



**HAL**  
open science

# CONCEPTUALISATION DE LA SIMULATION DANS L'ANALYSE MACROECONOMIQUE

Jacques Fontanel

► **To cite this version:**

Jacques Fontanel. CONCEPTUALISATION DE LA SIMULATION DANS L'ANALYSE MACROECONOMIQUE. *Revue economique*, 1977. hal-04625614

**HAL Id: hal-04625614**

<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-04625614v1>

Submitted on 26 Jun 2024

**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.

## CONCEPTUALISATION DE LA SIMULATION DANS L'ANALYSE MACROECONOMIQUE

Jacques Fontanel

Revue Economique,  
Mai 1977

Résumé : si le concept de « simulation » proposé par Van Neumann et Ulam est difficilement applicable à l'analyse économique, il existe aujourd'hui une définition générale de la simulation qui constitue la recherche de quantification des variables significatives d'analyses qualitatives, en vue de traitements mathématiques ou statistiques. Dans ce cadre, La simulation macroéconomique devient une notion intuitive qui recouvre en fait plusieurs types d'études particulières. Les définitions se présentent comme des réalités téléologiques dont la valeur dépend des buts poursuivis. L'accroissement de la précision de la pensée est lié étroitement au développement du langage et de sa représentation. Les recherches taxinomiques deviennent indispensables, lorsque les vocables sont utilisés dans des acceptations fort différentes. Cet article propose, à la lumière de modèles macroéconomiques existants, d'en montrer les méthodes, leur application et leur intérêt pour la connaissance économique et l'application éventuelle de politiques économiques « expérimentales ».

Abstract: Although the concept of "simulation" proposed by Van Neumann and Ulam is difficult to apply to economic analysis, there is now a general definition of simulation as the search for quantification of significant variables in qualitative analyses, with a view to mathematical or statistical processing. In this context, macroeconomic simulation becomes an intuitive notion which in fact covers several specific types of study. Definitions are teleological realities whose value depends on the goals pursued. Increased precision of thought is closely linked to the development of language and its representation. Taxonomic research becomes indispensable when terms are used in very different ways. In the light of existing macroeconomic models, this article proposes to show their methods, their application and their interest for economic knowledge and the possible application of "experimental" economic policies.

Mots clés : simulation économique, modèles macroéconomiques, expérimentation théorique, modèles formalisés.

Economic simulation, macroeconomic models, theoretical experimentation, formalized models.

L'usage moderne du terme « simulation » trouve ses origines dans les travaux de Von Neumann et d'Ulam, à propos d'une technique mathématique reposant sur la décomposition d'un phénomène complexe en événements élémentaires répétitifs et dégagant une solution numérique basée sur les échantillons stochastiques artificiels<sup>1</sup>. Cette conceptualisation originelle n'est plus retenue par la plupart des économistes, essentiellement parce qu'elle est difficilement opératoire dans l'analyse macroéconomique. Cependant, il existe actuellement une « mode » scientifique appelant simulation la quantitativisation de disciplines restées jusque-là purement qualitatives. Il y a de très nombreuses définitions de la simulation (Tableau n° 1), mais aucune ne nous semble totalement satisfaisante. Si l'on veut maintenir le terme simulation dans l'analyse macroéconomique, il est clair qu'il n'est pas possible de reprendre la conceptualisation originelle, compte tenu de l'omission fort regrettable qu'elle suggère de la construction d'un système formalisé. En outre, «si l'on s'accorde pour donner au mot simulation le sens de la représentation de la réalité par des moyens artificiels, qui d'entre nous ne passe son temps à simuler ? »<sup>2</sup> La simulation macroéconomique devient une notion intuitive qui recouvre en fait plusieurs types d'études particulières. Les définitions se présentent comme des réalités téléologiques dont la valeur dépend des buts poursuivis. Nous nous efforcerons de rendre le concept de simulation opératoire dans l'analyse macroéconomique, à partir de l'étude pratique des modèles macroéconomiques existants.

## **I. POUR UNE CONCEPTUALISATION OPERATIONNELLE DE LA SIMULATION**

Simuler indique tenir le rôle ou avoir l'apparence d'un système. Nous dirons que la conduite d'une entité est un indicateur de la conduite  $Y$  si la connaissance de  $x \in X$  prédit  $y \in Y$ . Normalement, les règles sont supposées permettre sans équivoque l'obtention des résultats exacts, si elles sont utilisées correctement.

La première conception de la simulation conduit à vérifier si les hypothèses  $x$  indiquant  $y$  sont vraies. Une telle assertion n'est valable que dans le contexte d'un système formalisé, sans lequel il est impossible de dire avec justesse qu'une simple indication de  $x$  engendre la connaissance de tout  $y$ . Un modèle mathématique simule quelques aspects de la réalité, car le modèle est un système formalisé et les hypothèses expliquent et limitent les théories sous-jacentes. Un système formalisé expliquant partiellement la réalité économique est un simulateur. La seconde conception conduit le chercheur à n'appeler simulation que les systèmes impliquant une correspondance une à une des entités décrites en  $x$  et en  $y$ . L'élément  $x$  simule  $y$  seulement si  $x$  est une maquette de  $y$ . Deux systèmes ont la même conduite si les mêmes stimuli

---

<sup>1</sup> ULAM, S. « on the Monte Carlo Method » in Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on digital calculating machines, Harvard University Press.

<sup>2</sup> RENAULT, J-P., RENARD, B. « La simulation et les calculateurs, Economie Appliquée, Sept 1969.

TABLEAU N° 1

*Types de définition de la simulation*

AUTEURS	TYPES DE DÉFINITIONS
MORGENTHALER 1 SHUBIK 2	Simuler, c'est recréer artificiellement la réalité elle-même. La simulation est une représentation d'un système ou d'un organisme par un modèle ou un simulateur. Ces définitions sont trop générales pour être opérationnelles.
TOCHER 3	La simulation est un processus de détermination des distributions d'échantillon d'un modèle statistique très complexe. Cette définition est trop restrictive et elle rejette en outre la richesse de la formulation mathématique.
RENAUD-RENARD 4 NAYLOR 5	La simulation est une technique numérique de réalisation d'expériences sur ordinateur. Elle implique certains types de mathématiques et de modèles logiques et décrit la conduite d'un modèle complexe dans son évolution temporelle. Cette définition montre que la simulation implique une étude dynamique et l'utilisation d'un ordinateur pour la réalisation d'une étude numérique du système formalisé.
MEIER-NEWELL-PAZER 6 MITTRA 7	Simulation = Ordinateur + économétrie + analyse numérique.
BÉNARD 8	La simulation s'oppose à l'optimisation. Elle se présente comme une analyse numérique d'un système formalisé, n'impliquant aucune fonction de préférence. Son objectif n'est pas le « mieux », mais le « bien », grâce à plusieurs expériences.
HOLLAND 9	La simulation analogique utilise un système physique pour représenter un autre système auquel il ressemble dans ses composantes essentielles. Mal adaptée à l'analyse macro-économique.

1. MORGENTHALER G.W., « The Theory and Application of Simulation in Operation Research » in *Progress in Operation Research*, Ackoff ed., Wiley and Sons, 1961, p. 366.
2. SHUBIK M., « Simulation of the Industry and the Firm », *Am. Eco. R.* 1960.
3. TOCHER J., « The Art of Simulation », Van Nostrand, Princeton, 1963.
4. RENARD B., RENAULT J.P., « La simulation et les calculateurs », *Economie appliquée*, sept. 1969.
5. NAYLOR T., *Computer Simulation Experiments with Models of Economic System*, J. Wiley and Sons, 1971.
6. MEIER R., NEWELL W., PAZER H., *Simulation in Business and Economics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1969.
7. MITTRA S., « La théorie de la simulation économétrique », *Revue économique*, mars 1968.
8. BÉNARD J., *Comptabilité nationale et modèles de politique économique*, Thémis, 1972.
9. HOLLAND E.P., *Analog Simulation of an Economy Beginning to Develop*, M.I.T. Press, 1958.

produisent toujours les mêmes réponses dans les deux systèmes. A  $x_l$  correspond  $y_l$  et à tout  $x_n$  correspond tout  $y_n$ . La limite essentielle d'une telle définition se trouve dans la détermination du degré d'approximation, étant donné l'analogie partielle obligatoire liant  $x$  et  $y$  dans l'analyse macroéconomique.

Aucune de ces deux approches techniques n'est satisfaisante. La première annule toute utilité au terme simulation, puisqu'elle inclut toutes les méthodes d'analyse des théories scientifiques. La seconde se présente comme une technique limitée, astreignante, quasi inutilisable dans l'analyse macroéconomique<sup>3</sup> L'indicateur  $X$  ne peut espérer reproduire exactement les caractéristiques essentielles de la réalité économique. Cet écart, c'est le coût payé à la simplicité, à l'accessibilité du système et à l'ignorance du chercheur. L'utilisateur des techniques de simulation doit décider, au départ, quelle déviation de la réalité il peut tolérer eu égard à la fois à l'information qu'il veut retirer de la simulation et à ses impératifs financiers. Les maquettes trop strictes coûtent très cher.

Nous ne requérons pas l'exacte prédiction de  $y$  afférente à la connaissance de  $x$ . Une définition plus utile laisse ouvert le degré de prédiction à l'intérieur d'une classe où la connaissance de  $x$  réduit l'erreur dans la connaissance de  $y$ . Une telle conception implique que  $x$  soit un système formalisé ; un modèle ne se présente pas nécessairement comme la réplique physique d'un système ; il est constitué par un ensemble de relations d'interdépendance, exprimées clairement et explicitement entre les différentes parties d'un système, afin d'étudier le comportement de ce dernier dans une grande variété de circonstances.

Règle n° 1. La simulation nécessite l'élaboration d'un système formalisé délimité par certaines règles de validité. La détermination des valeurs des paramètres passe par les ajustements économétriques. Bien entendu, il existe d'autres instruments mathématiques ou statistiques capables de rendre compte correctement des paramètres « concrets » du modèle économique, mais elles conduisent en général aux techniques d'optimisation. Les techniques économétriques présentent l'avantage appréciable d'une mesure correcte du degré d'approximation d'un modèle par rapport aux faits passés. La simulation utilise largement l'économétrie.

