

Cahiers de recherche

EURISCO

cahier n° 2003-11

***Mesure des associations phénoménales
et causalité en économétrie***

par

Jean-François Jacques & Emmanuel Picavet



EURISCO, Université Paris Dauphine

email: eurisco@dauphine.fr, site web: <http://www.dauphine.fr/eurisco/>

Mesure des associations phénoménales et causalité en macro-économétrie*

Jean –François Jacques** et Emmanuel Picavet***

Résumé. *Cet article est une étude des conceptions de la causalité que l'on rencontre en macro-économétrie. D'un point de vue empiriste, il est naturel de chercher à privilégier des mesures des associations phénoménales, étagées dans le temps, entre séries de données. Cette démarche a connu un regain important depuis les années 1970 alors que celles-ci semblent s'éloigner d'approches bien établies de la recherche causale dans ce domaine. Les auteurs cherchent à établir en particulier le type de causalité qui sous-tend les approches proposées par Clive Granger et Christopher Sims. Ils montrent que cette conception de la causalité possède des mérites distinctifs pour l'étude de phénomènes dans lesquels les anticipations, les disparités dans les ensembles d'information et les rapports entre comportement d'agents modélisateurs et comportement des autres agents jouent un rôle déterminant.*

Mots Clés. *Causalité – Macroéconométrie – Mesures – Modélisation.*

Abstract. *The article studies the conceptions of causality encountered in macroeconometrics. From an empiricist standpoint, it is natural to privilege measurements of phenomenal associations, spread over a period of time, between series of data. This method has made a major comeback since the 1970s, whereas these years seem to be moving away from the established approach to research in causality in this area. The authors seek to establish in particular the type of causality underpinning the approaches put forward by Clive Granger and Christopher Sims. They show that this definition of causality has distinctive advantages for the study of phenomena in which forecasting, different sets of information, interaction between the behaviour of developers of modelisation tools and that of the other agents play a determining role.*

Key Word. *Causality – Macroeconometrics – Measurements – Modelisation.*

**Social Science Information* © 2003 SAGE Publications (London, Thousand Oaks , CA and New Delhi), 42(4).

***Jean-François Jacques* est maître de conférences en sciences économiques à l'Université Paris Dauphine (Paris IX) et membre de l'Equipe Universitaire de Recherche Institutions Coordination, Organisation, EURISCO (Paris-IX). Il a notamment publié avec A. Rebeyrol *Croissance et fluctuations*. Paris: Dunod, 2001. *Adresse de l'auteur:* EURISCO, Université de Paris IX Dauphine, Place du Maréchal de Lattre de Tassigny, 75775 Paris Cedex, France [email: jfjacques@yahoo.fr]

****Emmanuel Picavet* est maître de conférences en philosophie politique à l'Université Panthéon–Sorbonne (Paris I) et membre de l'Institut d'Histoire et de Philosophie des Sciences et des Techniques IHPST (CNRS et Paris I). Il a notamment publié *Choix rationnels et vie publique* Paris: PUF, 1996. *Adresse de l'auteur:* IHPST, 13 rue du Four, 75006 Paris, France [email: picavet@univ-paris1.fr]

Introduction

La notion de causalité est étroitement liée à la notion d'explication. Certes, le traditionnel "principe de causalité" ("rien n'arrive sans cause" et "aux mêmes causes les mêmes effets") se présente comme une thèse générale sur le monde, de type métaphysique. Mais les choses n'en restent pas là. S'agit-il de désigner un événement particulier comme cause d'un autre événement (ou état de chose)? On est immédiatement conduit à invoquer la possibilité d'une explication effectivement produite et comprise par un sujet qui modélise, expérimente ou découvre. En effet, dire qu'un phénomène est cause d'un autre, c'est dire que l'on peut décrire ou mesurer les modalités de l'influence de l'un sur l'autre ou d'une association régulière. On impose souvent l'étagement dans le temps (les causes viennent avant les effets) et, comme autre condition, l'existence de raisons tirées de l'expérience en faveur d'énoncés du type: si X se produit, Y suit; ou: si X ne se produisait pas, Y ne se produirait pas. Dire que X est cause de Y, c'est parfois expliquer Y par X grâce à un mécanisme que l'on décritⁱ. Mais ce peut être aussi - lorsque l'on n'est pas en mesure de proposer un schéma explicatif complet - montrer que la connaissance de X n'est pas sans lien avec celle de Y (en premier lieu, parce qu'il y a une certaine régularité empiriquement repérable associant X à la constatation ultérieure de Y, parce que X aide à prévoir Y ou non-X, non-Y)ⁱⁱ.

Il est généralement admis que notre représentation et notre instrumentation statistique ou expérimentale de la notion de causalité doivent s'accorder à l'une ou l'autre de deux tâches ou ambitions de l'explication scientifique: l'identification des mécanismes producteurs, ou le repérage des associations ou successions régulières. Or, la compatibilité entre les deux visions de la causalité qui en résultent reste mal établie. Selon une conception que l'on peut dire mécaniste, notre idée de la causalité se rapporte à des connexions nécessaires. Selon une approche que l'on peut dire "humienne"ⁱⁱⁱ, notre idée de la causalité se rattache plutôt à des associations régulières enregistrées comme telles, et comportant un étagement dans le temps (les causes venant avant les effets).

Dans cette étude, nous considérerons certains développements méthodologiques de la macro-économétrie, qui illustrent la tension entre deux conceptions philosophiques de la causalité. En particulier, nous voudrions préciser le type de rapport à l'expérience et à la mesure que recouvrent les approches empiriques de la causalité dans la méthodologie des séries temporelles en macro-économétrie. Plusieurs dimensions du rapport à l'expérience

entrent en jeu: la possibilité de l'inférence statistique, la prévision, la possibilité d'enregistrer des effets en contrôlant de manière satisfaisante le comportement des variables qui peuvent subir des évolutions en même temps que les causes présumées.

Contre l'assimilation de la causalité à la succession régulière et étagée dans le temps, certains arguments philosophiques évidents se présentent: la corrélation n'est pas la causalité, laquelle suppose le dévoilement d'un mécanisme, ou à tout le moins, la mise en évidence (à la faveur d'une expérimentation ou d'une démarche statistique nous plaçant dans des conditions similaires) de l'effet spécifique de variables que l'on peut contrôler. Cependant, deux problèmes au moins peuvent donner à penser qu'une approche radicalement empiriste est légitime dans certains contextes.

Le premier problème provient du fait qu'il peut y avoir des raisons de considérer à la fois que des variables (1) fournissent une aide non négligeable pour la description des évolutions d'autres variables dans le futur; (2) se déterminent d'une manière qui n'est pas indépendante de la liaison évoquée en (1). Dans ces conditions, on peut avoir l'impression qu'en exigeant que les causes soient assimilables à des facteurs exerçant une influence comme "de l'extérieur" du modèle (et assimilables pour cette raison aux facteurs contrôlés dans une expérimentation), on risque de laisser de côté certains facteurs de ce genre. Ces facteurs pourraient bien être des causes que l'on pourrait identifier sur la base de leur contribution à la prévision. De plus, le fait qu'ils apportent une contribution à la prévision pour certains acteurs économiques peut jouer un rôle dans un mécanisme causal reliant effectivement les variables considérées à d'autres variables.

Le second problème est celui de la relativité par rapport au point de vue de celui qui effectue le diagnostic de causalité, lorsque la notion de causalité est rapportée à celle de prévision^{iv}. Cela rend opportun, semble-t-il, de disposer d'une notion de causalité permettant de donner un sens (sans se limiter à des situations épistémologiquement très favorables aux tests statistiques) à des questions telles que celles-ci: certains agents de l'économie (ou le modélisateur) peuvent-ils apercevoir des relations interprétables à première vue comme des relations causales, et inaccessibles à d'autres agents de l'économie? Quelles seraient les conséquences de la révélation de ces relations aux agents qui n'y avaient pas accès antérieurement?

Il n'importe d'ailleurs pas particulièrement que l'on emploie le mot "causalité" plutôt qu'un autre; mais l'usage de ce mot ne serait pas déplacé, dans la mesure où l'idée familière de causalité d'un événement X vers un événement Y privilégie sans doute l'amélioration de la prévision ("si X se produit, alors on a des raisons supplémentaires de prévoir que Y va se

produire”) - et cela se retrouve dans l’analyse humienne de la causalité (même s’il est vrai que, par ailleurs, la conception scientifique de la causalité privilégie le dévoilement d’un mécanisme, notamment grâce à l’identification du rôle de certains facteurs dans une expérience contrôlée).

En revenant sur ces problèmes, nous tenterons de montrer que les approches de la causalité statistique associées aux noms des économètres Clive Granger et Christopher Sims présentent certains avantages épistémologiques spécifiques, lorsqu’on se place dans un cadre d’analyse accordant un rôle important aux notions de choix optimal, de prévision optimale et de disparités dans les ensembles d’informations, d’un agent à l’autre. Car alors, la causalité au sens de Granger et de Sims permet de préciser la perspective sur les relations causales qui peut être celle d’un agent donné dans un contexte précis. Ce contexte épistémologique, non nécessairement idéal, lui permet en principe de réaliser, au moyen d’une étude statistique, l’équivalent d’une expérimentation contrôlée. Cette relativité par rapport au point de vue du modélisateur peut apparaître, à première vue, comme une limite ou une faiblesse. Mais elle peut aussi - et c’est ce que nous voudrions montrer - se retourner en un avantage. C’est en particulier le cas lorsque le théoricien juge pertinent de faire intervenir la manière dont les acteurs de l’économie repèrent des associations de type *à première vue* causal entre les variables (les conduisant à admettre au moins des énoncés du type: “si X se produit, alors Y a de meilleures chances de se produire”).

