

Des outils pour la simulation économique : Jan Tinbergen et l'émergence des modèles structurels (1935-1940) ¹

Éric Chancelier ²

« Le terrain expérimental est l'observation du comportement généré par une machine artificielle. Les méthodes statistiques de la science expérimentale peuvent être appliquées à la comparaison de comportement des systèmes simulés ³ » (Callataÿ, 2002, 108).

« En tant que technique pour permettre la compréhension et prévoir le comportement des systèmes, la simulation est sans aucun doute bien antérieure à l'ordinateur » (Simon, 1996, 44).

Depuis les travaux de Lucas (1980), la simulation en économie repose sur l'idée principale que le modèle élaboré doit être déconnecté de toute connotation réaliste. En intégrant dans ses travaux l'hypothèse des anticipations rationnelles des agents, Lucas rend obsolète la méthodologie des modèles structurels dans la mesure où les paramètres estimés sur le passé sont instables du fait du comportement auto réalisateur des agents. Ainsi, l'utilisation d'un modèle causal reliant les variables exogènes avec les variables endogènes ne peut plus s'appliquer. Plus précisément, c'est la notion même de structure et c'est le rôle de la théorie qui sont remis en cause ⁴. Ces changements méthodologiques engendrent un statut nouveau des modèles. En particulier, Lucas revendique une modélisation déconnectée de toute représentation réaliste dans le sens où « la recherche du réalisme d'un modèle économique pervertit son utilité potentielle pour penser la réalité. Tout modèle conçu pour

¹ Une première version a été présentée dans le cadre du colloque européen Augustin Cournot Doctoral Days à Strasbourg (avril 2004).

² Professeur à l'ESG Paris. echancel@esg.fr. Je tenais à remercier les deux rapporteurs anonymes pour leurs commentaires instructifs ainsi que Philippe Le Gall et Philippe Adair pour leurs lectures attentives.

³ Notre traduction.

⁴ On retrouve cette idée avec les travaux de Sims (1980). Celui-ci réfute le partage entre variables exogènes et endogènes *a priori*. Il considère que toutes les variables sont endogènes. Il rejette le procédé actuel de l'identification et l'idée selon laquelle les théories économiques imposent des enchaînements causaux entre les variables. Anti keynésien et anti monétariste, Sims propose une alternative d'investigation conjoncturelle : les modèles VAR (Vector Auto Regressive).

donner des réponses claires aux questions qui lui sont adressées sera nécessairement artificiel, abstrait, 'irréal' de manière patente⁵ » (Lucas, 1980, 696). Cette volonté de créer des modèles artificiels et autonomes⁶ s'inscrit dans une plus large mesure dans le développement des nouvelles pratiques de la modélisation dans de nombreux domaines scientifiques. Armatte et Dahan Dalmedico (2004) analysent les nouveaux enjeux de la modélisation et le statut des modèles entre 1950 et 2000 pour constater que la pratique de la modélisation change à partir des années 1970. Avec l'usage intensif des ordinateurs, la simulation devient non seulement un élément central dans la recherche scientifique mais aussi permet de ne plus placer le modèle comme uniquement un intermédiaire entre une observation quantifiée et une théorie préexistante en attente de légitimité par son estimation. L'objectif consiste alors à créer une machine fonctionnellement équivalente au système étudié⁷. En d'autres termes, le chercheur construit des machines virtuelles sensées représenter le monde observé sans pour autant utiliser des concepts réalistes dans le sens où l'objectif ultime est moins de valider une théorie que de trouver le système qui reproduise au mieux ce que l'on souhaite représenter. Pour cela, Callataÿ (2002) explique que la simulation en macroéconomie consiste actuellement dans un premier temps à adopter une démarche d'ingénieur qui se caractérise par la technique de l'ingénierie inverse⁸ pour construire le modèle. Plus précisément, il élabore un système d'équations fonctionnellement équivalent à ce qu'il observe. On obtient alors un système d'équations modulaires et autonomes. Cette structure particulière permet alors d'aborder la notion de scénarios dans la mesure où l'autonomie des relations élaborées au préalable permet d'analyser les parties du modèle indépendamment les unes des autres. Plus encore, comme l'expliquent Armatte

⁵ Notre traduction.

⁶ Morgan et Morrison (1999) considèrent qu'un modèle est autonome dans la mesure où une de ses attributions est de faire le lien entre les observations et les théories. Il devient un intermédiaire qui permet de confronter la théorie aux données. Par conséquent, le modèle est un outil qui permet de simuler – en utilisant des fondements théoriques – ce que l'on observe. Néanmoins, les auteurs précisent que le modèle peut prendre un autre statut d'autonomie dans la mesure où il peut faire l'objet d'étude en lui-même. Cela signifie que le modèle peut être élaboré indépendamment de la théorie et des observations. Il occupe alors une place privilégiée dans la constitution de la connaissance scientifique. Son autonomie lui permet d'être utilisé dans des domaines différents.

⁷ L'idée de machine est importante puisqu'elle permet de réunir les concepts de la simulation, de processus artificiels, d'autonomie. Il y a dans le concept de la machine non seulement l'image selon laquelle l'ingénieur souhaite représenter avec un instrument qu'il contrôle une partie de la réalité mais aussi l'idée selon laquelle le système peut être représenté par un processus d'imitation dont les parties constitutives sont parfaitement articulées entre elles.

⁸ La technique de l'ingénierie inverse est une méthode d'ingénieur qui permet de construire un modèle. L'idée qui la caractérise est la suivante : on constate un phénomène ou un objet particulier. L'objectif est l'élaboration des équations qui gèrent le fonctionnement de ce que l'on constate ou de ce que l'on souhaite représenter. Ainsi, il faut retrouver une équivalence fonctionnelle à ce que l'on a devant les yeux. De la même manière en économie, Tinbergen est confronté à l'observation des cycles économiques. Il ne peut que dans un premier temps les constater. Néanmoins, il souhaite retrouver une dynamique fonctionnelle des mouvements observés. En d'autres termes, il doit recréer un système global expliquant de manière fonctionnelle les mouvements cycliques.

et Dahan Dalmedico (2004, 260), la machine informatique et les possibilités illimitées de procéder à des simulations de toute nature transforment la nature du métier de chercheur dans la mesure où la démarche scientifique s'assimile dorénavant à celle des ingénieurs.

Si l'on se tourne vers le passé, on se rend compte que l'on retrouve les germes de la modélisation contemporaine avec les premiers modèles de simulation en économie de Tinbergen (1939a, 1939b). Si celui-ci revendique une approche réaliste⁹ dans la constitution du modèle il n'en demeure pas moins que l'analyse de ses travaux étonne pour le moins puisqu'il utilise les éléments des théories économiques de façon pragmatique comme le ferait un ingénieur. A ce titre, nous constaterons que sans pour autant utiliser la terminologie propre aux ingénieurs¹⁰, Tinbergen utilise des concepts qui s'en rapprochent fortement. Aussi, les emprunts de ces termes nous éclaireront pour faire ressortir la démarche de Tinbergen. Si Boumans (1992) analyse la façon dont Tinbergen a utilisé l'analogie physique pour conceptualiser l'économie pour ensuite constater les limites de ce transfert, nous voulons véritablement apporter un éclairage nouveau sur les travaux de Tinbergen en présentant le caractère novateur de ses travaux en matière de simulation.

L'objectif de l'article est l'analyse des fondements du premier modèle de simulation en économie. Dans une première partie, nous développerons l'élaboration de la machine qui va permettre *la simulation du mouvement économique*. Nous remarquerons la proximité d'approche avec ce qui se fait actuellement. Plus particulièrement, la recherche d'un système de fonctions équivalentes s'effectue au travers les supports que sont les éléments des théories économiques du cycle développées par Haberler (1937). Ces éléments sont destinés non pas à valider une théorie choisie au préalable mais sont utilisés comme des outils de construction pour obtenir un modèle de simulation de la réalité observée. Aussi, la structure du modèle sera mathématique et élaborée à partir des éléments de théories économiques diverses. La machine ainsi constituée permettra *des simulations de scénarios de politiques économiques* – ceci sera notre seconde partie. Tinbergen construit une machine expérimentale en mettant en place un système d'équations structurelles. Cela lui donnera la possibilité d'effectuer différents tests d'hypothèses de politiques économiques : des scénarios de court et de long terme.

⁹ L'estimation statistique garantit une certaine vérité empirique des relations établies dans le modèle. Inversement, la démarche de Lucas est de se démarquer de tout support réaliste dans la mesure où les modèles à anticipations rationnelles sont difficilement estimables mais cela procure une facilité pour l'étude des propriétés dynamiques du système. De manière analogue, la modélisation VAR de Sims est qualifiée de 'boîte noire' et d'irréaliste dans la mesure où l'auteur n'adopte pas un parti pris théorique. Néanmoins, ses travaux ont permis d'éclaircir certains points relatifs aux effets retard des variables, aux dynamiques des variables suite à des chocs, aux relations de causalité.

¹⁰ On se référera à l'ingénierie inverse, système interne et externe, scénarios, artefact, boîte noire.

