



2007-2008

Université Paris X Nanterre
Service d'enseignement À distance
Bâtiment E - 2ème étage
200, Avenue de la République
92001 NANTERRE CEDEX
Tel : 01.40.97.76.18

Envoi du 15-10-2007

Nombre de pages : 78

Matière : PHILOSOPHIE L3
E.C. : LLPHI523

Histoire et philosophie des sciences

Biotechnologies et Mondes possibles

Mme SCHMID Anne-Françoise

Cours complet

1 devoir :

- Devoir facultatif n° 1 à remettre le 15/03/2008 - Sujet p. 4 du polycopié.

Nom et adresse du correcteur :

SCHMID Anne-Françoise
33, rue de Fontarabie
75020 Paris

Rappels :

- L'étiquette figurant sur votre enveloppe d'expédition mentionne uniquement les E.C. qui font l'objet d'un envoi. Merci de vérifier que ces E.C. correspondent bien à ceux notés sur votre formulaire d'inscription pédagogique. Si tel n'était pas le cas, merci de nous en informer dans les plus brefs délais.
- Devoirs : Pour être corrigés, vos devoirs doivent impérativement être en conformité avec les instructions de la note concernant les devoirs : format des copies, délais d'envoi, transmission directe à l'enseignant correcteur. Les devoirs sont à renvoyer en pli ordinaire (les plis recommandés ou insuffisamment affranchis ne seront pas retirés auprès des bureaux de poste).

Télélix – Licence

Histoire et philosophie des sciences Télélix Licence 523

Biotechnologies et Mondes possibles — Anne-Françoise Schmid

afschmid@free.fr

Résumé :

On sait maintenant que les biotechnologies posent des problèmes éthiques. Mais ceux-ci sont souvent mal posés, parce que les biotechnologies sont évaluées en fonction de critères qui relèvent d'une épistémologie des théories et d'une conception des sciences qui n'est évidemment pas fausse, mais pas adaptée. Cette inadaptation a fait que l'on est passé trop rapidement d'une épistémologie des théories au concept indéfini et multiforme de technologie. Ce qui manque, c'est une épistémologie de la modélisation, et sa réunion avec l'épistémologie des théories. Un tel travail théorique permet une meilleure évaluation éthique des biotechnologies. Or, la problématique des mondes possibles concerne la sémantique, comme les modèles. On pourra retravailler ainsi les problématiques liées aux biotechnologies (ainsi qu'à d'autres technologies contemporaines en relations à elles, nanotechnologies, NBIC, etc.) à l'aide des conceptions des mondes possibles, en particulier dans la philosophie analytique.

Bibliographie :

Elle doit combiner des textes sur les biotechnologies et sur les mondes possibles. Son aspect est donc hétérogène. Le cours sera fait pour construire des ponts entre ces deux aspects de la bibliographie. Eventuellement, lisez un livre de chaque genre, biotechnologie, et l'un des auteurs cités en philosophie.

Claude Debru et Pascal Nouvel, *Les biotechnologies et les possibles*, PUF.

Pascal Oury, *La querelle des OGM*, PUF, 2006.

Bertrand Jordan, *Les Marchands de clones*, Le Seuil, coll. « Science Ouverte », 2003.

Bernadette Bensaude-Vincent, *Se libérer de la matière ? Fantômes autour des nouvelles technologies*, Paris, INRA éditions, 2004.

Jean-Marie Legay, *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*, INRA éditions, 1997.

Jean-Marie Legay et Anne-Françoise Schmid, *Philosophie de l'interdisciplinarité. Correspondance (1999-2004) sur la recherche scientifique, la modélisation et les objets complexes*, Paris, Pétra, 2004.

Nicolas Bouleau, *Philosophies des mathématiques et de la modélisation*, Paris, l'Harmattan, 1999.

Hans Jonas, *Métaphysique du futur*

Hans Jonas, *Le principe responsabilité* (1979), Cerf, 1990.

François Laruelle, *La Lutte et l'utopie à la fin des temps philosophiques*, Paris, Kimé, 2004 (tout ce qui porte sur le concept de « futur »).

David Lewis, *La pluralité des mondes*, Editions de l'Eclat, 2007.

Jean-Pierre Dupuy, *Pour un catastrophisme éclairé. Quand l'impossible est certain*, Paris, Le Seuil, 2002.

Gilbert Hottois, *Qu'est-ce que la bioéthique ?*, Vrin, 2004

Anne-Françoise Schmid, : *L'Âge de l'épistémologie. Science, Ingénierie, Éthique*, Paris, Kimé, 1998.

Anne-Françoise Schmid, *Que peut la Philosophie des sciences ?* Paris, Pétra, 2001.