Règle n° 2. - La simulation est une technique quantitative de l'économie, qui utilise les méthodes économétriques. Elle se présente comme une approche numérique des phénomènes économiques par la réalisation d'expériences portant sur plusieurs tests d'hypothèses alternatives. La simulation, contrairement aux modèles d'optimisation, intègre des règles « non analytiques » offrant des estimations dont l'erreur est plus grande que zéro. Nous dirons que  $x$  simule  $y$  si la production de  $y$  par  $x$  est basée, au moins

---

<sup>3</sup>NAYLOR T.H., BURDICK, D.S., SASSER, W.E. Computer Simulation Experiments with Economic Systems: the Problem of Experimental Design, American Statistical Association Journal, Dec. 1967. NAYLOR, T.H. Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems; John Wiley and sons; 1971. HUNTER; J.S., NAYLOR, T.H., Experimental Design for Computer Simulation Experiments, Management Science, Vol.16, n°7, March 1970. HOWREY; R.P. Stabilization Policy in Linear Stochastic System, Review of Economics and Statistics, August 1967.

potentiellement, sur quelques règles non analytiques, le concept d'échantillon étant suffisamment large pour inclure la plupart des recherches empiriques.

Règle n° 3. La simulation s'oppose à l'optimisation, au moins sur l'existence de variables stochastiques. La simulation peut, à la limite, calculer un optimum partiel, mais cette procédure reste l'exception. Un simulateur n'appartient pas à la classe des indicateurs optimaux. L'expression  $x$  simule  $y$  doit se présenter comme une hypothèse faite sur le monde réel. Les théoriciens construisent des modèles dont ils espèrent la représentation correcte de la réalité, et ce n'est pas en refusant de considérer l'adéquation réalité-simulation que le problème est pour autant résolu. L'étude des correspondances  $x_i$  et  $y_i$  permet d'agréer ou de réfuter  $x_i$  comme instrument de simulation de  $y_i$ . Il est possible de représenter la réalité à l'intérieur d'un contexte de stimuli et de réponses, et de vérifier qu'une partie de l'environnement produit une réponse à la suite d'un stimulus. Les hypothèses devront être dégagées avant la procédure de simulation proprement dite, car celle-ci ne peut indiquer les limites des résultats obtenus.

Règle n° 4. - La validité du système formalisé est établie à l'extérieur du système simulé. Il est alors possible de construire un système formalisé et de tester le modèle en fonction des prédictions du système et de l'étude empirique de la réalité. Le but de la logique des modèles algébriques est de pourvoir une charpente rigoureuse et sans ambiguïté des concepts et théorèmes sur lesquels les idées concernant le monde réel doivent trouver leur expression correcte. La simulation implique une analyse numérique ; or, cette branche des mathématiques n'a connu un développement conséquent qu'avec l'apparition des machines électroniques. C'est pourquoi de nombreux économistes ont appelé simulation toutes les expériences théoriques de l'économie réalisées sur ordinateur. S'il n'est pas nécessaire d'utiliser les techniques informatiques pour simuler, encore nous paraît-il plus simple de considérer que l'ordinateur se présente comme un instrument essentiel, voire indispensable, de la simulation des modèles macroéconomiques complexes.

Règle n° 5. - La simulation implique la réalisation d'une analyse numérique opérée, généralement, sur ordinateur. Bien entendu, il est toujours possible de simuler des modèles simples, mais il faut bien reconnaître que l'intérêt d'une telle procédure est très mince, compte tenu du coût de l'opération et de la puissance des méthodes déductives. Si l'ordinateur n'est pas indispensable à la simulation proprement dite, son absence ne s'explique que pour les modèles simples, ne disposant que d'un minimum de règles non analytiques, mais l'intérêt d'une telle étude nous paraît fort limité. Les méthodes de simulation n'auraient qu'une existence théorique sans l'utilisation systématique des techniques informatiques.

En résumé, le concept de simulation recouvre des techniques particulières caractérisées par plusieurs propriétés plus ou moins intégrées dans les analyses concrètes :

- Existence d'un système formalisé délimité par certaines règles de validité, établies à l'extérieur du système simulé.
- Analyse numérique des phénomènes économiques.

- Utilisation massive des techniques économétriques et prise en compte des variables stochastiques.
- Intervention quasi indispensable des techniques informatiques.

Le début de conceptualisation ainsi présenté limite le champ d'action de la simulation. Pour les systèmes simples ou plus compliqués faisant appel à des moyens mathématiques suffisants, il est possible de résoudre explicitement les équations et de présenter leurs comportements sous la forme de modèles déductifs purs. Les modèles algébriques n'offrent en général qu'une solution et celle-ci donne l'optimum. La simulation se propose de décrire les performances d'une configuration donnée d'un système ; l'optimisation peut être obtenue en faisant toutes les expériences possibles, mais une telle démarche n'est pas inhérente aux procédures de simulation proprement dite et elle est impossible si le système formalisé comporte des règles non analytiques.

La simulation s'oppose à la résolution. Certes, la quantitativisation du modèle de Hicks-Samuelson par les techniques économétriques donne des résultats à l'intérieur de plages d'erreur, parallèlement à la résolution mathématique simple<sup>4</sup>. La simulation d'un tel modèle ne se justifie que pour des raisons pédagogiques d'explication de la procédure proprement dite. Dans ce cas, la simulation devient un « mode d'analyse », qui permet la réalisation de plusieurs expériences théoriques des phénomènes économiques. En fait, les techniques déductives sont beaucoup plus élégantes, plus générales et moins chères. La simulation comme « mode d'analyse » ne se justifie que si le système formalisé s'avère suffisamment complexe pour poser des problèmes importants à sa résolution mathématique ; elle génère plusieurs expériences théoriques qui donnent des informations particulièrement intéressantes sur le fonctionnement du modèle et sur son adéquation aux phénomènes réels. Les conclusions dérivées de la simulation prennent la forme de valeurs numériques spécifiques, alors que celles issues des techniques économétriques se limitent à la quantitativisation des paramètres à l'intérieur d'une plage d'erreur. Nous appellerons « simulation des résultats » le mode d'analyse qui se propose de donner une interprétation numérique d'un système formalisé.

*Définition de la simulation des résultats* : la simulation des résultats, c'est l'interprétation numérique, opérée généralement sur ordinateur, d'un modèle économétrique.

Mais la simulation peut être aussi l'adéquation d'un modèle économétrique, d'un ordinateur et de « quelque chose de plus », ce « quelque chose de plus » se trouvant aux limites de la méthodologie et du traitement de la complexité. Les études économiques concrètes nous conduisent à

---

<sup>4</sup> NAYLOR T.H., BURDICK, D.S., SASSER, W.E. Computer Simulation Experiments with Economic Systems: the Problem of Experimental Design, American Statistical Association Journal, Dec. 1967. NAYLOR, T.H. Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems; John Wiley and sons; 1971. HUNTER; J.S., NAYLOR, T.H., Experimental Design for Computer Simulation Experiments, Management Science, Vol.16, n07, March 1970. HOWREY; R.P. Stabilization Policy in Linear Stochastic System, Review of Economics and Statistics, August 1967.

appréhender plusieurs éléments de ce « quelque chose de plus », éléments qui ne sont d'ailleurs pas toujours nécessaires individuellement pour caractériser une technique nouvelle que nous appellerons la *simulation informatique*.

Les économistes souhaitent souvent construire des modèles qui ne peuvent être résolus par une approche purement déductive. Ils doivent alors faire appel à des instruments d'analyse formelle, à quelques structures mathématiques indispensables à l'étude économique, à certaines règles logiques éclairant, par exemple, les décisions économiques et à l'analyse numérique stricto sensu. Ainsi donc, le modèle économique sous-jacent ne peut être traité directement par l'analyse algébrique. Il est possible, par l'intermédiaire de la *simulation informatique*, d'ajuster des lois théoriques aux données expérimentales, de restituer, à partir de données statistiques fragmentaires, l'ensemble des éléments numériques caractérisant un processus, de traiter de règles logiques. Le programme de l'ordinateur engendre une spécification complète du processus, chaque « bit » s'avérant au moins aussi exact qu'une équation mathématique. Lorsque les méthodes mathématiques flanchent en amont de la résolution d'un modèle, une description logique du comportement du phénomène permet l'obtention d'une formalisation en programme-ordinateur. Certaines *simulations informatiques*, en dernier ressort, résultent essentiellement d'un programme d'instructions et de données traitées sur ordinateur ; elles peuvent être entièrement formalisées mathématiquement ou non, mais dans le premier cas, la puissance des méthodes deductives n'est pas suffisante pour donner des informations adéquates, sous la forme désirée, à l'économiste. Le langage fondamental de la *simulation informatique* est le langage informatique, même si toutes les relations sont mathématiquement spécifiées.

La simulation informatique implique des procédures de validation des modèles, par l'utilisation de la méthode analytique et de la méthode synthétique<sup>5</sup>, la première cherchant le pourquoi des phénomènes, la seconde vérifiant les hypothèses émises. Du fait de la complexité et du coût de la simulation informatique, nous considérons cette procédure comme indispensable. La méthode synthétique vise la détermination du comportement des interdépendances du système étudié lorsque la conduite des agents est connue avec un haut degré d'exactitude ; elle s'efforce d'améliorer la compréhension du système total. La méthode analytique est, au contraire, utilisée lorsque la conduite du système dans son ensemble est connue correctement. Elle détermine alors les opérations caractéristiques des phénomènes observés et elle s'efforce de les rendre compatibles avec la conduite du système total.

