

Penser la modélisation interdisciplinaire en termes de processus analogiques, logiques et empiriques

Benaissa JEBBOUR

Enseignant de Management au CNAM

21 Rue Hébert 53000 Laval

E-mail : bjebbour@hotmail.com

*‘Le système vise à la cohérence plus qu’à la vérité ; la méthode
vise à la vérité plus qu’à la cohérence’*

Jean Guiton, 1962

Résumé

Penser la modélisation interdisciplinaire en termes de processus analogiques, logiques et empiriques, c’est admettre que la modélisation disciplinaire dans des domaines scientifiques tels que Economie, Ingénierie ou Sciences Naturelles, implique ces trois processus fondamentaux. Pris conjointement, puis séparément, ces processus présentent des « ruptures systémiques » et des « crises de fondements » qui mènent à des résultats paradoxaux dans une perspective scientifique formalisante. On montre que l’interpénétration de considérations scientifiques et extra-scientifiques met en évidence le statut conjectural des modèles scientifiques à travers leurs dynamiques internes et externes, et entraîne l’évolution des disciplines considérées, ou encore la création de nouvelles disciplines.

Abstract

Thinking interdisciplinary modelling through analogical, logical and empirical processes is to admit that disciplinary modelling in scientific fields like Economics, Engineering or Natural Science, requires these three fundamental processes. Taken jointly and then separately, such processes present "systemic ruptures" and "foundation crises" which lead to paradoxical results, in the framework of any formalized scientific approach. It is shown that the interpenetration of scientific considerations and extra-scientific ones highlights the conjectural status of scientific models, through their internal and external dynamics, and results either into the evolution of the discipline at hand, or into the creation of new ones.

Introduction

Peut-on définir un processus de modélisation disciplinaire sans recourir à la modélisation interdisciplinaire ? Telle est la question à laquelle tente de répondre cet article.

Si l’on appelle "modèle" le résultat d’un tel processus (Le Moigne, 1995), ce modèle serait-il la représentation d’une réalité propre à un champ de connaissance donné ? Cette représentation imposerait-elle un processus de pensée, dont le déroulement devrait avoir une fin, ne serait-ce que pour pallier aux urgences des considérations humaines, notamment scientifiques ? Cette fin invite à substituer à l’imagination créatrice, un langage scientifique qui permet de considérer le modèle comme un système. La représentation de la réalité se déploie à travers la logique de la pensée et l’intérêt que l’on accorde à un domaine spécifique

de cette réalité. Le modèle est issu de trois processus, antagonistes et complémentaires. D'une part tout ce que l'on perçoit et conçoit passe nécessairement par des processus analogiques, et les perspectives formelles de la logique. Les critères scientifiques disciplinaires, conditionnés par les emprunts/inventions des autres champs disciplinaires, et par la similarité/antagonisme des modèles, déterminent les processus modélisateurs. On se propose, dans cet article, de montrer que les processus analogiques, logiques et empiriques présentent, conjointement ou non, des paradoxes. La similitude formelle de ces paradoxes à l'échelle des disciplines des sciences humaines (Economie), des Sciences de Conception (Automatique / Informatique) et des Sciences Naturelles, détermine les statuts conjecturaux des modèles scientifiques et appelle l'interdisciplinarité et son statut intra et extra scientifique. L'interdisciplinarité nécessite aussi une optique historiciste et intersubjective, pour prendre en compte ce qu'il est convenu d'appeler relation sujet/sujet, sujet/objet ou sujet/phénomène.

Les paradoxes que nous verrons plus loin sont doubles : au niveau des champs scientifiques et à celui des langages de description. Les paradoxes disciplinaires expliquent la thèse de cet article : *penser la modélisation disciplinaire en termes de la modélisation interdisciplinaire*. Les disciplines de sciences humaines et sociales, et notamment l'économie, champs importants du point de vue humain, sont au cœur de débats incessants et controversés, que nous reprendrons plus loin.

1) Les processus analogiques : similarités et limites de la modélisation

On peut constater une certaine similitude formelle entre Science d'Ingénierie et Sciences sociale et humaine. Ainsi pour la science physique (classique), considérée comme une science naturelle, la modélisation est une reproduction simplifiée et analogique des propriétés des objets. Le plus célèbre exemple d'analogie est celui que Newton a indiqué, entre le mouvement de l'objet que l'on tourne au bout d'une corde et celui de la lune autour du soleil. Les analogies nécessitent un langage de description permettant d'assurer la cohérence du modèle à produire. La mécanique classique, notamment, a utilisé les mathématiques pour répondre à cette exigence scientifique. En informatique /automatique (science d'ingénierie), le modèle se construit en termes du langage de la machine artificielle¹ (les conditions internes) avec des contraintes extérieures (les conditions externes). La dynamique du langage permet de sous-tendre une variété de programmes spécifiques différents. Mais si l'on admet en l'état actuel des recherches en informatique que malgré le nombre considérable de modèles pourvus du même statut syntaxique, ces modèles ne sont pas des systèmes, dans la mesure où ils s'infèrent de façon déductive. Il en est de même pour les objets physiques que l'on traite en mécanique classique. Les similitudes qu'il peut y avoir entre champs de connaissances concernent les modèles produits dans ces champs, tandis que les différences résident dans les stratégies intentionnelles des modélisateurs.

Il en est de même pour les sciences humaines et sociales et notamment dans le domaine économique. Ce dernier domaine, dans ses aspects à la fois expérimentaux et rationnels (objectif ou subjectiviste/marginaliste²), est jugée comme étant le plus proche des sciences naturelles et des sciences d'ingénieries, ce qui n'est pas le cas des approches Economiques qu'elles soient historique, sociologique³ ou anthropologique⁴. La complémentarité de ces

¹Tout dépend de la machine, pour les machines modernes on peut penser au langage de haut niveau ou autrement un langage de bas niveau relatif, au système d'exploitation propre à une machine informatique/automatique donnée.

² L'école autrichienne (notamment Von Mises, [1933], 1996 ; le courant des marginalistes est considéré comme l'antithèse de la sociologie économique, l'anthropologie économique et l'histoire de la pensée économique.

³ Voir les travaux de Karl Polanyi, 1983 ; North et Thomas, 1973 ;

⁴ Bronislaw Malinowski, [1933], 2001 ; Radcliffe-Brown, 1968 ;

aspects dérive de la co-existence d'une structure logique déductive et d'une pluralité d'interférences avec les sciences connexes (humaines et sociales), voire même avec les sciences naturelles. Par conséquent, la science économique n'est pas totalement une science artificielle au sens de Simon (1969, 1974) car elle ne peut pas dire avec précision et exactitude comment pourront évoluer certains phénomènes, dans la mesure où on n'a pas un nombre fini de paramètres. Les politiques de croissance économique, l'évaluation boursière, le maintien de la performance d'une entreprise, etc., sont des exemples pertinents de la complexité des paramètres économiques : la croissance économique d'un pays, d'un bloc entier d'une région du monde, peut être affectée par des événements ponctuels en rapport avec l'ampleur de la criminalité, l'évolution technologique, la mutation historique d'ordre sociologique... La modélisation, qui tente de décrire ou prédire l'évolution de ces paramètres, suit à la fois ce qui est historiquement connu, et en même temps ce qui est variabilité événementielle (subjective, objective et/ou de l'ordre du virtuel, comme la Bourse). Ces paramètres indiquent la multiplicité des causes pouvant provoquer des effets rétroactifs sur les politiques économiques ou les performances des entreprises. Ainsi, la Bourse suit les événements subjectifs et virtuels, qui sont d'une instabilité évidente. D'où les différences entre contraintes économiques complexes et contraintes relatives aux sciences d'ingénieries (informatique/automatique), ou aux Sciences Naturelles. Les analogies entre aspects méthodologiques et épistémologiques de ces domaines sont étudiées par les historiens des sciences et les épistémologues.

La science économique a utilisé des méthodes similaires aux autres domaines, et fait des inventions/emprunts, visant un but scientifique. Les modélisateurs/ concepteurs/théoriciens ne visent pas uniquement la satisfaction d'une utilité humaine, mais tentent également de comprendre le "comment" des phénomènes, à l'aide d'assertions langagières et de modèles formels. L'esprit humain dans la perception/conception est générateur de similarités entre modèles. En effet, il sous-tend toutes les sciences avec leur caractéristiques communes : expérimentation/ instrumentation, intuition, analyse et compréhension. Que ce soit en sciences physiques, en sciences de conception, ou en économie expérimentale, « l'expérience scientifique sous toutes ses formes, est à la fois acceptation de données qu'un réel impose à la pensée, recherche active d'une réponse à des questions posées, invention et développement de procédures d'intervention dans ce réel »⁵. La réalité des contraintes comme carrefour où s'entrecroisent la sensibilité et l'intelligibilité, peut être perçue et mettre en évidence à la fois la puissance de l'esprit humain et sa limitation dans la formulation des problèmes.

La conception d'un modèle nécessite à la fois l'intention et l'action. Les événements/actions⁶ sont des paramètres qui participent à tout processus analogique déterminant un modèle. Le couple action (intentionnelle)/événement (contraintes externes), de part sa nature, assure par ailleurs l'aspect conjectural des modèles scientifiques. L'inférence heuristique n'est que la résultante de la réduction et de la représentation des contraintes en rapport avec le projet de modélisation. Elle est de fait le processus de prise en compte de ces contraintes, et aussi de formulation –proposition- de problèmes. Elle exprime les contraintes externes et les contraintes internes (d'ordre syntaxique)⁷ pour déterminer une fonction sémantique⁸. Dès lors, le concret de la réalité perçue redevient l'abstrait de l'inférence heuristique en question. D'où une similarité entre champs de connaissances connexes, fondée sur une navigation entre l'analogique et la logique le concret et l'abstrait, le rationnel et le magique/ mythique⁹.