1 La simulation du mouvement économique : la recherche de la preuve

L'objectif de cette partie est de montrer que les travaux de Tinbergen s'inscrivent dans une démarche méthodologique proche de celle d'un ingénieur qui souhaite élaborer une machine – un modèle – capable de reproduire certains phénomènes. Une machine se caractérise par un ensemble d'équations qui permettent de simplifier la réalité et de se représenter le système économique comme un ensemble de comportements articulés entre eux. Comme l'explique Callataÿ (2002), une des méthodes de construction de modèle est la technique de la simulation. Il analyse les méthodes de simulations des modèles macroéconomiques en utilisant l'ordinateur. La démarche se rapproche de la technique de l'ingénierie inverse. Elle se résume de la manière suivante : le technicien a une machine devant les yeux et il ne dispose pas de la notice technique de fonctionnement. Pourtant, il doit élaborer les équations qui gèrent le fonctionnement de la machine. Plus précisément, il faut retrouver une équivalence fonctionnelle à l'objet qu'il a devant lui. Il va donc devoir simuler le fonctionnement de ce qu'il observe. Il va mettre en place une machine fonctionnellement équivalente à la réalité observée. Cette machine permet de simuler – c'est-à-dire reproduire – les faits. En d'autres termes, la méthode de la simulation consiste à chercher les preuves de ce que l'on constate. Une des caractéristiques de cette simulation *via* l'outil informatique est, comme l'indiquent Armatte et Dahan Damedico (2004, 270), que la démarche d'analyse est complètement déconnectée de la théorie puisque l'objectif est d'expérimenter numériquement des formes susceptibles de convenir au mieux à ce que l'on souhaite représenter. On se situe donc véritablement dans le domaine de la recherche opérationnelle où l'ordinateur permet de générer les formes souhaitées. Cette démarche contemporaine de l'ingénieur renvoie à des concepts d'aujourd'hui comme le procédé de l'ingénierie inverse.

En analysant les travaux de Tinbergen, on constate l'esprit de ce concept. Aussi, nous allons voir de quelle façon les travaux de Tinbergen s'apparentent à un travail de simulation des mouvements économiques. Plus particulièrement, nous mettrons en évidence la proximité de l'approche de l'ingénieur avec celle de Tinbergen surtout en ce qui concerne la recherche de la preuve du cycle économique. Nous développerons dans une première section l'idée selon laquelle Tinbergen utilise *les éléments des théories économiques* fournis par le recueil de Haberler (1937) *pour trouver les explications plausibles aux mouvements cycliques*. Ainsi, il a à sa disposition des explications fonctionnellement équivalentes aux fluctuations économiques. Néanmoins, Tinbergen précise la démarche de la simulation dans la mesure où il intègre un mécanisme destiné à confronter les multiples explications théoriques fonctionnelles aux faits observés. Plus précisément, Tinbergen utilise *l'outil statistique pour vérifier le degré de concordance entre les faits observés et les éléments théoriques*. Ceci constituera notre deuxième section.

1.1 Les éléments des théories économiques fournissent les alibis

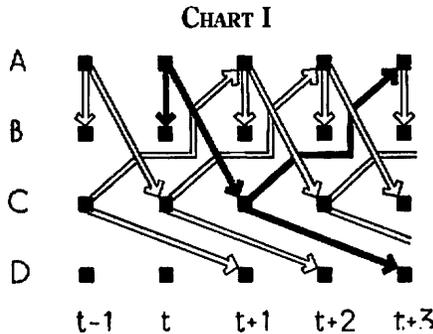
La place de la théorie dans les années 1930 consiste principalement à fournir une explication unique des mouvements cycliques. D'un point de vue historique et international, on assiste à un renouveau de l'explication théorique des cycles dans les années 30. Comme l'expliquent Endres et Fleming (2002), si on attribuait aux mouvements cycliques des causes principalement monétaires jusqu'en 1931¹¹ – année qui marque la fin du Gold Exchange Standard – il en est tout autrement après dans la mesure où suite à la crise de 1929 non prévue par les économistes, ceux-ci commencent à faire le bilan de leurs connaissances sur les explications des causes des cycles économiques. Ce contexte d'instabilité de la conjoncture internationale est perçu par les instances internationales et en particulier par la Société des Nations qui en 1930 demande à Haberler de faire un recensement des théories économiques existantes qui expliquent les mouvements cycliques¹². Comme l'explique Haberler, on est confronté à un nouveau dilemme dans la mesure où toutes ces théories sont plausibles et qu'il est nécessaire d'établir une méthodologie qui permette de sélectionner ces dernières. La Société des Nations demande alors à Tinbergen de mettre en place une procédure d'analyse qui permette de choisir la 'bonne' théorie explicative des cycles économiques.

Le rapprochement entre la Société des Nations et Tinbergen s'explique par les travaux déjà effectués par l'auteur en matière de modélisation cyclique. Précisément, en 1935, Tinbergen travaille avec le CBS – Central Bureau of Statistics – et le gouvernement hollandais afin de mettre en place un nouvel outil – un modèle – d'étude des mouvements cycliques dont l'objectif est de prévenir les dépressions économiques. Comme l'explique Bogaard (1999, 297-305), c'est véritablement aux Pays-Bas que Tinbergen va expérimenter ses premières modélisations structurelles. En respectant le cahier des charges du CBS, Tinbergen doit mettre en place un nouvel outil qui permette à la fois de rendre compte – de façon descriptive – des mouvements économiques comme le faisaient les baromètres économiques mais aussi de vérifier des relations causales entre les mouvements des différentes variables économiques. Tinbergen est le premier à mettre en place une approche mathématique d'analyse des cycles économiques où la dimension théorique au même titre que l'analyse descriptive sont étroitement imbriquées. Si le premier modèle macro économétrique est né aux Pays-Bas avec les travaux de Tinbergen, la méthodologie qu'il a développée sera reprise dans l'ensemble des pays occidentaux et en particulier dans les instances internationales (Bogaard, 1999, 282).

¹¹ Endres et Fleming (2002, 17-30) expliquent que la période d'après la Première Guerre Mondiale jusqu'à la fin du Gold Exchange Standard en 1931 évoluait dans un paradigme monétaire et descriptif. Le cadre d'analyse reposait sur l'idée selon laquelle les aspects monétaires déterminaient les cycles économiques et ainsi fixaient le niveau d'emploi. L'analyse était principalement descriptive et se matérialisait par la création de baromètres économiques multiples (Persons, 1916, 1919a, 1919b et BIT, 1924).

¹² L'ouvrage d'Haberler paraît en 1937.

Nous allons analyser la façon dont Tinbergen va utiliser les éléments des théories économiques pour lui permettre de construire des schémas mathématiques qui seront ensuite validés statistiquement. Comme l'ingénieur qui est en face d'une machine sans savoir comment elle fonctionne, Tinbergen constate les mouvements cycliques sans connaître la véritable structure qui pourrait expliquer ces fluctuations. Par conséquent, il doit trouver des équations fonctionnellement équivalentes aux mouvements constatés. Sa technique s'apparente alors à ce que l'on nomme aujourd'hui la méthode de l'ingénierie inverse¹³. Cela signifie que Tinbergen doit construire des schémas mathématiques qui seront les fondements des relations des éléments économiques explicatifs des cycles. En d'autres termes, il construit des fonctions mathématiques avec l'aide des éléments des théories économiques. Ces fonctions sont équivalentes entre elles dans la mesure où elles reproduisent des mouvements cycliques. Tinbergen lie les éléments économiques issus des théories économiques sous forme mathématique. Toutes les possibilités théoriques et les liaisons entre les variables peuvent se matérialiser par un schéma.



Graphique 1 : *Tinbergen, 1939-1940, 74*

Les variables sont représentées par les lettres A, B, C, D. L'axe temporel est représenté en abscisse. Les flèches représentent les rapports de causalité énoncés par la théorie. Morgan (1990, 122-123) qui analyse l'histoire de l'économétrie explique que ce graphique avait une vocation pédagogique et était destiné à Keynes¹⁴. Tinbergen voulait rendre compte des phénomènes de causalité immédiate et secondaire. Ainsi, chaque élément économique est la conséquence de multiples causes. Par conséquent, l'analyse du système économique repose sur l'étude des chaînes causales représentées sur le graphique par les flèches. Comme l'explique Tinbergen,

¹³ Se référer à Callataÿ (2002, 107-108)

¹⁴ Pendant les années 1939 et 1940, Keynes a fortement critiqué l'approche méthodologique de Tinbergen. En particulier, Keynes s'est interrogé sur l'explication des variables retardées. Pour lui, elles ne peuvent venir que des théories économiques et ne peuvent faire l'objet d'une analyse inductive comme le fait Tinbergen. Pour plus de détails sur le débat entre ces deux économistes, il faut se référer à Morgan (1990, 121-130).

« la première étape [...] se caractérise par la construction d'un projet pour l'utilisation des théories des cycles des affaires. Cela consiste à indiquer la structure logique du mécanisme des cycles des affaires ¹⁵ » (Tinbergen, 1939-1940, 74).

