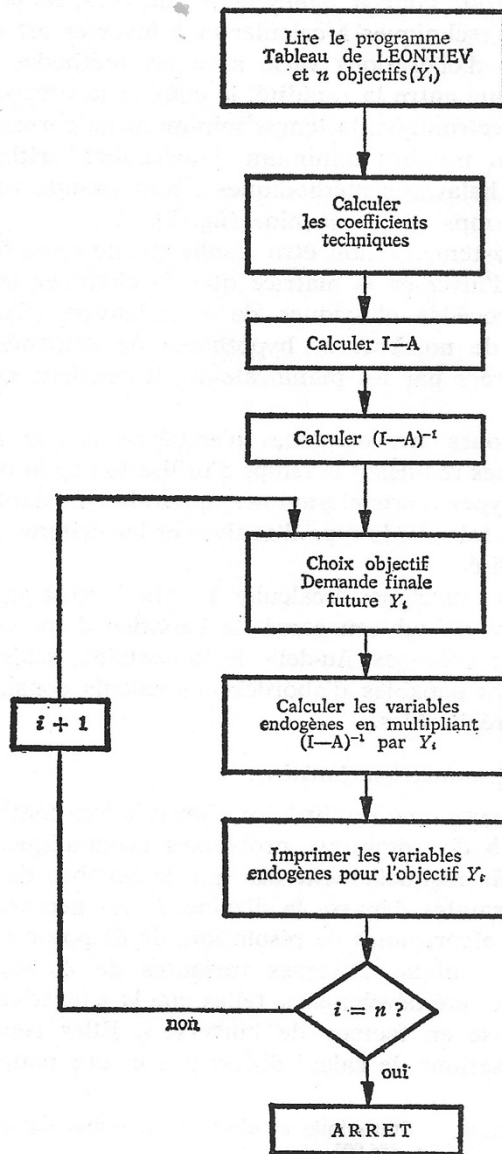
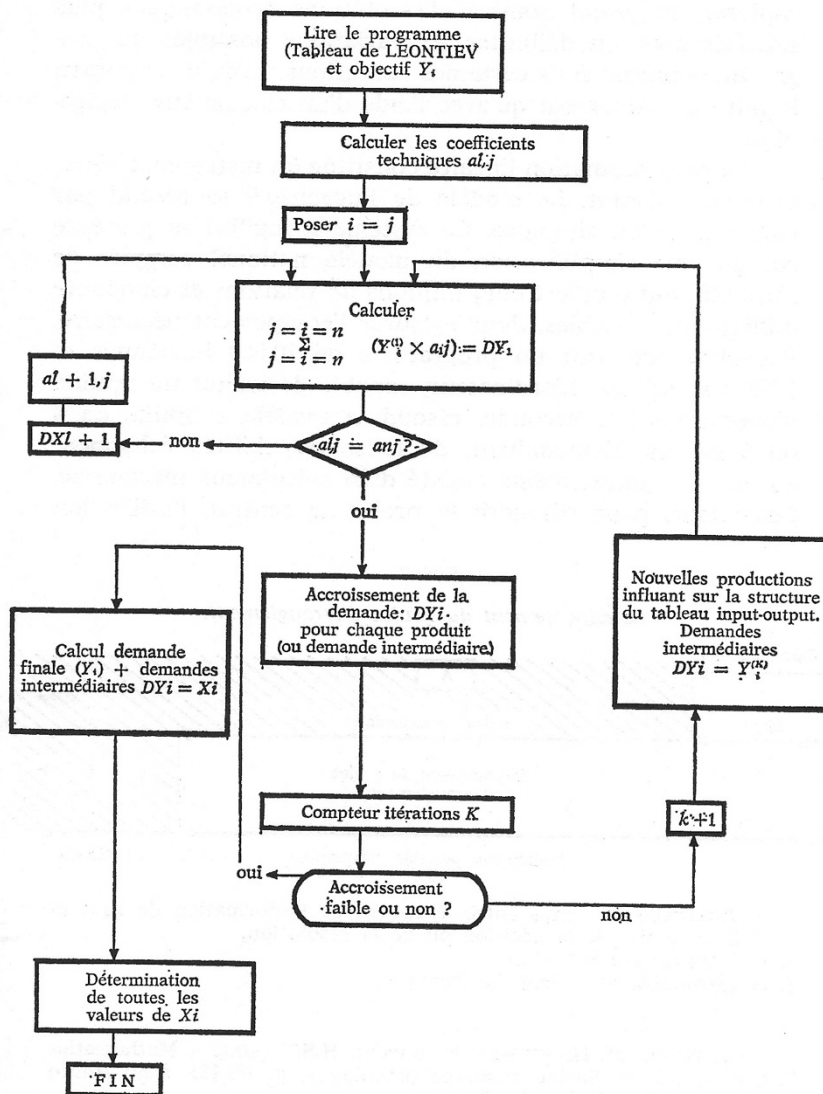