La méthode analytique part donc de la connaissance de la conduite du système total, alors que la méthode synthétique repose sur la connaissance de la conduite des éléments du système. La simulation informatique débute toujours par la méthode analytique, car elle se propose d'abord, connaissant schématiquement le fonctionnement global de l'économie, de déterminer les opérations caractéristiques du système étudié. Lorsque le degré d'approximation semble satisfaisant, les relations des éléments du système global sont supposées connues avec précision et les résultats agrégés de

---

<sup>5</sup> COHEN K., CYERT R., « Computer Models in Dynamic Economics », Quarterly Journal of Economics, Feb. 1961.



l'entité peuvent être générés. Cette succession méthode analytique - méthode synthétique n'est pas couramment utilisée dans l'analyse économique. Ainsi, le célèbre modèle de Harrod ne propose que l'utilisation de la méthode synthétique, en ce sens que le résultat cherché, à savoir le taux de croissance, est obtenu par l'effort conjugué des variables liées par un assortiment d'équations supposées parfaitement connues. Il n'existe pas de procédure de validation. La simulation informatique implique une procédure itérative de validation, par la constante mesure de la qualité des ajustements et par la détermination du degré d'approximation des informations générées par le système formalisé et des informations historiques<sup>6</sup>.

Le Tableau 2 schématise le mode opératoire général de la simulation informatique, dont le joyau essentiel reste la nécessaire validation de la conformité des outputs du modèle et des informations statistiques disponibles. La simulation informatique, comme son nom l'indique, implique l'utilisation des machines électroniques. Elle prend en compte les modèles complexes, dont le traitement n'est pas toujours possible avec les méthodes déductives. Cependant, son originalité certaine réside dans la réalisation d'expériences numériques dynamiques. Il existe plusieurs types d'intégration du temps dans l'analyse économique. Les modèles « d'une période à l'autre » caractérisent les modèles à équations simultanées, qui expriment les interdépendances parmi les facteurs économiques mesurables qui guident l'économie. Les variables « à temps retardé », si elles existent, sont traitées comme des variables exogènes ; les erreurs résultant de la résolution des dernières variables endogènes sont corrigées, car les « variables d'état » sont recueillies à l'extérieur du système. Le modèle n'est valide que sur une seule période.

Les modèles dynamiques se proposent d'expliquer le sentier temporel des variables endogènes ; en ce sens, ils sont difficilement résolubles par la méthode déductive. Au contraire, la simulation informatique traite aisément de ce problème, au point que nous considérons, pour notre part, l'utilisation d'un modèle dynamique comme une caractéristique essentielle de la simulation informatique. Nous pouvons distinguer les « modèles dynamiques d'analyse » des modèles dynamiques « décisionnels », les seconds n'intégrant comme variables exogènes que les variables instrumentales de politique économique d'un gouvernement. Les modèles cybernétiques ne comprennent aucune variable exogène et le sentier temporel des variables endogènes est totalement généré par l'ordinateur, une fois connues les variables d'état (ou conditions initiales) (Tableau 3).

---

<sup>6</sup> Il se pose d'ailleurs le problème crucial de l'indépendance des données de validation. Cf. Fontanel, J. « Les techniques de simulation informatique dans l'analyse macroéconomique », Thèse Nanterre, 1974..

TABLEAU 2

*Mode opératoire général de la simulation informatique*

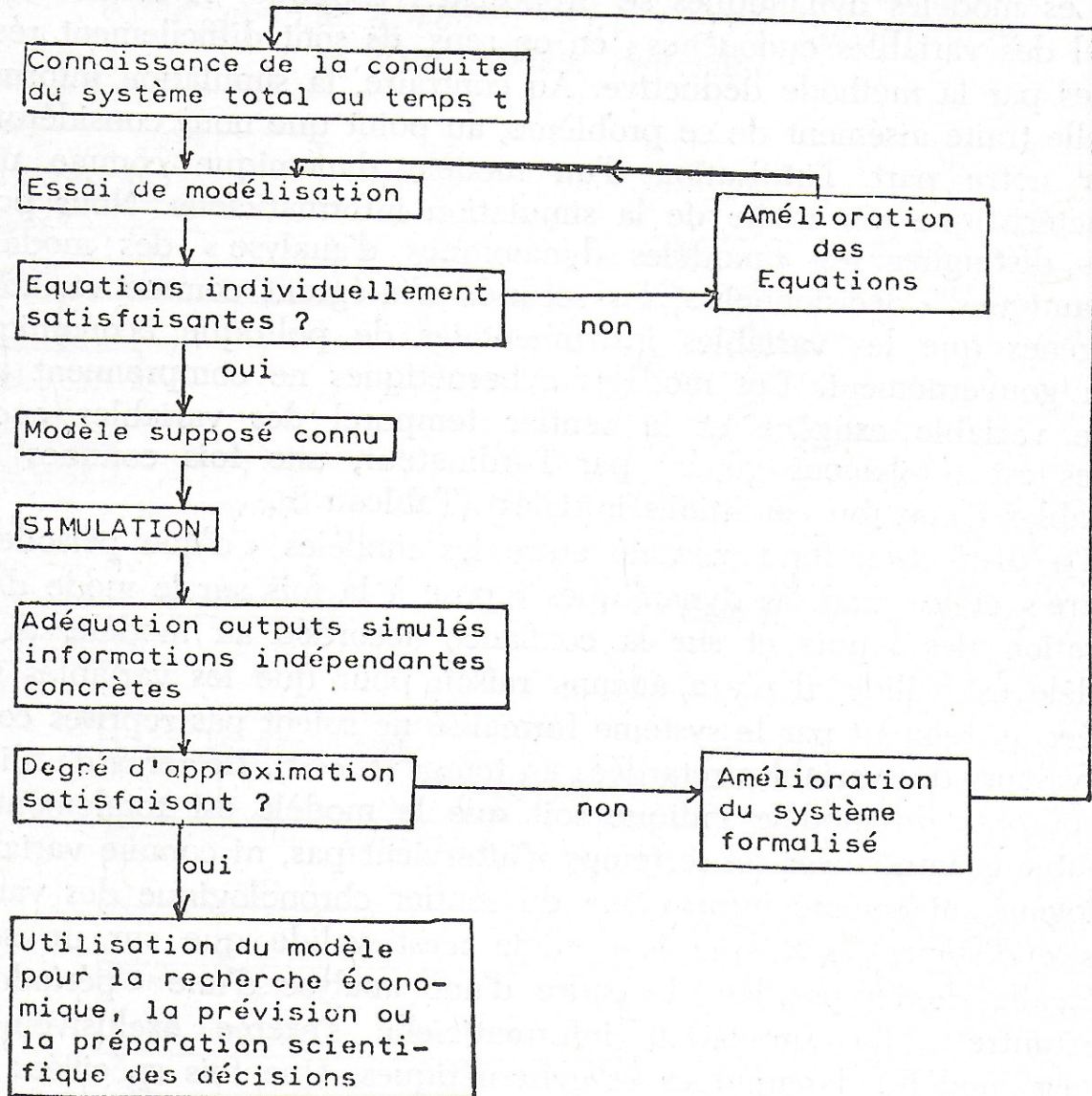
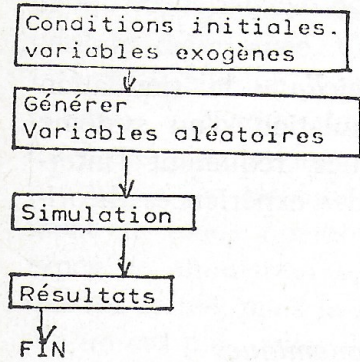
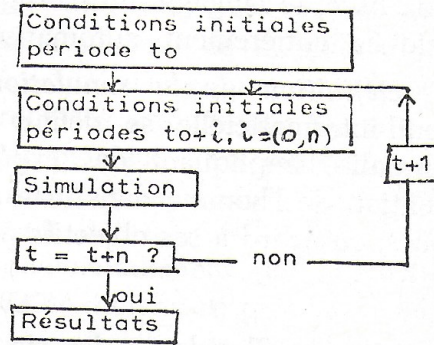


TABLEAU 3

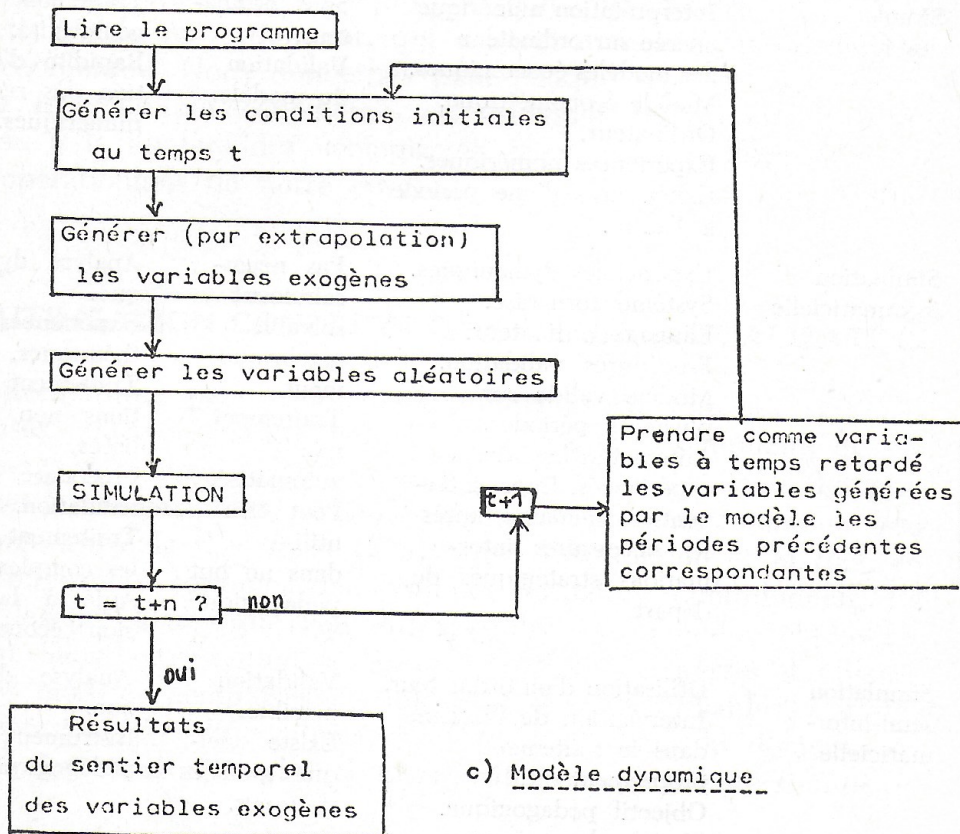
*Organigrammes simplifiés de la simulation d'un modèle d'une période à l'autre, d'un modèle cybernétique et d'un modèle dynamique*



a) Modèle d'une période à l'autre



b) Modèle cybernétique



c) Modèle dynamique

La distinction fondamentale entre les modèles *d'une période à l'autre* et les modèles dynamiques repose à la fois sur le mode d'intégration des inputs et sur la confiance accordée au modèle. Si le modèle est valide, il n'y a aucune raison pour que les variables générées au temps  $t$  par le système formalisé ne soient pas reprises comme valeurs des variables retardées au temps  $(t + 1)$ . Le

refus d'utiliser les outputs du modèle indique soit que le modèle est totalement à équations simultanées (et le temps n'intervient pas, ni comme variable endogène, ni comme information du sentier chronologique des variables endogènes), soit que le modèle n'est valide que sur un seul intervalle de temps, dans le cadre d'une analyse d'une « période à une autre ». La simulation informatique s'exerce exclusivement sur les modèles dynamiques et cybernétiques. Une fois spécifiées les variables exogènes et les conditions initiales, l'ordinateur génère les résultats sans intervention de l'homme.