⁵ G-g Granger, 2003, PP : 38 – 43 ;

⁶ De l'environnement « tapissé de processus », voir Le Moigne, 1977 ;

⁷ Les relations entre symboles concret ou abstrait.

⁸ La sémantique traduit (ici) les relations entre les objets (d'études), appartenant à un corpus scientifique donné, sous forme d'un ensemble de symboles dont l'arrangement suit les lois de la structure syntaxique.

⁹ Edgar Morin, 1986,

2) Les processus analogiques disciplinaires et leur conditionnement interdisciplinaire

2. A) la formalisation et ses paradoxes dans la modélisation

Les fonctions de transfert (symboliques) sont fondées à la fois sur la syntaxe et la sémantique. Elles diffèrent de par la nature des contraintes externes. On ne saurait prédire la trajectoire d'un missile faisant une poursuite d'un engin spatial que par sa fonction de transfert, dans laquelle sont incorporés les régulateurs (feed-back négatif) capables de maintenir la stabilité des systèmes de poursuite –en rapport avec les données physiques, les intentions en termes de la satisfaction d'une fonction d'utilité- en atténuant les perturbations dues aux contraintes. Les systèmes automatiques, tels que les systèmes de poursuite, malgré la complication de leurs fonctions de transferts (dans le domaine spatial, militaire, domestique ou dans l'industrie en général), ont une fécondité heuristique dans leurs domaines d'application. Ceci est du au nombre fini de leurs paramètres, c'est à dire des contraintes externes de ces systèmes. L'exemple du système de réservation des billets de train (TGV) est une autre illustration (peu parfaite !) de la capacité des ordinateurs à intégrer un nombre inestimable de paramètres de l'environnement dans les variables objectives (fruit d'un travail intentionnel des modélisateurs/ concepteurs), qui assurent une part non négligeable de la fonction de l'utilité technique et économique. Pour cet exemple, l'objectif économique s'associe aux heuristiques informatiques, afin de satisfaire une fonction d'utilité humaine.

Mais l'exemple de la réservation TGV n'est pas aisément généralisable. En effet, l'informatisation de la production économique en général ne peut se fonder sur la seule fécondité heuristique. En général, les paramètres de l'environnement sont difficilement repérables dans les évolutions technologiques, concurrentielles ou historiques ... ni dans les circonstances particulières du domaine d'application, de l'intensité de la concurrence ou de la maturité des marchés ... Ceci peut amener à des paradoxes lorsque l'on veut interpréter des données empiriques. L'exemple du « paradoxe de Solow »¹⁰, qui a valu à son auteur le prix Nobel d'économie, illustre parfaitement la difficulté de concilier formellement les données paramétriques de l'environnement externe avec la détermination des paramètres de la croissance de la productivité d'une économie, en rapport avec l'accroissement de son informatisation. Solow avait constaté empiriquement qu'entre 1970 et 1995, une faible croissance de la productivité coïncidait avec une forte croissance de l'informatisation des sociétés industrielles et, de 1995 à 2000, la croissance de la productivité accompagnait l'accroissement de l'informatisation, mais ne pouvait être tenue pour le facteur décisif à cet égard. Enfin, la fin de l'année 2000 a connu le début de ralentissement de l'économie mondiale qui, normalement et suivant les théories admises, devrait amener le maintien de la productivité au niveau de la récession. Solow montre qu'il n'en est rien, puisque le niveau de la productivité, en ce temps, a été maintenu à un niveau jugé supérieur par rapport à ce qu'il devrait être (théoriquement et formellement). Ainsi, l'utilité espérée, -car probable- de la fonction de transfert concernant à la fois la croissance économique mondiale, les variables qualitatives (des systèmes d'informations) et les variables quantitatives de l'accroissement de la productivité, possède une auto-régulation –au sens cybernétique¹¹- limitée dans son ampleur par le très court terme (temps court) pour faire digérer la complexité des paramètres généraux et particuliers. C'est pour cela, et même dans les périodes de croissance, que cette fonction de transfert de la croissance économique ne peut indiquer, en termes probabilistes, l'impact de l'informatisation et de son évolution dans le système productif. Et contrairement aux schémas économiques traditionnels relatifs aux périodes de croissance –et de révolution industrielle¹²-, ce paradoxe amène avec lui la difficulté de la prédiction en l'absence d'un

¹⁰ Robert Solow, 2003;

¹¹ Nous l'entendons dans le sens automatique de la boucle fermée: retour de la sortie sur l'entrée;

¹² Voir Adam Smith, l'un des fondateurs de la première cybernétique, 1991 ;

contrôle expérimental des paramètres qui échappent, par leur évolutivité, au processus analogique formel. En l'absence de ce contrôle, il faudra donc tenir compte du processus analogique informel sous-jacent aux paramètres incontrôlables que la puissance de l'esprit humain est capable d'appréhender, pour donner un complément à la modélisation formelle. Ainsi Solow (2003) renvoyait la clarification de son fameux paradoxe vers le contexte de la signification dans le domaine d'application, pour tenter de comprendre partiellement l'impact de l'informatisation dans le système productif, sans prétendre pour autant à une complétude compréhensive et donc synthétique du processus dans sa globalité. Les impacts des paramètres généraux et particuliers sur les variables et indicateurs de la fonction d'utilité (probabiliste) sont observés par un nombre considérable de scientifiques, avec leurs intuitions et/ou des expériences contrôlées. Mais la difficulté d'établir des liens entre ces paramètres, - même ceux qui sont prévisibles - et les finalités économiques en terme de croissance, découle de leurs impacts réciproques. Ainsi, ces paramètres informels pourraient rejoindre les processus qu'on a coutume de rencontrer dans les récits anthropologiques, ethnologiques et/ou historiques relatifs aux champs économiques. Ils pourraient même présenter des analogies avec les modèles de la mécanique céleste, dans lesquels les intentions, les systèmes de valeurs, les représentations communes, les mythes, les magies, ..., sont pris en compte comme des concepts théoriques, participants à une visée scientifique. Par son côté formel, le processus analogique reflète (au moins qualitativement) certains faits stylisés de la réalité [physique, mathématique, ou] économique et non pas une représentation littérale de celle-ci »¹³. De tels processus s'inscrivent dans une méthodologie introspective, intuitive, plus apparente en l'état actuel des recherches en économie (et surtout en micro-économie) qu'en mécanique classique ou en physique moderne. En micro-économie, il est difficile de confronter les théories économiques avec la réalité des contraintes économiques, ne serait ce que par l'absence d'outils opérationnels¹⁴, ce qui est loin d'être le cas pour la macroéconomie, comme on l'a souligné plus haut, avec le Pr. Robert Solow et que l'on retrouvera avec l'autre prix Nobel Amartya Sen.

Les constats empiriques, qui découlent des états et/ou des processus observationnels ou expérimentaux, indiquent l'importance des « jugements de valeur » pour tenter d'apprécier l'ampleur de l'objectivité scientifique. Ceci repose à la fois sur le point de vue et sur l'échelle de l'observation du modélisateur/observateur/expérimentateur. En même temps, ces constats contribuent, par leur volet descriptif, à expliquer les phénomènes en considérant mieux l'importance de la « neutralité axiologique ». Il est donc nécessaire de produire une combinaison, (et non pas une correspondance intrinsèque), de la logique et de l'empirique dans toute perspective formalisante. En d'autres termes, le jugement analytique intelligible devrait avoir une certaine correspondance avec le jugement expérimental. Mais les contraintes liées à ce dernier n'ont pas les mêmes caractéristiques que les contraintes liées aux jugements analytiques en rapport étroit avec le formalisme logique. Depuis la seconde révolution de la physique impulsée par Einstein, nous savons bien que la réalité expérimentale exprime un enchaînement *discret* des phénomènes/objets désormais dépendante des espaces-temps -à plusieurs dimensions dans le cas de la physique-, mais est indépendante de ceux-ci, dans la construction des langages de description dans une perspective formalisante.

La logique formelle dans sa version mathématique est basée sur le principe de déterminisme : l'état d'un phénomène à un instant « t » donné détermine l'état du dit phénomène à l'instant « t+1 ». Ce principe est une version épurée du déterminisme, suivant laquelle la cause est antérieure à l'effet (loi causale). Mais convenons aussi que l'on ne peut faire l'impasse sur les contraintes physiques, voire astrophysiques, pour mieux traiter les contraintes des sciences de conception (notamment l'automatique). Procéder à l'exploration de l'univers, dans les

¹³ J.Hindriks, 2003 ;

¹⁴ Voir David Colander in Le Moigne J.L (site mexapc) et J.Hindriks, 2003 ;

sciences de conception, nécessite la conception de causalités à la fois linéaires et multiples, de sorte qu'il y ait plusieurs causes : la gouvernance, les perturbations qui émanent de l'environnement (astro) physique, de contraintes diverses, des corrections¹⁵ pour déterminer des états liés aux états désirés. Ceci étant fait pour minimiser les écarts de ces états, et construire un lien entre la logique et l'empirique. Ainsi la multiplicité des causes dans le fonctionnement d'un système automatique – comme exemple de discipline de conception - génère aussi des effets rétroactifs qui contribuent à l'efficacité de ce système. La complémentarité entre ce qui relève de l'ordre normatif syntaxique, de la dynamique du contexte de connaissance et d'action de la fonction sémantique, participe ici à la fonction de transfert unissant abstraction et décodage de l'abstraction.