Toutes ces structures logiques émanent des théories économiques rassemblées par Haberler et peuvent rendre compte du mouvement cyclique. À titre d'illustration, nous pouvons développer cette première étape avec l'analyse qu'effectue Tinbergen – au sein de la Société des Nations en 1939 – des fluctuations des investissements. La méthode adoptée consiste à se tourner vers les théories économiques pour identifier les variables à examiner. Tinbergen retient six variables explicatives – issues des théories diverses recensées par Haberler – aux mouvements de l'investissement : les profits courants, le niveau des prix des moyens de production, le taux d'intérêt de court et long terme, la marge de profit, le taux d'accroissement des prix, le taux d'accroissement du volume de la production. Toutes ces variables sont susceptibles d'expliquer – de fournir les alibis – et de simuler les fluctuations des investissements. La démarche de Tinbergen à l'encontre de l'utilisation des théories économiques peut paraître pour le moins ambiguë vis-à-vis des attentes de la Société des Nations puisque rappelons le, « l'objet essentiel de l'ouvrage [de Tinbergen, 1939a, 1939b] est d'exposer la méthode que l'on se propose d'appliquer pour la vérification statistique des théories des cycles » (Tinbergen, 1939a, 9). Si l'objectif initial est la vérification des théories économiques, il en est différemment dans la pratique puisque Tinbergen utilise non pas une théorie économique des mouvements cycliques mais une équation du mouvement cyclique dont ses fondements proviennent d'éléments issus de multiples théories. Finalement, la démarche de Tinbergen est moins de confronter une théorie particulière aux observations que de reconstruire une équation représentant le mouvement constaté à partir de multiples variables économiques provenant de théories diverses. La démarche de Tinbergen rejoint en grande partie les méthodes contemporaines d'ingénieurs qui consistent à ne plus confronter le modèle à une théorie préexistante mais à reconstruire – via des simulations informatiques – ce que l'on observe. Dans le cas de Tinbergen, la démarche est similaire puisqu'il mobilise des éléments économiques provenant de plusieurs théories économiques. Les fondements de son modèle relèvent plus d'une reconstruction que d'une validation d'une théorie économique énoncée en amont. En cela, il adopte la technique de l'ingénierie inverse.

Si Tinbergen est capable de construire des équations mathématiques à partir de ces variables ¹⁶ issues de diverses théories économiques, il n'en demeure pas moins qu'il a un souci de vérification empirique. Au même titre que l'ingénieur lorsqu'il simule algébriquement une liaison souhaitée entre

¹⁵ Notre traduction.

¹⁶ Tinbergen (1935) explique que l'on peut recréer ou simuler le mouvement cyclique à partir d'une équation mathématique sans pour autant confronter les résultats de la simulation aux faits observés. Il cite en particulier les travaux de Kalecki (1935).

divers éléments, Tinbergen utilise l'outil statistique – corrélation partielle et multiple – afin de simuler les liaisons les plus probables entre les variables économiques. Nous allons développer dans la section suivante la manière dont Tinbergen va utiliser l'outil statistique pour véritablement vérifier ces liaisons qui sont pour le moment fonctionnellement équivalentes entre elles pour expliquer les mouvements. Plus particulièrement, il a recours à l'outil statistique pour valider empiriquement l'importance de ces variables, lesquelles simuleront les fluctuations constatées.

1.2 L'outil statistique vérifie les alibis théoriques

L'objectif de Tinbergen est de trouver une reproduction fonctionnellement similaire aux mouvements constatés. Il souhaite simuler – reproduire – les mouvements économiques observés par une structure réaliste – ajustée statistiquement – émanant des multiples éléments fournis par l'ensemble des théories économiques. Pour cela, il utilise le coefficient de corrélation :

« la méthode de la corrélation se propose un double but : 1° vérifier l'existence d'une relation attendue entre deux ou plusieurs variables (vérification), et 2° dans l'affirmative, déterminer l'intensité des influences exercées par chaque phénomène causal (mesure) » (Tinbergen, 1939b, 16).

Tinbergen laisse à la statistique le soin de sélectionner et de mesurer les variables issues des théories économiques du cycle susceptibles de caractériser la structure du mouvement constaté. Armatte (2001) analyse le statut de la corrélation en économie et explique que la démarche de Tinbergen est curieuse voir même passéiste dans la mesure où celui-ci réintègre une technique – la corrélation multiple – qui avait été un peu délaissée au profit de méthodologies exclusivement mathématiques comme la dynamique des circuits oscillants développés entre autres par Frisch (1933) et par Le Corbeiller (1933). Ces auteurs utilisaient alors des équations différentielles pour représenter les mouvements. Néanmoins, il me semble qu'il est nécessaire de replacer la démarche de Tinbergen – basée sur la statistique – dans son contexte à la fois historique et méthodologique. Tout d'abord, Tinbergen travaille pour la Société des Nations et comme l'indiquent Endres et Fleming (2002), la théorie économique doit être présente dans les travaux de Tinbergen dans la mesure où l'institution internationale souhaite faire des recommandations de politiques économiques. Il est nécessaire que les discussions de politiques économiques portent sur des éléments issus des théories économiques potentiellement contrôlables par les gouvernements. En conséquence, Tinbergen doit procéder à une démarche d'analyse quantitative. Il doit trouver une technique de simulation de la structure économique basée sur des éléments de théories économiques¹⁷. Cet objectif de réalisme – de confrontation aux

¹⁷ Nous verrons dans la seconde partie que tout le travail préalable qui consiste à simuler le mouvement économique – et ainsi de déterminer la structure de celui-ci – à partir des éléments de théories économiques permet à Tinbergen de reconstituer une structure mathématique. Cette dernière permettra des simulations de politiques économiques.

faits – se combine parfaitement avec la démarche de la simulation de la structure que Tinbergen souhaite appliquer. Aussi, les coefficients de corrélations multiples remplacent les fonctions mathématiques du comportement des variables. La procédure de Tinbergen permettra d’obtenir une structure mathématique qui sera soumise à analyse pour connaître le véritable comportement structurel de l’économie. En particulier, il sera possible de savoir si la structure économique présente des cycles amortis. Tinbergen effectue un passage par les éléments des théories économiques et par l’usage de la statistique pour déterminer la structure du phénomène cyclique constaté. A titre d’illustration, nous pouvons détailler les analyses de Tinbergen relatives à la recherche de la structure des investissements américains entre 1919 et 1933.

Accroissement moyen du coefficient de corrélation obtenu par l’adjonction de chacune des variables suivantes

Pays	Profits	Rendement des actions	Taux d’intérêt à court terme	Prix du fer	Taux d’accroissement		Marge de profit
					de la production	des prix	
Royaume-Uni 1871-1910	0,552	0,069*	0,023	0,078	0,039	0,073	0,060*
Allemagne 1871-1912	0,853	0,001	0,012*	0,001	0,004	0,001*	0,002
États-Unis 1919-1933	0,795	0,191	0,001*	0,001	0,000	0,003*	0,001

Tableau 1 : Tinbergen, 1939a, 61

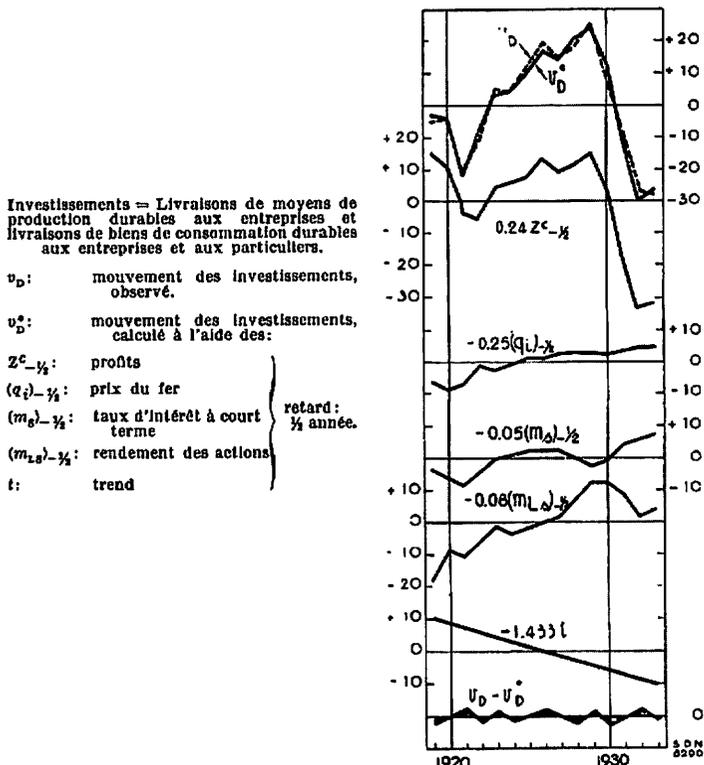
Le tableau 1 explique comment Tinbergen sélectionne les variables à partir des calculs des coefficients de corrélation¹⁸. Ici, la variable profit est importante pour expliquer les investissements américains (le coefficient de corrélation est de 0,795). Si on essaye de placer le rendement des actions comme deuxième variable explicative, on obtient un gain de 0,191 pour le coefficient de corrélation – on obtient donc un coefficient de corrélation de 0,795+0,191 = 0,986. Tinbergen explique que le rendement des actions est une variable significative. En revanche, Tinbergen constate que le taux d’accroissement de la production n’est pas significatif car la prise en compte de cette variable n’engendre pas d’augmentation du coefficient de corrélation. Il ne retiendra pas cette variable. Après de multiples essais¹⁹, Tinbergen retient cinq variables explicatives aux mouvements des investissements :

¹⁸ Tinbergen (1939a, 152) calcule les coefficients de corrélation de la manière suivante. Soient deux séries x_1 et x_2 le coefficient de corrélation s’écrit alors : $r_{12} = (\sum x_1 x_2) / \sqrt{(\sum x_1^2 \sum x_2^2)}$. Si on a plusieurs séries x à x'_1 le coefficient de corrélation totale s’écrit : $R_{1,2,3,\dots,n} = \sqrt{(b_{12} \sum x_1 x_2 + b_{13} \sum x_1 x_3 + \dots + b_{1n} \sum x_1 x_n)} / (\sum x_1^2)$ avec $b_{12} \dots b_{1n}$ représentant les coefficients de régression en unités normalisées.