I - Causalité, modèles structurels et exogénéité

1) Les raisons de se défier d’un point de vue empiriste intransigeant sur la causalité

Dans les travaux d’économie théorique, comme dans les investigations empiriques qui s’inspirent d’eux, les ressorts traditionnels de l’explication sont principalement:

(1) la description de la situation des agents et des situations et actions que ceux-ci se représentent comme possibles pour eux et pour leur environnement;

(2) l’hypothèse d’adaptation optimale des agents à leur situation et aux possibilités qui s’offrent à eux (compte tenu des préférences individuelles ou institutionnelles des agents, et compte tenu des limitations éventuelles de leur information ou de leur capacité de réflexion);

(3) les diverses configurations d’équilibre pouvant régler l’interaction d’agents se comportant de cette manière optimale (compte tenu de la manière dont les agents peuvent communiquer entre eux).

Or, on considère habituellement que l'économétrie classique a cherché à relier efficacement les modèles théoriques appuyés sur ces principes à une approche opérationnelle de la causalité (en particulier depuis les travaux fondateurs de Jan Tinbergen, Tjalling Koopmans, Ragnar Frisch et Trygve Haavelmo dans les années 1930 et 1940, puis chez des auteurs comme Edmond Malinvaud et Herbert Simon dans la période d'après-guerre (voir par exemple Hénin (1974), Meidinger (1994) ou encore Snowdon, Vane et Wynarczyk (1994) pour une présentation de leurs travaux). La démarche suivie a consisté à développer l'idée d'après laquelle la causalité doit être incorporée dans des modèles testables, grâce à une écriture et une conception correctes du modèle. Si le modèle est bien confirmé (ou "corroboré", ou "applicable", comme on voudra), seront dits "causalement explicatifs", pour les phénomènes dont le modèle rend compte, les éléments qui interviennent dans la partie "exogène" du modèle (autrement dit, la partie non expliquée par le modèle lui-même). On pourra reconstituer des influences causales, lisiblement inscrites dans le modèle, de certaines variables à certaines dates sur d'autres variables à d'autres dates. Ce type de démarche ne se limite d'ailleurs pas, en principe, aux modèles fondés sur l'optimisation.

A partir des années 1970, cependant, la méthodologie économétrique a incontestablement subi une inflexion, comme on le voit notamment à travers l'évolution des programmes de recherche sur les séries temporelles macroéconomiques. A travers les concepts de causalité précisés et popularisés par les économistes Granger et Sims, l'idée s'est répandue, qu'il était légitime d'étudier les relations causales entre variables dans une perspective purement statistique, en identifiant ces relations causales à un surcroît de prévisibilité concernant l'évolution des variables.

Cette vision de la causalité possède au moins deux corrélats philosophiques notables: d'une part, la thèse de David Hume identifiant les relations causales aux associations ou successions habituellement observées; d'autre part, la théorie probabiliste de la causalité *prima facie* développée par Patrick Suppes (une approche reposant sur l'idée que l'événement X cause l'événement Y si la probabilité conditionnelle de Y sachant X n'est pas identique à la probabilité de X). La problématique de la causalité se trouve alors étroitement associée à celle de la mesure des corrélations ou associations entre variables. Le repérage empirique de relations d'association habituelle, ou de contribution à la prévision apparaît comme une étape du processus de quantification et de mesure de certains processus qui se déroulent dans le monde naturel et social. Il se trouve que ce type d'approche empirique de la causalité, dans les sciences sociales, peut apparaître problématique.

D'abord, la manipulation délibérée (par des autorités) de certaines variables de commande peut aboutir à un diagnostic de causalité négatif (pas de causalité statistique des variables de commande vers les variables d'état), alors même qu'il y a une causalité efficace sous-jacente. Et cette remarque se généralise aux variations de variables endogènes qui sont des variables de contrôle pour les agents dont on modélise le comportement. Par exemple, une hausse du revenu futur anticipé se traduira normalement par une hausse de la consommation présente, et cette hausse peut faire disparaître pour les périodes suivantes la corrélation statistique entre la consommation présente et le revenu présent (on est dans le cas où, lorsqu'un accroissement de revenu se produit, il a été anticipé d'une manière qui a déjà influé sur la consommation).

On peut toutefois remarquer que dans ce cas, la causalité efficace ne va pas réellement du revenu au début d'une période vers la consommation au cours de cette période, mais plutôt, de l'anticipation présente de revenus futurs vers la consommation présente. Dès lors, la disparition de la trace statistique de la causalité ne serait pas un paradoxe profond, puisqu'il n'y aurait pas de causalité en premier lieu. Qu'est-ce qui peut alors conduire à prendre ce problème au sérieux? Probablement, le fait que la valeur prise par la variable importe tout de même, comme on peut le voir par un raisonnement contrefactuel. Si la valeur observée du revenu s'écartait à plusieurs dates successives de l'anticipation antérieurement formée, les agents cesseraient certainement de se fier à leurs anticipations. Les causes de la consommation à la date t ne sont donc pas seulement les anticipations de revenu futurs, mais aussi les observations de concordance jusqu'à la date t (comprise) entre revenu anticipé et revenu observé.

Second problème: dans certains modèles comportant des disparités entre les ensembles d'information de différents agents, la présence ou l'absence de relation causale entre deux variables, évaluée statistiquement, semble entièrement *relative au point de vue considéré*. Elle dépend de la position dans l'interaction sociale de celui qui effectue le diagnostic. Peut-on vraiment, dans ces conditions, parler encore de "causalité"? Qui est en mesure d'identifier les facteurs ayant une pertinence causale au moins potentielle? Et les relations "causales" obtenues de cette manière ne seront-elles pas excessivement fragiles? D'un point de vue scientifique, on peut croire qu'il y a lieu de réserver le discours sur la causalité à l'identification de facteurs telle que peut la réaliser un analyste, placé dans des conditions favorables pour réaliser une telle identification.

Ces deux problèmes semblent remettre en cause l'aptitude des définitions purement statistiques de la causalité à entrer en coïncidence avec les conceptions classiques de la

causalité qui supposent, en principe, l'indépendance relativement au point de vue, et l'absence de hiatus avec les schémas identifiés de causalité efficace.

Il est habituel d'admettre que les approches purement statistiques de la causalité peuvent suppléer à l'étude directe des mécanismes lorsque cette dernière est hors d'atteinte. Durkheim, à cet égard, a montré l'exemple en privilégiant, dans sa grande étude sur le suicide, l'analyse par recoupements, comparaisons et corrélations. Mais on exige à tout le moins, en général, qu'il y ait coïncidence entre les deux points de vue lorsque les mécanismes sont connus. Or, dans les deux problèmes envisagés, on prétend que les mécanismes sont connus (on suppose qu'ils sont dans le monde comme ils sont dans le modèle). On montre alors qu'il peut y avoir un écart entre les liens de causalité qu'enveloppent ces mécanismes et ceux que pourrait rendre manifestes une approche exclusivement statistique. Les approches purement statistiques de la causalité s'accordent mal, selon cette argumentation, avec le type de causalité que peuvent décrire les modèles économiques fondés sur l'idée d'optimisation, ou plus généralement, sur des relations fondamentales inscrites dans le monde social^Y.

2) Les séries multivariées

La majeure partie de la discussion qui suivra se situera dans le cadre des séries temporelles multivariées. Précisons donc quelques-unes des notions qui interviennent fréquemment dans ce cadre d'analyse.

On considère habituellement des vecteurs de valeurs dont chaque composante évolue dans le temps. S'il y a n variables auxquelles on s'intéresse ("variables d'intérêt"), on considère à chaque date un vecteur de dimension n , et l'on parle de processus n -dimensionnel.

Pour prendre en compte les liaisons instantanées ou intertemporelles, on peut s'intéresser à une matrice dite *d'autocovariance* définie à chaque date, qui comprend des informations à la fois sur la *dispersion de chacune des variables* (variance de la i -ième composante), sur les liaisons instantanées et inter-temporelles entre deux variables du processus (éventuellement identiques).

On appelle *bruit blanc* une série chronologique de moyenne nulle à chaque date, de variance constante d'une date à l'autre, et de covariance nulle lorsqu'on la prend à deux dates différentes.

Dans les modèles linéaires ou lorsque les variables sont toutes des variables aléatoires gaussiennes, on appelle *meilleure prévision* (ou simplement, *prévision*) de la variable Y à la date t sur la base de l'ensemble d'information de l'agent, la prévision que peut obtenir l'agent par régression linéaire théorique de Y_t sur les variables qui constituent l'ensemble

d'information (ces variables étant prises aux dates qui correspondent à des observations disponibles).

On appelle *innovation* de Y à la date t l'erreur correspondante (l'écart entre ce qui pouvait être prévu et la valeur effective).

3) Variables endogènes, variables exogènes

Il est habituel, en macroéconomie, de considérer que si toutes les variables se fixaient *simultanément* les unes en fonction des autres, on aurait, comme résultat de l'activité de modélisation, tout au plus une *description d'un processus*, plutôt qu'une *explication*. C'est donc pour permettre l'explication, plus précisément même l'explication *causale*, que l'on opère une distinction entre variables *endogènes* (celles qui se déterminent simultanément en ayant une influence les unes sur les autres) et variables *exogènes* (celles qui se déterminent "ailleurs" ou "avant", et dans tous les cas *indépendamment*, du rôle éventuel qu'elles jouent dans la détermination des endogènes, autrement dit, indépendamment de leur rôle dans le modèle). Par exemple, dans un modèle keynésien ou monétariste standard, on considérera souvent le niveau de variables endogènes telles que la consommation ou le produit national. Il est longtemps demeuré habituel de considérer le niveau des dépenses publiques comme un facteur *exogène* capable d'influencer le niveau de ces variables *endogènes*. Il est par ailleurs usuel d'opposer les variables exogènes dites "de contrôle" (les "instruments" obéissant au bon vouloir de certains décideurs) aux variables exogènes "d'environnement" (sur lesquelles on ne peut pas agir facilement en manipulant les variables de contrôle).

