

# LA MODELISATION ENTRE SCIENCE ET SOCIETE : QUI SERONT LES INTELLECTUELS CAPABLES D'UNE PENSEE CRITIQUE ?

Nicolas Bouleau

Le principe de précaution fait couler beaucoup d'encre chez les théoriciens et s'entoure de bons sentiments chez certains politiques et dans les médias. En général les économistes, qui s'efforcent de constituer un savoir neutre vis à vis du jeu des acteurs, y voient un biais arbitraire en faveur des prudents, signe simplement de la morosité de l'époque. Plusieurs sociologues en revanche s'interrogent sur la façon qu'ont les économistes de ne pas penser certains problèmes. Par une réflexion sur la modélisation et le rôle qu'elle pourrait jouer, nous nous proposons d'aborder cette question sous un angle plus proche du travail scientifique appliqué.

La modélisation en tant que méthode faisant usage des sciences et des sciences de l'ingénieur en vue soit de production de produits, soit de décisions collectives, soit de négociation, est une activité qui devient, grâce au développement de l'informatique, le vecteur principal des passages entre Science et Société. Son ambiguïté réside dans le fait qu'elle passe pour de la Science purifiée alors qu'elle est ancrée dans des enjeux spécifiques et partisans, ce qui d'ailleurs est lié à son utilité. La clarification de ce qui pro quo permet de mieux comprendre le métier d'ingénieur aujourd'hui et de donner une place et des moyens d'expression à la pensée critique sur les retombées des innovations technologiques.

Le terme de modèle est arrivé dans notre langue à la Renaissance en provenance d'Italie quand celle-ci régnait sur les arts. Il désignait la personne qui pose dans l'atelier du peintre ou la maquette d'un élément architectural à réaliser. Originellement le modèle est ce à quoi il faut se référer pendant la réalisation de l'œuvre. On a conservé par exemple des "modèles" de Brunelleschi pour la construction du dôme de Florence. D'où l'idée d'exemplarité qui lui est attachée dans le langage ordinaire "un modèle du genre", "les petites filles modèles".

Dans les textes scientifiques, l'évolution sémantique a été différente. Progressivement l'acception de "schéma simple qui fait comprendre" s'est répandue en physique et de la physique aux autres sciences avec des nuances suivant les disciplines.

Par exemple la mécanique statistique ayant interprété la pression des gaz et la température par des propriétés liées au mouvement des particules de matière, leurs chocs, leur énergie, etc., il y avait contradiction apparente entre le caractère réversible des lois de la mécanique et les faits macroscopiques observés. Si on place des gaz différents dans deux compartiments d'un récipient qui communiquent, les deux gaz se mélangent. Ils ne se séparent plus spontanément pour revenir chacun dans leur compartiment. Le *modèle d'Ehrenfest* est une représentation simple, grossière, d'une situation analogue qui fait apparaître pourquoi il n'y a là aucun paradoxe. Il omet les mouvements et les chocs et se borne à tirer au hasard une particule à chaque unité de temps et à la changer de compartiment. Les calculs sont aisés à mener et montrent que l'irréversibilité macroscopique n'est qu'apparente, le système revient à son état initial,

mais après une durée si vertigineusement longue que cela ne se produit pas en pratique. Le modèle montre un monde simplifié, analogue à la situation étudiée, qui donc fait sens par cette ressemblance et éclaire le praticien par l'aisance qu'il a l'appréhender. Aussi bien Alexandre Koyré évoque les satellites de Jupiter découverts par Galilée comme un modèle du système solaire ayant contribué à l'adoption des idées héliocentriques de Copernic et lui-même point de départ des modèles de l'atome avec Rutherford puis Bohr.

Il s'agit de l'acception "scientifique" du terme de modèle, notre propos est beaucoup plus large. Le développement de l'informatique a fait naître une activité nouvelle, extrêmement importante économiquement et socialement, pratiquée dans des circonstances très variées, qu'on peut appeler *la modélisation*. On fait des schémas quantifiés et documentés qu'il est d'usage d'appeler modèles, mais sans qu'on soit nécessairement dans les conditions d'élaboration de connaissances scientifiques. Ces représentations opèrent dans des contextes spécifiques, pour les décisions d'une entreprise ou d'un service ou en tant que moyen de communication sur des sujets précis, à la fois sociaux et techniques, entre intervenants concernés. Le métier d'ingénieur –au sens large qu'à ce terme en français – s'en trouve profondément transformé. Dans ces nouvelles pratiques la notion de modèle prend sa dimension philosophique la plus intéressante car si le scientifique se sert volontiers de modèles pour faire comprendre ses constructions théoriques, l'ingénieur ne dispose pas, le plus souvent, de théorie de référence qui soit le cadre de son action. Les modèles qu'il élabore l'engagent comme ses propos et ses actes, sans qu'il puisse prendre une distance scientifique par rapport à une réalité qui resterait extérieure.