¹⁹ Tinbergen initie ce que les économètres de l’école de Hendry appellent « data mining ». Dans cette configuration méthodologique, les fondements théoriques sont inexistantes.

profits, prix du fer, taux d'intérêt à court terme, rendement des actions, le temps. Une fois que les variables économiques significatives sont découvertes, Tinbergen simule le mouvement des investissements américains en utilisant les coefficients de régression. Ces variables forment la structure du phénomène constaté.

« EXPLICATION DU MOUVEMENT DES INVESTISSEMENTS
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE, 1919-1933



Graphique 2 : Tinbergen, 1939a, 63

Le graphique 2 présente les parties constitutives à la simulation – à la reproduction – du mouvement des investissements américains. Il obtient l'équation structurelle suivante :

$$v_d = 0,24Z^c_{-1/2} - 0,25(q_i)_{-1/2} - 0,05(m_s)_{-1/2} - 0,08(m_{L,s})_{-1/2} - 1,433t + (v_d - v_d^*)^{20}$$

Il constate dans ce cas que le rôle des profits est fondamental dans l'explication

²⁰ Le terme $(v_d - v_d^*)$ représente le résidu de la série. Tinbergen précise que la corrélation sérielle des résidus doit être nulle. Il vérifie le caractère aléatoire de la série. Plus précisément, le fait que les résidus soient répartis suivant une courbe normale des fréquences justifie le système des chocs élaborés par Frisch (1933).

des investissements aux Etats-Unis. Plus précisément, il est capable d'affirmer qu'une augmentation de 1 % des profits ($Z_{1/2}^c$) engendre une hausse de l'investissement (v_d) de 0,24 %. De même, on remarque que le niveau des taux d'intérêt de court terme ($(m_s)_{1/2}$) est peu significatif²¹ pour expliquer les investissements. Une augmentation de 1 % des taux d'intérêt de court terme entraîne à la baisse le montant de l'investissement de 0,05 %. Ce résultat est intéressant dans la mesure où il met en avant des causes réelles et non plus monétaires dans l'explication des mouvements économiques.

Si nous récapitulons ce qui vient d'être énoncé antérieurement, nous sommes en mesure de constater que la démarche de Tinbergen est dans un premier temps tournée vers la simulation du mouvement économique. Le tableau 1 et le graphique 2 indiquent que Tinbergen se place en position de concepteur d'une machine qui simule ce qu'il observe et qui construit les éléments constitutifs de la machine. Il constate un phénomène observé, il a à sa disposition une multitude d'explications disponibles qui sont représentées par les théories recensées dans l'ouvrage de Haberler (1937), lesquelles fournissent des quantités multiples de variables économiques potentiellement significatives. Tinbergen procède alors à une sélection statistique des variables – via le coefficient de corrélation – pour enfin quantifier l'importance relative des variables – en utilisant le calcul des coefficients de régression. Plus précisément,

« ces résultats indiquent la force relative des diverses causes qui déterminent les fluctuations des investissements [...]. Ils permettent également certaines déductions quant aux causes immédiates essentielles des renversements du mouvement de ces investissements » (Tinbergen, 1939a, 145).

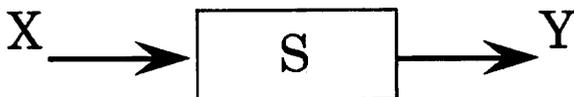
Néanmoins, lorsqu'on analyse plus profondément la démarche de Tinbergen, nous pouvons constater que les travaux de l'auteur ne sont qu'une première étape de simulation pour atteindre ensuite un second niveau de simulation qui sera analysé dans la seconde partie de la présentation. Aussi, nous pouvons déjà remarquer que cette première simulation du mouvement économique correspond à la simulation d'une fonction²² hybride – dans le sens où elle est le fruit de multiples théories économiques – destinée à reproduire le mouvement constaté empiriquement. Il apparaît clairement que Tinbergen privilégie ici une liaison élargie entre l'usage de l'outil statistique et les théories économiques pour déterminer la structure de la fonction qui simulera le mouvement. Le travail de Aish (2002) peut nous aider à appréhender véritablement la signification de ce rapprochement – entre la corrélation statistique et les éléments des théories économiques – et pour comprendre en quoi

²¹ En effet, le tableau n°1 indique que l'accroissement du coefficient de corrélation, suite à la prise en compte des taux d'intérêt de court terme, augmente très faiblement.

²² Nous développerons en seconde partie l'idée selon laquelle Tinbergen a pour objectif la simulation d'un modèle fonctionnel. Plus précisément, au travers les propriétés d'un système artificiel – une machine – il s'attache à découvrir les fonctions qui généreront ce système – système d'équations structurelles.

cette approche est une démarche préalable qui prépare à une simulation d'un système fonctionnel global. Aish a publié de nombreuses études analysant les comportements multiples des individus dans la société²³. Elle s'est trouvée dans la même situation que Tinbergen dans la mesure où elle constate le phénomène sans en connaître les véritables causes. Elle doit donc procéder à une simulation du phénomène par l'intermédiaire d'un modèle explicatif qui représenterait la structure du comportement suicidaire. Elle procède à l'utilisation des corrélations multiples pour détecter les éléments significatifs à l'explication des faits. Plus précisément, elle explique que la technique de la corrélation est « une première étape pour des programmes d'intervention²⁴ » (Aish, 2002, 52). L'important explique-t-elle est de découvrir non seulement les facteurs qui sont reliés causalement au comportement suicidaire mais aussi il est fondamental de connaître l'importance de ces facteurs explicatifs – les coefficients de régression – de façon à ce que les politiques de lutte contre le suicide soient efficaces. Ainsi, les coefficients de corrélation et de régression permettent de construire des équations de médiations dans la mesure où ils constituent la structure qui simule le phénomène. Aish précise que cette démarche – qui est identique à celle de Tinbergen – a pour objectif principal de simuler le mécanisme du système et non pas de représenter les propriétés du système. En d'autres termes, l'auteur souhaite avant tout représenter le phénomène observé par la simulation d'un mécanisme qui est basé sur la statistique et qui utilise des éléments explicatifs issus des théories. L'objectif principal est la recherche de liaisons causales entre des variables économiques.

Ainsi, il apparaît que la simulation peut revêtir plusieurs formes. Comme l'indique Franck (2002), il est nécessaire de faire la distinction entre la *simulation d'un mécanisme d'un système* et la *modélisation des propriétés du système* qui génère ce mécanisme. A titre d'illustration, nous pouvons reprendre le schéma de l'auteur :



Graphique 3 : *Franck, 2002, 90*

Le graphique 3 met en évidence les deux caractéristiques énoncées ci-dessus. Le mécanisme qui génère le système S est dans la boîte²⁵. Pour connaître les propriétés du système, il faut lui faire subir des influences extérieures X

²³ Elle s'est intéressée à la modélisation du comportement suicidaire.

²⁴ Notre traduction.

²⁵ La notion de 'boîte noire' apparaît avec le développement de la cybernétique dans les années 1950 (Armatte et Dahan Dalmedico, 2004). Elle s'est développée conjointement avec la recherche opérationnelle non seulement dans les sciences de l'ingénieur mais aussi en économie (Mirowski, 1999).

– *input* – pour pouvoir ensuite analyser les résultats correspondants *Y* – *output*. Nous pouvons distinguer deux mécanismes : le premier peut être qualifié de mécanisme interne – le système – dans la mesure où il doit simuler les phénomènes constatés. Quant au second mécanisme, il doit simuler les propriétés du système, c'est-à-dire qu'il doit pouvoir donner la possibilité de pratiquer des scénarios de façon à connaître le comportement intrinsèque du système. Ce sont des facteurs externes qui vont constituer les propriétés du mécanisme. Comme l'expliquent Armatte et Dahan Dalmedico (2004, 261-263), le raisonnement en terme « *d'input-output* » apparaît avec les travaux des ingénieurs à partir de la seconde Guerre Mondiale. La démarche d'analyse est destinée à des modélisations opérationnelles où le concept de la boîte noire prend toute son importance puisqu'elle permet d'automatiser certaines liaisons que l'ingénieur souhaite conserver tout au long de ses travaux. Ainsi, la boîte noire est généralement constituée d'algorithmes mathématiques qui reproduisent ou garantissent une liaison souhaitée. Son élaboration relève plus de présupposés techniques que de conceptions théoriques. On retrouve l'idée de la boîte noire – et son côté pragmatique – avec l'usage des techniques de corrélation statistique. Bien que Franck (2002, 93) mentionne qu'il est difficile en sciences sociales de bien faire la distinction entre le système interne – la boîte noire – et les « *input - output* », il montre que l'une des façons de construire un mécanisme de simulation est l'utilisation des corrélations statistiques car elles permettent à la fois de découvrir les propriétés intrinsèques du système à partir des observations extérieures et elles fournissent la structure interne du système. Ce cas de figure est à rapprocher avec les travaux de Tinbergen dans la mesure où l'usage de la corrélation peut se comparer à un programme de sélection – la boîte noire – des éléments qui constitueront le mouvement économique. La démarche adoptée de Tinbergen est ici particulière et annonciatrice des pratiques expérimentales contemporaines puisque la simulation – fondée par le programme de la corrélation – prend ses éléments, non pas dans une théorie économique unique choisie *ex ante* mais dans plusieurs théories économiques. Le pragmatisme de Tinbergen est celui d'un ingénieur lorsqu'il utilise un programme particulier destiné à une application précise. En revanche, la différence d'approche entre Tinbergen et un ingénieur d'aujourd'hui est que Tinbergen puise encore ses éléments de simulations dans un corpus théorique alors que l'ingénieur n'est plus en contact avec quelque théorie scientifique que ce soit lorsqu'il simule un phénomène²⁶. L'approche de la simulation de Tinbergen se situe encore entre le réel – les observations – et des liaisons théoriques à la différence des ingénieurs actuels où le modèle simulé n'est plus en contact avec des théories scientifiques et se suffit à lui-même à reproduire un réel souhaité. Néanmoins, Tinbergen se rapproche des ingénieurs puisqu'il utilise les éléments des théories comme un moyen de reproduire – de

²⁶ Armatte et Dahan Dalmedico (2004) montrent parfaitement la rupture méthodologique de la simulation vers les années 1950.

simuler – un phénomène et non plus pour valider une théorie économique. En cela, Tinbergen adopte une démarche expérimentale.