2.B) Les paradoxes et la dynamique intra et inter modèle

La différenciation entre données empiriques et logiques (formelles) renvoie respectivement à des interprétations différentes des processus analogiques (contenu) et de ceux qui relèvent de la logique formelle (contenant). Dès lors, la tension entre le contenu/contenant que tente de révéler le jugement synthétique « qui appréhende tout ce dont nous [...] pouvons saisir de façon immédiate [et concrète] par analogie »¹⁶, et celui que révèle le jugement analytique (par lequel se ferait toute proposition) implique vérification/réfutation, consistance, rigueur, contrôle,..., etc. Cette tension renvoie finalement à une dynamique inter-modèle que certains nomment "perspective morphologique" (parmi eux le professeur Le Moigne entre autres) et aussi à une dynamique intra-modèle, comme traduction analogique de la computation naturelle (à l'instar du cerveau humain ou des particules élémentaires)¹⁷.

Prise dans une large mesure, ces dynamiques déterminent un processus analogique à partir du sémantique et du contenant formel syntaxique. Ce processus entraîne des paradoxes qu'il s'agit d'élucider en termes du statut conjectural et de l'interconnexion entre champs de connaissances et d'actions. Nous pouvons désormais, pour modéliser à l'aide de considérations à la fois logiques, analogiques et empiriques, qui répondent aux critères scientifiques, tenir compte de l'extrême complexité des phénomènes. On peut notamment n'extraire que la partie la plus intéressante (par rapport au but recherché) du phénomène considéré (c'est à dire de sa structure interne), sans pour autant se hasarder à chercher par exemple en physique, de liaison entre propriétés physiques et chimiques des molécules, des atomes, etc. On peut ainsi obtenir une adéquation quasi-parfaite entre les réalités des contraintes physiques et celles des réalités "procédurales" (formelles) logico-mathématiques qu'on a l'habitude de rencontrer dans l'automatique et l'informatique. « Heureusement, comme le disait Herbert A. Simon, au demeurant ! Sinon la sécurité d'un pont ou d'un avion pourrait dépendre des théories des particules élémentaires »¹⁸. Le statut conjoncturel de l'interconnexion entre champs de connaissances est manifeste dans les sciences de conception, telles que l'informatique et l'automatique. En effet, il est courant de changer d'hypothèses au niveau de la commande d'un système et même parfois sur le comportement souhaité de ce système (lié aux contraintes externes), pour arriver dans le cadre d'une 'convergence asymptotique' à simuler la nature pour construire un modèle. En son temps, Léonard de Vinci (1452-1519) avait imaginé et simulé le vol des oiseaux pour pouvoir dégager les « principes qui doivent mener au mécanisme général d'une machine »¹⁹. Cet exemple émanant d'un érudit peut être généralisé, dans un système de représentation analogique. Ces simulations reposent essentiellement sur l'examen minutieux des interactions entre éléments d'un même niveau, et non sur celles entre niveaux hiérarchiques (inférieurs).

¹⁵ Naturellement ces entrées ne sont pas configurées dans les mêmes endroits. Voir Le Pr. Ioan.D. Landau (1993) ;

¹⁶ Edgar Morin, 1986, PP: 144;

¹⁷ Morin, 1977 ; Simon, 1974 ; Passet, 1997 ;

¹⁸ Simon.H.A, 1974, [1969], PP:32;

¹⁹ André Chastel, 1995, PP: 611-624;

Les interactions entre niveaux ne sont que partiellement et approximativement à prendre en compte dans la construction du modèle.

Ainsi, en économie, la part la plus intéressante d'un phénomène à modéliser est celle qui est empiriquement plausible²⁰. En effet, il est difficile de cerner les liens entre les contraintes de l'environnement, car ils sont fonction d'une chaîne causale que l'on ne peut isoler, vu les effets rétroactifs qu'on ne sait pas prendre en compte.

Ainsi, l'originalité de ces modélisations qui s'appuient à la fois sur la logique formelle et l'expérience, est de se dégager des causes antérieures (au contraire de « l'orientation Platonicienne attachée à l'unité première »²¹, à caractère historiciste, flou et contextuel), pour s'ériger en système dont l'homme et la société forment les nœuds de complexité. C'est ainsi que les deux perspectives évoquées ci-dessus servent à simuler –intuitivement et/ou par expérience- qualitativement et/ou quantitativement, certaines réalités locales et/ou globales et non pas toutes les réalités d'une causalité complexe²². Les données empiriques proviennent de la construction analogique de la perception de cette réalité (économique, naturelle (physique) ou artificielle (automatique/informatique)). Elles participent à la construction du modèle dont le caractère conjectural et la dynamique intra et extra sont désormais affirmés. Soulignons l'importance des causes mineures pour déterminer des relations en chaînes complexes, notamment dans les sciences humaines et sociales (comme l'économie) susceptibles de modifier la structure de l'ensemble, en imposant un ordre particulier, qu'il soit économique, sociologique, ou naturel, au détriment de l'ordre existant²³. Cela amène au changement morphologique au niveau du système, par bifurcation à partir d'une catastrophe²⁴.

Il est des catastrophes qui renvoient dans le langage scientifique, à des propositions visant des nouvelles méthodes de pensées dans les sciences humaines, naturelles et les sciences d'ingénieries, pour pallier à ce qui est imprévisible, de grande ampleur, et dont la cause ne peut être aisément dégagée. Prenons une idée largement répandue en économie de développement, à savoir : *le manque de nourriture est la cause principale de la famine*. Amartya Sen (1981), concluait dans sa thèse aux paradoxes des études empiriques avec les théories admises dans ce domaine. En effet, les données empiriques sur les calamités qui se sont produites dans certaines régions pauvres du monde, notamment l'Inde et le Bangladesh confirment que d'autres facteurs pourraient expliquer le phénomène observable de famine au delà de la seule explication tautologique évoquée. Certaines famines ont eu lieu, alors que les quantités de nourriture disponibles étaient sensiblement les mêmes que les années précédentes, sans famine. Parfois dans une même année de famine certains pays ont pu exporter les denrées alimentaires ... Ces données empiriques contrastent évidemment avec l'explication formelle. En ce sens, Sen montre que la connaissance de la famine demande l'analyse et la compréhension des autres facteurs sociaux et économiques qui influencent aussi bien les différents groupes de la société (y compris ceux qui sont touchés par la catastrophe) que les opportunités qui leurs sont offertes dans la réalité de leur vie quotidienne²⁵. La question des fondements empiriques de la modélisation économique est clairement posée, ici, pour tenir compte ouvertement de la morale et de l'éthique dans les affaires économiques, et ce au détriment de 'la neutralité axiologique'. Il s'agit de lier la pauvreté, le système socio-politique, la croissance économique et les données naturelles d'une part, et le bien-être social d'autre part. Ainsi, l'éthique du bien-être et les jugements de valeurs relatifs aux choix collectifs orientent l'attention, dans ce cas là, vers la part la plus

²⁰ Et là nous savons grès à Herbert Simon, Sen Amartya, et Robert Solow (la liste est très longue).

²¹ André Chatel, Ibid. PP : 620

²² Les ordinateurs d'aujourd'hui sont capables d'appréhender certains et pas tous les aspects de la complexité.

²³ Nous développons modestement cette thèse (la partie anthropologique) ;

²⁴ René Thom, 1977; allusion à la théorie mathématique de la catastrophe

²⁵ Sen A, 1981;

intéressante (pour un contrat social), d'un phénomène économique, à savoir, la confiance contractuelle, et le « recours à un ensemble de normes explicites et implicites »²⁶. Cette éthique traduit ici les contraintes liées à l'économie d'échange. Les phénomènes discontinus apparaissent dans les phénomènes perçus comme étant continus. D'autres exemples fonctionnent sur les plans structurel et fonctionnel, par l'adoption d'un raisonnement heuristique analogue. Robert Solow (2003) avait examiné le décalage entre les régions industrialisées et les régions pauvres en terme de progrès économique. Celui-ci devrait avoir un impact causal entre régions du monde comme le prône le modèle théorique formel (classique). Or les interprétations récentes des données empiriques sur lesquelles s'accordent beaucoup d'économistes (Jean Hendriks, 2003) mettent en évidence que la croissance économique d'une région donnée n'entraîne pas forcément la croissance d'une région associée. Il est donc nécessaire de comprendre les contraintes d'ordre structurelles et fonctionnelles liées à cette observation, comme par exemple le changement climatique engendré par le progrès économique des pays industrialisés, qui concerne toutes les régions du monde. Ceci empêche de fait le développement des régions pauvres qui ne consomment qu'à faible quantité les énergies non renouvelables. Le préjudice ainsi causé à ces pays amène à reconsidérer, pour le long terme, la pertinence de la solution de transfert technologique des pays riches vers les pays pauvres (Robert Solow, 2003). Le cadre idéal du modèle économique formel qui est celui de la solution de transfert technologique entre régions du monde, nécessite la prise en compte de paramètres technologiques, naturels, économiques et éthiques, et la conjonction de l'analogique, de la logique et de l'empirique. Ainsi, en termes de contrat social comme de gouvernance mondiale, la part la plus intéressante d'un phénomène peut servir de structure pour modéliser une utilité espérée dans le domaine économique. Les thèses de Herbert A. Simon (1974) en sont d'autres illustrations parfaites.