C'est la modélisation en ce sens, que nous nous proposons d'approfondir un peu dans sa nature cognitive et ses enjeux sociaux.

Depuis les modèles climatiques jusqu'aux modèles financiers en passant par les modèles d'organisation de la production, etc., faut-il tout rejeter comme imposture, fausse science, simulacres ? Ou au contraire, si l'on veille à ne pas les confondre avec la démarche d'objectivation scientifique, pourrait-il se dégager de ces *outils d'expression* une rationalité différente plus ouverte, plus sage, ou disons, moins têtue ?

### *Trois caractéristiques de la modélisation*

Qu'il s'agisse d'un dossier préparatoire à une décision collective, d'une représentation informatique en vue de la mise au point d'un produit, ou d'une expertise requise pour une évaluation des risques, toute modélisation *s'inscrit dans un site social*.

C'est ce qui lui donne à la fois son impureté et son utilité. De même qu'un projet d'architecture commence par les lignes de niveau du terrain, l'ensoleillement, le climat, le cadre urbain, la fréquentation, l'accessibilité, etc., et que la prise ne compte de tels

facteurs conditionne grandement la pertinence de la réalisation, de même une modélisation est faite par quelqu'un, un concepteur, un laboratoire un bureau d'étude qui en assume l'auteur-ité (authority) et pour quelqu'un le commanditaire, entreprise, collectivité, etc., qui est en position de s'en servir. Elle est donc faite pour un lieu géographique et/ou économique, disons social, précis.

Prenons le trafic automobile, cette question touche directement la vie économique. Pourtant les scientifiques ne s'y intéressent guère. L'observation des pratiques nous montrent une hiérarchie de modèles de trafic, des plus grossiers qui raisonnent par grandes masses découpant la ville en zones et calculant les flux journaliers entre zones, jusqu'aux plus fins, les modèles particuliers qui individualisent chaque véhicule. Entre ces deux extrêmes de nombreuses variantes prennent plus ou moins en compte les débits des voies, les propagations d'encombres, les régimes de feux, etc. La démarche rationnelle classique consiste, ici comme toujours, à s'efforcer d'atteindre une réalité ultime. Si l'on disposait de modèles particuliers vraiment valables, les autres modèles s'en déduiraient aisément. Avec des ordinateurs puissants on pourrait même résoudre le problème urbain global. En fait, la complexité est telle qu'avec les plus grosses machines on ne sait traiter que de petits quartiers sous des hypothèses simples et en supposant que les conducteurs n'ont aucune information sur l'état du trafic.

Cela signifie que l'intelligence ne peut se mettre en œuvre vers l'efficacité que si l'on sait pour qui la représentation est faite. Si le commanditaire est un institut d'urbanisme préoccupé d'aménagement ou de l'éventualité d'un transport en commun, c'est dans la famille des modèles par zones qu'il faudra sans doute travailler. S'il s'agit au contraire du service d'exploitation du réseau autoroutier autour d'une métropole, les modèles de gaz compressibles rendent bien compte des ondes de congestion et de décongestion. La situation est typique, l'intérêt des acteurs conditionne la production de connaissances.

Seconde caractéristique, la modélisation se fait dans *un langage hybride, semi-artificiel*. C'est le langage des dossiers techniques. Il mêle la langue ordinaire, celle qui touche, qui émeut et les langages des sciences et des sciences de l'ingénieur avec leurs symboles et leurs calculs qui renforcent légitimité et efficacité. Les sciences et leurs conceptualisations sont toujours à disposition, elles fournissent des matériaux recevables. Quant aux sciences de l'ingénieur, elles se reconnaissent à des termes-clés tels que "crue décennales", "hauteur de houle H1/3 ", "potentiel de réchauffement global" qui s'appuient à la fois sur un début de modélisation et sur des pratiques professionnelles. Lorsque de tels termes s'organisent entre eux suivant une syntaxe précise ils forment des sciencettes qui constituent des corpus à la manière de la science. Telle la résistance des matériaux, l'optique de Gauss, la houle linéaire d'Airy et d'autres raisonnements simplifiés employés sciemment dans des circonstances où ils sont faux par souci de pragmatisme et de commodité.