FIG. 6

Organigramme simplifié de la détermination de la production disponible par branche (processus itératif).

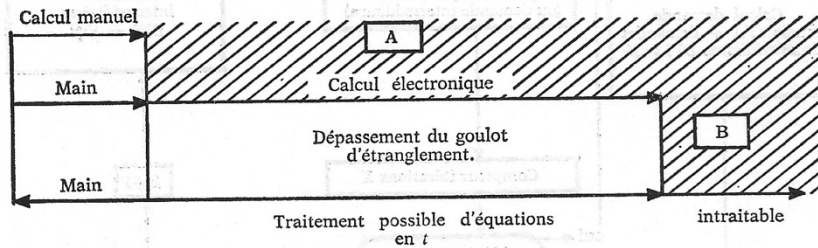


la réduction du temps de calcul et le traitement de programmes de plus grandes dimensions. Si pour se rapprocher de la réalité, le chercheur doit procéder à la paramétrisation de la fonction de production par exemple, il peut, en théorie, explorer un grand nombre de solutions économiques plus satisfaisantes, ou délimiter les variations possibles du programme optimal sous certaines conditions, mais il ne pourra le faire pratiquement qu'avec l'aide d'un calculateur électronique.

La programmation linéaire constitue un instrument extrêmement puissant. Le modèle de Pugachev¹⁵ se résoud par l'algorithme du simplexe. Ce système formalisé se présente comme une simplification du modèle national complet de l'U.R.S.S. qui requiert cinq millions de relations et cinquante millions de variables. Pour mesurer l'équipement nécessaire, Pugachev construit un programme de 10 000 inconnues et 1 000 contraintes. L'ordinateur, capable de traiter un million d'opérations par seconde, résoud le modèle simplifié en 4 ou 5 heures. Evidemment, de telles possibilités échappent au calcul manuel, même assisté d'un calculateur mécanique. Cependant, pour résoudre le problème central, l'utilisation

FIG. 7

Le dépassement du goulot d'étranglement.



t = Intervalle de temps entre le recueil de l'information de base et la nécessité de la décision ou de la résolution.

A = Intraitable à la main.

B = Intraitable au calcul électronique.

¹⁵ J. HARDT, M. HOFFENBERG, N. KAPLAN, H.S. LEVINE, « Mathematics and computer in Soviet economic planning », p. 181-183. *New Haven and London Yale University Press.*

de la méthode de simplexe exige des calculs équivalents à 125×10^9 modèles simplifiés. Même si les coefficients forment une matrice diagonale par bloc, 15×10^6 problèmes standards sont exigés. Il convient alors de simplifier soit par l'agrégation soit par l'élaboration d'un nouvel algorithme. Le goulot d'étranglement constitué par le calcul manuel est déplacé. L'homme se libère de certaines limitations pour les porter à un niveau plus élevé (fig. 7).

La programmation linéaire demande, pour son développement dans l'analyse macro-économique, l'intervention de l'instrumentation informatique.

De nombreux progrès ont été réalisés dans les domaines de la programmation dynamique et de la théorie des graphes, du PERT, sans insister sur le développement considérable de la théorie des jeux, dans le champ des probabilités et de l'aléatoire. L'informatique permet d'aller plus loin par l'expérimentation théorique.

§ 4. L'INFORMATIQUE DÉVELOPPE L'EXPÉRIMENTATION THÉORIQUE DES PHÉNOMÈNES ÉCONOMIQUES.