4) De la forme structurelle à la forme réduite

Écrire un modèle macroéconomique sous forme structurelle, c'est écrire qu'à chaque date le vecteur "bruit blanc" (qui représente les erreurs provenant de l'intervention de facteurs non pris en compte qui peuvent influencer les comportements) est égal à une constante plus une combinaison linéaire des vecteurs "variables endogènes" aux différentes date du présent et du passé, plus une combinaison linéaire des vecteurs "variables exogènes" aux mêmes dates. Cela s'écrit généralement sous la forme suivante:

$$(1) Y_t = (I - A_0)Y_t + \sum_{i=1}^{i=p} A_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^{j=p} B_j X_{t-j} + C + e_t$$

(où Y est le vecteur des variables endogènes, les A et les B sont des matrices, I est la matrice-identité, X est le vecteur des variables exogènes, C est un vecteur de constantes et e_t

est le terme d'erreur). On a, en somme, une série d'équations dont chacune donne la détermination de l'une des endogènes en fonction du présent et du passé des autres variables (endogènes et exogènes) et d'un terme d'erreur.

Les liaisons entre valeurs simultanées de variables endogènes sont transcrites dans la matrice A_0 dont les coefficients traduisent habituellement les *relations d'équilibre* de la théorie sous-jacente (qui ont vocation à exprimer les modalités de la détermination conjointe de ces variables). Mais il peut y avoir également des corrélations entre des composantes contemporaines du vecteur e_t , c'est-à-dire entre les termes d'erreur figurant dans les équations comportant dans le membre gauche de l'équation des variables endogènes différentes. Ces corrélations entre termes d'erreur contemporains pourraient exprimer aussi des liaisons simultanées entre variables endogènes. Cela rend assez délicate l'interprétation causale du modèle structurel.

Si A_0 est inversible et si l'on élimine de la partie droite des équations les valeurs présentes des endogènes, on obtient la *forme réduite* des endogènes. Chaque variable endogène est alors exprimée en fonction du passé des endogènes, du présent et du passé des exogènes, et d'un terme d'erreur.

Dans l'écriture de l'encadré 1, tous les phénomènes de détermination conjointe par influence réciproque entre variables endogènes (tout ce que l'on peut appeler le "schéma de simultanéité") transite par les termes d'erreur sur la droite des équations. Il n'y a pas d'équivalent des éventuels termes non diagonaux non nuls de A_0 pour troubler le jeu. On écrira donc:

$$(2) Y_t = A_0^{-1} \left[\sum_{i=1}^{i=p} A_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^{j=p} B_j X_{t-j} + C + e_t \right]$$

Ce type d'écriture fera bien apparaître une différence de traitement entre variables endogènes et exogènes, mais c'est un simple effet d'écriture: on a mis la valeur présente Y_t à gauche et l'on s'est arrangé pour l'exprimer seulement en fonction du passé des endogènes, tandis que les exogènes peuvent intervenir aussi par leur valeur présente.

Ce faisant, on n'a pas isolé l'élément de dissymétrie structurelle qui importe véritablement du point de vue de la causalité: à savoir, que les valeurs de X se fixent indépendamment de Y . A ce stade, cette notion intuitive doit être précisée, ce que permettent de faire les concepts d'exogénéité.

5) Définitions de l'exogénéité en relation avec la causalité

Depuis l'article "Exogeneity" (Engle, Hendry & Richard, 1983), il est habituel de distinguer, afin de clarifier les conditions de l'interprétation causale des modèles ou des résultats des tests, plusieurs concepts qui ont trait à l'exogénéité dans les modèles. Les différentes définitions utilisées font appel à plusieurs modalités du rapport à l'expérience, et plus précisément, à la mesure de propriétés (représentées par des variables aléatoires) définies à différentes dates.

Une variable x est dite *prédéterminée* par rapport à une autre variable, soit y , si toute l'information sur x utile pour prévoir l'évolution future de y est contenue dans les valeurs présente et passées de x . Autrement dit, pour toute date future donnée $t + k$: il ne peut pas exister de variable z qui, par ses valeurs entre $t+1$ et $t+k$, apporte de l'information sur la valeur de y à la date $t+k$, et qui soit corrélée à la valeur présente de x .

Une variable x est dite *strictement exogène* par rapport à y si, pour toute date t donnée, il n'existe pas de variable z qui, prise à une certaine date (du passé, du présent ou du futur), apporte de l'information sur la valeur contemporaine de y , et qui soit corrélée avec la valeur de x en t . L'exogénéité stricte implique la prédétermination.

En faisant référence à un modèle donné, spécifié au moyen de différents paramètres, une variable x est dite *faiblement exogène* (par rapport à des paramètres d'intérêt pour l'économiste) s'il est possible d'estimer économétriquement la loi conditionnelle de y sachant x en ignorant la loi marginale de x .

Cette définition prend sens du point de vue de l'estimation statistique des paramètres d'intérêt. L'idée est que la connaissance de la manière dont se détermine x n'apporte rien de plus que la connaissance des valeurs de x , lorsque l'on veut déterminer la loi de y (en estimant les coefficients du modèle). Cela veut bien dire que l'on n'a pas besoin d'inclure dans la modélisation la manière dont se détermine x .

Une variable x est dite *fortement exogène* si elle est faiblement exogène et si, en outre, y ne cause pas x au sens de Granger (ce qui signifie, comme nous le verrons dans la sec. II, que dans une régression de x sur le passé de x et de y , l'observateur-modélisateur trouve que le coefficient des valeurs passées de y est zéro).

Cette définition a un sens du point de vue de la prévision. Pour prévoir des valeurs futures de y à partir des prévisions des valeurs de x , on n'a pas à prendre en compte une amélioration sur les prévisions de x qui serait apportée par les prévisions de valeurs futures de y . Sinon, on devrait prendre en compte dans le futur les effets induits sur x par la variation de y .

Enfin, une variable x est dite *super exogène* si le modèle conditionnel de la variable y sachant x est invariant par rapport à d'éventuels changements de la distribution de x . Cette définition a un sens du point de vue du décideur politique qui aimerait évaluer les conséquences futures de son action, même dans le cas d'un changement de ses règles d'action: il n'y a pas de rapport entre la manière dont se détermine x et le modèle reliant x à y . Cette notion a été introduite pour repérer les cas dans lesquels le modèle permettant l'évaluation causale des politiques économiques est indépendant de la manière dont on mène ces politiques économiques (pour offrir une réponse constructive à la "critique de Lucas" visant l'évaluation des effets des politiques publiques sur la base de tests économétriques classiques^{vi}).

6) Modélisation sous forme récursive par blocs

Considérons la dissymétrie tenant au fait que certaines variables influencent d'autres variables tout en se déterminant indépendamment de ces variables.

On peut tenter d'exprimer cette dissymétrie en introduisant de force, à côté de l'écriture structurelle, une équation précisant le mode de détermination des variables exogènes en fonction de leur propre passé et du passé des variables endogènes, sans qu'il y ait jamais influence des valeurs *contemporaines des endogènes*. Cette écriture doit être justifiée par des tests statistiques. On écrira alors:

$$(3) \quad X_t + \sum_{k=1}^{k=p} C_k X_{t-k} + \sum_{l=1}^{l=p} D_l Y_{t-l} + D = u_t$$

les u_t étant des bruits blancs non corrélés et tels que, pour tout t : $\text{cov}(u_t, e_t) = 0$.

L'aspect *récursif* du système tient au fait que X , à chaque date, se détermine tout d'abord à travers cette équation, puis intervient dans la détermination des variables endogènes, comme on le voit dans la forme structurelle.

Il doit appartenir à la nature même d'une variable exogène de pouvoir se déterminer de la manière décrite dans l'encadré 2, c'est à dire de façon autonome, à travers une équation telle que (3). Cette condition est nécessaire du point de vue de la prévision, comme on l'a vu. Si X désignait exclusivement les variables d'environnement, on pourrait également exprimer par ce type de modélisation l'idée que X peut être influencé par les valeurs contemporaines des variables de commande, que l'on ferait figurer dans les équations à la fois au présent et au passé.

Apparemment, ce type de modélisation réalise une synthèse entre l'optimisation et la causalité. L'hypothèse de comportement optimisateur permet d'écrire des équations de comportement qui, de concert avec des équations comptables et des équations d'équilibre, permettront d'écrire un modèle sous forme structurelle. Ensuite, on tient compte des intuitions ou des renseignements institutionnels dont on dispose pour faire le tri entre variables exogènes et variables endogènes, et écrire le modèle sous forme bloc-récurrente. Dès lors, si le modèle est bien corroboré par les tests empiriques, on jugera que la chaîne causale qui a été incorporée dans le modèle bloc-récurrent est proche de la réalité. Si des liaisons significatives sortent entre des X et des Y, on dira que les seconds sont *causés* par les premiers. Telle est, dans les grandes lignes, la méthodologie que l'on trouve associée aux travaux pionniers de la Cowles Commission et de Herbert Simon.

Kevin Hoover a proposé, dans une série d'articles (1990, 1991, 2003), de pousser plus loin, dans la même voie, l'étude empirique de la causalité. En identifiant économétriquement les lois conditionnelles et marginales des processus, il est en effet possible de savoir si la loi marginale d'une variable est insensible à des changements de la loi marginale des autres variables. Si cela se révèle être le cas, on aura une raison de penser que la variable en question exerce une influence causale sur les autres variables. Pour révéler cette influence causale il suffit alors d'effectuer des tests de changements de loi (assimilables à des tests de stabilité ou de rupture) des lois marginales et conditionnelles. Les résultats de ces tests doivent être corroborés par une analyse narrative ou historique des processus étudiés (voir encadré 3).