Il ne s'agit pas d'un langage entre l'homme de science et le monde dans une démarche d'objectivation mais de propos entre acteurs économiques où tous les moyens d'expressions sont envisageables.

Une troisième caractéristique est très importante et se situe au cœur de notre réflexion : *la sous-détermination*.

Evidemment il y a plusieurs façons de modéliser, comme il y a plusieurs approches d'un problème, plusieurs angles de vue pour un regard. Mais il est une indétermination beaucoup plus profonde qui reste énigmatique pour une vision du monde positiviste et par là justement fondamentale. On peut aborder ce phénomène par la philosophie ou par des exemples concrets.

Commençons par la philosophie, il s'agit d'une idée présente chez plusieurs auteurs mais qui se relie surtout à l'œuvre de Willard Van Orman Quine. Logicien mathématicien ayant participé aux grandes heures de la logique dans la première moitié du vingtième siècle, auteur de traité de référence (*Mathematical logic*) et de travaux originaux (*New foundations*), Quine s'est tourné ensuite vers la philosophie et a tenté de tirer les leçons des découvertes de la logique mathématique sur les systèmes formels pour l'étude des langues vernaculaires. Rappelons en particulier le fameux résultat de Löwenheim et Skolem (1915-20) selon lequel les systèmes formels dès qu'ils ne sont pas trop pauvres et en particulier l'arithmétique, la théorie des ensembles, etc. ont plusieurs interprétations non équivalentes. Ainsi le vœu du philosophe Husserl de fonder les mathématiques sur des bases nomologiques c'est-à-dire sans ambiguïté est illusoire et *a contrario* une analyse non-standard peut se développer avec des significations hétérodoxes. Les thèses que Quine induit pour les langues ordinaires sont célèbres par leur côté paradoxal : a) relativité de l'ontologie b) indétermination de la traduction c) sous-détermination des théories par l'expérience. Elles ne font pourtant que traduire l'idée que les choses ne sauraient aller "mieux" pour le langage parlé que pour les systèmes formalisés.

Plus ou moins indépendamment des travaux de Quine, de nombreux modélisateurs se sont rendu compte concrètement du phénomène de sous-détermination. Ainsi en biologie Henri Atlan écrit-il "dans certains cas, il existe plusieurs théories différentes, non redondantes l'une par rapport à l'autre qui prédisent avec la même certitude les faits d'observation. Aucun moyen empirique n'existe alors pour trancher entre ces théories bien que leurs significations et les implications éventuelles de leurs généralisations soient différentes". Une théorie est une famille de modèles analogues. Un exemple typique est celui de la modélisation d'une rivière en vue d'une estimation des probabilités de crues à l'avenir : suivant la façon de s'y prendre (hauteurs d'eau ou débits, modèles gaussiens ou log-gaussiens, etc.) on obtient des théories indéfiniment perfectibles lorsque de nouvelles données sont disponibles et prédisant des risques différents. Le phénomène est très général si l'on pense qu'on ne dispose jamais que d'un nombre fini de mesures. Ces situations non-popperiennes sont les plus courantes. Les modèles ajustés par des méthodes de validation qui ne font qu'écartier les

quantifications les plus invraisemblables sont le plus souvent de ce type. Au contraire les théories susceptibles de décrire la réalité avec une précision telle qu'il existe une expérience déterminante pour les rejeter sont exceptionnelles.

En particulier les modélisations dont les sanctions éventuelles sont dans l'avenir échappent aujourd'hui à toute possibilité de réfutation. Cela pose un grave problème en matière de risques : le critère de scientificité popperien accorde le label scientifique à ce qui n'est qu'un échafaudage conceptuel parmi d'autres et, dans la mesure où la communauté scientifique lui accorde un tel crédit qu'il est devenu une véritable norme, il s'oppose nettement à d'autres fondements éthiques tels que le principe de précaution qu'il tend à disqualifier sur la base finalement d'une rationalité potentielle qui est un acte de foi pur et simple.

Comme la modélisation se répand de plus en plus et qu'elle a rendu monnaie courante les situations quiniennes où plusieurs approches et interprétations restent toujours en lice, mais que ceci n'est pas reconnu, l'opinion ne perçoit que dans la confusion les relations entre science, modélisation et risques. Les formes concrètes de pensée critique s'en trouvent inopérantes et marginalisées.