Un modèle est une formalisation d'idées ou de théories sur les mécanismes économiques et sociaux. C'est un guide précieux, voire indispensable pour le raisonnement, même s'il ne formalise que partiellement la réalité. L'informatique accroît considérablement le rôle de la modélisation et des méthodes quantitatives. Ainsi, si l'instrumentation informatique peut résoudre les modèles simples, son impact s'avère incontestablement plus consistant, car elle incite et permet la construction de modèles complexes et de simulations. Le couple Informatique-Econométrie supprime partiellement le goulot d'étranglement constitué par la formalisation sérieuse de la complexité. Sans l'intervention de l'ordinateur, les économistes établissent soit des modèles complexes insolubles et donc invérifiables, soit des représentations si schématiques qu'elles entrent dans le domaine de l'inutile. Le choix entre les couples réalité-complexité et simplicité-irréalisme n'existe plus au même niveau. La nouvelle schématisation de l'économie se place au-dessus du couple réalité-complexité de l'ère manuelle.

A. *La diversité des approches* ¹⁶ :

Les modèles mathématiques n'offrent, en général, qu'une solution qui détermine l'optimum. Le couple Informatique-Econométrie décrit la configuration générale du système réel, mais seule la réalisation de toutes les expériences possibles engendre la recherche de l'optimum ; cette démarche n'est pas inhérente au couple lui-même. Le couple Informatique-Econométrie est un « mode d'analyse » qui détermine une approximation du système réel permettant une expérimentation théorique des phénomènes économiques. Cette méthode n'est pas aussi élégante que l'approche déductive pure, son coût est plus élevé, mais les systèmes complexes empêchent toute résolution mathématique. De plus, le couple Informatique-Econométrie génère plusieurs expériences théoriques du système réel. Les résultats économétriques peuvent être utilisés comme point de départ du système, alors que l'inverse est très rare. Les conclusions dérivées de ce mode d'analyse prennent la forme de valeurs numériques spécifiques. Seul le couple Informatique-Econométrie peut traiter ces problèmes complexes ; en l'occurrence, il se présente comme l'interprétation numérique des modèles économétriques. La présence de l'ordinateur engendre un type de modèle particulier, défini par une complexité qui échappe aux investigations des méthodes deductives. Nous citerons, à titre d'exemple, le modèle de Klein-Goldberger ¹⁷, le modèle FIFI ¹⁸ ou le modèle O.B.E. ¹⁹.

Mais l'apport de l'informatique peut être plus substantiel. Sans insister sur les simulations analogiques, très intéressantes d'un point de vue méthodologique, mais décevantes

¹⁶ J. FONTANEL, « Les techniques de simulation informatique dans la pensée macroéconomique », thèse, *Univ. Nanterre*, février 1974.

¹⁷ KLEIN-GOLDBERGER, « An econometric model of the United-States 1929-1952 », *North Holland Publ. Co.*, Amsterdam, 1969. Dans le même ordre d'idée, cf. EVANS-KLEIN, « The Wharton econometric forecasting model », *Wharton School Philadelphia*, 1967.

¹⁸ M. AGLIETTA et R. COURBIS, « Un outil pour le Plan : le modèle FIFI », *Economie et statistique*, mai 1969 ; M. AGLIETTA et C. SEIBEL, « L'utilisation du modèle FIFI dans *La planification française*, Nations Unies, Varna, 1970.

¹⁹ LIEBENBERG-HIRSC-POPKIN, « A quarterly econometric model of the U.S. », *Survey of Current Business*, May 1966.

du point de vue pratique, il convient d'indiquer la puissance de la simulation digitale, qui peut se définir sommairement comme l'union de l'informatique, de l'économétrie et de « quelque chose de plus » ; celui-ci se trouve aux confins de la méthodologie, mais, pour les simulations les plus évoluées, la formalisation économétrique perd de son importance au profit de la programmation ou de l'organigramme logique. Les chercheurs construisent des systèmes formalisés qui ne peuvent pas toujours être transcrits en termes algébriques ; ils font appel alors à des instruments d'analyse formelle, à quelques structures mathématiques, et à l'analyse numérique. Cette approche n'indique pas que de puissantes méthodes mathématiques ne peuvent résoudre ces systèmes, mais, sauf dans le cas d'un coût trop élevé, la simulation digitale reste intéressante. La simulation digitale stipule aussi l'analyse dynamique du système ; celle-ci conduit à conserver pour variables retardées les variables endogènes générées par la simulation. L'utilisation successive de la méthode analytique et de la méthode synthétique complète la procédure, la première cherchant le pourquoi des phénomènes, la seconde vérifiant les hypothèses émises. Quelques études de simulation ont été réalisées, mais aucune, à l'heure actuelle, utilise toutes les possibilités de la méthode. Signalons les travaux de la Brookings Institution²⁰, Paelinck²¹, et surtout de Holland²² qui débuta par la simulation analogique²³.