Si la méthode de la corrélation lui donne la possibilité de simuler le mouvement, il n'en demeure pas moins qu'il passe par cette étape dans un premier temps pour véritablement la dépasser et construire une machine expérimentale. Nous allons développer dans la partie suivante l'idée selon laquelle Tinbergen construit un outil de simulation des politiques économiques.

2 La simulation des politiques économiques : la construction d'une machine expérimentale

Cette seconde partie analyse la façon dont Tinbergen va utiliser les simulations théoriques – basées sur le rapprochement entre les éléments des théories économiques et l'utilisation des coefficients de corrélation et de régression – destinées à représenter les mouvements économiques afin de construire une machine expérimentale constituée d'une structure mathématique dont la finalité est l'élaboration de scénarios de politiques économiques. On assiste durant la période des années 1930 à une volonté réelle des Etats et des instances internationales à pratiquer des politiques économiques interventionnistes destinées à stabiliser – ou même à annuler – les phénomènes cycliques²⁷. Nous développerons dans une première section la méthodologie suivie par Tinbergen pour constituer *un système d'équations structurelles*. Ensuite, nous analyserons dans une seconde section comment Tinbergen simule des *scénarios de politiques économiques*.

2.1 La mise en place d'un système d'équations structurelles fonctionnellement équivalentes aux phénomènes observés

Tinbergen généralise la simulation du mouvement économique à une quantité importante de variables. Il analyse les mouvements cycliques aux Etats-Unis de 1919 à 1932. Toutes les équations sont élaborées avec la technique de la corrélation multiple²⁸.

« La méthode de la corrélation multiple permet d'abord de vérifier l'exactitude de l'explication qu'une théorie déterminée fournit de chacune des variables du système économique » (Tinbergen, 1939b, 20).

²⁷ Cet objectif de stabiliser les mouvements conjoncturels est important dans la mesure où le modèle élaboré par Tinbergen doit simuler des fluctuations amorties.

²⁸ Tinbergen construit 48 équations.

Tinbergen dispose de multiples simulations des mouvements de l'économie américaine. Toutes ces équations validées statistiquement vont lui permettre d'élaborer un système complet d'équations structurelles²⁹. Tinbergen utilise ces équations pour véritablement obtenir un outil de simulation de politiques économiques. A titre d'illustration, nous nous appuyons sur la simulation des bénéfices des sociétés Z^c . L'objectif de Tinbergen est de déterminer une équation finale des bénéfices des sociétés à partir de l'ensemble des équations théoriques calculées avec les outils statistiques. Sans développer les résolutions de son système d'équations, Tinbergen détermine l'équation finale suivante des bénéfices des sociétés :

$$Z_t^c = 0,398Z_{-1}^c - 0,22Z_{-2}^c + 0,013Z_{-3}^c + 0,027Z_{-4}^c - 0,303h_{-2} - 0,173h_{-3} - 0,685h_{-4} + 1,66(Au + P) - 0,9(Au + P)_{-1} - 1,847f + 0,708f_{-1} \quad (1)$$

avec : Z^c bénéfices des sociétés, h nombre de maisons, Au encaisse or, P portefeuille de fonds d'état, f facteur d'ordre météorologique susceptible d'influencer les récoltes. Les données sont annuelles.

D'une façon plus résumée, on peut écrire cette équation sous la forme suivante :

$$Z_t^c = e_1 Z_{-1}^c + e_2 Z_{-2}^c + e_3 Z_{-3}^c + e_4 Z_{-4}^c + (AU + HO + F + R)_t \quad (2)$$

Cette équation (2) est fondamentale pour ce qui nous concerne puisqu'elle permet à Tinbergen de simuler le mouvement des bénéfices des sociétés d'une façon particulière que nous allons exposer. Tout d'abord, il convient d'expliquer en détail les caractéristiques de cette équation.

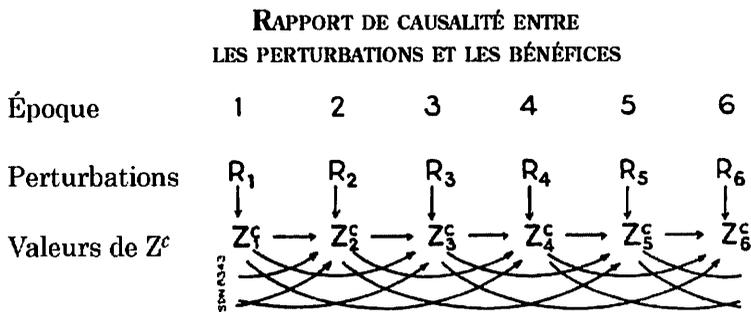
« Dans cette équation, e_1 à e_4 sont des nombres qui dépendent, en principe, de presque tous les coefficients de régression des équations élémentaires. Ils reflètent la structure de l'économie pour autant qu'elle intéresse les mouvements cycliques ; dans d'autres pays ou sous d'autres régimes où la structure économique serait différente, ils seraient différents.

Les quatre symboles nouveaux $[(AU + HO + F + R)_t]$ présentent un aspect commun [...] ils peuvent être considérés comme indépendants des mouvements du cycle économique général » (Tinbergen, 1939b, 151).

Tinbergen explique clairement que le système d'équations, définis préalablement avec les théories économiques disponibles et les validations statistiques, permet de revenir à un schéma mathématique destiné à la simulation. Plus

²⁹ L'approche de Tinbergen sera critiquée par Frisch (1938). Principalement, Frisch reproche à Tinbergen le manque d'autonomie de ses relations économiques testées statistiquement. Les équations utilisées pour être testées par Tinbergen ne forment pas une structure autonome – indépendante d'autre structure – dans la mesure où elles sont – selon Frisch – multicollinéaires, c'est-à-dire qu'elles sont influencées par d'autres relations structurelles. Par conséquent, puisque les équations du modèle de Tinbergen sont encore liées structurellement avec d'autres équations, les coefficients de corrélation multiple sont biaisés car ils mesurent imparfaitement la liaison entre les variables souhaitées puisqu'elles peuvent être elles mêmes influencées par d'autres variables non prises en compte. Si la notion d'autonomie intéresse Frisch, il faut attendre les travaux d'Haavelmo au sein de la Cowles Commission dirigée par Marschak entre 1943 et 1947 pour que ce problème soit véritablement au centre des techniques de modélisations structurelles. Ils vont alors développer la technique du Maximum de Vraisemblance en information complète ou limitée.

précisément, l'équation (2) est construite sur un nouveau schéma. Celui-ci repose sur deux éléments. Le premier définit la structure interne du mouvement ³⁰. Quant au second – $AU + HO + F + R$ – il détermine les causes exogènes. Tinbergen mentionne par ailleurs que le fait de faire la distinction entre la structure interne et les facteurs externes lui vient des travaux de Frisch (1933) ³¹. Ainsi, $AU - HO + F - R$ sont des chocs ou des forces d'impulsion qui vont se propager sur la structure économique – ici représentée par un processus autorégressif : $e_1 Z^c_1 + e_2 Z^c_2 + e_3 Z^c_3 + e_4 Z^c_4$. Tinbergen illustre ce processus par le graphique suivant :



Graphique 4 : *Tinbergen, 1939b, 152*

Le graphique 4 illustre la méthode de Frisch (1933) reprise par Tinbergen qui consiste à délimiter les parties exogènes – les perturbations – ³² de la structure interne du mouvement des bénéfices Z^c . Les flèches indiquent les rapports de causalité. Nous constatons que les bénéfices des sociétés ont une structure interne qui leur est propre et qu'ils sont influencés par les éléments exogènes indépendants de la structure.

Si Tinbergen fait la distinction entre le mécanisme de propagation – la structure interne – et l'impulsion – les perturbations exogènes – cela n'est pas anodin et relève véritablement d'une volonté de simuler le phénomène observé pour d'une part le comprendre mais aussi comme on le verra dans la section suivante pour prévoir – en l'occurrence les effets des scénarios de politique économique. L'ouvrage de Simon ³³ (1996) peut nous aider pour mieux caractériser la méthode de simulation de Tinbergen (1939a, 1939b).