Mais, les données sociologiques, naturelles et économiques rendent malaisée, de par leur spécificité, la plausibilité des liens causaux de la perspective formalisante. En intégrant à ces données des éléments informels (empiriques), elles mettent en évidence la spécificité d'une contrainte d'un domaine particulier ainsi que la chaîne 'causale' rendant compte de l'interconnexion entre champs divers de connaissances et de pratiques. Dès lors, l'utilité scientifique/humaine peut être prise en compte, au niveau de l'interprétation, dans l'élaboration d'un modèle formel. Ainsi, les nombreux problèmes de la perspective formalisante, exprimés par la double composante logique et empirique, déterminent des paradoxes (voir prix Nobel en économie (cités)), mettant en évidence la complexité d'une science économique, qui s'autorise la liaison entre modèles analogiques formels et informels. Ceci permet de modéliser en tenant compte du caractère conjectural des hypothèses - et le rejet de théories admises une fois pour toutes. Ce caractère conjectural, et la faible prédictibilité théorique indique les limitations de la "science économique" par rapport aux sciences de conception.

Ainsi, les modèles scientifiques doivent être le résultat d'un processus de recherche et non pas uniquement la représentation systématique d'un objet²⁷, à l'instar de la mécanique classique. Les présupposés théoriques (du domaine scientifique) et les structures de contraintes externes (expérimentales, observationnelles ou intuitives) entrent dans les caractérisations des processus analogiques. D'un côté, l'analogie formelle met en évidence une similarité fonctionnelle et structurelle entre le modèle et « l'objet d'étude » et de l'autre, l'analogie informelle décrit aussi les propriétés abstraites (par exemple les mythes, les valeurs,...), symboliques. La conjonction de ces analogies repose sur les identités structurelles et symboliques afin de forger une artificialité²⁸ spécifique de l'acte intentionnel relatif à chaque

²⁶ Amartya Sen in J.P Galavielle, 2003 ;

²⁷ Qui satisfait évidemment aux propriétés de clôture, auto-suffisance et substance, in Edgar Morin, 1977 ;

²⁸ Herbert.A.Simon, [1969], 1974, PP : 18-20 ;

processus de modélisation. L'artificialité du modèle peut être décrite, comprise et/ou prédite. Dans la description, on tente d'appréhender les structures que l'on perçoit aisément, et qui fondent les critères d'identification et de modélisation des objets²⁹. De plus, la description du processus de modélisation implique à la fois celle de l'état du phénomène considéré et celle de son action (faire). La compréhension est un préalable nécessaire à la description ne serait ce que pour mettre une connaissance spécifique au service de l'immédiateté et du concret d'une représentation analogique³⁰. Dès lors, le synthétique de la compréhension se voit conjuguer à l'analytique et/ou la systémique de la description. Ainsi, cette dernière sert de moyen et de fin à toute analogie. Elle est, de fait, l'intermédiaire entre le but intentionnel et les lois de la structure de l'environnement physique (naturel, expérimental), artificiel (logico-mathématique applicatif) ou de l'environnement humain, social, expérimental (du champ économique). Cette description relie les intentions du modélisateur au but désiré (artefact résultant) et aux lois des contraintes de l'environnement. Ces lois peuvent être naturelles, artificielles et/ou 'psychosociologiques'³¹. On peut, dès lors affirmer le caractère heuristique de la modélisation qui trouve ses limites dans le domaine de simulation par ordinateur (prédiction) et qui implique de tenir compte des aspects informels des phénomènes.

2) Les critères scientifiques et la fécondité heuristique des modèles : la systématisation

Les paradoxes de la conjonction des processus (logiques, analogiques et empiriques) nous incitent à interroger l'importance de la prédiction/prévision dans les sciences. Cette entreprise nécessite la compréhension des critères adéquats qui fondent la fécondité heuristique des processus en question.

2.A) La prédiction/prévision scientifique des modèles agrégatifs ou simplistes

La prédictibilité/prévision revêt, du point de vue logique, des aspects formels assez similaires pour les sciences humaines (économiques), les sciences d'ingénierie et les sciences naturelles. Mais l'ampleur de cette similarité est limitée par les canaux analogiques qui président à la destinée intra et extra-scientifique relative à chaque champ de connaissance autant qu'aux champs de connaissances qui lui sont connexes si l'on tient compte des considérations locales et à très court terme et des considérations globales et à très long terme dans le traitement des paramètres de contraintes. Dès lors, on peut de mieux en mieux « appréhender la complexité des interactions entre les nombreux facteurs qui interviennent dans la détermination des phénomènes »³². Pour cela deux critères fondamentaux s'offrent aux modélisateurs, à savoir le critère « d'agrégativité » et le critère de « simplisme ». Le critère d'agrégativité (Herbert A.Simon)³³ permet de formaliser la part la plus intéressante d'un phénomène considéré comme empiriquement plausible (Le Moigne). Les modèles cités ci-dessus, illustrent bien le propos. En revanche, le critère de 'simplisme' renvoie à la compression des données paramétriques, qu'elles soient complexes ou compliquées. Ce caractère dépend de la structure du phénomène, et donc des propriétés à modéliser. Pour les phénomènes bien déterminés, le critère du simplisme a sa raison d'être, comme le soutenait Raymond Boudon (1984) : « le seul postulat indispensable [...] que le déterminisme peut être constaté, mais qu'il peut aussi ne pas l'être. Faute de reconnaître la seconde éventualité, on risque de rendre certains faits

²⁹ Ibid. PP : 133 ;

³⁰ Edgar Morin, la méthode 3, 1986, PP : 144 ;

³¹ Otto Klinberg, 1995 ;

³² Fitoussi, 1991, PP: 53;

³³ Qui fait l'accord des scientifiques cités.

incompréhensibles »³⁴. Les équations mathématiques, qui devraient traduire ces faits, n'ont de sens que si toutes les variables réelles sont connues. Or dans les systèmes à complexité non déterministe, ces variables ne peuvent être aisément connues par le modélisateur, vu les aléas, flou ou hasard qui surgissent à tout moment pour déterminer les contraintes dont dépendent les propriétés du système à modéliser.

Le déterminisme (comme souligné plus haut) a toujours été le noyau dur du critère de simplisme intuitif guidant à tort ou à raison les procédés scientifiques. Il nécessite, souvent, la méthode axiomatique afin d'exprimer les processus analogiques par l'identification d'un phénomène, en empruntant les canaux logiques afin d'établir des propositions scientifiques. Nous savons que ces dernières sont plus abstraites que concrètes, et qu'elles permettent de mettre en évidence (et pas seulement dans les procédures expérimentales) les paradoxes qui proviennent des descriptions d'état, avec les conjonctions et disjonctions que l'esprit humain est capable de traiter, tant dans ses actions cognitives que pratiques³⁵. Ces propositions expriment la généralisation des idées et des concepts, qui nécessitent la sélection ou la classification de divers objets qui pourront satisfaire un but recherché, notamment scientifique (H. Bergson, 1998). Autrement dit, ces paradoxes sont le fait de la généralisation que l'on veut octroyer à toute proposition scientifique (voire extra-scientifique), en utilisant une classification qui intéresse nos besoins scientifiques par rapport aux objets, ou phénomènes qui nous intéresse, afin de leur donner 'une propriété commune' par les opérateurs logiques qui président à l'abstraction. Ainsi, percevoir ou concevoir une généralisation n'est que le côté apparent de l'iceberg. Il est une description d'état d'une perception (représentation) et/ou description d'état d'une conception, qui s'impose de par sa nature comme paradoxe/problème à résoudre par rapport au processus même de toute perception, comme l'est, par rapport au processus de toute conception³⁶. Ces deux qualificatifs de la description mobilisent création, réflexion, intention par rapport à l'instinct de l'habitude³⁷. Ils traduisent, en effet, le «transfert permanent des descriptions d'état aux descriptions de processus au sein d'une même réalité complexe »³⁸. Prenons quelques paradoxes des modèles micro-économiques formels, dits intuitifs et simplistes. En effet, l'exemple de la théorie du choix rationnel (ou le dilemme des prisonniers) exprime l'analogie sémantique d'une métaphore. Celle-ci serait capable de donner une signification aux phénomènes, via les opérateurs logiques. Ainsi, plusieurs états possibles sont donc nécessaires à un juge pour qu'il puisse faire avouer deux suspects (séparément) pour un hold-up, s'il ne dispose pas de preuve à leur encontre. Si aucun des deux suspects n'avoue ce hold-up, il en prendra pour deux ans de prison ; si l'un des deux avoue, il sera relaxé et l'autre suspect qui n'avoue pas écoperera d'une peine maximale (dix ans de prison) ; si les deux suspects avouent, ils seront condamnés chacun à une peine de cinq ans. Dans ces conditions, chacun des deux sait désormais que s'il se tait, il en prendra pour dix ans de prison, alors que s'il avoue il risquera au maximum cinq ans de prison. Ces deux assertions, extrémistes, reflètent évidemment un choix individuel dénué de toute négociation sociale. Il en est autrement dans le cas contraire. Car si l'un des deux suspect sait que l'autre n'avoue pas, Il est assuré d'en prendre pour deux ans ce qui est avantageux pour les deux ; si c'est l'inverse, alors les deux écoperont de cinq ans de prison. Dans la mesure où chacun des individus poursuit son intérêt en croyant à la vertu d'une 'main invisible', *la dernière solution d'aveu est notoirement plausible*. Ce qui n'est pas le cas si chacun des deux suspects s'assure, en coopérant avec l'autre, de ne pas avouer. Ainsi, le mécanisme de 'la main invisible' illustré

³⁴ Raymond Boudon, 1984, PP: 192;

³⁵ A.Bogdanov in Le Moigne, 1995, PP : 33 ;

³⁶ H.Bergson, [1938], 1998 ; H.A.Simon, [1962], 1974 ; E.Morin, 1986;

³⁷ David Hume, 1983 ; Bergson, 1998 ;

³⁸ H.Simon, 1974, PP : 133 ;

par la métaphore du dilemme du prisonnier (Oskar Morgenstern, 1944)³⁹ aboutit ici, à l'impasse et donc au paradoxe du 'dialogique' de la logique et l'analogique formelles. La formalisation de la fonction d'utilité individuelle nécessite alors la prise en compte des paramètres de l'anticipation, de la connaissance du comportement de l'adversaire dans l'action, le nombre perçu des agents (individus) avec qui on entretient des relations et la prise de décisions par rapport à ces paramètres. Il s'agit alors de simuler, par analogie, en plus des intérêts individuels, les contraintes des agents (économiques). Ainsi, cette nouvelle formalisation de la fonction de l'utilité, qui dépasse le cadre de deux agents, implique un jeu dont la somme de gains est non nulle. Elle vise à reconnaître, qu'*au sein des jeux non coopératifs, il y a un sous-ensemble de jeux coopératifs*⁴⁰. Dès lors, le traitement formel, (des actions et réactions des partenaires dans la coopération/compétition,) a un sens du point de vue logique et analogique. Car, la prise en compte des aspects sociologiques et stratégiques qui sous-tendent les actions/réactions des agents permet de comprendre les mécanismes du choix rationnel. Aussi, la théorie du choix social du prix Nobel, Kenneth Arrow⁴¹ illustre également le paradoxe des décisions individuelles par rapport aux décisions collectives dans les mécanismes de vote démocratique.