La simulation démographique de G. M. Orcutt (et autres) repose sur des micro-composantes²⁴. Elle répond correcte-

²⁰ DUSENBERRY et AUTRES, « The Brookings SSCR Quaterly econometric model of the U.S. », *Rand Mac Nally*, Chicago, 1965 ; DUSENBERRY et AUTRES, « The Brookings model. Some further results », *North Holland Publ. Co.*, Amsterdam, 1969 ; FROMM et TAUBMAN, « Policy simulation with an econometric model », *North Holland Publ. Co.*, Amsterdam, 1968.

²¹ J.H.P. PAELINCK, « Un modèle dynamique de simulation et contrôle de l'économie belge », *Rivista Internazionale di scienze economiche commerciali*, vol. 16, March 1969.

²² HOLLAND et GILLESPIE, « Experiments on a simulated underdeveloped economy », *M.I.T. Press*, 1963.

²³ E.P. HOLLAND, « An analog model of an economy beginning to develop », *M.I.T. Press*, 1958.

²⁴ G.M. ORCUTT, M. GREENBERGER, J. KORBEL, A. RIVLIN, « Micro-analysis of socio-economic system. A stimulation study », *A Harper International Reprint*, Harper et Row, New York, September 1965.

ment au concept de simulation classique, en intégrant le calcul des probabilités et une approche micro-économique. Les individus et les combinaisons d'individus comme les couples mariés et la famille servent de composantes de base du modèle. A partir de la population initiale, le « modèle informatique » génère les changements mensuels du nombre de familles, de la taille et de la structure de chaque unité. Ce modèle peut être représenté comme un chaîne de Markov, mais il ne peut être résolu par les méthodes standards développées avec la formulation markovienne. Si nous restreignons notre étude de la démographie américaine aux seules composantes du sexe, état marital (de cinq types : mariés, célibataire homme, célibataire femme, homme antérieurement marié et femme antérieurement mariée), et neuf classes d'âge enfants et neuf classes d'âge adultes, le nombre de classifications grimpe de deux à plusieurs millions. Considérons, par exemple, la probabilité d'être le neuvième enfant de père et mère vivants et mariés, en supposant que les deux parents aient 30 ans au minimum ; il reste $6 \times 6 = 36$ combinaisons possibles de classification du couple selon l'âge.

Puisqu'il y a 9 classes d'âge chez les enfants, C_9^{18} sera le nombre de combinaisons possibles âge-sexe-neuf enfants — sachant qu'il y a deux races et qu'il n'existe qu'une catégorie d'état marital. Le nombre de mémoires prises par le modèle est énorme si l'on tient compte de toutes les possibilités ; d'autant plus qu'il faudrait ajouter : l'intervalle entre le mariage et les naissances, le divorce, les décès et le nombre de naissances vivantes de la femme, etc. Le nombre de classifications dépasse les capacités humaines. Or, le modèle informatique peut donner des résultats mois par mois et inclure de très nombreuses sous-catégories exclues dans cette analyse.

L'ordinateur constitue l'instrument fondamental, sans lequel il serait vain d'espérer la réalisation de l'expérimentation théorique.

B. Aspect opératoire du couple Informatique-Econométrie :

Le couple Informatique-Econométrie permet de faire calculer à un ordinateur une succession de processus d'un

système social complexe sous certaines hypothèses et contraintes. Il exige l'établissement d'un ensemble d'équations constituant le modèle abstrait de la réalité et la connaissance des informations numériques indiquant le comportement effectif des populations.

- 1^{re} phase : statistique et formalisation.