### *Critique purifiante et critique engageante.*

Nous savons que la science n'a de cesse de se critiquer elle-même suivant ce fameux processus hypothético-déductif confronté à l'expérience, largement pratiqué et dont les modalités précises font l'objet de débats théoriques de la part des épistémologues. Rares sont ceux qui voient l'avancée des connaissances comme une simple déclinaison de relations théoriques. Il est incontestable que les chercheurs des laboratoires universitaires pratiquent aussi les applications et critiquent minutieusement les modélisations. Mais il s'agit d'une démarche essentiellement purifiante, destinée à élaborer des savoirs plus objectifs moins liés aux agents économiques particuliers, des représentations plus universelles libérées des encrages du site social afin de les incorporer dans les corpus enseignables et éventuellement dans les théories constituées. Ces remontées des dispositifs expérimentaux et des usages vers des concepts organisés et symbolisés sont la matière même de l'épistémologie et les Ernst Mach, Duhem, Bachelard, Popper, Kuhn et Feyerabend ont chacun apporté leur lumière à la question de la nature des savoirs desquels on soit fondé à dire qu'ils appartiennent à la science. Laissons ce champ de préoccupation de côté, le premier problème n'est plus aujourd'hui de mieux assurer la science, elle constitue *de fait* une activité prospère et décisive du monde contemporain.

La question centrale est l'autre processus, celui des retombées de la science vers les objets, les machines et la technique, les usages sociaux, la médecine et l'environnement. Ainsi que Heidegger et Habermas l'ont souligné, sous l'angle de l'heuristique du chercheur, ce processus est implicite. Pour le directeur de laboratoire

toute trouvaille, tout produit nouveau est précieux, tôt ou tard il rendra service, au gré des opportunités.

La primauté ayant une grande valeur dans la science comme témoignage d'excellence ainsi que dans la vie économique comme avantage commercial, l'innovation surgit le plus souvent subrepticement tant dans ses formes voulues que dans ses conséquences inattendues sous la forme d'accidents. Citons quelques auteurs qui ont tenté de penser ce lieu où la science ne pense pas.

Hans Jonas dans *Le Principe responsabilité* propose un renouveau de la métaphysique kantienne qui mesure les valeurs éthiques à l'aune des générations futures. L'impératif transcendantal "tu dois donc tu peux" ayant été aujourd'hui dénaturé en "tu peux donc tu fais donc tu dois" il y a lieu de se prémunir contre toute forme d'irresponsabilité qui mettrait en péril la survie de l'humanité, même s'il fallait à l'extrême pour cela – et là est la faiblesse de cette dramatisation – s'en remettre à la dictature d'un comité de sages... Ulrich Beck dans son classique *Risiko Gesellschaft* ainsi que dans *Reflexive modernization*, cherche plus concrètement les moyens d'empêcher démocratiquement les faits accomplis de la recherche scientifique et de l'innovation industrielle. Il pointe le consensus implicite fondé sur deux volets qui se confortent : la liberté du chercheur et la nature providence, et plaide pour des instances politiques nouvelles de concertation sur les risques. La réflexion philosophique rejoint alors la pensée politique et dans cet ordre d'idées Bruno Latour (*Politiques de la nature*) propose une refondation des bases de la démocratie assignant des missions à diverses instances pour gérer et les êtres nouveaux et le vivre ensemble.

Quelque soit la "constitution" qu'on adopte finalement, il me semble essentiel qu'elle accorde une place centrale à *la critique engageante*, celle qui fait appel à l'imagination pour penser les retombées de la science et les conséquences de l'innovation. Elle concerne au premier chef la modélisation qui se présente trop souvent aujourd'hui sous les habits de la science. Un modèle étant un accomplissement conceptuel et un recueil d'information fréquemment considérables, la critique se heurte d'emblée à une difficulté qu'il ne faut surtout pas sous-estimer.

### *Le phénomène des ornières de pensée*

Revenons un instant sur les méthodes de *validation*. Ce terme ne doit pas tromper. Aussi sévères soient-elles les opérations de validation – identification des paramètres, simulation et/ou mesure sur maquette, assimilation, etc. – font rester dans le même type d'approche. Les notions clés de la sémantique de base utilisée sont inchangées, seuls des perfectionnements syntaxiques sont suggérés. Par les tests statistiques les configurations invraisemblables sont rejetées, et finalement une validation bien faite rapproche au mieux les symbolisations et les données mesurées en restant *dans la même famille d'interprétations*.