C'est cette « qualité » qui différencie, de prime abord, le concept de simulation et celui de jeu dans l'analyse économique. En effet, dans la seconde technique, les hommes donnent des inputs et reçoivent des outputs, mais ils participent activement au traitement dynamique du système. Il existe, en effet, une forme particulière de simulation informatique que nous appellerons la simulation semi-informatique, qui diffère de l'analyse générale par ses buts et son utilisation. La simulation informatique génère des séquences d'activité économique et enregistre les résultats numériques théoriques à des fins d'analyse. La simulation semi-informatique possède un but exclusivement pédagogique et de ce fait, les procédures quantitatives de validation ne lui sont pas appliquées.

*Définition de la simulation informatique* : la simulation informatique se définit comme une technique d'appréhension des phénomènes économiques, permettant fondamentalement - après la nécessaire validation en amont d'un système formalisé impliquant certains types de relations mathématiques et logiques et utilisant, à la base, le langage informatique - la réalisation d'expériences dynamiques entièrement automatisées.

*Définition de la simulation semi-informatique* : Elle se définit comme une simulation d'un système formalisé impliquant des expériences dynamiques, requérant l'intervention de l'homme dans le traitement interne des expériences théoriques, eu égard à ses objectifs pédagogiques.

Bien entendu, la césure entre ces deux types de simulation n'est pas toujours aussi tranchée que la conceptualisation ci-dessus semble l'indiquer. En effet, même si la simulation informatique implique souvent la recherche de stratégies (et non de tactiques) économiques, il est toujours possible à un expérimentateur d'arrêter un « traitement dynamique » de l'ordinateur pour tester une variante, à une période déterminée. Cependant, le schéma général de la simulation informatique ne comprend pas la nécessité d'une intervention de l'homme à chaque stade critique du processus numérique. En outre, quelques simulations semi-informatiques peuvent bien intégrer une procédure de validation, mais celle-ci n'est pas nécessaire, contrairement au mode opératoire de la simulation informatique. Les deux types de simulation se différencient fondamentalement par l'objectif qui les anime, mais la simulation semi-informatique se présente comme un cas particulier de la simulation informatique, de par son mode opératoire et ses réalisations. Le Tableau 4 résume la spécificité de chacune des simulations ainsi conceptualisées. Cette analyse conceptuelle et typologique est insuffisante, car il faut montrer aussi comment une telle étude peut être utilisée pour appréhender les modèles concrets, traités sur ordinateur, qui existent actuellement dans l'analyse économique.

TABLEAU N° 4  
*Typologie des simulations macroéconomiques*

TYPES	PROPRIÉTÉS FONDAMENTALES	VARIANTES	APPORT
Simulation des résultats	Interprétation numérique opérée sur ordinateur des modèles économiques. Modèle économétrique. Ordinateur. Expériences numériques. Expériences d'une période à l'autre.	Sans ordinateur. Validation du modèle.	Traitement de la complexité. Rapidité d'obtention des résultats numériques.
Simulation informaticielle	Expériences dynamiques. Système formalisé. Langage ordinateur. Procédures validation. Modèle valide sur plusieurs périodes. Automatisation des expériences, sans intervention humaine après les nécessaires informations stratégiques de départ.	Pas nécessairement solvable algébriquement. Traitement non automatisé. Peut être utilisé dans un but pédagogique.	Analyse dynamique. Expériences théoriques. Traitement équations non formalisées. Procédure de validation. Traitement modèles complexes. Aide à la décision économique.
Simulation semi-informaticielle	Utilisation d'un ordinateur. Intervention de l'homme dans le traitement proprement dit. Objectif pédagogique. Modèle dynamique.	Validation possible. Existe quelques modèles statiques.	Analyse dynamique. Instrument très pédagogique.

## II - UTILISATION CONCRETE DE LA CONCEPTUALISATION

L'informatique peut exercer son influence sur tous les systèmes formalisés, grâce à la rapidité de ses calculs, à la simplicité de ses traitements, à la sécurité de ses résultats et aux faibles coûts des programmes largement utilisés<sup>7</sup>. L'informatique se présente comme un lieu d'échange entre la théorie et la pratique, l'abstraction et le réel, en nous obligeant à formuler des systèmes formalisés opérationnels. La classe des problèmes que l'on sait résoudre s'est étendue considérablement. 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 ne se situe plus à l'échelle « manuelle » mais à l'échelle du traitement automatique de l'information opéré

<sup>7</sup> FONTANEL, J. *op.cit.* p. 52 et s.

par les machines électroniques<sup>8</sup>. La simulation produit des extraits moins synthétiques que les méthodes déductives, mais elle traite souvent les modèles formalisés complexes. Certes, les simulations des modèles de Hicks-Samuelson ou de Daloz-Goux<sup>9</sup> ne peuvent pas s'expliquer par le traitement de la complexité des modèles sous-jacents, mais par les objectifs d'explication pédagogique soit de la méthode de simulation, soit de certains phénomènes économiques particuliers. A la lumière d'un exemple précis, nous expliciterons les différentes formes de simulation préalablement conceptualisées.

### A. La simulation des résultats

Le modèle traditionnel de Klein-Goldberger<sup>10</sup> se présente comme une forme particulière de simulation des résultats. Sans revenir sur les implications théoriques de ce système formalisé, indiquons cependant que ce modèle de type keynésien se propose à la fois de déterminer les interdépendances des agrégats de l'économie américaine et de fournir un instrument efficace de prévision économique. L'étude de Klein-Goldberger<sup>10</sup>, prolongée par le modèle de Wharton-EFU<sup>11</sup> n'a pu être effective qu'avec l'existence de l'ordinateur. Il s'agit d'un modèle fondamentalement économétrique, qui du fait de sa complexité, fait appel à l'analyse numérique et aux expériences théoriques que permettent les techniques informatiques. Le système formalisé de Klein-Goldberger se présente comme un système d'équations non linéaires, du fait de l'intégration de prix et salaires relatifs et absolus<sup>12</sup>, comprenant 20 équations caractéristiques et 20 inconnues. Un tel système, s'il était linéaire, exigerait trois ou quatre jours de travail assidu pour sa résolution, sans compter les erreurs probables, la complexité et le coût de l'opération, en l'absence des machines électroniques. Or, le modèle n'est pas linéaire et les prévisions ex ante impliquent l'utilisation de nombreuses valeurs des variables exogènes. Si l'on ajoute à cette analyse numérique les difficultés relatives à l'estimation des paramètres et à l'intégration des variables stochastiques, le modèle devient quasiment incalculable. Le système formalisé de Klein-Goldberger n'aurait aucun intérêt empirique si la puissance des calculateurs électroniques ne permettait pas les calculs inhérents à la complexité du modèle et à l'estimation des paramètres. L'utilisation, par exemple, de la méthode du maximum de vraisemblance à information limitée, implique des calculs fort délicats et complexes qui sont difficilement réalisables « à la main », même si cette méthode se présente comme une simplification de la méthode du maximum de vraisemblance à information complète. Il faut souligner la faiblesse de l'utilisation et de la puissance de l'ordinateur de la simulation des résultats de Klein-Goldberger. « D'une façon modeste, nous avons utilisé l'équipement électronique pour l'étude présente, mais dans notre programme de recherche continue, nous veillerons constamment au

---

<sup>8</sup> FONTANEL, J., Informatique et Science Economique, Cahier de l'ISMEA. Décembre 1975.

<sup>9</sup> DALOZ & GOUX, C. Macroéconomie appliquée. Cujas, 1970.

<sup>10</sup> KLEIN, GOLDBERGER ; An econometric model of the USA, North Holland, 1969.

<sup>11</sup> EVANS, M. Macroeconomic Activity, Harper and Row, 1968.

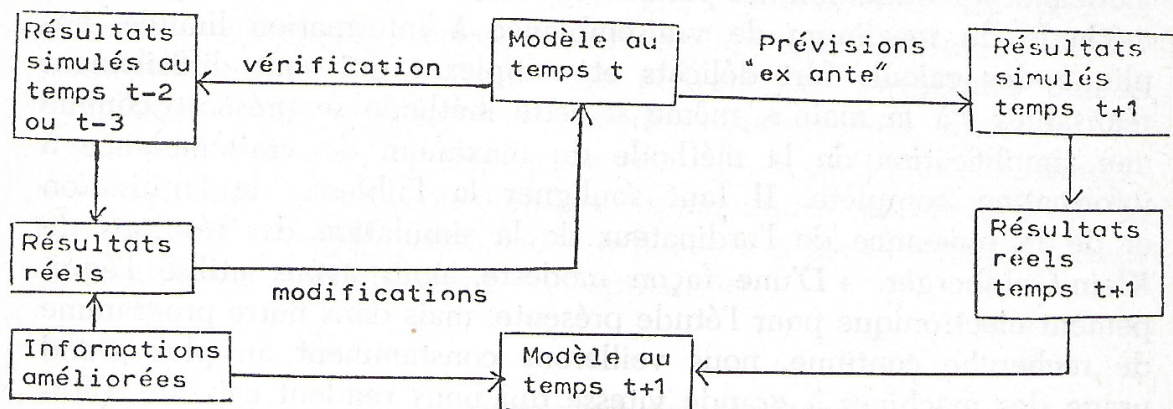
<sup>12</sup> KLEIN-GOLDBERGER, Op. Cit. p.50 et s.

plus grand usage des machines à grande vitesse qui nous rendent capable d'étudier les problèmes économétriques intraitables »<sup>13</sup>. La simulation du modèle de Klein-Goldberger n'a de signification concrète que dans le cadre d'un traitement déductif extrêmement difficile, du fait à la fois de la complexité du système et de l'apparition de variables stochastiques importantes, puisqu'elles expliquent en partie les fluctuations de l'économie américaine<sup>14</sup>.