Si l'on considère deux variables Y et M et les densités de probabilités, on a:

$$f(Y,M)=f(Y/M)f(M)=f(M/Y)f(Y)$$

Le test porte sur la stabilité des deux lois conditionnelles et des deux lois marginales intervenant dans cette équation. Supposons que l'on hésite entre deux schémas explicatifs, issus de théories concurrentes (par exemple, Y est le produit national et M , la masse monétaire):

$$(4) Y=aM+e \text{ et } M=b+m$$

Ou bien:

$$(5) M=a'Y+e' \text{ et } Y=b'+m'$$

où e, m, e' et m' sont des bruits blancs (variables aléatoires de moyenne nulle, non auto-corrélées, gaussiennes) et a, b, a' et b' des constantes.

On se demande quel est le vrai schéma causal. Les formes réduites associées à ces modèles structurels hypothétiques sont équivalentes du point de vue de la mesure des phénomènes. On a en effet, dans les deux cas, une écriture du même type; respectivement:

$$(4') \quad Y=ab+am+e \text{ et } M=b+m$$

Ou:

$$(5') \quad Y=b'+m' \text{ et } M=a'b'+a'm'+e'$$

Cela arrive en pratique: ce sont les cas d' "équivalence observationnelle" des théories. La stratégie de Hoover consiste à estimer les lois conditionnelles et marginales; on admet que l'une des deux lois donnant Y en fonction de M, ou M en fonction de Y, est vraie.

On repère alors des périodes où les règles sont fixes, et l'on effectue des tests de rupture d'une période de stabilité des règles à une autre période de stabilité; on compte le nombre de fois où la loi se modifie, et cela pour les quatre lois. Si l'on voit que la loi de M conditionnelle par rapport à Y est plus stable que les autres lois, on a une raison de privilégier le schéma théorique d'après lequel Y est causal.

Si c'est M qui cause Y (plutôt que l'inverse), comme dans le modèle (4), on doit pouvoir estimer la première équation indépendamment de l'autre équation; en d'autres termes, M est nécessairement *faiblement exogène* (la variable causale, au sens de l'ordre causal réel inscrit dans le modèle structurel correct doit être exogène au sens faible). Si b se modifie (par suite d'un changement dans la règle d'émission monétaire par exemple), en supposant que le premier schéma soit le bon, la loi conditionnelle de Y sachant M est invariante (il y a *super exogénéité*). La causalité au sens de Hoover implique donc l'exogénéité faible et la super exogénéité. Cette dernière peut faire l'objet du test de Engle & Hendry (1993).

Ici, l'indiscernabilité des modèles concurrents du point de vue de la mesure, la loi jointe $f(Y,M)$ présentée dans l'encadré 3 admettant deux écritures, trouve un remède. En effet la mesure des phénomènes prend alors la signification d'une expérience cruciale permettant de départager les hypothèses. Les causes présumées coïncident avec des explications virtuelles, qui se trouvent ramassées dans une théorie ou un modèle; le modèle est testé, et le résultat des tests conditionne l'acceptation ou le rejet du schéma d'explication causale envisagé.

Une limite importante de ces tests réside dans la possible non-linéarité du processus stochastique, qui pourrait comporter des ruptures que l'on interpréterait à tort comme une série de changements historiques du processus lui-même. Notons qu'à travers l'hypothèse de non-corrélation instantanée entre deux bruits blancs, on retient, à côté de la chaîne causale,

une condition de possibilité pour l'inférence causale éventuelle réalisée par le modélisateur-observateur. En effet, il s'agit d'une hypothèse d'absence de corrélation entre les facteurs cachés ou implicites représentés par les termes d'erreurs, ce qui rejoint, dans les termes de Raymond Boudon, "une hypothèse pratiquement nécessaire dans toute analyse causale: une induction causale n'est en effet possible que si les facteurs dont les actions ne sont pas contrôlées n'affectent pas simultanément les variables explicatives et les variables à expliquer" (1999).

En l'occurrence, la corrélation entre ϵ et u laisserait penser que ces termes d'erreur représentent des facteurs cachés dont certains sont les mêmes dans l'un et l'autre cas (c'est-à-dire pour X et pour Y). Dans ces conditions, le modèle, même bien corroboré, ne serait pas très concluant: en se fondant sur lui et sur les tests pour affirmer que X cause Y , on risquerait de masquer par une causalité apparente une causalité bien réelle s'exerçant d'un facteur caché vers X , et simultanément, de ce même facteur caché vers Y .

La modélisation bloc-réursive enveloppe donc, à côté de la chaîne causale, un principe d'induction. L'écriture même du modèle dit quelque chose sur les conditions d'interprétation des résultats de sa mise à l'épreuve. Tout se passe comme si l'on ne modélisait pas seulement des hypothèses causales, mais aussi les conditions de possibilité d'une induction causale pour un sujet situé, ayant accès à certaines données plutôt qu'à d'autres. On privilégie alors des conditions très exigeantes pour l'inférence causale, destinées à émuler les conditions de l'expérimentation contrôlée. Tel est le prix à payer, comme l'a observé Nancy Cartwright (1995), pour le choix d'une méthodologie ambitieuse dans laquelle on prétend confirmer ses hypothèses en déduisant la validité de celles-ci, à la faveur d'expériences cruciales, des observations et des connaissances d'arrière-plan. Il faut, pour cela, se trouver dans des conditions très privilégiées, dans lesquelles tout se passe comme si la nature procédait elle-même à une expérimentation contrôlée.

II Une autre approche de la causalité

1) Modélisation vectorielle autorégressive et notions statistiques de causalité

Il n'est pas toujours aisé de départager variables endogènes et exogènes. Comment dire si les dépenses militaires, par exemple, sont exogènes par rapport aux variables macroéconomiques traditionnelles? On le suppose souvent, et on le justifie en faisant valoir qu'elles se déterminent probablement en fonction d'impératifs idéologiques, stratégiques et politiques ayant peu de rapport avec l'économie entendue comme système des échanges et de la

production. Mais ne peut-on faire valoir, en sens inverse, que les dépenses militaires s'adaptent tout aussi probablement à l'état des finances publiques (en particulier, au déficit résultant de l'exercice précédent), aux perspectives de croissance (et donc de rentrées fiscales) que laissent entrevoir les chiffres déjà connus, etc.?^{vii} Lorsqu'on considère les choses sous cet angle, il semble y avoir un certain arbitraire dans le partage entre variables exogènes et variables endogènes.

Bien sûr, les tests empiriques des modèles peuvent théoriquement guider le modélisateur dans un processus de sélection graduelle des bonnes hypothèses (et notamment, au sujet de l'exogénéité). Mais chacun a conscience du fait que les hypothèses des modèles n'affrontent pas une par une le verdict de l'expérience, mais bien plutôt, l'affrontent "en bloc". De la sorte, les hypothèses sous-jacentes à la modélisation sont souvent difficiles à valider par les tests économétriques. Historiquement, le pessimisme touchant l'arbitraire des hypothèses d'exogénéité et de chaîne causale s'est trouvé englobé dans un mouvement de défiance plus général affectant l'ensemble des restrictions structurelles que l'on prétend dériver des modèles fondés sur l'optimisation des agents économiques.

On a donc vu émerger une méthodologie macroéconomique d'inspiration plus empiriste que celle de la Cowles Commission (dont on a parfois suggéré qu'elle était de type "newtonien", autant - sinon plus - que de type "képlérien", alors que la démarche prévalant au National Bureau of Economic Research était plus nettement orientée vers la collecte de données permettant d'établir des "faits stylisés"). L'outil typique de cette nouvelle méthodologie est la modélisation par "vecteurs auto-régressifs" (VARs), qui consiste simplement à exprimer les valeurs présentes des variables en fonction d'un terme d'erreur et des valeurs passées de l'ensemble des variables, sans faire de partage *a priori* entre exogènes et endogènes - v. Sims (1980). Le terme d'erreur, pour l'équation de chaque variable, est supposé de moyenne toujours nulle, et non autocorrélé (par contre, on ne postule pas que les termes d'erreurs intervenant dans des équations différentes sont non-corrélés entre eux à chaque date). Ainsi, Sims (1972) considérait indifféremment des variables aussi distinctes les unes des autres que la quantité de monnaie, le PNB, le taux de chômage, le niveau des salaires, l'indice général des prix et l'indice des prix des biens importés.

Dans cette macroéconomie que les sceptiques appelèrent bien vite "non-théorique", le seul point d'impact possible pour la théorie (ou l'information d'arrière-plan) est le choix des variables qui entrent dans le vecteur auto-régressif, et le choix de l'"horizon temporel" (le nombre de retards pris en compte dans le modèle). C'est dans ce cadre d'analyse "non contraint" que l'on procède à des tests de causalité relevant d'une démarche purement

statistique. Tournons-nous maintenant vers les développements sur la causalité qui s'imposèrent dans ce contexte.

2) *Les tests de Clive Granger et de Christopher Sims*

Le test de Granger (1969) conduit à conclure qu'une variable X ne cause pas une variable Y si, dans une régression de Y sur le passé de Y et de X, l'observateur-modélisateur trouve que le coefficient des valeurs passées de X est zéro.

Cela implique que la connaissance du passé de X n'aide pas à prévoir le présent de Y. On dit que X cause Y si, étant donné le passé de la série Y, la connaissance supplémentaire du passé de X aide à déterminer *ex ante* la valeur présente de Y. Cela rejoint l'approche de Wiener (1956) et on parle quelquefois de causalité au sens de Wiener-Granger. Comme le souligne fortement Granger (2003), cette définition de la causalité concerne le processus social lui-même, alors que l'exogénéité concerne le modèle au travers duquel on aborde le processus social.

Le test de Sims (1972) mène à la conclusion que X ne cause pas Y si, dans une régression de X sur le passé, le présent et le futur de Y, on trouve que le coefficient des valeurs futures de Y est zéro.