Leibniz, *Essais de Théodicée*, Paris, Aubier-Montaigne, 1962, fin de la 3^{ème} partie.

Leibniz, *Discours de Métaphysique*, Paris, Vrin.

Pascal Engel, *La Norme du vrai. Philosophie de la logique*, Paris, Gallimard, 1989, surtout le chapitre 7.

Jules Vuillemin, *Nécessité ou contingence, l'aporie de Diodore et les systèmes philosophiques*, Paris, Minuit, 1984.

Richard Rorty, *Objectivisme, relativisme et vérité*, Paris, P.U.F., 1994, pp. 171 sqq.

Pierre-André Taguieff, *La bioéthique ou le juste milieu. Une quête de sens à l'âge du nihilisme technicien*, Paris, Fayard, 2007.

D'autres éléments bibliographiques seront donnés progressivement dans le cours.

Je donnerai des références à des textes de Rudolf Carnap, de Saül Kripke, de Nelson Goodman et de Jaakko Hintikka, qui sont parmi les auteurs modernes qui ont le plus discuté la notion de « mondes possibles », de Ludwig Wittgenstein pour les « jeux de langage », de François Laruelle pour les « langages-univers », qui sont des notions distinctes, mais proches.

Des devoirs pourront être envoyés à l'enseignante jusqu'au jeudi 15 mars 2008, dont voici l'adresse :

Anne-Françoise Schmid
33, rue de Fontarabie
75020 Paris

Vous pouvez prendre contact ou poser des questions à l'adresse électronique suivante :

afschmid@free.fr

Sujets proposés au choix :

- 1) Comment la philosophie et l'éthique peuvent-elles s'approprier des objets qui lui sont apparemment étrangers, tels le clonage ou les OGM (organismes génétiquement modifiés) ?
Elaborez quelques pistes (par exemple en prêtant attention à la structure du cours).
- 2) Modélisations et utopies dans l'évaluation des biotechnologies.
- 3) Sciences génériques, technologies génériques : l'éthique et le « brouillage des frontières » entre disciplines.

Introduction

Le titre du cours « Biotechnologies et mondes possibles » est à la convergence de plusieurs séries de problèmes. Il y a la série « épistémologie », la série « technologie », la série « philosophie », la série « mondes possibles » (qui relève à la fois de la philosophie et de la logique), la série « éthique ». Beaucoup de problèmes contemporains se posent ainsi sous la forme de convergences, parfois complexes. Il s'agira ici de traiter de ces convergences, de leurs liens, de leurs réductions possibles les unes aux autres. Ce n'est pas un problème artificiel, car il s'agit finalement d'inventer des stratégies possibles pour le traitement éthique des (bio-)technologies. La difficulté d'une telle approche est qu'elle demande des

connaissances et une certaine maîtrise dans chacune de ces séries, et la faculté de former quelques hypothèses. C'est à cela que le cours va être consacré.

Dans un premier temps, il s'agira de dessiner chacune des séries. Pourquoi appeler cela « série » ? Parce que, dans de tels problèmes, on ne peut se contenter uniquement des faits, chaque terme d'une série peut lui-même être une série¹, selon la vision leibnizienne (dont vient la notion de « monde possible »), puis russellienne (n'oublions pas que Russell a consacré un livre à Leibniz, alors qu'il commençait à travailler à sa philosophie des mathématiques).

De plus, les convergences ont des effets. Comment les évaluer ? Quelle consistance ont-ils ? Donnent-ils lieu à des « illusions transcendantales » ou semi-transcendantales ? Peut-on évaluer cela ? Y a-t-il des méthodes pour le faire ?

Cette question est d'autant plus intéressante, que l'on ne peut plus supposer pouvoir prévoir les conséquences d'une modification « technologique ». Il y a, dans le travail du scientifique et de l'ingénieur, une sorte de dissociation entre le projet et les conséquences, à long ou très long terme, de sa réalisation. Une réflexion par « conséquences » n'est plus toujours possible. D'autre part, si l'on prend une technologie, la méthode par laquelle on peut chercher à l'évaluer n'est pas toujours la même que celle qui a permis de la mettre en place, et parfois, cela a donné lieu à de vrais débats scientifiques — c'est le cas concernant les OGM ou les thérapies géniques. Il est très probable que ces nouveaux problèmes ne trouvent pas leur solution par les méthodes classiques et la philosophie de la biologie, remontant par exemple à Canguilhem. Il faudra inventer de nouvelles approches.

Nous terminerons avec l'analyse d'un cas de biotechnologie, où nous tenterons de faire converger les susdites séries. Ces questions sont trop complexes pour trouver leurs solutions dans des oppositions trop simples. On présente parfois la question des OGM dans une opposition entre les sciences éclairées, suite des Lumières, et les représentations obscurantistes des opposants, qui ne sont pas éclairées. On a maintenant beaucoup montré qu'une telle simplification ne fait que reconduire ces oppositions, sans permettre de les traiter.