Cette phase nécessite la définition claire du problème, le recueil des données, la formalisation mathématique et l'évaluation du modèle et des paramètres. A l'aide de la théorie, il est possible de mener une étude réaliste du système économique, en identifiant les parties fondamentales du système et en les reliant fonctionnellement. Lorsque le problème est bien défini, l'étude quantitative des phénomènes conduit, en fonction des disponibilités d'informations, à l'étude d'un premier modèle approximatif et simplifié. Dès lors, il convient de réaliser le travail économétrique nécessaire, et d'évaluer, avant de procéder à l'informatisation du système, la qualité théorique et empirique du système, par le biais de tests de validité portant sur la cohérence interne du modèle et sur ses qualités d'ajustement statistique.

- 2^e phase : intervention de l'ordinateur.

Le modèle accepté est transcrit dans un langage compréhensible à l'ordinateur. Trois étapes fondamentales se dégagent :

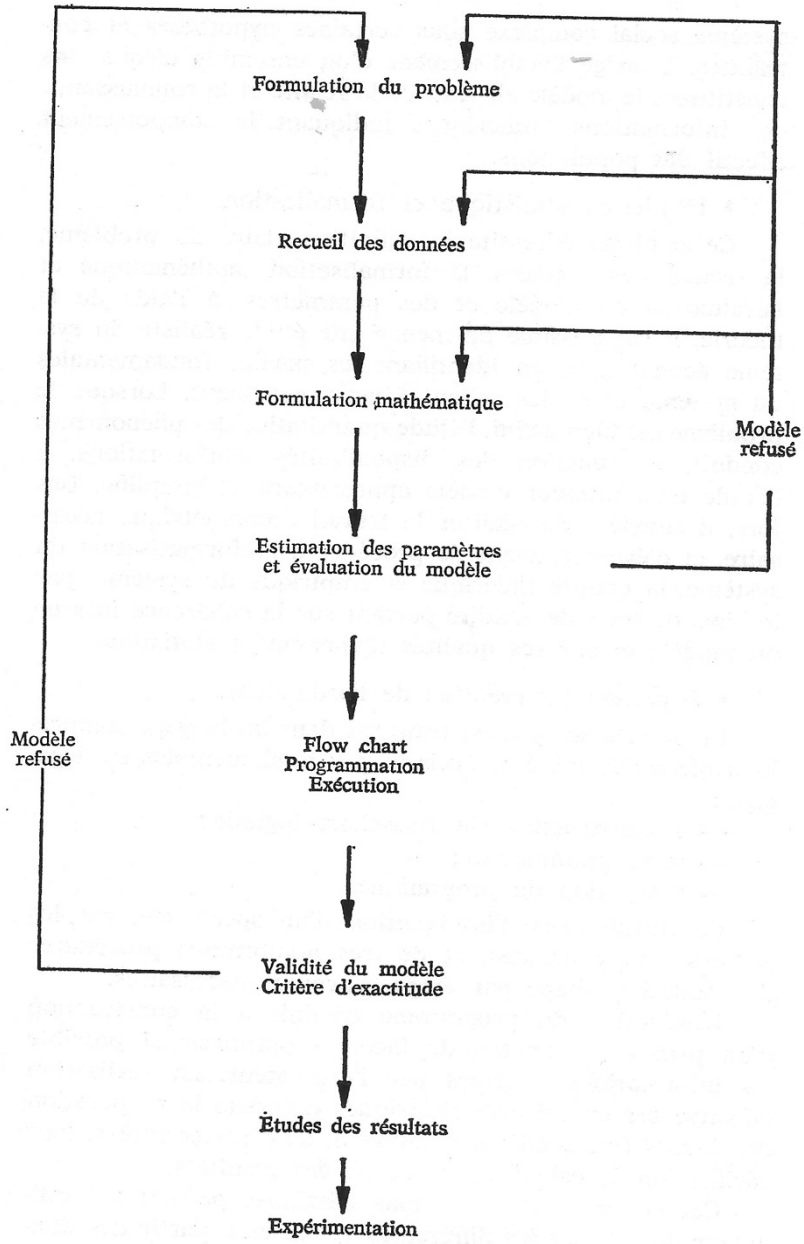
- la construction du flow-chart logique ;
- la programmation ;
- l'exécution du programme.