Ces exemples et tant d'autres constituent un plaidoyer en faveur de la puissance des processus analogiques formels basés sur *le critère de simplicité*. Ces processus aboutissent finalement à la compréhension, à l'approfondissement des connaissances scientifiques, à la démonstration du statut conjectural des modèles scientifiques, et à la confirmation -une fois de plus- de la faible prédictibilité, à long terme, des modèles économiques - à l'instar de la mécanique classique comme le montrent, d'une manière généralisée les études faites en mécanique quantique et en astrophysique⁴². Ainsi les critères d'agrégativité, combinés aux critères de la simplicité intuitive, amènent séparément à des résultats formalisés, lesquels « n'ont finalement d'importance que dans la mesure ou ils peuvent alimenter la discussion ordinaire, ou ils ont un rapport avec les choses pour lesquelles les gens s'affrontent et se battent »⁴³. Ils impliquent dans toute discussion scientifique ordinaire la coexistence de la vérité et de la fausseté dans les propositions formalisées (au sens logique et/ou empirique). Cette coexistence dans les propositions se justifie par leurs éléments paradoxaux, leur fécondité heuristique et leur dynamique inter et intra-modèle scientifique.

2.B) Les critères scientifiques, la systématisation et les paradoxes

Les critères scientifiques ont montré leur fécondité heuristique et représentationnelle, dans les domaines évoqués. Ils découlent de ce qui est convenu d'appeler la *systématisation*, pour l'élaboration du modèle scientifique. Pour y arriver, il fallait bien dépasser, sans s'en passer, des spéculations stériles, des notions vagues de chance, de hasard, de ce à quoi tenait l'humanité pour satisfaire ses besoins des plus élémentaires aux plus sophistiqués. Ainsi, les considérations magiques, mythiques (extra-scientifiques) se traduisent par analogie dans un langage de description approprié, possédant ses propres contraintes⁴⁴. Par exemple, on peut traduire l'idée de chance par la théorie mathématique de la probabilité, afin de l'exprimer *subjectivement* et/ou *objectivement*. Subjectivement, car il faut mettre en évidence la croyance en cette chance par une fonction d'utilité espérée (économique). Objectivement, car elle sert

³⁹ Ces affirmations sont extraites de nos souvenirs des études universitaires. Les ouvrages de ces érudits sont facilement accessibles par divers moyens dont on dispose aujourd'hui.

⁴⁰ Comme le soutenait le prix Nobel, John.F.Nash, héritier de Oskar Morgenstern & Von Neumann (Princeton) ;

⁴¹ Kenneth Arrow, 1974 ;

⁴² Voir Hubert Reeves in Sciences et Avenir, Août 2003 ; Voir également Mugür-Moara Chachter, 1997 ;

⁴³ Amartya Sen, in J-P Dupuy, 1992, PP : 48 ;

⁴⁴ En référence au critère du simplisme ;

au traitement statistique dans les domaines tels que la physique, l'astronomie ou l'ingénierie. En général, les deux volets de la systématisation renvoient explicitement ou implicitement vers la prévision/prédiction dans les sciences. Les modélisateurs, ont souvent recours à l'étude de la convergence ou de la divergence (en terme géométrique/asymptotique) des séries mathématiques dans plusieurs domaines. Henri Poincaré (1854–1912) avait étudié la prévision des phénomènes astronomiques en mécanique céleste⁴⁵. Il avait montré, dans ce domaine, la divergence des séries mathématiques, même avec un nombre limité de variables. Ainsi, la systématisation, vue dans la double perspective logico-formelle et empirique, doit tendre vers la convergence d'une fonction d'utilité pour aboutir à la construction du modèle. Mais la dialectique de la convergence/divergence, qui prend en considération les propres contraintes du langage mathématique et/ou logique, met un coup d'arrêt à son automatisation dans les processus analogiques qui la régissent, et provoque des dissonances/ paradoxes. Ces derniers sont alors des résultantes des opérateurs de la perception des phénomènes, de l'objectivité scientifique, et de la place de la sensibilité par rapport à l'intelligibilité humaine. Ces paradoxes s'opposent à toute proposition, à caractère causaliste et synthétique a priori, qui dote les espaces-temps logiques et empiriques d'états qualifiés de discret et d'univoque. Le réexamen de cette thématique, par les langages de descriptions mathématiques/logiques ou rhétoriques (dans plusieurs domaines), ouvre des perspectives intéressantes pour la compréhension du statut conjectural des modèles, et par conséquent, fait appel à l'interdisciplinarité.

3) Les perspectives historicistes et intersubjectives dans les langages de descriptions analogiques et leurs rapports à l'interdisciplinarité

L'artificialité qui caractérise toute modélisation est pensée comme système caractéristique où les liens entre les objets constitutifs pourraient mettre en évidence par 'abstraction didactique' une indépendance par rapport au contexte des contraintes. Bien qu'elle soit féconde scientifiquement, cette entreprise épistémologique peut paraître moins proche de la réalité, surtout dans le domaine des sciences sociales, où la confusion des causes et des contextes est hautement probable. En ce sens, le flou des descriptions historicistes conjugué avec des processus intersubjectifs, peut déterminer la compréhension des causes antérieures sans entrer dans le labyrinthe des causes premières du postulat métaphysique. La démarche de modélisation disciplinaire peut ainsi rendre compte, en donnant sens aux faits empiriques, de la dynamique du modèle résultant, quelque soit le champ scientifique, à dominante conceptuelle, observationnelle, expérimentale et/ou de conception. Il fallait bien instaurer le trait d'union entre art et science, entre mythe⁴⁶ et rites, entre rationalité, logique et empirique. Convenons donc de l'évidence et de la nécessité de l'histoire de l'homme pensant, de l'homme social, de l'homme naturel, de son intersubjectivité à laquelle il doit faire appel pour enfin tenter de comprendre sa propre existence nécessitant des outils contrôlables et contrôlés, des signes et des symboles qui permettent de réaliser ces outils. Ceci a impliqué la création de multitudes langages de description possédant quelques caractéristiques communes comme la ressemblance de leur syntaxe, de leurs caractères, pour qu'ils soient compréhensibles à tous les modélisateurs, quelle que soit leur référence spatio-temporelle. L'humanité participait et participe encore à cette aventure merveilleuse en assurant l'unicité syntaxique à vocation universelle, nécessitant une sémantique, laquelle dans le contexte de la connaissance et de l'action, assure la cohérence intemporelle du modèle scientifique. Il est de fait deux éléments primordiaux pour procéder à la cohérence d'un processus analogique : l'un réside dans le

⁴⁵ in Jean Leray, 2002;

⁴⁶ Paul Ricœur (1986 : PP : 155) disait : « le mythe n'est pas un opérateur logique entre n'importe quelle proposition mais entre des propositions qui pointent vers des situations limites » comme entre la vie et la mort