Une chronique X ne cause pas une chronique Y si une "innovation" propre à X (c'est-à-dire une variation imprévisible à partir du passé de X et n'affectant pas la valeur contemporaine de Y) est dépourvue d'influence sur les valeurs futures de Y. En d'autres termes: *une innovation de X_t (qui peut se répercuter sur le futur de X) ne permet pas d'améliorer la prédiction ex ante de Y_t lorsqu'on connaît déjà tout le passé de Y.* Ce test provient d'un résultat de Sims établissant que dans le cas de la non-causalité de X vers Y, la projection de X sur le passé, le présent et le futur de Y se réduit à la projection de X sur le passé et le présent de Y. De plus, Sims a établi que la non-causalité de X vers Y au sens de Granger équivaut à la possibilité d'exprimer Y à chaque date en fonction des valeurs présente et passées de X, avec un terme d'erreur orthogonal aux valeurs de X à toutes les dates présente, passées et futures^{viii}.

L'approche de Granger et de Sims mène à une conception de la priorité ou de l'exogénéité qui paraît concurrente des notions que l'on définissait précédemment. Ainsi, on dira que X est *exogène* par rapport à Y si Y ne cause pas X au sens de Granger. Ou encore, on dira que X est *causalement première* par rapport à Y si X cause Y au sens de Granger, la causalité de sens inverse n'étant pas détectée.

Le succès de cette méthodologie tient aux possibilités qu'elle offre pour la recherche de faits stylisés sur le fonctionnement de l'économie^{ix}, mais aussi, à son utilité potentielle pour tester certaines des implications des modèles de référence développés dans la théorie. Par exemple, la théorie de l'efficacité des marchés de capital a pour conséquence que l'espérance conditionnelle du rendement de l'investissement sur un placement financier ou un bien durable (conditionnelle par rapport à l'ensemble d'information des agents) est une constante. Or, cela implique qu'aucune variable figurant dans l'ensemble d'information des agents ne peut être causale au sens de Granger pour le rendement de l'investissement. En effet si le rendement dépendait d'une variable connue de tous, les acteurs des marchés financiers agiraient en conséquence. Leur comportement d'achat ou de vente modifierait alors le prix du titre et la dépendance statistique du prix avec la variable disparaîtrait *de facto* puisque le niveau du prix reflèterait toujours déjà cette dépendance.

Si les tests de Granger sont répétés et conduisent à des conclusions "robustes", on aperçoit mal ce qui pourrait interdire de les considérer comme une contribution au repérage de la causalité, si celle-ci est abordée dans les termes des analyses classiques de Hume. Le concept de Granger, en effet, recouvre deux aspects essentiels de la causalité "humienne": la priorité temporelle, et la corrélation ou association régulière (source d'une habitude de prévision pour l'observateur) entre phénomènes. Il s'inscrit dans ce que l'on pourrait appeler le programme de recherche humien (empiriste) sur les relations causales.

3) Causalité au sens de Granger et causalité *prima facie*

Techniquement, on peut considérer, à la suite de Cartwright (1989: 55-56), que le critère de causalité de Granger généralise, en l'appliquant aux séries temporelles, la notion de causalité que l'on peut exprimer de la manière suivante, pour un événement E et un ensemble complet (F_1, \dots, F_n) de toutes les causes possibles de E:

C cause E si, et seulement si on vérifie la série d'équations suivante:

$$(6) \text{ prob } (E / C \pm F_1 \pm \dots \pm F_n) > \text{ prob } (E / \neg C \pm F_1 \pm \dots \pm F_n)$$

(où $\pm F_1 \pm \dots \pm F_n$ renvoie à chacun des arrangements définis possibles des "autres" causes potentielles de E, chacun de ces arrangements étant caractérisé par la présence (+) ou l'absence (-) de ces causes potentielles). Dans l'approche de Granger, les régressions (ou mathématiquement, les "projections") effectuées pour certaines variables (effets) sur un ensemble d'autres variables est la contrepartie du contrôle expérimental que l'on aurait dans une situation dans laquelle on mettrait en opération certaines "causes" F_i , les autres "causes" n'étant pas en opération.

Par ailleurs, on peut remarquer que le concept de Granger est apparenté à l'idée de *causalité prima facie* développée par Suppes (1970) dans sa théorie probabiliste de la causalité, selon laquelle X est cause de Y *prima facie* si, et seulement si, X précède Y dans le temps et $P(Y|X) \neq P(Y)$. Pas davantage que la causalité *prima facie* au sens de Suppes, la causalité au sens de Granger ne permet de rendre compte de la conception d'après laquelle la causalité suppose la capacité matérielle d'*empêcher* tout événement d'une certaine classe de se produire. Suppes (1981: 101) donne l'exemple suivant: il y a cinquante ans, la vaccination antivariolique constituait certainement une cause *prima facie* de l'absence de maladie, puisqu'elle protégeait de la maladie dans une zone contaminée; mais aujourd'hui, la maladie ayant disparu, la vaccination ne serait plus une cause au sens de la causalité *prima facie*, puisqu'elle ne modifierait plus la probabilité d'éviter la maladie. Il y a pourtant, avant comme après, un effet causal réel du vaccin dans l'empêchement de la maladie.

La causalité "probabiliste" ou "statistique" n'est donc certainement pas la causalité tout court; elle concerne des aspects de l'usage ordinaire du mot "causalité" qui ne recourent pas toutes les dimensions de la causalité efficiente. Considérons encore cet exemple économique. Dans une perspective keynésienne, les dépenses publiques permettent de réduire une part du chômage conjoncturel. Si l'effet est instantané car parfaitement anticipé, il n'est pas possible de détecter empiriquement, au moyen d'un test de Granger, un lien de causalité des dépenses publiques vers le chômage, alors qu'il y a en fait une forme précise de contrôle sous jacent, interprétable en termes de causalité efficiente.

4) Critiques de la causalité au sens de Granger

Le concept causal de Granger a été critiqué par certains économistes au motif qu'il ne s'accorde pas avec les conceptions philosophiques usuelles de la causalité (bien qu'il donne forme à la thèse assez intuitive dont Cartwright (1989: 55) souligne l'adoption fréquente en philosophie, d'après laquelle les causes sont des choses qui, même lorsqu'elles ne sont pas universellement liées à leurs "effets", en accroissent la fréquence: $P(E|C) > P(E|\text{non } C)$). Ainsi, Zellner a fait valoir contre le concept de Granger la thèse de Feigl assimilant la causalité à une situation de prévisibilité appuyée sur une loi bien confirmée (l'idée de loi renvoyant à une universalité ou à une généralité que ne peut posséder, de toute évidence, la liaison toute contingente que décèle ou ne décèle pas le test de Granger). On pourrait également opposer à la démarche de Granger la thèse de Russell (1913) d'après laquelle une relation fonctionnelle assignable entre variables peut se substituer avantageusement à l'idée de cause dans les sciences.

Selon Cartwright (1989: 58), le problème philosophique principal est celui de l'identification des causes potentielles, et donc des variables pertinentes pour le travail économétrique d'estimation, de mesure et d'interprétation. Si la "pertinence" est la pertinence causale, le raisonnement est circulaire. Si maintenant on se tourne vers une approche statistique de la pertinence, on cherchera naturellement à privilégier les facteurs dont la présence modifie la probabilité de l'"effet". Le problème est alors qu'il sera difficile d'identifier sur cette base un ensemble bien défini de variables. Ainsi, des facteurs F et F' peuvent très bien être non pertinents individuellement en ce sens:

$$(7) \text{prob}(E/F) = \text{prob}(E/\neg F) \text{ et } \text{prob}(E/F') = \text{prob}(E/\neg F')$$

alors même que l'on aurait:

$$(8) \text{prob}(E/F \pm F') \neq \text{prob}(E/\neg F \pm F') \text{ et } \text{prob}(E/F \pm F) \neq \text{prob}(E/\neg F \pm F)$$

Dans ce cas, on ne sait pas s'il faut inclure F et F' parmi les causes, ou bien aucune des deux. A cette critique, on peut répondre que l'approche empiriste défendue par Granger et Sims fait des tests de causalité un accompagnement de la modélisation. C'est en dernière analyse au modélisateur de proposer des hypothèses causales sur les mécanismes sous-jacents. Indépendamment de la théorie, l'approche empirique retenue synthétise ce que l'on peut dire des contributions de l'occurrence de certains événements à la prévision d'autres événements.

5) *Approche quantitative de la mesure de la causalité^x*

Pour mesurer *quantitativement* la causalité au sens de Granger de x vers y: il suffit de réaliser une régression de y sur son propre passé, de récupérer la variance des résidus puis de la comparer avec celle obtenue à partir de la régression de y sur son propre passé et sur le passé de x. La différence entre les deux variances est d'autant plus grande que le lien causal est fort.

Il est par ailleurs possible de mesurer la causalité "dans le domaine des temps", c'est à dire de mesurer le lien causal période par période. Il faut, pour cela, régresser la variable y sur son propre passé et sur le passé de x considéré à partir d'un certain délai (mettons 6 mois), puis en réalisant la même régression avec une prise en compte du passé de x à partir d'un délai plus long (mettons 7 mois). La comparaison des variances des résidus de ces deux régressions indiquerait la force du lien causal de la variable x sur la variable y dans l'intervalle compris entre les deux délais (ici dans l'exemple on mesurait l'influence de la variable x sur la variable y à l'horizon de 6 mois).

Cette approche suscite toutefois la critique suivante: ce n'est pas parce qu'une statistique (ici: la différence de variance) est élevée qu'elle est significativement différente de zéro. Des tests de causalité apparaissent alors nécessaires, et la causalité qui est testée est alors la causalité au sens de Granger.

6) *Causalité et manipulabilité. La critique de Cooley & LeRoy (1985)*

Selon Cooley & Le Roy, ce qui est central dans l'idée de causalité, et ce qui rend particulièrement nécessaire la modélisation bloc-réursive traditionnelle, c'est la *prédétermination* des variables supposées causales. S'il existe une forme structurelle, alors la partie "exogène" du modèle doit être prédéterminée. Il faut supposer que les variables causales sont véritablement toujours *déjà fixées* à chaque date, qu'elles ne se déterminent pas conjointement avec d'autres variables contemporaines. Dans le cas contraire il est impossible de se ramener à un équivalent de l'expérimentation contrôlée. En effet on n'a pas la contrepartie de la manipulation d'une variable « cause » dont on examinerait l'impact sur la variable causée *ceteris paribus*.