Ce travail exige l'intervention d'un spécialiste, car les erreurs sont courantes, et de très nombreuses procédures de validation, étape par étape, s'avèrent nécessaires.

L'exécution du programme conduit à la construction d'un plan expérimental, de façon à optimiser si possible les informations générées par l'ordinateur. La réalisation effective des expériences théoriques nécessite la préparation des inputs (ou conditions initiales), leur transcription, leur vérification, le calcul, et le recueil des résultats.

Cet ensemble d'instructions détaillées permet à l'ordinateur de calculer les différentes variables à partir des don-

*Mode opératoire général du couple
informatique-économétrie.*



nées numériques fournies, ainsi que leurs variations dans le temps.

- 3^e phase : étude des résultats.

Trois sous-phases s'avèrent obligatoires : le problème de la validité, l'analyse des outputs et l'expérimentation proprement dite. Il faut tester le modèle. L'inadéquation modèle-réalité implique la modification de valeurs intuitives de certaines informations ou de certains paramètres, mais aussi de quelques équations économétriques trop éloignées de la réalité. La première simulation constitue une mise au point. Il convient de rendre le modèle valide. Le processus itératif est donc nécessaire.

Lorsque la validité du modèle est affirmée (ou plutôt supposée), l'expérimentation peut alors apparaître. Une étude prévisionnelle peut être menée en calculant sur un court intervalle de temps les différentes variations attendues du modèle quantitatif. L'ordinateur donne un nouvel ensemble de variables quantifiées, qui, dans le cas des variables retardées, est extrapolé, afin d'obtenir les valeurs des variables de l'incrément de temps suivant. Les résultats de chaque expérience se présentent sous la forme d'un tableau de variables dépendantes du temps.

Le couple Informatique-Econométrie permet de tester les politiques gouvernementales suivant les diverses hypothèses sur le cheminement temporel des variables exogènes (ou instrumentales). La simulation n'optimise aucune solution, mais elle peut orienter l'action des responsables dans la mesure où toutes les variables principales de la société appartiennent au modèle sous-jacent.

C. Contributions majeures du couple Informatique-Econométrie.

— Le couple Informatique-Econométrie lutte contre les simplifications abusives qui jalonnent les théories des sciences humaines et des modèles en particulier.

— Il nécessite des mathématiques assez simples. Les équations n'ont nul besoin d'être linéaires. L'ordinateur sert aussi de calculateur puissant.

— Il se présente comme un outil pédagogique exceptionnel, offrant de réelles possibilités d'expérimentation. Les études strictement pédagogiques sont encore très rares en ce domaine, malgré les approches d'Attiyeh et Brainard²⁵ et Fontanel²⁶.

— Il améliore l'analyse des informations. Il incite les statisticiens à améliorer leurs données liées à des besoins précis. Ainsi, la Brookings Institution a pu recueillir une masse d'informations impressionnante, parfois non publiée, parfois calculée par ses propres moyens.

— La simulation peut servir de laboratoire aux décisions des gouvernements. Le modèle FIFI a pour ambition d'aider la concertation des agents économiques dans les Commissions de Modernisation du VI^e Plan.

— Le couple Informatique-Econométrie permet l'utilisation cumulative des connaissances. Ainsi, le modèle FIFI servira de base au prochain modèle du VII^e Plan.

— La simulation est une aide à l'intuition, un préliminaire pour accomplir le plus gros travail de préparation. Les études en ce domaine restent embryonnaires ; les seuls résultats acquis sont des résidus d'une approche générale, à l'exception de l'étude de Cargill²⁷ portant sur l'existence d'un « time-lag » entre l'évolution des prix et l'évolution des salaires. Gillepsie²⁸, en fonction des résultats acquis lors de sa première simulation, réfute l'analyse néo-classique traditionnelle de l'impact de la dévaluation sur la balance des paiements. La simulation permet de dire si une théorie est fautive, mais elle ne peut établir sa réalité.

— La simulation au niveau macro-économique exige le

²⁵ R. ATTIYEH, « A macroeconomic model for classe room », *The new methods in the teaching of economics*, K.G. Lumsden, Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey, 1967.

R. ATTIYEH et W.C. BRAINARD, « A simulation policy game for teaching macroeconomics » *Papers and Proceedings, American Economic Review*, 1968.