Il existe, en outre, une procédure de validation du système formalisé, par l'utilisation de deux tests importants : la capacité du modèle à prévoir les faits économiques passés (prévision ex post) et futurs (prévision ex ante). Le premier test pose le problème grave de l'indépendance des informations servant au traitement économétrique du système formalisé et des informations « de comparaison » avec les résultats simulés. Le second pose le problème général de la détermination des variables exogènes et de la méconnaissance relative des informations du présent ou du passé très proche. Klein et Goldberger se proposent d'améliorer itérativement leurs résultats, en introduisant les nouvelles informations disponibles dans leur étude, en réestimant les paramètres, en restructurant les équations. Le modèle de Klein-Goldberger se présente comme un modèle itératif, impliquant de nombreuses modifications de forme et de contenu, en fonction des résultats issus de la simulation (Tableau 5).

TABLEAU N° 5

*Processus de validation et d'amélioration du modèle*



Enfin, le modèle de Klein-Goldberger se définit comme un modèle « d'une période à l'autre ». En effet, les variables endogènes retardées sont traitées comme des variables exogènes ; elles ne sont donc pas calculées par le système formalisé lui-même. Le modèle n'est valide que sur une seule période de temps, ce qui rapproche ce modèle complexe de la plupart des études économétriques simples. Notons cependant l'existence d'une version particulière du modèle de Klein-Goldberger, construite par Adelman &

<sup>13</sup> KLEIN-GOLDBERGER, Op. Cit. p.3.

<sup>14</sup> ADELMAN, I., ADELMAN, F. The dynamic Properties of the Klein-Goldberger Model, Econometrica, Oc.1959.

Adelman<sup>15</sup>, qui se présente comme une simulation informatique d'un type particulier, grâce à la fois à l'amélioration des équations, à une analyse fondamentalement dynamique et à l'utilisation de chocs aléatoires portant sur les valeurs extrapolées des variables exogènes et sur les ajustements empiriques des équations.

Le modèle de Klein-Goldberger se présente comme une étude économétrique, dont les résultats, donnés par l'ordinateur, apparaissent non pas sous la forme de relations algébriques particulières, mais sous la forme d'expériences théoriques (Tableau 6). Il existe plusieurs études comparables. Ainsi, le modèle FIFI implique l'utilisation des techniques informatiques, mais il néglige de procéder aux études de validation nécessaires et il s'avère incapable d'explicitier le sentier temporel des variables endogènes<sup>16</sup>. Les études de Evans, très complexes, réfutent l'analyse dynamique et ne proposent qu'une interprétation numérique des systèmes formalisés sous-jacents<sup>17</sup>. Le modèle de l'Office Business Economics construit un système intermédiaire entre la simulation informatique et la simulation des résultats en opérant une simulation des résultats année par année et une simulation informatique trimestre par trimestre. Les caractéristiques de ces modèles sont les suivantes

- analyse « d'une période à l'autre » ;
- complexité du système formalisé ;
- utilisation de l'ordinateur ;
- réalisation d'expériences théoriques.

L'ordinateur nous apparaît comme un élément essentiel de la simulation, car il se présente à la fois comme un incitateur à la construction des modèles complexes et comme un aide à la formalisation, par la multiplicité des tests qu'il permet. Le Tableau 7 propose un résumé des caractéristiques des simulations des résultats qui sont à la base de notre conceptualisation.

## **B. La simulation informatique**

La simulation informatique implique une analyse dynamique des phénomènes économiques, une procédure de validation du système formalisé et l'utilisation de l'ordinateur ; mais surtout, dans sa présentation la plus évoluée, le langage informatique se présente comme le langage d'expression fondamental du système formalisé sous-jacent. L'exemple du modèle de Holland-Gillespie<sup>18</sup> est, à ce titre, particulièrement intéressant à étudier.

---

<sup>15</sup> ADELMAN, I., ADELMAN, F., Op.Cit.

<sup>16</sup> AGLIETTA, M., L'utilisation du modèle FIFI dans la planification française, Nations Unies, Varna ;, 1970.

<sup>17</sup> EVANS, M. An Econometric Model of the Israeli Economy, 1952-1965; Econometrica.

<sup>18</sup> HOLLAND, GILLESPIE, Experiments in a Simulated Underdeveloped Economy Development Plans and Balance of Payments Policies, M.I.T. Press 1963.



TABLEAU N° 7

*Exemples de simulations des résultats*

MODÈLES	CARACTÉRISTIQUES	AMÉLIORATIONS A RÉALISER
FIFI	Modèle plutôt keynésien. Horizon-temps 5 ans. Intervalle de temps : 5 ans. 1 500 équations. Analyse « en variante ». Objectif : préparation, concertation. Modèle non-linéaire. Modèle déterministe. Analyse synthétique, sans validation du modèle.	Analyse dynamique, car la non-connaissance du « sentier temporel » nous semble particulièrement grave.  Insuffisances théoriques (financement, courbe de Phillips, croissance postulée...)  Publication des procédures de validation des équations.
KLEIN-GOLDBERGER	Modèle conjoncturo-structurel. Intervalle de temps : 1 an. Horizon-temps : 1 an, même s'il existe des prévisions portant sur 2 années consécutives. Analyse de validation des résultats. Analyse stochastique. 20 équations. Système non-linéaire.	Dynamisation (Cf. Adelman-Adelman).  Insuffisances théoriques graves, puisque les variables aléatoires « expliquent » partiellement des fluctuations de l'économie américaine.
O.B.E.	Modèle conjoncturel. Horizon-temps : 1 an. Intervalle 1 trimestre. 49 équations déterministes. Modèle supposé valide sur 4 incréments (approche particulière de simulation informatique).	Procédure de validation du modèle mal connue. Dynamisation limitée. Se préoccupe trop de la qualité prévision (approche positiviste).

Holland a d'abord conçu la simulation d'un système économique comme une analogie électro-mécanique. Le modèle économique était formulé en termes de diagrammes et de relations abstraites, mais les résultats empiriques furent très décevants. Holland<sup>19</sup> construisit alors une simulation digitale, appliquée à l'économie de l'Inde. Ce modèle présente la caractéristique de ne pas pouvoir être résolu algébriquement ; une telle assertion n'indique pas que le système formalisé ne peut pas générer, dans l'absolu, des réponses analytiques, car l'utilisation de méthodes mathématiques puissantes pallierait les insuffisances de la formalisation du

<sup>19</sup> HOLLAND E.P. An analog Model for Studying Economic Development Problems, M.I.T. Press, 1958.

modèle. En fait, la simulation informatique de Holland-Gillespie reconnaît le programme de l'ordinateur comme le seul et véritable système formalisé de l'économie indienne ainsi étudiée. Le fait que le modèle soit ou non exprimé en termes mathématiques importe peu, encore que l'explication des phénomènes économiques présente une plus grande difficulté en l'absence d'un modèle algébrique complet. La simulation informatique de Holland-Gillespie est la seule, à notre connaissance, à construire un système formalisé macroéconomique en liaison directe avec l'ordinateur.

Les travaux de la Brookings Institution ou de Paelinck<sup>20</sup> se présentent d'abord comme des analyses économiques dégagées, dans un premier temps, de toute préoccupation d'obtention des résultats. Pour Holland et Gillespie, la construction du modèle se réalise en liaison directe avec l'instrumentation informatique. Si dans un premier temps, les auteurs s'efforcent de déterminer les relations algébriques connues, la difficulté de représentation mathématique de certaines interdépendances les incite parfois à analyser les processus logiques de ces relations et à les intégrer dans le système total. Si le programme de l'ordinateur apparaît dans les travaux de la Brookings Institution comme la fidèle retranscription du système d'équations algébriques, l'analyse de Holland-Gillespie dépend essentiellement du software de l'ordinateur. « La plupart des relations correspondent à des équations algébriques simples. Mais quelques fonctions spéciales sont utilisées qui ne correspondent plus à de simples expressions algébriques »<sup>21</sup>. Holland et Gillespie donnent plusieurs exemples de ces relations, comme l'approximation, par l'ordinateur, des délais discrets liés à l'achèvement des projets de formation du capital ou la détermination de l'âge des investissements, comme l'existence de relations logiques de choix de valeurs particulières, comme l'utilisation in extenso d'une table numérique empirique<sup>22</sup>.

Les équations et instructions données par le programme d'entrée sont interprétées dans l'ordinateur par un autre programme appelé DYNAMO qui, automatiquement, oblige l'ordinateur à déterminer récursivement les solutions numériques du système formalisé. A partir des conditions initiales, la machine électronique indique les changements qui apparaissent dans un court intervalle de temps (1/20<sup>e</sup> d'année) et elle calcule la valeur de toutes les variables à la fin de l'incrément. Le processus est répété sur une période simulée de 25 années, divisées en 500 intervalles de temps. En accord avec les instructions du programme d'entrée, les valeurs de nombreuses variables sont tabulées à la fin de certains incréments spécifiés (l'année, par exemple) et les graphiques sont automatiquement construits pour expliquer les relations simulées des phénomènes économiques. Le système formalisé se présente comme un modèle dynamique décisionnel d'un type particulier, puisque si plusieurs variables exogènes ne sont pas de type instrumental, l'objectif que se fixent les auteurs est de déterminer une stratégie adéquate

---

<sup>20</sup> DUESENBERY J., FROMM G., KLEIN L.R., KUM E., The Brookings Quarterly Model of the United States, Rand Mac Nally, Chicago, 1965. DUESENBERY, FROMM, KLEIN, KUN, The Brookings Model : some further results, Rand Mac Nally, 1969. GRILICHES Z., « The Brookings Model Volume : a review. The Review of Economics and Statistics, May 1968. PAELINCK J.H.P., « Un modèle de simulation et de contrôle de l'économie belge, Rivista di Scienze Economiche e commerciali, Marzo 1969.