S'ajoute à cela un constat psychologique si général qu'il devient un réflexe sociologique d'importance majeure : dès qu'il y a des mathématiques dans un dossier, cette partie de l'argument est prise pour de la science donc objective, universelle, irrécusable. Personne n'y touche, c'est trop de travail.

Un phénomène analogue se produit en architecture. Un maire fait une réunion publique pour présenter les plans, la maquette et les vues d'un centre culturel projeté. On expose les enjeux pour la ville, on explique les perspectives au niveau du piéton, la salle de spectacle, les clubs de jeunes et pour le troisième âge, etc. Sans doute, des critiques apparaissent, que le hall d'exposition est trop petit, etc. Mais, sauf à rejeter tout en bloc, cela reste au niveau du détail, personne n'est en mesure de trouver de meilleures organisations spatiales vraiment différentes en un nouveau parti plus satisfaisant. Le projet est "ficelé".

En outre évidemment, les promoteurs du projet, économiquement intéressés, n'ont pas intérêt à en dévoiler les ficelles, la stratégie de base consiste à faire passer leur modélisation partisane pour de la science.

### *Contre-modélisation : construction de co-vérités*

Pour sortir des ornières de pensée et s'échapper d'interprétations qui sont, provisoirement, en situation dominante, il faut faire appel à *la logique externe*. Cette idée remonte à John Stuart Mill. Elle fut reprise par Karl Popper dans son néo-darwinisme des théories scientifiques et par Paul Feyerabend dans son attitude libertaire. Mais il ne s'agit plus ici de la question de la Science. Il faut donner droit de cité à une critique active et imaginative, un droit d'ester généralisé qui porte aussi sur les conséquences de l'innovation scientifique et technique. La pensée poppérienne est totalement retournée : seule la mise en œuvre d'une biodiversité des idées peut nous garantir contre des théories risquées.

Il convient donc de développer la modélisation concurrente : la voie la plus féconde pour critiquer une modélisation est d'en construire une autre sur des principes différents. C'est le seul moyen concret et efficace de relativiser un modèle.

Il était candidat à la vérité absolue, il se trouve replacé parmi des représentations construites avec des matériaux différents que nous appelons *co-vérités*. Celles-ci ne révèlent pas seulement des parties cachées du réel, elles modifient les enjeux, les validations à entreprendre et l'établissement des légitimités. Prenons un exemple, les modèles de pollution de rivière, selon une approche classique en France, tentent d'établir l'inventaire des produits chimiques et leurs concentrations, depuis les ions métalliques jusqu'aux matières organiques en suspension, dont la présence est considérée comme un facteur de dégradation de la qualité de l'eau. La méthode a l'avantage d'une grande objectivité. Les instruments de mesure sont de plus en plus

précis et sont capables par analyse de prélèvements de déceler des traces d'éléments polluants. *Construire une co-vérité peut venir ici d'une réflexion plus approfondie sur le concept de propriété.* Les eaux minérales et les sources ne sont pas chimiquement pures. On peut aussi qualifier la qualité de l'eau par les espèces qui y vivent, plantes, poissons, crustacés, mollusques, et procéder à un suivi de cette flore et de cette faune spécifique. C'est ce qui se fait dans certains pays étrangers et aussi maintenant en France. Les deux approches ne sont pas comparables. La première peut ne pas identifier des germes pathogènes qui contaminent la chaîne animale. Même si le perfectionnement des instruments de mesure (ici les sondes polynucléiques ou "puces à ADN") fait toujours croire que la connaissance physico-chimique va bientôt embrasser toute la réalité, celle-ci résiste avec des complexités toujours insoupçonnées. La seconde peut difficilement faire la part des fluctuations aléatoires " normales " dans les populations et celle des causes indésirables (rejets polluants).

Une co-vérité est toujours enrichissante. Elle ouvre à une autre dimension, elle invente un déploiement qui donne une profondeur nouvelle, *évidente et nécessaire a posteriori.*

Pour construire des co-vérités, on peut s'aider de dualités. Ferdinand de Saussure a montré l'importance fondamentale dans tout langage des oppositions sémantiques. Citons-en quelques unes.