¹ Au sens anglais, « series », selon une habitude courante sous la plume française de Russell. En français, en toute rigueur, il faudrait dire « suite ».

Dans la revue *Natures, Sciences, Sociétés* (EDP Sciences — revue scientifique interdisciplinaire), plusieurs articles et compte rendus ont montré clairement qu'il fallait passer en particulier par l'analyse des représentations de tous les acteurs, biologistes, comme partenaires sociaux, et que c'est l'une des conditions pour penser ce que certains ont appelé « démocratie technique » (voir les travaux de Pierre-Benoît Joly, — en particulier son intervention sur les OGM végétaux devant l'Assemblée Nationale – on la trouve facilement sur Internet, mais aussi les articles de Jean-Claude Mounolou (Académie d'agriculture), de Marcel Jollivet (sociologue), de Claudine Friedberg (anthropologue)).

Mais nous pensons, qu'en plus de l'analyse des représentations, qui peut également être l'affaire des sociologues ou des économistes, il faudrait réarticuler les divers aspects qui touchent à l'épistémologie, à son unité supposée entre ses concepts de science, de technologie, de modélisation, de conception, de l'éthique technologique, des philosophies, et la série des « mondes possibles » (ce qu'on appelle parfois la logique épistémique dans la philosophie). Nous développerons toutes ces séries, pour en tirer les conséquences pour l'analyse des biotechnologies.

La série « épistémologie » sera la plus longue, parce qu'elle concentre, dans son développement historique, un certain nombre des problèmes pertinents à notre question (il y aura déjà quelques éléments sur les modèles, qui réapparaîtront plus loin comme « série »). Ensuite, plusieurs autres séries se grefferont à la première et contribueront à l'interpréter en fonction de l'objet, les biotechnologies.

Ce cours est évidemment très synthétique, et donc parfois difficile, d'autant qu'il comporte quelques idées originales. Je reste à votre disposition pour vous aider, et développer les aspects que vous voudrez (afschmid@free.fr). Si vous achoppez sur un aspect, passez plus loin, vous pourrez revenir sur la question avec ce que vous aurez compris de la suite.

Chapitre 1 – La série « épistémologie »

Il paraît presque évident qu'il est nécessaire de passer par les connaissances de l'épistémologie pour traiter des biotechnologies. Mais ce n'est pas si simple, il a fallu plusieurs « forçages » pour que l'on puisse traiter des problèmes posés par celles-ci.

Pour cela, il faut tenter de comprendre les raisons de l'épistémologie par rapport à la philosophie des sciences classiques.

Il y a eu plusieurs problèmes, symptômes de ces « forçages » nécessités par l'élargissement des concepts classiques à des disciplines non-réductibles à la mécanique, la première, avec les mathématiques, à avoir donné lieu à des descriptions épistémologiques :

1) Le premier est que la littérature de la philosophie des sciences la plus classique et que celle de l'épistémologie ont pour référent général le concept de théorie, ou du moins leurs concepts et distinctions sont-ils organisés autour du concept de théorie. Pour traiter des « biotechnologies », cet arsenal est inadapté, au moins dans une application directe. Il y faut une épistémologie des modèles et de la modélisation qui est beaucoup moins développée, et, lorsqu'elle l'est, elle l'est souvent dans des orientations elles aussi inadaptées.

Nous allons donc proposer quelques hypothèses pour comprendre la place de l'épistémologie par rapport à la philosophie des sciences plus classique, ce qui nous donnera quelques pistes sur l'interprétation habituelle de la notion de modèle.

2) Le second de ces problèmes est que, si la science se porte bien, et si les discours sur la science se portent bien, on peut malgré tout faire l'hypothèse que nous nous trouvons dans une crise du concept de science ou une crise des représentations des sciences (et non pas une crise des sciences, je le répète).

3) Le troisième de ces problèmes est que, pour des raisons que j'expliquerai, on est passé trop rapidement d'une philosophie des sciences à une philosophie des technologies, en laissant presque vide tout ce qui concernait l'épistémologie des modèles et de la conception. Ce passage trop rapide est une des raisons des difficultés que l'on rencontre à traiter de façon adaptée les problèmes posés par les nouvelles biotechnologies (ce troisième problème sera traité dans la série « technologie »).

Les trois problèmes

1) L'épistémologie² se distingue de la philosophie des sciences à la faveur de ce que l'on a pu évaluer comme « crise ». Mon hypothèse est que la distinction entre les deux termes a pris en faveur d'une crise, ou du moins de ce que les savants ont interprété comme telle.