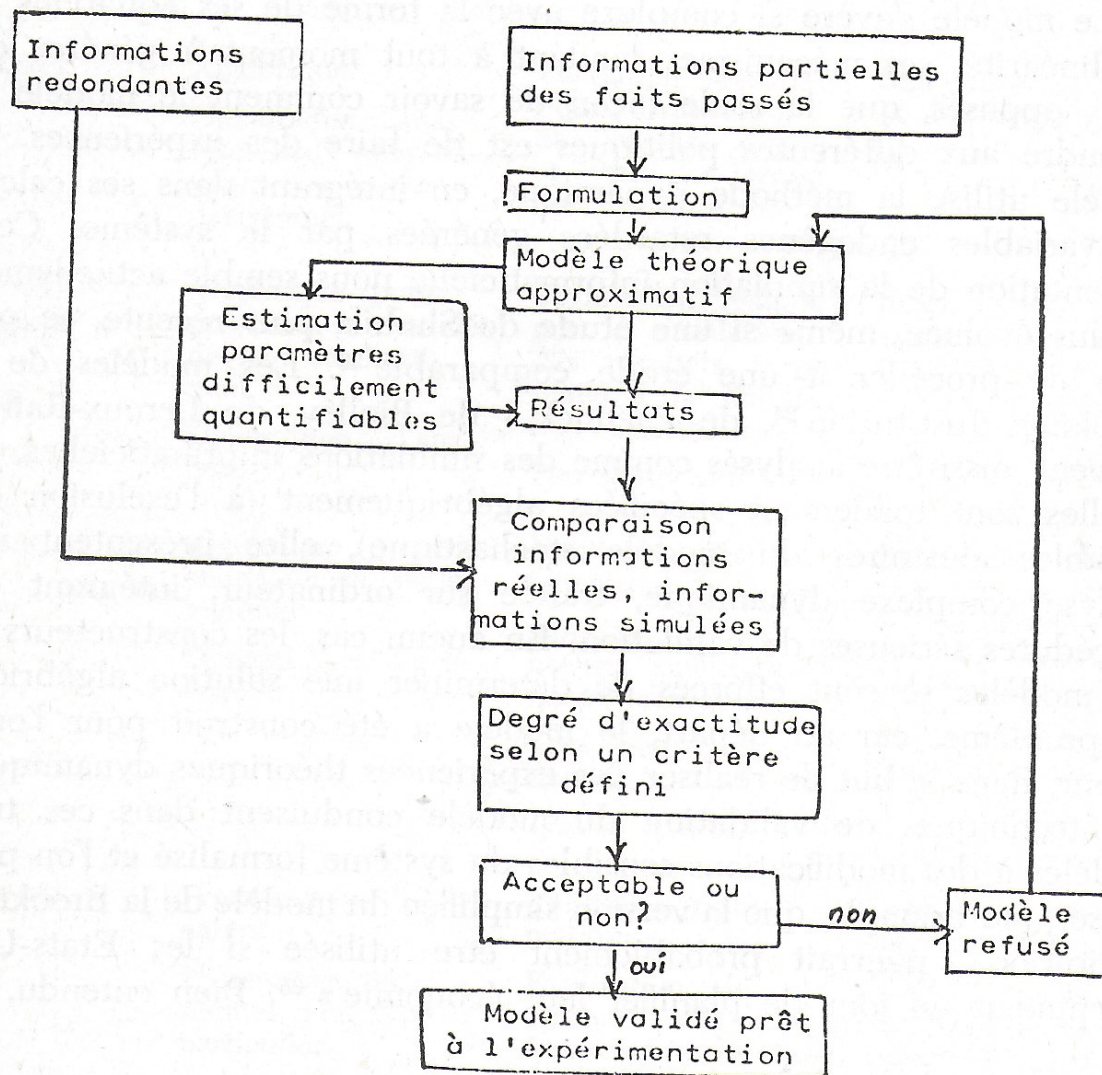
<sup>21</sup> Holland, Gillespie, Op. Cit. pp.248-249.

<sup>22</sup> Ibid. pp.240-250.

de politique économique, compte tenu de certaines variables sur lesquelles les informations sont insuffisantes. Les résultats expriment les conséquences des politiques économiques en fonction de certaines valeurs des variables exogènes non gouvernementales.

TABLEAU N° 8

*Schéma de validation de la simulation de Holland*



La simulation de Holland-Gillespie comporte une procédure sérieuse de validation du système formalisé. Les auteurs proposent même des tests qui seraient effectués sur les valeurs des paramètres, jusqu'à ce que, de proche en proche, l'ordinateur simule les valeurs correctes de la réalité économique. Ce procédé constitue, en définitive, l'inverse d'une validation, puisqu'au lieu de tester le modèle pour vérifier s'il produit des résultats comparables aux informations passées, le modèle est ajusté jusqu'à ce qu'il se conduise numériquement comme les données historiques. Il en résulte

une analyse positiviste, qui néglige parfois la validité d'une équation théorique, au profit de relations empiriques difficilement explicables par les économistes. Cependant, une véritable validation du modèle apparaît dans la recherche de correspondance des opérations caractéristiques et de la conduite du système, dans l'analyse des variations stochastiques ou dans étude approfondie des hypothèses. Le Tableau 8 représente le schéma de validation du modèle.

Le modèle s'avère si complexe avec la forme de ses équations, sa non-linéarité, ses mécanismes tendant à tout moment à générer des effets opposés, que la seule façon de savoir comment le modèle va répondre aux différentes politiques est de faire des expériences. Le modèle utilise la méthode dynamique, en intégrant dans ses calculs, les variables endogènes retardées générées par le système. Cette présentation de la simulation informatique nous semble actuellement la plus évoluée, même si une étude de Shubik, plus récente, se propose de procéder à une étude comparable<sup>23</sup>. Les modèles de la Brookings Institution<sup>24</sup>, de Paelinck - de Biolley, de Leroux-Raffoul peuvent aussi être analysés comme des simulations informatiques, car si elles sont totalement spécifiées algébriquement (à l'exclusion des variables aléatoires du modèle stochastique), elles présentent une analyse complexe dynamique, traitée sur ordinateur, intégrant des procédures sérieuses de validation. En aucun cas, les constructeurs de ces modèles se sont efforcés de déterminer une solution algébrique du problème, car au départ, le modèle a été construit pour l'ordinateur, dans le but de réaliser des expériences théoriques dynamiques. Les techniques de validation du modèle conduisent dans ces trois modèles à des modifications sensibles du système formalisé et l'on peut penser, par exemple, que la version simplifiée du modèle de la Brookings Institution « pourrait probablement être utilisée si les Etats-Unis acceptaient un jour de planifier leur économie »<sup>25</sup>. Bien entendu, les limites de ces simulations sont nombreuses et il ne faut pas les omettre. De manière générale, quatre types de difficultés apparaissent.

- Certaines difficultés sont liées à l'expérimentation théorique concernant les problèmes épineux de la réduction de la variance, de l'existence des réponses multiples, de l'explication des objectifs des expériences, de la prise en compte des non-linéarités, ou du choix des intervalles de temps du système formalisé.

---

<sup>23</sup> SHUBIK M., « Simulation of Socio-Economic System », General System, 1967

<sup>24</sup> FROMM, TAUBMAN, Policy Simulation with an Econometric Model, North Holland, 1968. PAELINCK, DE BIOLLEY, « A Dynamic Model for Belgian Economy », Economics of Planning, 1969. LEROUX, RAFFOUL, « An Essay in Simulating Economic Policies in French Economy », Economics of Planning, 1969.

<sup>25</sup> BABEAU, DERYCKE, Problèmes de planification, Sirey, 1967, p. 17.

TABLEAU N° 9

*Caractéristiques de quelques simulations informatiques*

MODÈLES	FORMULATION	SIMULATION	OBJECTIFS
BROOKINGS	Modèle algébrique + stochastique. Modèle dynamique d'analyse.	Validation pas systématique. Expériences peu nombreuses, limitées par le manque d'unité du modèle.	Amélioration de la connaissance économique. Préparation des décisions à court terme et prévisions conjoncturelles.
PAELINCK	Algébrique. Dynamique d'analyse, mais peut devenir dynamique décisionnel.	Validation systématique. Explication de l'histoire passée et étude des formes des fonctions.	Simulation et optimisation.
LEROUX-RAFFOUL	Algébrique (pour prévision, le modèle devient stochastique). Dynamique d'analyse.	Vérification réalisée par la simulation des résultats comparée à la simulation informatique. Peu d'expériences.	Réaliser adéquation simulation-optimisation.
SHUBIK	Algébrique + stochastique + règles logiques. Dynamique d'analyse.	Validation pas systématique. Appelle de nombreuses améliorations théoriques. Très peu d'expériences. Travail itératif.	Recherche intégration des facteurs extra-économiques dans les modèles de croissance. Application technique de la simulation.
HOLLAND	Programme-ordinateur. Dynamique décisionnel d'un type particulier.	Validation systématique. Explication de l'histoire des faits économiques et étude des formes fonctionnelles des équations. Expériences très nombreuses, malgré les échecs.	Instrument de préparation aux décisions stratégiques. Application de la méthode de simulation. Prise en compte de la complexité. Recherche de lois empiriques.

- Certaines limitations sont dues plus généralement à l'analyse économique quantitative<sup>26</sup> : faiblesse du recueil des données, validité des hypothèses, fragilité des prévisions à long terme, difficultés propres aux procédures d'agrégation.