conventionnalisme symbolique, l'autre dans *le contexte* de la mise en oeuvre d'un processus analogique. On peut affirmer que (outre les langues) la logique et les mathématiques furent ces langages de description par excellence dans les disciplines scientifiques, selon leur spécificité propre. On ne saurait parler de la même façon du formalisme mathématique, logique ou rhétorique suivant les épistémologies Aristotélicienne, Platonicienne ou Cartésienne ... mais nous leur devons à tous cette "édification progressive" des processus analogiques, dont l'exigence est d'établir un langage de description. Car, il s'avère le plus difficile à réaliser dans tout processus analogique⁴⁷. Cette difficulté s'explique aisément du fait des propriétés du système en question et du contexte de relations et de l'ensemble des liens appartenant à ce système : relations entre entités⁴⁸, et mise en correspondance entre système et modèle. La spécificité du langage employé dans le rapprochement des propriétés du système (signifié) et modèle (signifiant)⁴⁹ sont des objectifs scientifiques. Ce rapprochement n'est significatif à cet égard, que lorsque les caractéristiques sémantiques et syntaxiques, du langage employé, sont suffisamment affirmées. Elles le seront moins, si le processus analogique vise, uniquement, la correspondance entre systèmes signifiants (Delattre, 1995). En cela, l'argument philosophique souligne bien que le caractère absolutiste, de ces systèmes, empêche la définition de postulats et la prescription des règles opératoires. Il rend, en effet, ces systèmes *incarcérisables*, et par conséquent, non formalisables. Elles le seront, 'autant faire ce peut', dans d'autres discours philosophiques, qui, partant de prémisses métaphysiques, pourraient aboutir à des propositions « identiques à celles du positivisme logique »⁵⁰. C'est notamment le cas de 'l'aristotélisme arabe' de la période médiévale. Ces discours accordent de l'importance à l'être en tant que substance en rapport avec l'existence (ontologique) et/ou en tant que phénomène organisationnel autonome et agissant (étant). En ce sens, les discours métaphysiques sont de natures *hiérarchiques* et *analogiques*. Le langage de description qui serait à même de faire communiquer ces deux concepts est d'importance pour la compréhension des processus analogiques entendu ici dans une perspective scientifique. Ainsi, deux savants ont eu le génie de clarifier de façon complémentaire, dans leur discours métaphysique respectifs⁵¹, la cohérence du processus analogique. Pour Averroès, l'analogie articule l'univocité de l'ordre logique (dont la symbolique est marquée par des règles de syntaxes établies *à priori*) et l'ambiguïté (par laquelle la dynamique sémantique est celle de l'interprétation). Cette analogie met en correspondance des entités ou objets qui n'ont pas le même statut. Le caractère commun des causes, en référence à un sens fondamental, de chaque être (substance), met en évidence une production et une dépendance entre êtres, liées à une hiérarchie des êtres (y compris leur cause première)⁵². Pour Avicenne, l'analogie est un processus de mise en correspondance des entités que l'on peut estimer structurellement identiques. Cette correspondance structurelle est à mi-chemin entre les essences qui tracent la ligne de démarcation entre la métaphysique et la physique, et tout ce qui est fonctionnel. Autrement dit, elle est vue comme sous-ensemble des ambiguïtés⁵³. Les opérateurs de ces analogies utilisent la déduction et l'implication comme outil de raisonnement, *sans objet particulier*. En cela, les énoncés permis par ces analogies empruntent une chaîne causale dont la correspondance ontologique fait dériver le langage des aspects de la physique géocentrique d'Aristote. Ainsi, ces analogies sont limitées à la logique du premier ordre prédisant le **Res** sans *intentionnalité*. Peut-on dès lors aborder l'aspect normatif afin de tenter de comparer les

⁴⁷ Pierre Delattre, 1995, PP : 261-263 ;

⁴⁸ Ibid. PP : 262 ;

⁴⁹ Distinction Saussurienne qu'on retrouve dans Le Moigne, 1977, 1995 ; Bruaire, 1980 ; Delattre, 1995 ;

⁵⁰ Claude Buaire, 1980, PP : 114 ;

⁵¹ A partir d'Aristote ;

⁵² Delattre, 1995 ; Dominique Urvoy, 1998, PP : 162 ; Jacques Schlanger, 1975 ; PP : 76-77 ;

⁵³ Pierre Delattre, 1995 ;

entités ou éléments de la hiérarchie, sans tenir compte des aspects ontologiques des processus analogiques ? Cette comparaison fait appel à l'interprétation afin de concevoir une proposition donnée. Averroès l'avait pressenti pour en faire, par la suite, une logique de proposition qui dépasserait la logique naturelle, grâce à la dynamique ontologico-sémantique prédisant *l'intention* sans *Res* comme le précisait Roger Bacon, Claude Bruaire, ou encore Dominique Urvoy. **A partir** de ces deux perspectives, on voit clairement la combinaison de l'identité analogique et de la convention logique et analytique, en termes d'ensembles et de sous-ensembles des entités qui y figurent et de leurs propriétés. Cette combinaison caractérise les données sémantiques et les données syntaxiques dans **le cadre du langage** employé dans les systèmes mis sous forme de *proportionnalité* ou d'*équivalence partielle*. Ainsi, les langages en général, (et les mathématiques en particuliers) concernent les rapports de l'être humain avec son environnement (univers) ; ces rapports manifestent *sa nature opérationnelle* et *sa quête de la connaissance*. Les études anthropologiques⁵⁴ mettent en évidence que cette quête doit emprunter le chemin du geste, de l'action, et devient à force, répétitif. Cet aspect d'une prévisibilité évidente, découle de l'ampleur de l'interpénétration de l'univers naturel avec l'univers culturel et avec le système de représentation analogique⁵⁵. De cette conjonction des univers émerge une rationalité d'ordre symbolique, déterminante dans la construction d'un système classificatoire ou taxinomique. Ce système imprime en effet son caractère à la pensée, au langage et à la logique qu'il sous-tend. Dans le contexte des sociétés primitives, il existait une forme dualiste de la représentation analogique de type totémique et/ou exogamique⁵⁶. Cette dualité traduit une forme de **réciprocité**, que l'on voit apparaître dans la structure sociale de certaines sociétés, et dans leurs dispositifs institutionnels et symboliques. Il en est de même pour la civilisation Romaine, en ce qui concerne l'aspect figuratif et symbolique des modèles scientifiques et artistiques. Ces correspondances ne peuvent coïncider, à jamais, avec l'ambition aristotélicienne de recherche d'invariant à travers l'ordre et la continuité logique en rapport avec la représentation analogique. Mais, convenons que l'ordre, d'essence métaphysique, qui tend vers un équilibre des forces physiques est un parallèle fort à la question de la subsistance relative à l'appropriation humaine de l'espace, comme composante essentielle de l'univers. L'appropriation de l'espace fait appel aux outils mathématiques de dénombrement et de la géométrie pour assurer les récoltes et bâtir les demeures ... Le nombre est la traduction analogique de l'opération de mesure, par laquelle l'esprit humain opère la distinction entre objets afin de les hiérarchiser ou de les mettre en ordre. Ces opérations de l'esprit part, en effet, des perceptions (de la réalité). En même temps, l'esprit humain est capable de transformer ces perceptions en concepts, mots et langages. Elle les rend prompts aux expressions groupales (notion de groupes) par le symbolisme mathématique. Ce langage est opérationnel car il est lié aux besoins et aux utilités humaines, à satisfaire. Ainsi, la satisfaction des besoins et des utilités, à caractères immédiats, fonde une connaissance innocente d'abord, se révélant ensuite une connaissance scientifique par le mouvement perpétuel de l'analogique et la logique, comme le souligna Edgar Morin (1986). De là, la clé du développement scientifique venait de l'appropriation humaine de l'espace et du besoin de maîtrise du temps. Désir de maîtrise dialectique de l'univers d'où l'homme est issu ; la dialectique de l'appropriation de l'espace et du temps est manifestement une opération analogique qui préside à la destinée scientifique de la quête de la connaissance de l'univers. Ainsi, les implications scientifiques des mathématiques avaient trouvé deux issues fondamentales depuis Avicenne et Averroès d'une part et, à partir de la métaphysique post-kantienne d'autre part : la première issue a pris le caractère de la physique au détriment de la métaphysique afin de mieux cerner les notions de temps. Henri Poincaré a œuvré dans ce

⁵⁴ Notamment la synthèse de Luc Benoist, 1995 ;

⁵⁵ Idée que nous avons développée, modestement, dans une étude anthropologique (non publiée) ;

⁵⁶ Radcliffe-Brown, 1968 ; Lévi-Strauss, 1962 ;

sens, et les physiciens de la relativité, de la physique quantique et de l'astrophysique l'ont fait également ; la deuxième a suivi les implications de la logique classique (pure) pour se substituer à la logique naturelle depuis l'éminent Averroès et les héritiers du cercle de Vienne. Ces derniers accordaient de l'importance aux lois causales de la mécanique classique afin de maîtriser l'espace. Mettons nous d'accord sur les paradoxes du langage mathématique dans les domaines scientifiques. Aristote avait déjà élucidé le principe de contradiction dans la recherche des principes premiers (métaphysiques) et abouti à les définir séparément suivant une réflexion logique et puis théologique (Ferdinand Alquié, 1995). C'est dire que les langages, de descriptions d'une contrainte, se heurtent aux choix philosophiques et/ou théologiques des modélisateurs. Une interprétation locale peut alors considérer une «vérité qualitative» comme étant une «absurdité quantitative»⁵⁷. Et c'est là que résident les paradoxes dans toute perspective formalisante. Dans la correspondance entre système signifiant et système signifié apparaît toujours ce *dualisme* (évoqué) non seulement entre la métaphysique et la religion, mais également entre la physique mathématique et ses applications ingénieriques (par exemple l'informatique). Ce dualisme exprime la différence et la ressemblance dans 'l'esprit' symboliques des systèmes en question. L'immédiateté scientifique (et humaine) et la rationalité limitée⁵⁸ s'imposent de *facto* pour l'établissement de la cohérence recherchée dans toute proposition scientifique. Elles sont *causantes* et *causées* par l'interpénétration des univers culturels, sociaux et naturels dans lesquels ces concepts forgent leurs véritables sens. **Le degré** de l'interpénétration de ces univers oriente cette cohérence pour qu'elle puisse emprunter les canaux logiques à *multiples facettes*, s'ordonner à travers la structure syntaxique propre au langage employé, et obéir aux règles de la pensée⁵⁹. Ces règles sont gouvernées plus ou moins par les lois psychologique, psychosociologique, voire naturelles. Ainsi, on pourrait apprécier cette différence qu'il y a entre 'l'esprit symbolique' du modèle et du système signifié. Et enfin, on pourrait s'autoriser l'assertion suivante : *les lois ne se présentent pas de la même façon, dans le choix d'un processus logique ou empirique du langage en général et des mathématiques en particulier.*

3-A) Les langages mathématiques : paradoxes, interdisciplinarité et dynamique des modèles

Les processus modélisateurs peuvent se décrire de deux manières ; la première description tient compte du psychologisme (la logique 'pure' est basé sur l'activité mentale) et la seconde s'en écarte pour adopter le naturalisme (par une logique en rapport avec la nature).