³⁰ Ce sont les coefficients e_i qui définissent la structure interne du mouvement.
³¹ Frisch élabore la représentation d'un mouvement – qui est finalement une simulation – à partir d'une équation mathématique constituée d'une structure interne sensée générer un mouvement oscillatoire et d'une partie exogène appelée impulsion. Cette dernière est assimilée à un choc sur la structure interne.
³² Sur le graphique n°4, les perturbations sont notées R et sont la somme des facteurs exogènes suivant : $AU + HO + F + R$.
³³ Simon (1917-2001) est prix Nobel d'économie en 1978. Ses principaux travaux portent sur les structures de l'organisation économique et sur les propriétés des processus de décision dans les sciences sociales. Il a été l'un des pionniers dans l'analyse de l'intelligence artificielle, il s'est beaucoup intéressé à la rationalité économique. Tous ses centres d'intérêt l'ont conduit à s'interroger sur le rôle et le statut des modèles en tant que générateurs de connaissance et comme outil de simulation.

Il faut préciser que Simon s'intéresse à l'étude des systèmes complexes. Il s'interroge sur la place de la modélisation et plus particulièrement sur le rôle de la simulation dans le processus de découvertes scientifiques. Il remarque tout comme Armatte et Dahan Dalmedico (2004) que la place de la modélisation prend une tournure différente à partir des années 1960 car l'essor de l'informatique permet des simulations de toute nature. La place du modèle change alors de nature : il se suffit à lui-même, il n'a plus besoin de constituer ses fondements à partir de théories – scientifiques ou économiques – mais se 'nourrit' d'algorithmes mathématiques afin de recréer – de simuler – ce que souhaite l'ingénieur. Il n'est plus une entité intermédiaire entre théories et observations. Il devient un objet d'étude en tant que tel. Néanmoins, Simon précise que la simulation existe bien avant l'apparition de l'outil informatique. En particulier, Simon met en évidence un trait caractéristique de la simulation : la construction d'un artefact³⁴. Il définit l'artefact comme un point de rencontre entre un environnement interne et un environnement externe. Il précise que cela permet une analyse fonctionnelle dans le sens où c'est le but ou la finalité de la simulation qui prédomine sur une véritable analyse explicative de la structure interne. A titre d'illustration, nous pouvons reprendre l'analyse de Simon sur la rationalité économique qu'il qualifie d'artifice de l'adaptation. Il considère qu'il suffit de faire une seule et unique hypothèse – les anticipations rationnelles des agents – sur la structure interne qui correspond au comportement d'adaptation des agents pour que l'on simule les résultats suite à une multitude de changement d'état de la structure externe. Cette structure externe est représentée par le comportement des autres acteurs économiques et par la structure des autres marchés concurrents ou complémentaires. Cet environnement externe peut par conséquent changer en fonction de l'objectif fixé par l'économiste³⁵.

« Ainsi, le premier avantage d'une distinction entre les environnements interne et externe dans l'étude d'un système [...] est de nous permettre de prédire son comportement à partir d'une connaissance de ses buts et de son environnement externe, et de quelques hypothèses minimales sur son environnement interne [...]. D'une façon ou d'une autre, le concepteur isole le système interne de son environnement, de façon à maintenir une relation invariante entre le système interne et les buts, relation indépendante dans de très larges plages des variations de la plupart des paramètres qui caractérisent l'environnement externe » (Simon, 1996, 36-37).

³⁴ Un artefact est un objet ou une machine conçue par l'homme à des fins bien particulières. Le terme artefact s'assimile à une machine artificielle – l'ordinateur est un artefact (Simon, 1996, 50-57) – et s'est développé conjointement avec la cybernétique dans les années 1950, l'objectif étant la modélisation de la complexité du vivant et particulièrement le fonctionnement du cerveau. Les présupposés théoriques sont inexistantes. Ce qui importe ici, ce sont les fonctions purement calculatoires de la machine.

³⁵ Simon prend un exemple précis pour illustrer cela. Si on suppose que tous les agents se comportent rationnellement – c'est la structure interne – on est capable de simuler l'impact externe d'une variation du niveau des taxes. Ainsi, nous dit Simon, « on trouve ici tous les éléments d'un système artificiel qui s'adapte à un environnement externe, en se référant uniquement à l'objectif défini par son environnement interne » (Simon, 1996, 63).

On retrouve la même démarche chez Tinbergen (1939a, 1939b). En effet, en analysant plus précisément l'équation (2) Tinbergen distingue bien la structure interne et externe. Il isole la structure externe en mentionnant qu'elle est indépendante de la structure interne³⁶. De la même manière, il fixe une hypothèse simple pour caractériser la structure interne dans la mesure où celle-ci est représentée par un processus autorégressif dont l'analyse mathématique de l'équation doit générer des cycles amortis. Si le développement de la modélisation autorégressive apparaît véritablement dans les années 1930 (Klein, 1997), il n'en demeure pas moins que cette nouvelle pratique a donné lieu à débats techniques entre les économètres. L'utilisation par Tinbergen d'un processus autorégressif pour caractériser la structure dynamique d'une équation est critiquée par Frisch (1938). Comme l'explique Armatte (1995, 870) en analysant les apports de Tinbergen concernant l'histoire de l'économétrie, Frisch reproche à Tinbergen de ne pas prendre en compte les conditions d'identification des équations autorégressives qu'il utilise et que par conséquent, certaines ne sont pas identifiables. Ce problème s'explique par l'abandon des équations différentielles au profit d'une modélisation structurale autorégressive, laquelle fait intervenir des variables exogènes et des conditions initiales afin d'identifier la structure économique.

Afin d'illustrer la méthode de Tinbergen, nous analyserons de quelle façon celui-ci simule la structure interne des profits sans prendre en compte des perturbations caractérisées par la structure externe. L'équation à estimer est un système autorégressif d'ordre 4³⁷. Il s'écrit de la façon suivante :

$$Z_t^c = e_1 Z_{t-1}^c + e_2 Z_{t-2}^c + e_3 Z_{t-3}^c + e_4 Z_{t-4}^c \quad (3)$$

Après avoir calculé les coefficients de régression, Tinbergen trouve l'équation suivante :

$$Z_t^c = 0,398Z_{t-1}^c - 0,22Z_{t-2}^c + 0,013Z_{t-3}^c + 0,027Z_{t-4}^c \quad (4)$$

Afin de démontrer que la structure interne génère des cycles amortis, il simule le mouvement de cette structure avec des valeurs choisies au départ pour les Z_t^c . Voici le résultat de la simulation :

La structure interne du cycle des bénéfices génère bien des cycles d'amplitude amortie. Si Simon (1996) ne supposait qu'une hypothèse – la rationalité des comportements des agents – pour caractériser la structure interne, Tinbergen suppose que la structure interne est générée par un système autorégressif d'amplitude amortie³⁸. Et nous pouvons encore préciser le parallèle méthodologique de l'ingénieur décrit par Simon avec la procédure de Tinbergen. En effet, Simon précise qu'il est nécessaire que l'environnement interne soit adapté à l'environnement externe pour que l'artefact

³⁶ Se référer au graphique n°4.

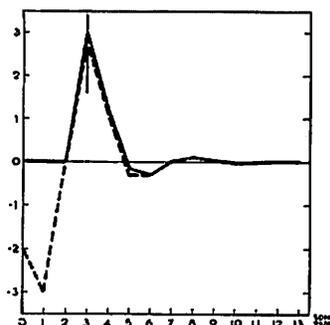
³⁷ L'ordre 4 correspond à la significativité des coefficients de corrélation.

³⁸ Les modes de génération des cycles ne sont pas de même nature. Pour Simon, c'est la rationalité des agents qui est prise en compte alors que pour Tinbergen, c'est un système autorégressif amorti.

MOUVEMENTS ENDOGÈNES DE Z^c
 (dans l'«intervalle normal» des cours
 des valeurs à revenu variable et en
 l'absence de thésaurisation) pour
 deux séries de valeurs initiales.
 Périodes annuelles.

— Valeurs initiales: $Z_0^c = 0$,
 $Z_1^c = 0$, $Z_2^c = 3$.

- - - Valeurs initiales: $Z_0^c = -3$,
 $Z_1^c = 0$, $Z_2^c = 3$.



Graphique 5 : Tinbergen, 1939b, 156

satisfasse aux objectifs assignés de l'expérience. C'est l'environnement externe le plus important et c'est pour cela que l'ingénieur isole la structure interne avec des hypothèses de comportement simples mais qui correspondent aux buts affichés par l'expérience – pour ce qui nous concerne, la partie interne est représentée par une fonction autorégressive standard. Ainsi, Tinbergen construit un processus autorégressif amorti pour permettre ce qui constitue le plus important dans son analyse : les simulations des impacts des scénarios de politiques économiques. Comme nous le verrons par la suite, une politique économique efficace – caractérisée par la structure externe – annule l'amplitude des cycles économiques. Parce que la vision de l'époque était que les mouvements cycliques génèrent des effets négatifs sur l'ensemble de l'économie³⁹, il est nécessaire de pratiquer des politiques économiques de

³⁹ Endres et Fleming expliquent que les politiques macroéconomiques dans les années 1930 consistaient à stabiliser les mouvements cycliques : « la pensée européenne sur la stabilisation macroéconomique consistait à établir les variables clefs générant la stabilisation dans un contexte de fluctuations économiques récurrentes » (Endres et Fleming, 2002, 18) Notre traduction. La Société des Nations demande alors à Tinbergen de construire un outil de simulation – un modèle – qui donne la possibilité de prévoir les effets des politiques économiques. Ces effets doivent générer des fluctuations amorties. Notons que Tinbergen a été sensibilisé tout au long de sa carrière aux conditions sociales des individus – il s'est toujours revendiqué comme étant de tendance socialiste – où comme l'indiquent Cornelisse, van Dijk et Don (2004, 161) – dans un article célébrant le centenaire de la naissance de Tinbergen – il était « épouvanté par la pauvreté dans laquelle la population locale [hollandaise] vivait et il voulait participer au combat contre les maux sociaux, il décida alors de devenir économiste après avoir obtenu son doctorat de mathématiques et de physiques » notre traduction. Concernant ses positions sociales, on peut se référer également à Arrow (1958) et à Boumans (1992).

stabilisation. Pour simuler cela, il faut construire un modèle correspondant au but souhaité : générer des fluctuations amorties. Et c'est ce que l'on trouve dans la structure interne. Ainsi,

« I. L'amortissement et la période, et même la nature, des mouvements éventuels représentés par l'équation finale dépendent, dans une très large mesure, des valeurs numériques de ses coefficients.