- La construction d'une simulation doit tenir compte, en outre, des difficultés propres à la simulation, concernant par exemple l'emploi de l'ordinateur ou la suppression des biais engendrés par les conditions initiales.

- Enfin, l'informatique impose un certain nombre de limites à la construction des systèmes formalisés, car les problèmes sont incomparablement plus complexes que les moyens dont les hommes disposent pour les résoudre<sup>27</sup>.

Le Tableau 9 montre les caractéristiques de certaines simulations informatiques, dont les règles essentielles impliquent l'utilisation de l'ordinateur, l'existence d'une procédure de validation, la réalisation d'un modèle dynamique, dont la manifestation la plus spectaculaire conduit à l'élaboration, à côté d'un modèle algébrique, de règles particulières non formalisées mathématiquement.

### **C. La simulation semi-informatique**

La simulation semi-informatique se distingue de la simulation informatique par l'objectif pédagogique qui l'anime, par l'intervention nécessaire des individus dans le processus même de la simulation, par l'absence parfois souhaitable des procédures de validation. Certes, «il est fondamental qu'un jeu apparaisse comme réalité et se conduise de façon réaliste, mais ceci ajoute à la complexité. Si le jeu devient plus complexe, il devient aussi plus difficile à apprendre, à jouer, à administrer »<sup>28</sup>. La structure du système formalisé de la simulation semi-informatique est en général déterministe, car il faut éviter que les variables aléatoires n'embrouillent les conséquences des différentes actions et empêchent une compréhension correcte des mécanismes fondamentaux. Les individus sont placés d'emblée dans un processus dynamique, dans une situation qui se transforme continuellement. La simulation semi-informatique implique une analyse dynamique des phénomènes économiques. En outre, l'ordinateur est requis ; le calcul ne possède aucune valeur pédagogique dans sa répétition car en volant du temps d'enseignement, il limite la portée de l'apprentissage et peut détruire toute velléité d'élaboration de systèmes formalisés d'expérimentation. Certes, l'informatique demande au départ un investissement considérable, mais ses coûts variables sont modestes relativement aux coûts du calcul manuel. En dépassant le goulot d'étranglement des calculs répétitifs terriblement ennuyeux, l'ordinateur se présente comme un outil pédagogique exceptionnel.

Il existe deux types concevables de simulation semi-informatique : la simulation semi-informatique opérationnelle, qui représente les actions-réactions des groupes sociaux et la simulation semi-informatique comparative, qui se borne à l'obtention de certains objectifs bien définis. Le

---

<sup>26</sup> Cf. FONTANEL J. L'anti-publicité, Université des sciences sociales de Grenoble, Diffusion Presses Universitaires de Grenoble, 1977.

<sup>27</sup> FONTANEL J., op. cit., Dp. 333 à 374.

<sup>28</sup> METER, NEWELL, PAZER, Simulation in Business and Economics, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1969, p. 303.

premier type de simulation exige la construction d'un modèle complexe dans lequel sont inscrits les tenants et les aboutissants politiques, économiques ou sociaux des actions des différents groupes sociaux.

Le second type de simulation se préoccupe plutôt de fournir des expériences théoriques simples, ne faisant pas référence à la substituabilité ou à la complémentarité des décisions en provenance de plusieurs groupes sociaux ; l'expérimentateur ne s'intéresse pas du tout aux actions-réactions des groupes sociaux, car il suppose être le seul maître d'œuvre du système formalisé, le seul élément extérieur au modèle capable de lui fournir les informations nécessaires sur la valeur des variables exogènes et des variables instrumentales

Il existe fort peu de simulations semi-informatérielles de l'analyse macroéconomique, ce qui nous paraît fort regrettable. Le modèle de Dolbear-Attiyeh-Brainard<sup>29</sup> se propose de faciliter l'enseignement de l'économie et spécialement de la politique économique. Les étudiants se trouvent face à un système artificiel inconnu, traité sur ordinateur. ils reçoivent un cours théorique complet et la simulation du système formalisé se présente comme un premier test des connaissances. « Le jeu est un cas vivant. L'étudiant est mis dans une situation comprenant une grande variété de problèmes à identifier et à résoudre. Plus, l'étudiant doit être préparé à vivre avec ses décisions. De cette façon, le jeu présente un intérêt unique. Aucun outil pédagogique n'offre cette opportunité et aucun ne peut le concurrencer »<sup>30</sup>. Il permet un processus d'apprentissage progressif concernant le recueil des données et leur traitement, l'étude des situations, le test de politiques alternatives, l'analyse des résultats. La simulation semi-informatérielles dissèque le monde économique à partir d'un modèle, elle facilite la compréhension des phénomènes économiques en offrant des exemples précis de l'importance de la variation d'un facteur sur l'ensemble des variables économiques d'un pays. Le modèle très simple de Attiyeh-Dolbear-Brainard se propose par exemple d'explicitier les liens entre le chômage, les prix et le produit national, de démontrer la difficulté de réalisation simultanée de plusieurs objectifs et de mettre en exergue les liens étroits entre certaines politiques économiques et quelques situations économiques concrètes (Tableau 10).

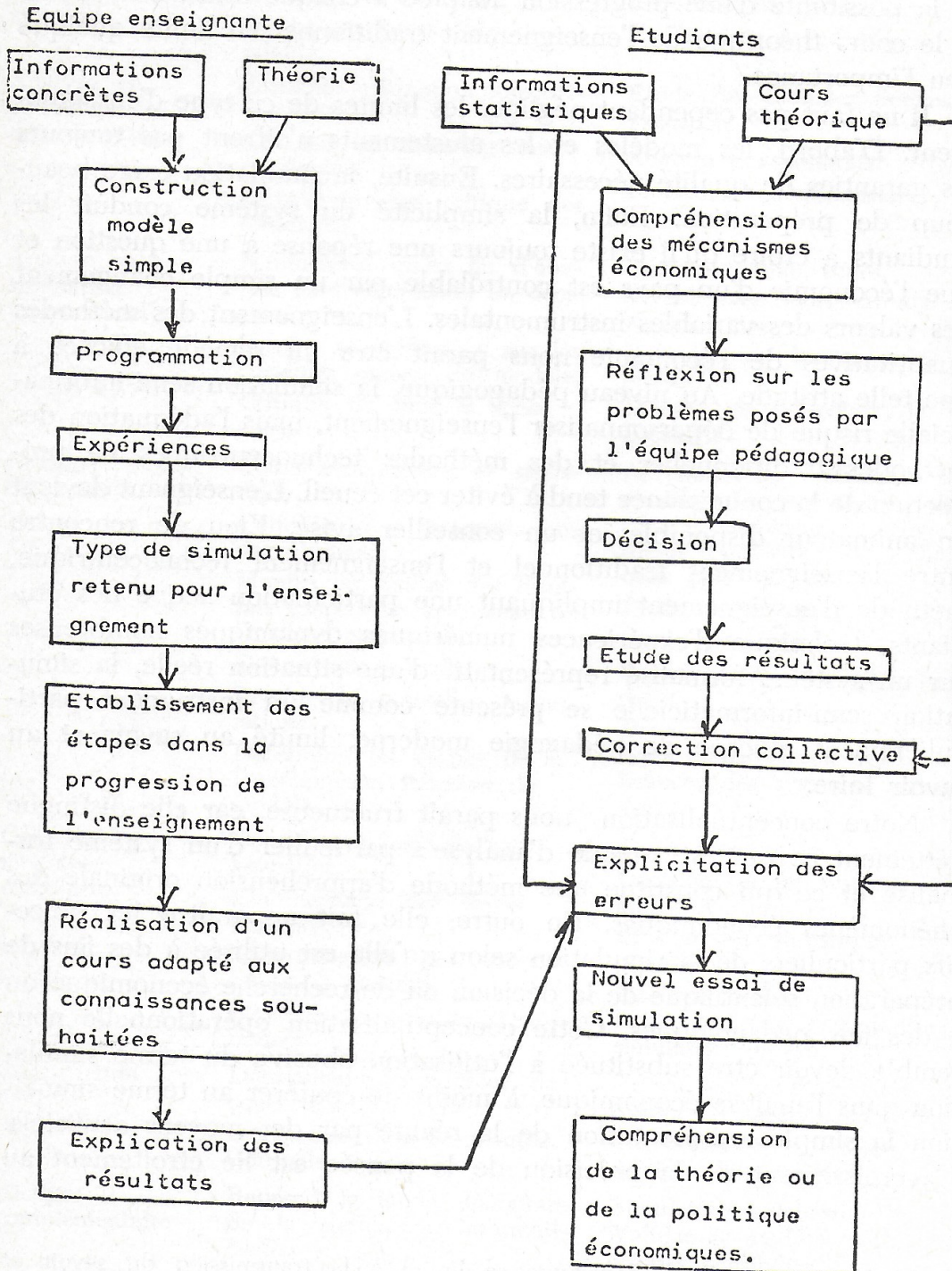
---

<sup>29</sup> DOLBEAR, ATTITEH; BRAINARD, "A simulation Policy Game for Teaching Macroeconomy; Am.Eco. R. May 1968. CYERI, COHEN, The Carnegie Tech. Management Game, Irwin, 1964,p. 106.

<sup>30</sup> CYERI, COHEN, The Carnegie Tech. Management Game, Irwin, 1964,p. 106.

TABLEAU N° 10

*Schéma général du modèle pédagogique de Dolbear-Attiyeh-Brainard*





Les étudiants participent activement à la leçon de macroéconomie appliquée<sup>31</sup>. Ils reçoivent des feed-backs continuels à leurs décisions et ils appliquent leurs nouvelles connaissances dans une grande variété de contextes. Les étudiants ne sont plus confrontés à la seule abstraction des déductions théoriques ; ils utilisent la théorie économique surtout pour donner un sens à la masse d'informations considérable dont ils disposent. Le modèle de Dolbear-Attiyeh-Brainard nous semble insuffisant, d'abord parce qu'il se présente comme un modèle d'ajustement instantané, ensuite parce que les étudiants peuvent à tout moment corriger leurs erreurs. Le modèle que nous avons construit<sup>32</sup> évite ces écueils, en proposant une simulation semi-informatique itérative, intégrant l'explication de la formalisation et de la quantification des variables macroéconomiques et en proposant le prolongement de l'enseignement par l'élaboration d'une simulation semi-informatique opérationnelle. En outre, notre système, dans un second temps, se propose de reprendre le mode opératoire de la simulation informatique, afin de compléter les connaissances théoriques des étudiants, par une explication pédagogique de la construction d'un modèle, des techniques économétriques, des procédures de validation et de réalisation d'un modèle stochastique.