Or, les auteurs notent que la non-causalité de Granger n'implique pas la prédétermination. Ils en concluent que le test de Granger est sans pertinence pour savoir si l'interprétation proprement causale d'une corrélation conditionnelle est justifiée. La même critique est formulée à l'encontre de l'approche économétrique de Sims et des analyses d'innovation ou de réponse aux chocs.

Que penser de cette critique? Il n'y a pas de raison d'espérer qu'une procédure statistique pourra un jour, à elle seule, permettre de conclure au sujet de la prédétermination d'une variable. Il faut donc admettre que la prédétermination fait partie d'un "cadre théorique" qui doit être, dans une certaine mesure, présupposé par l'enquête empirique. Il faut aussi admettre que les diagnostics de causalité et d'exogénéité doivent en fin de compte reposer sur une description de nos rapports avec l'économie. Ces diagnostics expriment nos réponses à des questions telles que les suivantes: quels sont nos leviers d'action? Que pouvons-nous manipuler, dans un système économique, indépendamment du reste du système?

La critique de Cooley & Le Roy met l'accent sur une disparité réelle entre deux façons de concevoir la causalité et elle a le mérite d'obliger à se demander si l'on parle bien de la même chose lorsqu'on évoque la "causalité" dans l'un et l'autre contexte; nous y reviendrons. Elle peut, en outre, reconduire le débat vers la question de la manipulabilité des facteurs explicatifs, dans son rapport avec la mesure de l'influence causale.

Considérons en effet l'exigence d'une *manipulabilité indépendante des facteurs*, qui conduit à traiter l'exogénéité ou la prédétermination comme une précondition pour parler de causalité. Cela a pu être critiqué au motif que l'on tenterait alors d'opérationnaliser à un degré excessif les relations causales, en se ramenant à des opérations de mesure simples à mettre en oeuvre (grâce à l'observation de ce qui se produit directement lorsqu'un facteur se modifie). C'est ce qui ressort en particulier de la critique par Cartwright (2002) de l'approche de Hausman & Woodward (1999).

Hausman & Woodward insistent sur la nécessité, pour que l'on puisse parler de causalité, de considérer des *mécanismes distincts*, avec lesquels on doit pouvoir interférer individuellement sans interférer avec les autres. A défaut, l'interprétation causale est réputée difficile. L'hypothèse de modularité introduite par ces auteurs garantit que de telles manipulations sont toujours possibles. Si on a bien énuméré les facteurs causals dans les équations causales, alors on peut les manipuler en laissant invariantes les équations du modèle de référence. Selon Cartwright, cela revient à demander aux équations causales, non seulement de repérer les facteurs causals et d'exprimer les relations de ces facteurs avec leurs effets (ce qui est leur fonction propre), mais aussi, de nous informer sur la manière dont on pourrait toucher à l'une d'elles sans toucher aux autres (et c'est là *une autre question*). L'insistance sur cette hypothèse (jugée très forte) provient de la volonté d'opérationnaliser le concept de causalité en disposant de variables-leviers dont on peut mesurer directement l'influence causale. Or, il peut se faire que même dans les cas où l'hypothèse ne se vérifie pas, on ait accès à quelque chose comme la causalité. C'est pourquoi il faudrait résister à la thèse d'après laquelle une équation donnant une variable y comme fonction de variables $x_1 \dots, x_n$ ne peut être une équation causale (traduisant une relation causale) que si l'on peut interférer avec cette équation (en faisant des manipulations sur certaines de ses variables) sans interférer avec aucune autre relation causale dans le modèle. Il serait plus adéquat, selon Cartwright, d'exiger que cette relation fonctionnelle soit vraie, et qu'elle reste vraie pour toutes les interventions sur les variables indépendantes qu'elle fait intervenir.

7) *Quelle conception sous-jacente?*

Les critères de Suppes, Granger et Sims relient la causalité testable à l'amélioration des prévisions, et même à la recherche d'un optimum dans les prévisions, compte tenu des contraintes imposées par l'information disponible (les constatations et mesures effectuées). De la sorte, les préoccupations du modélisateur qui procède aux tests correspondants rejoignent celles qu'il prête aux agents dont il veut décrire le comportement: pour les uns et

les autres, il s'agit de tirer le meilleur parti de l'information disponible, et les "causes" ne sont que les leviers d'une prévision réussie, optimale. Cette conception de la causalité peut paraître réductrice, et peut sembler correspondre à une vision de l'explication scientifique dans laquelle celle-ci n'est qu'une image inversée de la prévision. Encore faut-il remarquer que cette conception de l'explication peut être défendue. Mais il semble qu'en fait la notion de Granger et les notions voisines se rattachent à une conception un peu plus subtile de la causalité.

"X cause au sens de Granger" signifie en gros: X aide quelqu'un (un agent de l'économie, ou un observateur extérieur) à mieux rendre compte de l'évolution de quelque chose d'autre. C'est donc une conception de la causalité qui transite explicitement par un observateur ou un modélisateur. Il faut alors rattacher la causalité au sens de Granger à une thèse au sujet de l'explication scientifique, que l'on pourrait exprimer ainsi: *X contribue à expliquer Y (ou "cause" Y) si X aide un observateur à rendre compte d'évolutions de Y que l'observateur ne décrirait pas aussi fidèlement sans recours à X (i.e. sur la base d'un ensemble d'information n'incluant pas X)*. On voit ainsi que la causalité ainsi définie appuie des énoncés contrefactuels, dont l'originalité est de faire intervenir l'analyste lui-même. Il ne s'agit pas de dire que si telle chose (extérieur à l'analyste) ne se produisait pas, telle autre chose (extérieure à l'analyste) ne se produirait pas, mais plutôt: si telle constatation (faite par l'analyste) n'avait pas lieu, telle autre constatation (celle de la concordance plus ou moins grande entre les prévisions de l'analyste et les observations) donnerait des conclusions différentes.

Cette conception sous-jacente pourrait être rattachée aux indications que donne Ernst Mach (1900) dans le chapitre "Causalität und Erklärung" de son ouvrage sur la thermodynamique - indications qui laissent entendre que la recherche d'explication causale a toujours à voir avec l'idée qu'on cherche à rendre moins surprenants des phénomènes qui le restent partiellement lorsqu'on considère seulement les variables et les facteurs explicatifs habituellement pris en compte. Ainsi, les définitions et tests de Granger et Sims ne font qu'instrumenter une certaine conception de l'explication scientifique, qui n'est pas dépourvue de portée philosophique, bien qu'elle s'éloigne assurément des schémas d'explication causale fondés sur l'idée d'effet, sur une variable, de la manipulation discrétionnaire d'autres variables.

Cette approche n'est pas seulement une réduction. Son originalité est de faire intervenir explicitement l'ensemble d'information sur lequel se basent les agents (ou le modélisateur) pour repérer des relations causales. Or, la théorie économique optimisatrice accorde une

attention soutenue aux problèmes de disparité dans les ensembles d'information. Dans ces conditions, il peut être important de comparer explicitement les facultés de prévision des différents agents et du modélisateur. Par ailleurs, de nombreuses théories économiques fondées sur l'optimisation accordent un rôle de premier plan aux mécanismes transitant par les phénomènes d'anticipation. Or, les notions de Granger et Sims permettent de repérer les liens de causalité apparente, et donc les possibilités d'amélioration de prédiction, dont disposeraient les agents s'ils avaient le savoir et les ressources du modélisateur (ceux-ci constituant toujours une référence par rapport à laquelle on précise les restrictions sur l'information pour tel ou tel groupe d'agents du modèle).

8) *Quelle place pour la causalité lorsqu'il n'y a pas d'exogénéité?*

De plus, cette conception de l'explication causale permet de s'affranchir du préalable d'une distinction rigide entre variables exogènes et endogènes, sans renoncer à aborder au moins un certain registre de la causalité. Or, il peut y avoir des raisons, à propos d'une variable X, de considérer que: (1) elle aide à prévoir les évolutions d'une autre variable (disons, Y) dans le futur; et (2) elle se détermine d'une manière qui n'est pas indépendante de (1), et donc de sa relation avec la variable Y, en vertu d'un mécanisme social compréhensible.

Par exemple, si X est le chiffre d'affaire trimestriel du secteur du bâtiment et Y le niveau d'un indice des prix, et si les agents (sur la foi de leur information sur le passé et le présent) concluent que X cause Y au sens de Granger (ou plus généralement: que X les aide à décrire l'évolution de Y), ils utilisent l'évolution de X pour prédire Y, et cela influe en retour sur la détermination de X. Par exemple, une mesure de l'accélération de X les conduit à prévoir de l'inflation, ce qui les décidera à emprunter aujourd'hui pour acheter des logements, causant ainsi par leur comportement une hausse de X.

Dans ce cas, on peut dire que le fait que X prenne les valeurs qu'elle prend a une liaison intrinsèque avec le fait que, dans le passé, les agents ont pu constater que X aidait à prévoir Y. La détermination des valeurs de X, en d'autres termes, est fondée sur une liaison causale au sens de Granger entre les deux séries. Supposons maintenant qu'il existe un mécanisme économique compréhensible en vertu duquel les variations de X engendrent effectivement une variation définie de Y, *ceteris paribus*. On peut alors former un énoncé contrefactuel du type: si la série X ne s'était pas déterminée comme elle l'a fait (i.e. d'une manière qui permet de dire que X cause Y au sens de Granger), Y se déterminerait d'une autre manière. En somme, s'il n'y avait pas de relation de causalité *prima facie* (ou causalité au sens de Granger) entre les variables X et Y, il n'y aurait pas de causalité efficace de X vers Y.