II. L'effet que certaines mesures de politique économique exercent sur la stabilité du système économique peut être étudié par l'observation des répercussions de ces mesures sur les coefficients de l'équation finale. Toute mesure ayant pour effet de relever le coefficient d'amortissement des solutions de cette équation est favorable à la stabilité » (Tinbergen 1939b, 162).

Tinbergen isole le système interne de tout le reste car il est le garant de la finalité de l'expérience. Pour ce qui nous concerne, la structure interne doit générer des cycles amortis. A partir de là, Tinbergen est capable de passer à l'analyse de la structure externe qui permet de simuler les effets des scénarios des politiques économiques. En effet, l'intégration d'un environnement extérieur – les politiques économiques supposées – doit donner des solutions amorties pour ce qui concerne les mouvements économiques simulés.

2.2 L'émergence de la notion de scénarios économiques

Armatte et Dahan Dalmedico (2004, 278-280) associent la notion de scénarios⁴⁰ avec le développement de l'informatique survenu dans les années 1970. Plus précisément,

« le terme de *scénario* a progressivement envahi l'univers des sciences numérisées [...]. Médiateur entre un mode numérique et la narration que l'on peut extraire de ses résultats, le scénario cristallise pourtant une articulation de plus en plus étroite entre le temps de l'exploration et celui de l'action, entre la dynamique de la science et celle du politique » (Armatte et Dahan Dalmedico, 2004, 290-291).

Nous allons montrer dans cette section qu'il est nécessaire de nuancer cette citation dans la mesure où Tinbergen procède déjà à des scénarios sans outillage informatique – inexistant à l'époque. Endres et Fleming (2002) mettent en avant la volonté des décideurs politiques et économiques de pratiquer des politiques économiques plus précises. Pour cela, ils ont besoin d'un outil d'action qui permet d'analyser les impacts supposés des interventions gouvernementales. Tinbergen élabore un outil qui donne la possibilité de tester des scénarios en condition de laboratoire en évitant de les appliquer dans la réalité. Plus précisément, on trouve aussi dans Tinbergen (1938) un lien

⁴⁰ La notion de scénario à laquelle font allusion Armatte et Dahan Dalmedico est liée à un contexte de prévisions à long terme du changement climatique. Elle incorpore à la fois des évolutions du système, des politiques volontaristes et des chocs.

très fort entre scénario et action puisque « l'objectif majeur de la politique de cycle des affaires est d'empêcher le développement des processus cumulatifs ⁴¹ » (Tinbergen, 1938, 39). En cela, Tinbergen souhaite déterminer les politiques économiques optimales de stabilisation puis d'annulation des phénomènes cycliques (Boumans, 1992, 32). Les scénarios des politiques économiques doivent conduire aux contrôles des mouvements cycliques voire même à l'annulation de ces derniers. Il a recours à deux sortes de scénarios : la première concerne les scénarios de chocs ponctuels sur l'économie – on s'intéresse à la structure externe – la seconde traite des mesures que peuvent prendre les décideurs économiques pour changer la structure de l'économie – on analyse la structure interne.

La première sorte de scénario concerne les effets des chocs externes sur l'économie. A titre d'illustration, nous analysons l'un des scénarios de Tinbergen qui consiste à faire l'hypothèse que l'économie subit une bulle spéculative boursière ⁴². Que se passerait-il alors ? Dans un premier temps, à partir de l'ensemble de ses équations théoriques validées statistiquement, il construit l'équation des cours de l'indice boursier notée n .

$$n = 3,607Z^c + 1,941Z_{-1}^c - 0,142Z_{-2}^c + 0,012Z_{-3}^c + 2,4(n_{-1/2}^* - 20)'' \quad (5) \quad ^{43}$$

L'équation (5) explique l'indice des cours boursiers par les profits des entreprises Z^c et par le niveau de la spéculation boursière notée $(n_{-1/2}^* - 20)$ ⁴⁴. Les discussions portent sur la structure externe $2,4 (n_{-1/2}^* - 20)''$. En faisant l'hypothèse que les bénéfices soient stabilisés ($Z^c = 0$), on obtient l'équation suivante :

$$n = 2,4(n_{-1/2}^* - 20)'' \quad (6)$$

Tinbergen préfère travailler sur des données d'une durée de quatre mois par soucis de précision. $n_{-1/2}^*$ s'écrit alors $3(n_{-1} - n_{-2})$ et l'équation (6) s'écrit :

$$n = 7(,2)(n_{-1} - n_{-2} - 6,7)'' \quad (7)$$

Tinbergen simule le mouvement des cours boursiers représentés par l'équation (7) pour différentes valeurs initiales d'indices. Il trouve les résultats suivants qu'il place sous forme graphique.

⁴¹ Notre traduction.

⁴² Tinbergen suppose qu'il y a une bulle spéculative boursière dès lors que l'indice des cours des valeurs mobilières dépasse vingt points par an. Si $n_{-1/2}^* > 20$ c'est-à-dire si la variation des cours boursiers est supérieure à 20 unités, alors il y a une bulle boursière spéculative à la hausse.

⁴³ $n_{-1/2}^*$ signifie la variation (exprimée par l'astérisque) de l'indice boursier au milieu de l'année antérieure (puisque les données sont annuelles, on tient compte de la variation datant de six mois).

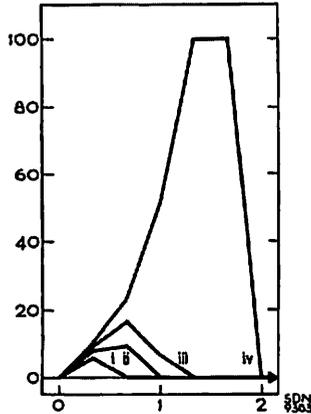
⁴⁴ $(n_{-1/2}^* - 20)$ indique l'état de spéculation de la bourse. Tinbergen considère qu'il y a spéculation boursière dès lors que la variation de l'indice boursier $n_{-1/2}^*$ dépasse de 20 points cette variation.

**MOUVEMENTS DES COURS DES VALEURS À REVENU VARIABLE,
DANS LE CAS OÙ LES BÉNÉFICES SONT STABLES**

Valeurs initiales:

- i) $n_0=0, n_1=6.$
- ii) " $n_1=8.$
- iii) " $n_1=9.$
- iv) " $n_1=10.$

Unité de temps: l'année.



Graphique 6 : *Timbergen, 1939b, 171*

Nous ne rentrerons pas dans les détails de résolution des calculs. Le graphique 6 met en évidence les résultats de quatre scénarios de fluctuations boursières envisagées par Tinbergen⁴⁵. En particulier, le scénario iv nous informe qu'une spéculation à la hausse des cours boursiers s'estompera au bout de deux années. Le mécanisme décrit ci-dessus est sensé représenter les mouvements des cours de la bourse : hausse brutale et retour vers un équilibre assez rapidement. Cela signifie que le scénario envisagé par Tinbergen à partir des équations théoriques testées statistiquement semble d'une part représenter le réel et fournir des perspectives plausibles. Tinbergen construit une équation mathématique fonctionnellement équivalente à ce que l'on observe dans la réalité. Il se rapproche en quelque sorte de la technique des ingénieurs développée par Callataÿ (2002)⁴⁶.

La seconde sorte de scénario porte sur la structure interne et concerne les politiques de fond des décideurs. Les coefficients de régression des variables forment la structure interne⁴⁷. La procédure d'analyse est la suivante : les économistes essaient plusieurs scénarios économiques de façon à ce que les coefficients calculés diminuent. Cela signifierait alors que le scénario testé

⁴⁵ Les scénarios sont notés de i à iv. Le scénario i envisage une petite fluctuation des valeurs boursières alors que le scénario iv fait l'hypothèse d'une bulle spéculative à la hausse.

⁴⁶ Nous avons esquissé la technique dans la première partie de la présentation.

⁴⁷ Les discussions portent sur les coefficients a_i de l'équation (3).

a un impact sur la structure dans le sens où celle-ci présenterait une tendance à l'amortissement forte et donc annulerait progressivement les mouvements économiques considérés à l'époque néfastes au bon fonctionnement d'une économie. Tinbergen effectue cinq scénarios de politique économique structurelle. Les résultats sont portés dans le tableau ci-dessous.