Le Tableau 11 se propose de schématiser l'élaboration d'un tel système pédagogique, qui repose sur une organisation rationnelle comportant une définition méthodique des objectifs, une recherche expérimentale des moyens et un contrôle systématique des résultats<sup>33</sup>. Ce type d'enseignement présente l'avantage de l'individualisation partielle de la transmission des connaissances, et la possibilité d'une progression adaptée à chaque utilisateur, même si le cours théorique de l'enseignement traditionnel en limite quelque peu l'importance.

Il ne faut pas cependant négliger les limites de ce type d'enseignement. D'abord, les modèles et les ajustements n'offrent pas toujours les garanties de qualité nécessaires. Ensuite, la simulation exige beaucoup de préparation. Enfin, la simplicité du système conduit les étudiants à croire qu'il existe toujours une réponse à une question et que l'économie d'un pays est contrôlable par un simple changement des valeurs des variables instrumentales. L'enseignement des méthodes quantitatives de l'économie nous paraît être un remède efficace à une telle attitude. Au niveau pédagogique, la simulation semi-informatique risque de dépersonnaliser l'enseignement, mais l'adéquation des méthodes traditionnelles et des méthodes technocentriques de production de la connaissance tend à éviter cet écueil. L'enseignant devient un animateur disponible, et un conseiller avisé.

---

<sup>31</sup> L'ouvrage de GOUX, DALOZ, op. cit., pourrait aisément être utilisé pour expliquer aux étudiants le principe des multiplicateurs

<sup>32</sup> FONTANEL J., Simulation macroéconomique appliquée, Presses Universitaires de Grenoble, 1977

<sup>33</sup> Notre approche pédagogique se limite à la transmission du savoir et il n'englobe pas évidemment le savoir être.

TABLEAU N° 11

*Schéma souhaitable de la simulation pédagogique*

ÉTAPES	ÉQUIPE PÉDAGOGIQUE	ÉTUDIANTS
Modèle simplifié	Construit le modèle. Donne un cours théorique adapté.	Reçoivent un cours. Expériences préparatoires.
Analyse en simulation des résultats	Explique adéquation objectifs-résultats. Critique les décisions des étudiants. Développe sens critique des étudiants.	Étude des données fictives. Décisions. Analyse des résultats. Processus individualisé.
Analyse en simulation informatique	N'intervient qu'en fin d'analyse pour commenter les décisions. Suscite des réflexions sur les variables omises du modèle. Critique du modèle sous-jacent.	Décisions cumulatives. Vivent avec leurs erreurs. Analyse des résultats. Réflexion sur les variables omises. Montre les difficultés de la décision.
Critique du modèle	Cours économétrie et statistique. Contrôle des interprétations des étudiants. Montre les limites des résultats précédents au niveau de l'analyse empirique. Donne des conseils. Inspire de nouvelles formulations. Détermine les étapes de l'amélioration itérative du modèle.	Apprennent les problèmes des ajustements statistiques, les tests économiques, les hypothèses d'utilisation de techniques particulières. Étude de la récursivité. Étude programmation. Étude construction des modèles. Développement du sens critique et perception des insuffisances des systèmes formalisés.
Construction modèle complexe	Construction modèle type keynésien. Établissement des étapes pédagogiques. Détermination des connaissances à acquérir. Fixation du nombre d'expériences.	Cours traditionnel. Décision sur un système formalisé inconnu. Études des statistiques disponibles. Décision d'abord « en simulation des résultats », puis en simulation informatique.
Construction modèle S.I. opératoire	Détermination variables de concertation. Intégration dans le modèle. Conseille, corrige.	Travail en groupe. Comprend interdépendance des décisions. Analyse des résultats.
Analyse complémentaire	Reprend le mode opératoire de la simulation informatique. Cours d'économie quantitative.	Simulation stochastique. Validation modèle. Études sensibilité. Fonctions de préférence.

Lieu de rencontre entre l'enseignement traditionnel et l'enseignement technocentrique, méthode d'enseignement impliquant une participation active des étudiants, technique d'expériences numériques dynamiques nombreuses sur un système formalisé représentatif d'une situation réelle, la simulation semi-informatique se présente comme un instrument particulièrement efficace de pédagogie moderne, limité au savoir et au savoir taire.

Notre conceptualisation nous paraît fructueuse, car elle distingue nettement ce qui est « mode d'analyse » particulier d'un système formalisé et ce qui constitue une méthode d'appréhension originale des phénomènes économiques. En outre, elle fait apparaître les objectifs particuliers de la simulation selon qu'elle est utilisée à des fins de préparation scientifique de la décision ou de recherche économique ou à des fins pédagogiques. Cette conceptualisation opérationnelle nous semble devoir être substituée à l'utilisation abusive du terme simulation dans l'analyse économique, à moins de conférer au terme simulation la simple représentation de la réalité par des moyens artificiels. L'accroissement de la précision de la pensée est lié étroitement au développement du langage et de sa représentation. Les recherches taxinomiques deviennent indispensables, lorsque les vocables sont utilisés dans des acceptations fort différentes. Il faut que les économistes se donnent parfois la peine de contribuer à cerner correctement la signification profonde des concepts économiques et méthodologiques.

### **Bibliographie**

ADELMAN, I., ADELMAN, F. (1959) The dynamic Properties of the Klein-Goldberger Model, *Econometrica*, October.

AGLIETTA, M., (1970) L'utilisation du modèle FIFI dans la planification française, Nations Unies, Varna..

BABEAU, DERYCKE (1967), Problèmes de planification, Sirey, Paris.

BENARD, J. (1972), Comptabilité nationale et modèles de politique économique, Thémis, PUF, Paris.

COHEN K., CYERT R., (1961) « Computer Models in Dynamic Economics », *Quarterly Journal of Economics*, Feb. 1961.

CYERI, COHEN, (1964) *The Carnegie Tech. Management Game*, Irwin.

DALOZ & GOUX, C. (1970) *Macroéconomie appliquée*. Cujas, 1970.

DOLBEAR, ATTITEH; BRAINARD, (1968) "A simulation Policy Game for Teaching Macroeconomy; *Am.Eco. R.* May 1968.

DUESENBERY J., FROMM G., KLEIN L.R., KUM E., (1969) *The Brookings Quarterly Model of the United States*, Rand Mac Nally, Chicago, 1965. DUESENBERY,

EVANS, M. (1966) *An Econometric Model of the Israeli Economy, 1952-1965*; *Econometrica*.

EVANS, M. (1968) *Macroeconomic Activity*, Harper and Row, 1968

FONTANEL J. (1974), *Les techniques de simulation informatique dans l'analyse macroéconomique*, Thèse Nanterre, 1974.

FONTANEL, J., (1975) *Informatique et Science Economique*, Cahier de l'ISMEA. Décembre 1975.

FONTANEL J. (1977) *L'anti-publicité*, Université des sciences sociales de Grenoble, Diffusion Presses Universitaires de Grenoble, 1977.

FONTANEL J., (1977) Simulation macroéconomique appliquée, Presses Universitaires de Grenoble.

FROMM, TAUBMAN (1968), Policy Simulation with an Econometric Model, North Holland, 1968.

FROMM, KLEIN, KUN (1969), The Brookings Model: some further results, Rand Mac Nally,

GRILICHES Z., (1968) "The Brookings Model Volume: a review. The Review of Economics and Statistics, May 1968.

HOLLAND E.P. (1958) An analog Model for Studying Economic Development Problems, M.I.T. Press, 1958.

HOLLAND, GILLESPIE, (1963) Experiments in a Simulated Underdeveloped Economy Development Plans and Balance of Payments Policies, M.I.T. Press 1963.

HOWREY; R.P. Stabilization Policy in Linear Stochastic System, Review of Economics and Statistics, August 1967.

HUNTER; J.S., NAYLOR, T.H., Experimental Design for Computer Simulation Experiments, Management Science, Vol.16, n07, March 1970.

KLEIN, GOLDBERGER (1969) ; An econometric model of the USA, North Holland, 1969.

LEROUX, RAFFOUL (1969), « An Essay in Simulating Economic Policies in French Economy », Economics of Planning, 1969.

MEIER, NEWELL, PAZER (1969), Simulation in Business and Economics, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1969, p. 303.

MITTRA, S. (1968) La théorie de la simulation économétrique, Revue Economique, mars.

MORGENTHALER G.W. (1961) "The Theory and Application of Simulation in Operation Research, in Progress in Operation Research, Wiley and sons.

NAYLOR T.H., BURDICK, D.S., SASSER, W.E. (1967) Computer Simulation Experiments with Economic Systems: the Problem of Experimental Design, American Statistical Association Journal, Dec.

NAYLOR, T.H. (1971) Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems; John Wiley and sons; 1971. HUNTER; J.S.,

NAYLOR, T.H. (1970) Experimental Design for Computer Simulation Experiments, Management Science, Vol.16, n07, March 1970.

PAELINCK J.H.P., (1969) « Un modèle de simulation et de contrôle de l'économie belge, Rivista di Scienze Economiche e commerciali, Marzo.

PAELINCK, DE BIOLLEY, (1969) « A Dynamic Model for Belgian Economy », Economics of Planning, 1969.

RENARD, B., RENAULT, J-P., (1969) « La simulation et les calculateurs, Economie Appliquée, Sept 1969.

SHUBIK, M. (1960) « Simulation of the Industry and The Firm". Am. Eco. R.

SHUBIK M. (1967), « Simulation of Socio-Economic System», General System, 1967

TOCHER, J. (1963), "The art of simulation", Van Nostrand, Princeton.

ULAM, S. (1970) « on the Monte Carlo Method" in Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on digital calculating machines, Harvard University Press