Dans la première, la logique s'empare uniquement de « la proposition logique » basée à la fois sur *la pensée active* (cogitative), privée de tout ce qui est perceptif au sens Aristotélicien et Humien⁶⁰ et, sur *la forme canonique de la proposition*. Ces constituants permettent à la logique de sélectionner, de fractionner, d'éliminer certains éléments analogiques par la logique binaire du vrai et faux⁶¹. Les formalistes du début du 20^{ème} siècle comme David Hilbert⁶² ont évacué la géométrie au détriment de l'arithmétique. Leur but visait l'unification des méthodes scientifiques par la logique mathématique. Evidemment le rêve de Hilbert a été partagé par d'autres érudits de tout bord. Ils appartenaient tous au même 'programme de recherche scientifique'. Ce processus de recherche aboutit implicitement à une crise des fondements. Kurt Gödel aura révélé qu'en mathématiques il y a des propositions indécidables

⁵⁷ Belle expression que nous empruntons à Luc Benoist, [1975] 1985, PP : 73 ;

⁵⁸ H.A.Simon, et Karl Popper, voir bibliographie ;

⁵⁹ Stuart Mill in Koruspki J-S, 1996; Wittgenstein, 1993 ; Edgar Morin, 1986 ;

⁶⁰ David Hume, [1748] 1983;

⁶¹ Wittgenstein, 1993 ; Edgar Morin, 1986, PP: 140 ;

⁶² Le système axiomatique de Hilbert : la consistance (non-contradiction d'une assertion), la complétude (démontrable à partir des axiomes) et par une procédure décisionnelle (l'algorithme : assertion est un théorème ou non). Gregory Chaitin, 1993 ;

et incomplètes, dans la totalité des arithmétiques. En effet, tout système arithmétique vérifiant certaines conditions minimales ne peut être formellement établi. En ce sens, une théorie formelle qui englobe en son sein la théorie des nombres est inconsistante⁶³. Par ailleurs, Alfred Tarski⁶⁴ montrait, aussi, l'impossibilité pour un système (langagier) de s'expliquer par lui-même. Et retrouve un résultat analogue à celui de Gödel. En ce sens, une phrase jugée comme vraie, ne préjuge pas, automatiquement, la possibilité de montrer sa véridicité. Par conséquent, toute assertion mathématique (ou langagière) que l'on juge comme vraie, ne peut être décidable automatiquement et complètement dans la totalité, mais seulement dans une partie des arithmétiques, comme c'est le cas pour certaines phrases et non pas pour toutes les phrases d'une langue. Ainsi toute déduction formelle peut présenter des limites intrinsèques à travers l'inconsistance à laquelle il faudra substituer la signification comme attribut de l'abstraction et de l'explication. Ces concepts donnent une orientation nouvelle aux modèles mathématiques (et langagiers) en dynamisant leur esprit symbolique. En effet, les modèles formels de la logique pure aboutissent aux modèles *computables* de l'esprit et, par conséquent auront des retombées sur l'avancement de l'informatique et les sciences cognitives⁶⁵. Le rêve (brisé) de Hilbert se concrétisera dans ces domaines par l'interdisciplinarité. En effet, ce dernier fait appel à l'ajout de concepts, tels que la signification, l'abstraction, le symbole du système aux propriétés perceptives dites concrètes. Ainsi, la logique pure basée sur le lien causal de l'intentionnalité au comportement (fin) évolue vers une logique de l'interaction de l'intentionnalité avec le comportement du système (processus algorithmique) et sa finalité. D'où la ***Res-Systemica*** comme moyen de pensée qui se pense comme activité, produit de l'activité de la pensée et le lien de sa finalité par rapport à une utilité humaine. Dès lors, l'univocité du psychologisme est nécessaire, dans le cadre de la systématisation, mais reste insuffisante dans l'élaboration des modèles entendus dans le sens *d'épistémè* et de *pragmatiqué*. Dans la deuxième (le naturalisme Aristotélien), il existe des principes premiers, certes indémonstrables, mais qui constituent les fondements de la pensée humaine et le rapport de celle-ci aux choses de la nature⁶⁶. Les érudits de tout bord se sont intéressés, depuis Aristote, à la formalisation de ces relations à la limite de leur champ disciplinaire. On peut citer, par exemple, Darwin, Stuart Mill, Karl Marx⁶⁷, ... et Henri Poincaré. Ce dernier s'était intéressé plus aux implications physiques qu'aux implications logiques des mathématiques à travers les notions de groupes et de symétrie (géométrie non euclidienne). Il avait le mérite de souligner l'importance des mathématiques empiriques et leur fécondité par rapport aux « réflexions strictement logiques et abstraites »⁶⁸. Son entreprise inachevée a été relancée par les physiciens et épistémologues éminents comme Einstein, Popper, ... et Niels Bohr. Par exemple, ce dernier avait étudié le processus ondulatoire et corpusculaire de la physique atomique et quantique. Dans la physique quantique, les particules n'ont pas le statut d'objets individualisés (à l'instar de la mécanique classique), mais possèdent des propriétés de dépendance tant par rapport aux autres objets que vis-à-vis de la position de l'observateur/expérimentateur. Elles sont à la fois particules et ondes selon les *circonstances de l'expérience*. Chaque mesure du système atomique, à l'aide d'appareils macroscopiques est notoirement irréversible, entraînant de fait une perte d'information sur l'état quantique du système atomique. Ainsi, de la mécanique classique, de la relativité à la physique atomique et quantique il fallait bien des paradoxes pour montrer le statut conjectural du modèle mathématique aux implications physiques. Ce statut est du en effet à l'incomplétude des

⁶³ Daniel Andler, 1995, PP : 550 ;

⁶⁴ In Edgar Morin, 1984 ;

⁶⁵ Gregory Chaitin, 1993 ; Edgar Morin, 1977, 1986 ;

⁶⁶ Ferdinand Alquié, 1995, PP : 187-192 ;

⁶⁷ Nous laissons au lecteur le soin de méditer leurs œuvres respectives ;

⁶⁸ Leray Jean, 2002 ;

énoncés scientifiques, de part la limitation de la capacité cognitive des humains et de la logique rationnelle basée sur des données suffisantes qui la fondent⁶⁹. Autrement dit, ce n'est pas la vérification empirique mais *la réfutation empirique* qui constitue le critère qui distingue une science d'une pseudo-science (antipsychologisme). A travers cette distinction, productrice de paradoxe, on peut appréhender le statut conjectural des modèles scientifiques : par les tests empiriques qui concernent aussi bien les sciences naturelles que les sciences d'ingénieries contemporaines. Ainsi depuis Aristote, Avicenne, et sous l'impulsion de Poincaré et par la suite des érudits épistémologues et physiciens du 20^{ème} siècle, les implications géométriques des mathématiques ont servi l'avancement de la physique (comme Science naturelle). Convenons dès lors, de l'importance de l'environnement naturel dans l'évolution des systèmes physiques et par conséquent, de l'intelligibilité des systèmes dynamiques complexes (quantiques, atomique) dans toute perspective morphologiste (Thom, 1977 ; le Moigne, 1977). Les langages de descriptions en mathématiques présentent alors des paradoxes même dans leur logique de proposition dans la double perspective logico-formelle et empirique. L'adéquation entre les deux perspectives n'est qu'une expression de la correspondance de symboles univoques faite par la dynamique sémantique comme résultat des estimations probabilistes. Cette dynamique comme émanation d'entités, groupes, sous-ensembles et ensembles est manifestement apparente tant dans la perspective morphologiste que dans la perspective algorithmique computationnelle. Et qu'en est-il des langages formels de la logique ? Et de leur dynamique intra dans le versant psychologue ?

3-B) Les structures des énoncés et les structures des faits des langages formels

La thèse fondamentale de Ludwig Wittgenstein (1993) est que tout énoncé affirme un certain fait. Seulement pour qu'il y ait énoncé, il faut construire un langage dont la structure aura quelque chose en commun avec la structure du fait. Mais rappelons-le, toute la difficulté est dans cette entreprise de construction langagière. Elle se manifeste dans la confusion du langage avec la logique ; la logique est régie par des règles strictes, alors que les langages dépendent des processus mentaux qui permettent de vivifier les signes de langage à travers les opérateurs de compréhension et de signification. Le désir de généralisation impose dans toute construction langagière d'appliquer des règles préliminaires qui subsistent à son édification. Wittgenstein montre que les règles apprises s'imposent de par leur nature comme des règles définitives susceptibles d'être appliquées à tous les cas possibles. La systématisation du langage aboutit alors à des résultats paradoxaux (Wittgenstein, 1965, pp. 63) - à l'instar de la limite de l'axiomatique formelle de David Hilbert - puisque les mécanismes de l'esprit produisent « des effets » qui diffèrent des mécanismes matériels (par exemple de l'ingénierie) et Wittgenstein nomme l'un de ces mécanismes : la pensée, qui met en doute la réalité des faits ou accepte cette réalité. Au delà de toute opération formelle de manipulation des signes (syntaxe), il y a des opérations organiques pour comprendre, interpréter les signes. Ces opérations sont mises en oeuvre dans ce qu'il appelle l'esprit et les mécanismes de l'esprit. Nous savons, avec Edgar Morin, que l'esprit est générateur à la fois des paradoxes/problèmes et des solutions, car il émerge, agit, se régénère de par sa position intermédiaire entre « l'activité cérébrale et la culture »⁷⁰. Ainsi, les mécanismes de l'esprit soulignent l'importance de l'aspect anti-psychologique du traitement de la logique dans les modèles mathématiques ou langagiers. Il en est de même de la théorie des ensembles, avec laquelle Gottlob Frege⁷¹ voulait axiomatiser la logique mathématique, pour éviter ambiguïtés et paradoxes issus du langage naturel. Cette entreprise épistémologique conduit à séparer le concept de l'objet ; un statut ontologique est