- particules / milieu continu
- descriptif / explicatif
- quantitatif / qualitatif
- déterministe / probabiliste
- imaginé, imagé / symbolique, symbolisé
- simple / complexe

Chacune mériterait un article à elle seule pour l'illustrer d'exemples, en physique, en économie, en environnement. Je renvoie simplement ici à l'ouvrage *Aux contraires* de Jean-Marc Lévy-Leblond qui touche à cet ordre d'idée sous l'angle culturel mais fournit aussi des matériaux pour la critique. Ces catégories sont des guides, riches d'exemples et de contre-exemples historiques, pour quitter les hypothèses implicites.

### *Conclusion*

Le monde contemporain se partage de façon contrastée entre d'un côté les scientifiques avec leurs soucis disciplinaires et leurs langages spécialisés et de l'autre les politiques et les littéraires qui s'émeuvent des avancées souvent aveugles de la technique. Ce sont les deux cultures. Le premier monde parle au second essentiellement par la modélisation en la faisant passer pour science. Les mots du langage ordinaire de nos intellectuels si brillants soient-ils n'y font plus grand chose.

Ils sont en matériaux mous, plastiques, et n'ont plus prise sur les problèmes. C'est comme si on voulait critiquer von Neumann-Morgenstern, Shannon ou Black-Scholes avec le vocabulaire des pièces de Racine, on n'aurait pas l'attache de l'adversaire.

Il faut des intellectuels nouveaux qui osent retrousser leurs manches et mettre les mains dans le cambouis des modèles, en proposent d'autres, assument les enjeux de cette vie intellectuelle et politique nouvelle. Qui peuvent-ils être ? Je ne vois que les universitaires au sens large, ils sont les seuls à disposer des compétences pour ouvrir cette activité indispensable, les seuls aussi à qui l'opinion fera crédit d'un point de vue sur un projet non inspiré par le seul intérêt local ou financier, coutumier ou commercial. Une prise de conscience se fait jour ici et là, qui se heurte à de grandes difficultés de mise en œuvre compte tenu du fonctionnement de l'institution scientifique, foncièrement positiviste. Néanmoins ces idées font leur chemin.

Depuis leur apparition dans le courant du moyen âge les universités ont toujours été le lieu, si ce n'est d'une pensée libre, du moins de plus de liberté dans l'exercice de la pensée. Par la logique scolastique et la référence à Aristote, elles parvinrent à prendre des distances vis-à-vis du clergé et laissèrent à la théologie l'exégèse des textes sacrés. Partout dans le monde elles restent le symbole de l'indépendance intellectuelle, souvent foyer d'agitation politique répandant des vues subversives aux yeux du pouvoir. La réflexion critique dans les applications se situe nécessairement au niveau des équipes de laboratoires, échelle pertinente pour élaborer des co-vérités assez solides afin de parler concrètement de *l'éventuel*.

## Références

H. Atlan, *La fin du tout génétique*, INRA, 1999.

U. Beck, *Risk society, toward a new modernity*, Sage, 1992 ; *Ecological politics in the age of risk*, Polity Press, 1995 ; *The reinvention of politics*, id., 1997.

U. Beck, A. Giddens, S. Lash, *Reflexive modernization*, Polity Press 1994.

M. Callon, "An essay on framing and overflowing : economic externalities revisited by sociology" in *The laws of the markets*, Blackwell, 1998.

P. Feyerabend, *Adieu la raison*, Seuil, 1989.

J. Habermas, *Theorie et pratique*, Payot, 1975; *La technique et la science comme idéologie* (1968) Gallimard 1973 ; *Connaissance et intérêt* (1968), id. 1976.

H. Jonas, *Le principe responsabilité, une éthique pour la civilisation technologique* (1979) Les éd. Du Cerf, 1995 ; *Pour une éthique du futur*, Payot et Rivages, 1998.

A. Koyré, *La révolution astronomique*, Hermann, 1961.

B. Latour, *Politiques de la nature, comment faire entrer les sciences en démocratie*, La Découverte, 1999.

J.-M. Lévy-Leblond, *Aux contraires*, Gallimard, 1996.

J. S. Mill, *De la liberté* (1859) Gallimard, 1990 ; *L'utilitarisme* (1861) Flammarion, 1988.

K. Popper, *The logic of scientific discovery*, (1959); *Objective knowledge, an evolutionary approach*, Oxford Univ press 1972; *La quête inachevée* (1974) Calman-Lévy 1981; *Conjectures et réfutations, la croissance du savoir scientifique*, Payot, 1985.

W. V. O. Quine, *la relativité de l'ontologie*, Aubier 1977 ; *La poursuite de la vérité*, Seuil, 1993.