Dans un cas comme celui-ci, la relation de causalité au sens de Granger entre X et Y joue un rôle dans la détermination des valeurs de X, et celle-ci est une cause efficace (via un mécanisme causal) des valeurs de Y. Il paraît inapproprié, ici, de dire que toute référence à la causalité doit présupposer un processus de détermination qui se déroule antérieurement et d'une manière complètement étrangère à l'effet causal. Ce serait s'exposer au risque de laisser de côté certaines causes dont l'efficacité causale tient précisément au fait qu'elles apparaissent à certains acteurs comme des causes *prima facie* d'autres variables, et se déterminent en conséquence *dans* le processus étudié (non pas en dehors de lui).

Avec la causalité au sens de Granger, on dispose d'une approche de l'explication causale, ou de la causalité *prima facie*, qui permet de donner corps à l'idée (en elle-même significative empiriquement) d'une prévision améliorée par rapport à celle qui serait possible en l'absence de certaines observations. On n'a pas besoin de présupposer un repérage absolu de la prédétermination ou de l'exogénéité (ce qui constitue une réponse à la critique de Cooley & LeRoy). En outre l'introduction de cette idée d'une causalité apparente pour les agents économiques peut s'avérer indispensable pour reconstituer des séquences causales relevant de la causalité efficace (inscrite dans un mécanisme de la nature). En somme, du point de vue même de la causalité efficace inscrite dans des mécanismes naturels, il peut être nécessaire de prêter attention à un échelon spécifique d'explication causale (ou causalité *prima facie*) ayant un rôle dans la détermination du comportement des acteurs économiques.

III- Causalité testable et comportement optimisateur des agents économiques

Nous croyons avoir répondu à l'une des objections importantes adressées à l'interprétation causale des critères de Granger et Sims: celle qui souligne l'absence de lien nécessaire entre cette notion et la prédétermination ou l'exogénéité. Examinons maintenant ce que l'on peut dire des difficultés qui subsistent: dans le paragraphe 1 de cette section, nous rappelons, au moyen de deux exemples, que les cas de suppression à l'échelon empirique des liens de causalité au sens de Granger en présence même d'un schéma causal efficace sous-jacent reposent sur des hypothèses strictes, et peuvent difficilement valoir comme le cas habituel. Au paragraphe 2, au moyen d'un autre exemple, nous illustrons l'intérêt pour la modélisation des comportements, et donc l'analyse des mécanismes, de l'intervention - à un niveau spécifique - du concept de causalité au sens de Granger.

1) Contrôle optimal et causalité apparente.

a) Exemple de l'optimisation et du revenu permanent

Les modèles économiques de revenu permanent sont fondés sur la maximisation intertemporelle de l'utilité sous contrainte d'égalité entre la somme des valeurs actualisées des dépenses et la somme équivalente des valeurs actualisées des revenus anticipés. Un résultat classique des conditions d'optimalité du premier ordre est le suivant: pour un taux d'intérêt constant exogène, à chaque date, l'espérance de l'utilité marginale pour la période suivante est égale, à un coefficient multiplicatif près (reflétant le taux d'intérêt et le taux psychologique de préférence pour le présent), à l'utilité marginale présente. En d'autres termes, $u'(C)$ suit une martingale: la meilleure prévision de l'avenir, c'est le présent. Si la fonction d'utilité est quadratique, C suit une marche aléatoire (dont les variations sont par définition imprévisibles) et le passé de Y (revenu individuel) n'aide pas à prévoir le présent de C , on doit alors trouver la non-causalité de Y vers C au sens de Granger.

Il y a donc un contraste entre: (1) la logique optimisatrice du modèle (la liaison efficace idéale entre la séquence des revenus et la chronique de la consommation); (2) l'implication testable: pas de liaison systématique mesurable. Cela indique un hiatus entre la causalité efficace présumée et la causalité empirique impliquée. Comment combler cet écart?

On peut d'abord faire observer que ce peut être une incitation à formuler des modèles reposant sur des hypothèses de rationalité moins extrêmes. Si l'optimisation n'est pas parfaite, il est possible que la causalité réapparaisse (et donc le lien est rétabli entre causalité efficace et causalité apparente). Par ailleurs, si l'on fait intervenir d'autres variables qui peuvent être pertinentes, un test de Granger peut révéler qu'un éventuel résultat initial de non-causalité n'était pas profond, et tenait simplement à l'omission de certaines variables présentant un intérêt bien réel. Par exemple: si l'on fait intervenir le niveau du capital, on a toute chance d'obtenir un lien causal (au moins instantané) du capital vers la consommation et du taux d'intérêt vers le capital. On rétablit donc un mécanisme possible, grâce à la causalité de Granger (notion qui incite à faire intervenir des variables supplémentaires). Dans ce cas, on aperçoit une association heuristique entre la détection statistique de la causalité apparente et l'identification inductive des mécanismes sous-jacents.

b) Contrôle optimal efficace et non-causalité empirique

Supposons que y soit une variable dépendante (d'état) sur laquelle le gouvernement voudrait exercer une influence (par exemple: le chômage); a_t la cible ("l'objectif") du gouvernement;

x_t une variable de contrôle (un instrument de politique économique, par exemple le taux d'imposition des entreprises, ou les dépenses publiques), a et c sont des constantes. Si l'on cherche à minimiser l'écart entre la cible et y_t à l'aide de la manipulation de x , et si l'on suppose la loi du mouvement suivante:

$$(9) \quad y_t = ay_{t-1} + cx_t + u_t$$

alors la chronique $\{x_t\}$ solution sera:

$$(10) \quad x_t = \frac{1}{c}(a_t - ay_{t-1})$$

Par conséquent:

$$(11) \quad y_t = a_t + u_t$$

Il ne sera donc pas possible de détecter empiriquement, au moyen d'un test de Granger, un lien de causalité de x vers y , alors qu'il y a un contrôle efficace sous-jacent. Mais Granger (1988) souligne que les hypothèses sous-jacentes à cette analyse (il en énumère sept) sont très restrictives. La plus prégnante est que le contrôle du gouvernement sur x est sans erreur. Egalement, on néglige le fait que l'intervalle de temps nécessaire pour que x exerce un effet sur y ne correspond pas forcément à un intervalle de temps de la découpe conventionnelle du temps utilisée pour l'échantillonnage. Granger montre que si l'on affaiblit l'une ou l'autre de ces hypothèses, on retrouve un lien de causalité apparent. Il construit un exemple dans lequel le contrôle imparfait (même très proche du cas parfait) rétablit un lien de causalité empirique.

2) Causalité empirique et diversité des points de vue d'agents optimisateurs

Dans leur étude sur le mode de détermination du prix du pétrole brut, Catherine Bruneau et Jean-Paul Nicolai (1991) ont exploré l'idée selon laquelle les résultats de causalité publiés par les statisticiens peuvent modifier les croyances, et par contrecoup les comportements, des agents intervenant sur un marché, et rendre ainsi caduques les conclusions des statisticiens eux-mêmes (ce qui illustre le "principe d'impossibilité" introduit par Bowden (1989)). Cet effet d'annulation est dû au fait que la réalité économique faisant suite à la publication d'une relation statistique doit être supposée différente de la réalité préexistante.

Dans la situation étudiée par Bruneau et Nicolaï, le producteur a accès à une variable d'activité économique, qu'il peut mesurer et que n'observe pas le raffineur. Raffineur et producteur pensent que le prix du produit dérivé n'intervient pas dans le prix "spot" du brut. Dans les régressions qu'ils peuvent faire en tenant compte de leur ensemble d'information, il n'y a pas de causalité au sens de Granger. Le modélisateur se donne une représentation du monde (partage entre variables d'action et d'environnement, schéma de rationalité des acteurs), fait des hypothèses classiques de normalité des termes d'erreur et dérive les conditions d'équilibre entre l'offre et la demande.

Or, il peut se faire qu'à l'équilibre il existe un lien causal *prima facie* du prix du produit dérivé vers le prix du brut, détectable (par un test de Granger) pour l'observateur qui dispose du modèle. Cette causalité n'est pas intégrée dans les anticipations des agents optimisateurs. Dans le modèle, il se trouve que la dérivation de ce lien de causalité empirique provient de la disparité d'information entre producteurs (qui disposent d'un proxy intéressant pour l'activité économique d'ensemble) et raffineurs.

Que se passe-t-il *après publication du modèle*? Le modèle lui-même conduit à penser que la liaison causale apparente prévue précédemment est susceptible de disparaître. Doit-on y voir un paradoxe? Il est vrai que l'on peut être surpris de voir apparaître une dépendance des implications empiriques (en termes de causalité *prima facie*) vis-à-vis du caractère *public* ou *caché* du modèle. Cela semble indiquer qu'en situation d'information imparfaite, il est illusoire de vouloir repérer empiriquement des liens de causalité *prima facie* ayant une existence "réelle", indépendante de l'exercice concret de modélisation et de son influence sur les agents modélisés. La notion de causalité au sens de Granger peut sembler problématique dans ce contexte, parce que la manière de l'établir, pour l'observateur-analyste, n'est pas indépendante du repérage d'une causalité par les agents du modèle eux-mêmes.

De notre point de vue, la relativisation de la causalité que l'on voit émerger n'est pas un problème profond. Si la présence d'un lien causal *prima facie* a quelque chose à voir avec la possibilité pour un agent donné d'améliorer sa description d'une situation prévisible, il est naturel d'admettre qu'il puisse y avoir un renversement, ou une suppression, des liens de causalité empirique que l'on peut tirer du modèle, lorsque la communauté des utilisateurs du modèle n'est plus la même. C'est le cas ici lorsqu'il ne s'agit plus du modélisateur seul, mais du groupe qu'il forme avec les autres agents, par suite de la publication d'un modèle. En effet, les comportements sont influencés par les prévisions, et le discernement de liens de causalité au sens de Granger doit avoir une influence sur les comportements par cette voie. On pourrait aussi apercevoir un problème de ce genre à partir de l'exemple donné plus haut du

contrôle optimal d'une variable y par une variable x : si l'économètre porte à la connaissance du gouvernement la causalité au sens de Granger d'une variable x (qui est sous son contrôle) vers une variable y , et si le contrôle est efficace, l'économètre peut provoquer la suspension apparente du lien causal qu'il a pourtant lui-même révélé.