²⁶ J. FONTANEL, *op. cit.*, p. 375-533.

²⁷ F. CARGILL, « An empirical investigation of the wage-lag hypothesis », *American Economic Review*, September 1969.

²⁸ HOLLAND-GILLEPSIE, *op. cit.*, p. 75.

dépassement des barrières disciplinaires, car de nombreuses actions, dont le but explicite n'est pas d'ordre économique, ont des tenants et des aboutissants d'ordre économique. Il y a lieu d'établir une systématique des actions possédant des attributs d'ordre démographique, économique, sociologique, politique, etc. Les recherches sur ce point sont embryonnaires, et l'échec de la simulation de l'Inde par Holland provient de cette insuffisance. Ainsi, Adelman et Morris²⁹, dans leur étude des variables explicatives du sous-développement, montrent, par une simulation, que les variables extra-économiques sont fondamentales. En effet, parmi les dix facteurs engendrant les effets les plus importants sur le taux de croissance des pays sous-développés, quatre seulement sont purement économiques.

— Cependant, de nombreuses limites apparaissent, liées aux limites de l'économétrie et de l'ordinateur.

Ainsi, les modèles doivent être formulés de telle façon qu'ils n'exigent, pour leur application, que les seules données disponibles. Les calculs doivent être praticables, c'est-à-dire ne pas dépasser la capacité de calcul de la machine électronique. La construction de modèles cybernétiques, réintégrant la réalité et modifiant immédiatement et électroniquement les relations formalisées, peut se concevoir théoriquement, mais les balbutiements de l'informatique dans la recherche économique laissent entrevoir que de tels systèmes ne sont pas pour demain. De même, les modèles comprennent explicitement ou implicitement un certain nombre d'hypothèses, qu'il est impossible de réduire. Leur importance sur le modèle échappe à toutes les investigations. Certes, la simulation limite l'écart entre le réel et le calculé, mais ce n'est pas parce que les hypothèses sont réduites qualitativement qu'elles sont inexistantes.

L'ordinateur n'est pas capable de résoudre toutes les analyses numériques, ni de donner des solutions à tous les systèmes formalisés. « Un ordinateur composé de tous les

²⁹ ADELMAN et MORRIS, « An econometric model of socioeconomic and political change in underdeveloped countries », *American Economic Review*, September 1968.

atomes de l'univers transformés en éléments binaires et fonctionnant depuis la cosmogénèse, serait incapable d'énumérer la totalité des stratégies du jeu d'échecs.»³⁰

Les machines électronique conduisent à une clarification des concepts, car elles ne peuvent traiter que ce qui est parfaitement défini. Elles suscitent de nouveaux travaux portant sur les vérifications d'hypothèses, elles constituent une aide à l'intuition, elles poussent le chercheur à l'audace. Elles obligent, par le biais de la méthode expérimentale, au réalisme et à la connaissance de nos limites théoriques. L'une des vertus attendue de l'ordinateur consiste dans l'obtention rapide des résultats d'une hypothèse de travail. Il condamne irrémédiablement les fausses pistes et laisse au chercheur et à l'homme d'action la possibilité de multiplier ses expériences. «Ce procédé permet au chercheur d'introduire immédiatement dans ses préoccupations une quatrième dimension: le temps.»³¹ L'informatique peut remplir des tâches qui requièrent certaines formes d'intelligence, telles que l'apprentissage ou le traitement des données. Toutes ces innovations engendrent de nouvelles méthodes d'analyse des phénomènes économiques, dont nous ne connaissons pas encore l'impact futur sur les théories économiques. L'informatique est à la fois occasion et moyen de développement d'approches algorithmiques ingénieuses et de recherches économétriques complexes, mais aussi, elle engendre, par l'intermédiaire du programme, un langage nouveau qui permet une spécification complète du processus économique, chaque «bit» s'avérant au moins aussi précis qu'une équation mathématique. Il en résulte le développement considérable promis à l'expérimentation théorique et à la rationalisation des décisions économiques. L'ordinateur autorise aujourd'hui à faire entrer les actes intellectuels dans le domaine des actes réflexes. L'informatique annonce la démultiplication de notre pensée. Le couple Informatique-Econométrie se présente comme une étape fondamentale

³⁰ P. LLAU, *op. cit.*, p. 693.