⁶⁹ Karl Popper, 1973, 1978 ;

⁷⁰ Edgar Morin, 2001, PP : 87 ;

⁷¹ Claude Imbert, 1995 ;

attribuable à l'objet afin d'indiquer les choses, les individus par leur nom propre. Dès lors, la logique de proposition, qui s'y rattache, ne peut être qu'une propriété d'une ou des fonctions contenant ou moins un objet et non l'objet lui-même. C'est-à-dire qu'elle est réductible aux fonctions de vérité. Bertrand Russel trouva les axiomes de Frege inconsistants et décèle le paradoxe dû à l'extension des concepts. La métaphore du barbier⁷² du village exprime parfaitement l'ambiguïté de telle proposition logique (psychologiste). Dès lors, la solution de Russel consiste à hiérarchiser les niveaux de langage ; les concepts de classes, d'ensembles, et d'éléments se trouvent alors à des étages différents, de façon à ce que les deux premiers puissent exclure le fait qu'ils soient éléments d'eux même, et de ne pas appliquer 'le tiers exclus' aux notions de classes. C'est-à-dire qu'à la formule $L(L(x))$, il faudra associer la formule $L(x)$, ensemble des éléments x qui n'est pas élément de lui-même. Avec la théorie des types, Russel consolide l'édifice de la théorie des ensembles, tout en se heurtant en ligne de mire aux contradictions du formalisme logique en mathématiques. Le concept/objet sera explicité en termes de noms généraux, de noms propres et de noms logiques, en référence à une entité qui existe (objets naturels) ou à une entité qui subsiste (objet logique ou grammatical). Les solutions de ces paradoxes créent d'autres paradoxes et font évoluer les disciplines de la logique (et des mathématiques).

Conclusion

Les langages de description, qu'ils soient formels, ou qu'il s'agisse de langue naturelle, possèdent leurs propres contraintes qui se manifestent par des paradoxes d'ordre sémantique, issus de la dynamique d'interprétation du codage employé. Qu'en est-il de la correspondance entre énoncés scientifiques et faits (logiques, empiriques) décrits par ces énoncés? La production d'un modèle scientifique disciplinaire, capable d'assumer les tensions internes (intra) et externes (inter-modèles), où l'interdisciplinarité a un rôle à jouer, implique la prise en compte du statut conjectural de ce modèle. La capacité de l'esprit humain à associer les contraintes externes et internes (syntaxique normative) à un champ spécifique de connaissances scientifiques, engendre dans une perspective formalisante, des connaissances nouvelles. Elles peuvent se traduire par une évolution disciplinaire du domaine scientifique considéré, ou encore par la création de nouvelles disciplines scientifiques via les « ruptures systémiques » et « les crises épistémologiques » inhérentes à la récursivité des approches scientifiques et « extra-scientifiques ». Dès lors, l'interdisciplinarité n'a de sens que par rapport à la disciplinarité. Et réciproquement, la modélisation au sein d'une discipline donnée se nourrit de l'interdisciplinarité telle qu'elle est entendue ci-dessus, pour construire des modèles intelligibles du point de vue de la recherche scientifique, et utilisables sur le plan pratique. Ceci implique une conception heuristique de la modélisation au sens de J.-L. Le Moigne (1995), c'est-à-dire, la production d'artefacts symboliques que l'esprit humain est capable de concevoir, non seulement sous forme de signes (d'ordre logico-mathématique), mais également sous forme de significations (sémantiques) et de transformations (pragmatiques).

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé à leur façon à réaliser ce projet. Je pense aux encouragements de J.-L. Le Moigne et de Yvon Pesqueux, aux encouragements et critiques constructives et pertinentes de Madame E. Andrews, aux lecteurs littéraires : Le Père Charpentier et Madame Douay Nicole. Enfin, un salut pour l'éternité aux auteurs cités à maintes reprises dans cet article.

⁷² **Le barbier du village rase tous ceux qui ne se rasent pas eux-mêmes.** Si le barbier ne se rase pas lui-même alors il doit le faire. S'il se rase la barbe, il ne doit pas le faire lui-même. D'où la contradiction.

Bibliographie

- Alquié Ferdinand, "Métaphysique", *Encyclopédia Universalis*, Paris, 1995, PP : 187 – 192 ;
- Arrow Kenneth, *Choix collectifs et préférences individuelles*, Calmann-Lévy, Paris, 1974 ;
- Aubenque Pierre, "Aristote", *Encyclopédia universalis*, Paris, 1995, PP : 959 – 972 ;
- Benoist Luc, *Signes, symboles et mythes*, 4^e édition, PUF, Paris, [1975], 1985 ;
- Bergson.H, *La pensée et le mouvement*, [1938], 1998, PUF, Paris ;
- Blay Michel, "la science classique en chantier", *Sciences humaines*, N° 31, janvier 2001 ;
- Boudon Raymond, *La place du désordre*, PUF, Paris, 1984;
- Bruaire Claude, "Pour la métaphysique", *Communio Fayard*, Paris, 1980 ;
- Chaitin Gregory, "Randomness in Arithmetic and the decline & Fall of reductionism in Pure Mathematics", *the European Association for theoretical Computer Science*, No 50, June, 1993 ;
- Chastel André, « Léonard de Vinci », *Encyclopédia Universalis*, Paris, 1995 ;
- Delattre Pierre, "Analogie", *Encyclopedia Universalis*, Paris, 1995, PP : 261-263 ;
- Dupuy J-P, *Libéralisme et justice sociale*, Calmann-Lévy, Paris, 1992 ;
- Fitoussi R, *L'enseignement supérieur des sciences économiques en questions*, Fayard, 2001 ;
- Galavielle J-P, "De l'éthique économique à l'éthique des affaires", *Problèmes économiques*, N° 2.811, 28 mai 2003 ;
- Glaser Georges, "Axiomatique", *Encyclopédia Universalis*, Paris, 1995, PP : 670-671 ;
- Granger G-g, "Qu'est ce qu'une expérience ?" *Sciences et Avenir*, janvier 2003 ;
- Hindriks John, "La formalisation et la prévision en Economie", *Problèmes Economiques*, N°2, 808, 7 mai 2003 ;
- Hume David, *Enquête sur l'entendement humain*, Garnier-Flammarion, Paris, [1748], (1983) ;
- Klinberg Otto, "La Psychosociologie", *Encyclopédia Universalis*, Paris, 1995 ;
- Mises (von), "Human Action, A treatise on economics performance", 1996, published in cooperation with the Foundation of Economic Education, San Francisco, USA;
- Landau I.Doré, *Identification et commande des systèmes*, 2^e édition, Hermès, Paris, 1993 ;
- Le Moigne J-L, *Théorie du système général, théorie de la modélisation*, PUF, 1977 ;
- Le Moigne J-L, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris, 1995 ;
- Leray Jean, "Henri Poincaré", *Encyclopédia Universalis*, Volume 18, Paris, 2002 ; PP : 411 ;
- Lévi-Strauss Claude, *La pensée sauvage*, Plon, Paris, 1962 ;
- Malinowski Bronislaw, *Trois essais sur la vie sociale des primitifs*, Payot, Paris, 1933, 2001 ;
- Morin Edgar, *La méthode* 1, 3, 5 (1977, 1986, 2001), Seuil, Paris ;
- Morin Edgar, *Science avec conscience*, presse universitaire de Marseille, 1984 ;
- Mugur-Schächter Mioara, "Les leçons de la mécanique quantique: vers une épistémologie formalisée", *Débat*, N°94, Mars-avril, 1997;
- North.D & R.Thomas, *The rise of western world*, Cambridge University Press, 1973;
- Passet René, *Le développement durable : de la transdisciplinarité à la responsabilité* », congrès de Locarno, 30 avril – 2 mai 1997 ;
- Polanyi Karl, *La grande transformation*, Gallimard, Paris, 1983;
- Popper Karl, "La connaissance objective", *les éditions complexes*, Bruxelles, 1978 ;
- Popper Karl, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Paris, 1973 ;
- Radcliffe-Brown, *Les structures élémentaires de la parenté*, Editions de minuit, Paris, 1968 ;
- Ricœur Paul, *Du texte à l'action Essais d'herméneutique*, 2, Seuil, Paris, 1986 ;
- Schlanger Jacques, *La structure métaphysique*, PUF, Paris, 1975;
- Sebestik Jan, "(l'histoire de) la logique", *Encyclopedia Universalis*, Paris, 1995, 953-961 ;

- Sen Amartya, *Poverty and famines an essay on entitlement and deprivation*, 1981, Oxford Clarendon Press;
- Simon H.A, *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*, Edition Epi, Paris, [1969], 1974;
- Smith Adam, *La richesse des nations*, Flammarion, Paris, 1991, traduit par Germain Garnier ;
- Smith V, *Papers in Experimental Economics*, Cambridge University Press, New York, 1991 ;
- Solow Robert, "L'économie selon Robert Solow", *Revue Problèmes économiques*, N°2, 808, 7 mai 2003 ;
- Thom René, *Stabilité structurelle et morphogenèse*, inter éditions, Paris, 1977 ;
- Urvoy Dominique, *Averroès, les ambitions d'un intellectuel musulman*, Flammarion, Paris, 1998 ;
- Wittgenstein Ludwig, *Le cahier bleu et le cahier brun*, Gallimard, Paris, 1965 ;
- Wittgenstein Ludwig, *Tractus logico-mathematics*, Gallimard, Paris, 1993;