Finalement, la causalité au sens de Granger renvoie à un échelon comportemental spécifique qu'il peut être utile de faire intervenir dans la modélisation des interactions économiques, pour mieux comprendre l'incidence des prévisions réalisées par les acteurs économiques. La relativisation des relations de causalité, qui peut surprendre, tient au fait qu'il devient ici nécessaire de préciser les ensembles d'information des agents (ou du modélisateur) capables d'effectuer des régressions des variables les unes sur les autres, comme celles que permettent les modèles VARs (vecteurs auto-régressifs). Il en résulte une certaine parité entre le point de vue du modélisateur et celui des agents qu'il étudie, ce qui paraît satisfaisant dans le cadre d'une méthodologie individualiste. En ce qui concerne les relations empiriques de causalité *prima facie*, le modélisateur n'a pas un point de vue transcendant sur une "vraie" causalité; il n'a qu'un point de vue particulier, déterminé par l'ensemble d'informations dont il dispose, comme c'est le cas aussi pour les agents qu'il étudie.

Conclusion

Un concept empirique de causalité, formulé en termes de contribution à la prévision, émerge naturellement si l'on accepte de considérer pour lui-même le rôle des agents qui effectuent des prédictions (sur la base de leurs mesures et observations) dans un modèle économique fondé sur l'hypothèse de comportement optimisateur des agents. Plus spécifiquement, l'enrichissement de la description que résume le lien causal au sens de Granger est essentiellement relatif à l'identité, à l'information et à l'activité du modélisateur. Dès lors, le partage des mesures et des opérations d'inférence dans la communauté des agents du modèle devient un élément important pour la description des relations de causalité. Cette relativité par rapport au point de vue, loin d'être seulement une limite, est une caractéristique intéressante pour la compréhension et la modélisation causale des mécanismes qui transitent par l'identification de liens de causalité *prima facie* par des agents économiques. C'est ce qui invite aussi à s'affranchir du préalable de l'exogénéité ou de la prédétermination. Non dépourvu de signification épistémologique en lui-même (à cause de la conception intuitive de

l'explication qu'il véhicule), le concept de causalité de Granger peut jouer un rôle éclairant, à son échelon propre, dans la recherche de mécanismes de causalité efficiente.

Références

- Boudon, R. (1999) "Causalité (sciences sociales)", *Encyclopaedia Universalis*, CD version 5.
- Bowden, R.J. (1989) "Statistical Games and Human Affairs : the view from Within", Cambridge University Press.
- Bruneau, C. et Nicolaï, J.P. (1991) "Comportements, croyances et lois causale. L'exemple du marché à terme du brut", *Annales d'Economie et de Statistique* 22: 129-52.
- Cartwright, N. (1989) *Nature's Capacities and their Measurement*. Oxford: Clarendon Press.
- Cartwright, N. (1995) "Probabilities and Experiments", *Journal of Econometrics* 67: 47-59.
- Cartwright, N. (2002) "Against Modularity, the Causal Markov Condition, and any Link between the Two: Comments on Hausman and Woodward", *British Journal for the Philosophy of Science* 53, 3: 411-53.
- Cooley, T.F. et Le Roy, S.F. (1985) "Atheoretical Macroeconometrics: A Critique", *Journal of Monetary Economics* 16: 283-308.
- Engle, R.F. et Hendry, D.F. (1993) "Testing Superexogeneity and Invariance in Regression Models", *Journal of Econometrics* 56: 119-139.
- Engle, R.F., Hendry, D.F. et Richard, J.F. (1983) "Exogeneity", *Econometrica* 51, 2: 277-304.
- Gouriéroux, C. et Monfort, A. (1990) *Séries temporelles et modèles dynamiques*. Paris: Economica.
- Gouriéroux, C., Monfort, A. et Renault, E. (1987) "Kullback Causality Measures", *Annales d'Economie et de Statistique* 6/7: 369-410.
- Granger, C.W.J. (1969) "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods", *Econometrica* 37, 3, 1969: 424-38.
- Granger, C.W.J. (1980) "Testing for Causality: A Personal Viewpoint", *Journal of Economic Dynamics and Control* 2: 329-352.
- Granger, C.W.J. (1988) "Causality, Cointegration and Control", *Journal of Economic Dynamics and Control* 12: 551-9.
- Granger, C.W.J. (2003) "Some Aspects of Causal Relationships", *Journal of Econometrics* 112: 69-71.
- Hausman, D. et Woodward, J. (1999) "Independence, Invariance and the Causal Markov Condition", *British Journal for the Philosophy of Science* 50: 521-83.
- Heckman, J. (2003) "Conditioning, Causality and Policy Analysis", *Journal of Econometrics* 112: 73-8.
- Hénin, P.Y. (1974) "Sur la définition des structures causales en économétrie" *Cahier du Séminaire d'Econométrie*, CNRS, 15.
- Hoover, K.D. (1990) "The Logic of Causal Inference: Econometrics and the Conditional Analysis of Causality", *Economics and Philosophy* 6, 2: 207-34.
- Hoover, K.D. (1991) "The Causal Direction Between Money and Prices: an Alternative Approach", *Journal of Monetary Economics* 27, 3: 381-423.

- Hoover, K.D. (2003) "Some Causal Lessons from Macroeconomics", *Journal of Econometrics* 112: 121-5.
- Jacques, J.F. et Picavet, E. (1994) "Relations causales entre les dépenses militaires et leur environnement macro-économique: tests partiels pour la France et les Etats-Unis", *Economie et prévision* 112,1: 53-68.
- Lucas, R.E. (1976), Jr. "Econometric Policy Evaluation: A Critique", in K. Brunner et A.H. Meltzer (eds) *The Phillips Curve and Labor Markets*, pp. 19-46. Amsterdam: North Holland [Carnegie Rochester Conference Series (série de volumes accompagnant le *Journal of Monetary Economics*)].
- Mach, E. (1900) *Die Prinzipien der Wärmelehre*. Leipzig: J.A. Barth.
- Meidinger, C. (1994) *Science économique, questions de méthode*. Paris, Librairie Vuibert.
- Russell, B. (1913), "On the Notion of Cause", *Proceedings of the Aristotelian Society* 13: 1-26.
- Saint-Sernin, B. (2002) "La causalité" in D. Andler, A. Fagot-Largeault et B. Saint-Sernin, *Philosophie des sciences, II*, chapitre 7, pp. 825-938. Paris: Gallimard (Folio essais).
- Sargent, T.J. (1987) *Macroeconomic Theory*. San Diego: Academic Press, 1987 (ed. orig. 1979).
- Simon, H. (1957) *Models of Man*. Dordrecht: Reidel.
- Sims, C. (1972) "Money, Income and Causality", *American Economic Review* 62: 540-62
- Sims, C. (1980) "Macroeconomics and Reality", *Econometrica* 48, 6: 1-48.
- Snowdon B., H. Vane et P. Wynarczyk (1994) *A modern Guide to Macroeconomics. An Introduction to competing Schools of Thought*. Edward Elgar Publishing Limited, Hants,U.K.
- Suppes, P. (1970) *A Probabilistic Theory of Causality*. Amsterdam: North Holland, 1970.
- Suppes, P. (1981) *Logique du probable*. Paris: Flammarion.
- Walliser, B. (1994) *L'Intelligence de l'économie*. Paris: Odile Jacob.
- Wiener, N. (1956) "The Theory of Prediction". In E.F. Beckenback (ed) *Modern Mathematics for the Engineers*, New York: McGraw-Hill.

ⁱ Bernard Walliser écrit en ce sens: "Le principe de causalité affirme qu'un phénomène h est la cause d'un phénomène k s'il existe un schéma explicatif qui permette de justifier l'influence de l'un sur l'autre, par l'intermédiaire d'une hypothèse générale H , qui peut rester implicite: $H \rightarrow (h \rightarrow k)$." (Walliser, 1994: 85)

ⁱⁱ Sur le débat général concernant l'usage du vocabulaire causal en statistique, ou dans un cadre probabiliste, voir Cartwright, 1989: Introduction et chap. 1. Pour une perspective générale récente sur le concept de causalité dans les sciences, voir Saint-Sernin, 2002.

ⁱⁱⁱ En référence des travaux de David Hume.

^{iv} Voir en ce sens la critique (centrée sur la difficulté de l'identification des facteurs causals potentiels) de la causalité au sens de Granger chez Cartwright, 1989: sec. 2.3.

^v Voir à ce propos, la discussion des thèses d'Haavelmo par Cartwright, 1989: 155-56.

^{vi} (Lucas, 1976). Pour un point de vue philosophique sur cette critique, voir Cartwright, 1989: chap. 4, sec. 4.3. James Heckman (2003) insiste sur le fait que les propriétés d'invariance de ce genre doivent être spécifiées pour une classe donnée de politiques ou interventions - celles que l'on envisage - sans y inclure nécessairement celles qui ont pu influencer les données du passé.

^{vii} Nous avons abordé le cas des dépenses militaires dans Jacques & Picavet, 1994.

^{viii} Voir, pour un exposé détaillé, voir Sargent, 1987: chap. XI, sec. 24.

^{ix} Par exemple, Sims trouvait que la monnaie cause le produit, que l'inverse n'est pas vrai, et que dans un système trivarié contenant aussi les taux d'intérêt, les innovations du taux d'intérêt expliquent l'essentiel des variations conjointes de la monnaie et du produit (Sims, 1972).

^x Gouriéroux & Monfort, 1990: chap. X. Voir aussi Gouriéroux, Monfort & Renault, 1987.