³¹ P. LHERMITTE, *Le pari informatique*, Ed. France-Empire, Paris, 1968, p. 122.

dans la méthodologie des sciences sociales, mais déjà se profile à l'horizon, avec les progrès de la méta-méthode et de l'intelligence artificielle, le vaste domaine des modèles économiques cybernétiques.

Bibliographie

- Adelman, I.(1963) *Long Cycles, a simulation experiment,models* South Western Publishing Co., Cincinnati.
- Adelman & Morris (1968), An econometric model of socioeconomic and political change in underdeveloped countries, *American Economic Review*.
- Aglietta, M., Courbis, R.(1969) Un outil pour le plan, le modèle FIFI, *Economie et Statistique*, Mai.
- Attiyeh, R. (1967), *A macroeconomic model for classroom*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- Attiyeh and Brainard (1968), A simulation policy game for teaching macroeconomics, *American Economic Review*.
- Cargill, F. (1969), An empirical investigation of the wage-lag Hypothesis, *American Economic Review*. September.
- Couffignal, L. (1960), Science économique et la cybernétique de l'économie, *Cahiers de l'ISMEA*, n°98 ? Série W.
- Duesenberry and al. (1965), *The Brookings SSRC Quarterly model of the U.S.* Rand Mac Nally, Chicago.
- Duesenberry and al. (1969), *The Brookings model, some further Results*, North Holland, Amsterdam.
- Dussault, P. (1969), *Contrôle interne et informatique*, Dunod.
- Evans-Klein (1967), *The Wharton econometric forecasting model*, Wharton School Philadelphia.
- Fontanel, J. (1974) *Les techniques de simulation informatique dans l'analyse macroéconomique*, Thèse, Nanterre.
- Forrester, J. (1962), *Managerial Decision Making in computers and the world of future*, MIT Press, Cambridge.
- Fromm & Taubman (1968), *Policy simulation with an econometric model*, North Holland, Amsterdam.
- Goux, C., Daloz, J-P. (1970) *Macroéconomie appliquée*, Cujas.
- Hardt, J., Hoffenberg, Kaplan, Levine (1970), *Mathematics and Computer in Soviet economic planning*, Yale University Press.
- Harrod, R. (1939), An essay in dynamic theory, *Economic Journal*, March.
- Hicks, C.K. (1950), *A construction of the theory of trade cycle* Clarendon Press, Oxford.
- Holland, E.P. (1958) *An analog model of an economy beginning to develop*; M.I.T. Press.
- Hymes, R.(1969) *The use of computer in anthropology*, Mouton
- Kaufmann, A. (1969), *L'imagination artificielle*, RAIRO Sie V.
- Kaufmann, A., Fuster, M., Drevet, A. (1970), *L'inventique*, Entreprise Moderne d'Édition. Paris.
- Klein-Goldberger (1959) *An econometric model of the United States (1929-1952)*, North Holland, Amsterdam.
- Kornai, J. (1967), *Mathematical planning and structural deci*

sions, North Holland, Amsterdam.

Leclercq, R. (1969), *Le raisonnement scientifique et sa mécanisation*, Dunod, Paris.

Lhermitte, P. (1968), *Le pari informatique*, France Empire, Paris.

Liebenberg, Hirsch, Popkin (1966), A quarterly econometric model of the US, *Survey of Current Business*, May

Llaur, P. (1969), Note sur la recherche économique et l'informatique, *Economie appliquée*, Septembre.

Orcutt, G.M, Greenberger, , Korbel, J, Rivlin, A. (1965), *Micro-Analysis of socioeconomic system*. Harper and Row, September.

Paelinck, J.H.P (1969), Un modèle dynamique de simulation et Contrôle de l'économie belge, *Rivista internazionale di scienze economiche commerciali*, March

Piatier, A. (1961), *Statistique et observation économique*, PUF.

Samuelson, P. (1938), Interactions between the multiplier analysis and the principle of acceleration, *Review of Economy and statistics*, May.

Shannon, F.C.E. (1949), *The mathematical theory of communication*; University Illinois Press.

Zwicky, F., Wilson, A.G. (1967), *New methods of thought and Procedure*, Springer-Verlag. Berlin..