Répercussions de quelques mesures de politique économique sur le coefficient d'amortissement et la période du cycle

Hypothèse envisagée	Période (années)	Coefficient d'amortissement
Absence de toute mesure de politique économique	4,8	1,89
Stabilité des dépenses d'investissement	3,8	2,41
Stabilité des dépenses de consommation	3,2	2,62
Rigidité des salaires	4,7	1,85
Rigidité du système des prix	4,3	1,71

Tableau 2 : Tinbergen, 1939b, 188

On remarque que sans aucune politique économique particulière, les mouvements cycliques représentés par les bénéfices des sociétés (Z^c) ont une périodicité de 4,8 années et qu'ils sont dotés d'un coefficient d'amortissement⁴⁸ de 1,89. Tinbergen essaye quatre scénarios⁴⁹ susceptibles de faire varier la structure économique - le système autorégressif - dans un but bien précis : réduire au maximum les cycles, c'est-à-dire obtenir des coefficients d'amortissement les plus élevés possible. A la lecture du tableau 2, on remarque que le scénario de la stabilité des dépenses de consommation semble le plus efficace pour réduire la durée des cycles et pour obtenir un taux d'amortissement élevé. Pratiquer une politique économique destinée à stabiliser la consommation permet de réduire le mouvement cyclique et ainsi

⁴⁸ Le coefficient d'amortissement se calcule en résolvant mathématiquement l'équation représentant la structure interne du modèle - le système autorégressif noté $Z_t^c = e_1 Z_{t-1}^c + e_2 Z_{t-2}^c + \dots + e_n Z_{t-n}^c$. Tinbergen (1939b, 157-162) montre que la solution de cette équation est celle d'une équation plus générale de la forme Kx^t où K et x sont des constantes. En supposant que $Z_t^c = Kx^t$ on peut donc écrire $Kx^t = Ke_1 x^{t-1} + Ke_2 x^{t-2} + \dots + Ke_n x^{t-n}$. On obtient une équation de degré n appelée équation caractéristique avec plusieurs racines qui satisfassent à l'équation. Il faut ensuite déterminer parmi ces racines laquelle fournira la solution du coefficient d'amortissement. On constate les difficultés de calculs pour obtenir une solution au coefficient d'amortissement et cela d'autant plus que l'équation de départ - représentant la structure interne - incorpore beaucoup d'éléments autorégressifs : « A mesure que le nombre des termes de l'équation finale augmente, le calcul des coefficients d'amortissement et des périodes de ses solutions spécifiques devient plus difficile » (Tinbergen, 1939b, 162).

⁴⁹ Stabilité des dépenses d'investissement, stabilité des dépenses de consommation, rigidité des salaires, rigidité du système des prix.

contribue au contrôle des mouvements de l'économie. Ainsi, les décideurs politiques ont les moyens en modifiant l'organisation économique de remédier aux crises économiques en pratiquant des politiques interventionnistes. Au travers les scénarios économiques destinés à faire varier la structure interne de l'organisation économique, Tinbergen souhaite légitimer l'intervention de l'Etat dans la vie économique. Ainsi,

« on a dit tout d'abord que *la dépression était la conséquence inévitable et le rajustement nécessaire de certains déséquilibres antérieurs*. Nos recherches statistiques montrent qu'étant donné la structure économique décrite par les coefficients de nos équations élémentaires, la dépression est incontestablement une conséquence du 'boom' qui la précède. Elle n'est toutefois inévitable que pour autant i) que la structure économique n'est pas modifiée et ii) qu'il ne se produit pas d'interventions extérieures. Parmi celles-ci, il convient de faire rentrer l'action de l'Etat ; d'après nos conclusions, il semblerait possible d'élaborer un ensemble de mesures qui remédient au déséquilibre tout en empêchant de se développer » (Tinbergen, 1939b, 214).

Pour nous résumer, Tinbergen a intégré pour la première fois la notion de scénario dans un modèle économique structurel. Son modèle est construit de telle façon que Tinbergen a la possibilité d'envisager plusieurs sortes de scénarios : des scénarios portant sur la nature des chocs externes ou bien des scénarios envisageant des changements d'organisation ayant un impact sur la structure interne des mécanismes des cycles. Il a ainsi montré que les politiques économiques avaient la capacité de changer la structure économique de façon à prévenir des crises économiques.

Conclusion

Nous avons mis en évidence la méthodologie particulière de Tinbergen lorsqu'il élabore l'un des premiers modèles structurels. Nous avons développé de quelle façon toute la démarche de Tinbergen est destinée à la simulation. Ainsi, l'élaboration de son modèle structurel au sein de la Société des Nations permet l'usage de multiples simulations. Tout d'abord, il souhaite simuler le mouvement économique. Pour cela, il revendique le souhait d'utiliser les éléments des théories économiques qui seront soumis malgré tout à la vérification statistique. Cette étape préliminaire – proche de la démarche d'un ingénieur – lui permet de reconstruire des équations fonctionnellement équivalentes aux mouvements observés. Une fois reconstituées les liaisons, Tinbergen passe alors à la construction de sa machine expérimentale destinée à la simulation des politiques économiques. Il regroupe toutes les liaisons théoriques pour former un système d'équations structurelles. Celui-ci lui donnera la possibilité de simuler aussi bien l'impact de chocs extérieurs que les résultats d'un changement d'organisation économique.

Bibliographie

- Aish A-M. (2002). "Explanatory Models in Suicide Research : explaining relationships", in: Franck R. (ed.), *The Explanatory Power of Models. Bridging the gap between empirical and theoretical reseach in the social sciences*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 51-66.
- Armatte M. (1995). *Histoire du modèle linéaire. Formes et usages en statistiques et en économétrie*. Thèse de doctorat, EHESS.
- Armatte M. (2001a). « La Statut Changeant de la Corrélacion en Econométrie (1910-1944) », *Revue Economique*, 52(3), 617-631.
- Armatte M. et Dahan Dalmedico A. (2004). « Modèles et Modélisations, 1950-2000. Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », *Revue d'Histoire des Sciences*, 57(2), 245-305.
- Arrow K.J. (1958). "Tinbergen on Economic Policy", *Journal of the American Statistical Association*, 53(281): 89-97.
- Bogaard A. (van den) (1999). "Past Measurement and Future Prediction", in: Morgan et Morrison (ed), *Models as Mediators*, Cambridge University Press, Cambridge, 282-325.
- Boumans M. (1992). *A Case of Limited Physics Transfer. Jan Tinbergen's resources for re-shaping economics*. Thèse de doctorat, Université d'Amsterdam.
- Bureau International du Travail. (1924). *Les Baromètres Economiques*. Etudes et Documents Série N, Genève.
- Callataÿ A. (2002). "Computer Simulation Methods to Model Macroeconomics", in: Franck R. (ed.), *The Explanatory Power of Models. Bridging the gap between empirical and theoretical reseach in the social sciences*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 105-126.
- Cornelisse C, Dijk H (van), Don H. (2004). "Introduction to the Tinbergen Centennial Issue", *De Economist*, 152(2), 161-165.
- Endres A.M. et Fleming G.A. (2002). *International Organizations and the Analysis of Economic Policy, 1919-1950*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frisch R. (1933). "Propagation Problems and Impulse Problems in Dynamic Economics", in: *Economic Essays in Honour of Gustav Cassel*. Octobre, 171-205.
- Frisch R. (1938). *Statistical versus Theoretical Relations in Economic Macrodynamics*. League of Nation Memorandum.
- Franck R. (2002). "Conclusion of Part I. Statistical Modelling and the Need for Theory", in: Franck R. (ed.), *The Explanatory Power of Models. Bridging the gap between empirical and theoretical reseach in the social sciences*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 87-100.

- Haberler G. (1937). *Prospérité et Dépression. Etude théorique des cycles économiques*. Société des Nations, Genève.
- Kalecki M. (1935). "A Macrodynamical Theory of Business Cycles", *Econometrica*, 3(3), 327-344.
- Klein J.L. (1997). *Statistical Visions in Time. A History of Time Series Analysis, 1662-1938*. Cambridge University Press.
- Le Corbeiller P. (1933). « Les Systèmes Autoentretenus et les Oscillations de Relaxation », *Econometrica*, 1(3), 328-332.
- Lucas R.E.JR. (1980). « Methods and Problems in Business Cycle Theory », *Journal of Money, Credit, and Banking*, 12(4), 696-715.
- Mirowski P. (1999). "Cyborg Agonistes: economics meets operations research in mid-century", *Social Studies of Science*, 29(5), 685-718.
- Morgan M.S. (1990). *The History of Econometric Ideas*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Morgan M.S. et Morrison M. (éd). (1999). *Models as Mediators*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Persons W.M. (1916). "Construction of a Business Barometer Based Upon Annual Data", *American Economic Review*, 6(4), 739-769.
- Persons W.M. (1919a). "Indices of Business Conditions", *The Review of Economic Statistics*, 1(1), 5-109.
- Persons W.M. (1919b). "An Index of General Business Conditions". *The Review of Economic Statistics*, 1(2), 109-212.
- Simon H. A. (1996). *Les Sciences de l'Artificiel*. Gallimard, Paris.
- Sims C.A. (1980). "Macroeconomics and Reality". *Econometrica*, 48(1) : 1-48.
- Tinbergen J. (1935). "Annual Survey : suggestions on quantitative business cycle theory", *Econometrica*, 3(3), 241-308.
- Tinbergen J. (1938). "On the Theory of Business-Cycle Control", *Econometrica*, 6, 22-39.
- Tinbergen J. (1939a). *Vérification Statistique des Théories des Cycles Économiques. Une méthode et son application au mouvement des investissements*. SDN, Genève.
- Tinbergen J. (1939b). *Vérification Statistique des Théories des Cycles Économiques. Les cycles économiques aux États-Unis d'Amérique de 1919 à 1932*. SDN, Genève.
- Tinbergen J. (1939-1940). "Econometric Business Cycle Research", *The Review of Economic Studies*, 7, 73-90.