Lorsqu'un point de vue qui paraît bien établi sur la science est remis en cause par le développement scientifique, on parle de crise. Mais on s'aperçoit très vite que les interprétations ne sont pas les mêmes, que selon les points de vue il y a ou il n'y a pas crise dans les sciences. Henri Poincaré pensait en son temps qu'il y avait une crise de la physique, Bertrand Russell pensait à la même époque qu'il y avait une crise des mathématiques, ce que niait Poincaré.

Le recul historique nous fait voir que la crise n'est pas dans la science, mais dans les représentations que l'on se fait d'elle.

À l'époque de cette crise, commence à se faire voir la distinction entre philosophie des sciences et épistémologie. La philosophie des sciences offre à cette époque un panorama unifié des sciences, centré autour d'une conception centrée sur la mécanique, première science qui ait permis à la fois de prédire et de calculer. Or, à l'époque où interviennent Poincaré et Russell, le paysage scientifique se diversifie et se multiplie, aussi bien dans les sciences exactes que dans les sciences humaines, si bien que la mécanique ne peut plus servir de modèle universel.

C'est à ce moment-là qu'en France on commence à parler d'épistémologie — nettement plus tard qu'en langue anglaise —, dont l'objet est de parler des disciplines scientifiques de façon plus spécifique et précise que la philosophie des sciences. Si la mécanique n'est plus l'unique modèle, avons-nous des critères permettant de nous assurer qu'une discipline nouvelle est bien scientifique ? Disposons-nous de critères de scientificité ?

² Sauf erreur de ma part, la première occurrence de ce terme en français – ou l'une des toutes premières occurrence -, se trouve dans Bertrand Russell, *Correspondance sur la philosophie, la politique et la logique avec Louis Couturat (1897-1913)*, Paris, Kimé, 2 vol., ed. Anne-Françoise Schmid, dans une lettre de Russell datant du 21 juin 1900.

On voit que le terme de « crise », diversement assumé par les savants, a sans doute modifié la façon dont on évalue la science. D'image du monde, elle est devenue un ensemble de disciplines qui ont leurs méthodes propres. Poincaré se trouve exactement à la charnière de ces deux approches, on peut dire qu'il est à la fois philosophe des sciences, selon la grande tradition kantienne, et qu'il inaugure l'épistémologie par son attention à chacune des disciplines et aux passages entre disciplines.

2) Avec le recul historique, on peut dire que ce sentiment de crise est lié à l'interprétation des fonctions de la mécanique dans l'interprétation des sciences.

La crise n'est donc pas une crise dans la science. Il est normal qu'il y ait des modifications et des inventions de méthodes, de disciplines, d'approches. Est-ce que l'arrivée de la mécanique quantique représente une crise ? Elle ne l'est que si nous supposons que la mécanique classique est la norme ? La relativité représente-t-elle une crise ? Oui si l'on suppose qu'un système au repos est plus réel qu'un système en mouvement, etc... La crise ne porte pas sur la science, mais sur les projections historiques que l'on fait sur elle, sur la distribution des savoirs que l'on peut avoir sur les sciences, à partir d'une classification historique des disciplines scientifiques.

Hypothèse : il faut généraliser l'idée que les concepts de l'épistémologie portent sur des représentations de la science et non sur la science elle-même. C'est une conclusion critique et qui engage à la prudence.

Peut-on philosopher sur les sciences ? C'est un problème sérieux. Il y a une multiplicité des types de discours sur la science. Cette multiplicité est positive par sa richesse, mais liée actuellement au relativisme ambiant, elle est un signe d'une crise dans la supposée unité et la supposée essence de la science. Qu'est-ce que ce relativisme ? Il consiste à traiter la science comme une pratique sociale parmi d'autres, il permet aussi de mettre en continuité n'importe quel fragment de science avec les autres savoirs, philosophiques, éthiques, politiques, de façon à en faire une sorte de patchwork. De ce point de vue, l'objectivité des sciences, sont réalisme paraissent souvent diminués. Une autre interprétation de ce relativisme, que nous expliciterons plus loin, consiste à supposer que les mélanges (de philosophie, de science, de technologie, d'éthique, etc...) que nous pouvons observer dans l'empirique s'expliquent eux-mêmes par des mélanges.

À notre avis, il y a un lien assez direct entre l'idée que l'on peut philosopher sur les sciences et le relativisme actuel, ce dernier est une conséquence lointaine du premier. Si l'on observe le monde empirique, ce qui se passe autour de nous, bien entendu, nous ne voyons que des mélanges – mais nous avons le droit de faire des hypothèses pour expliquer ces mélanges. Si l'on regarde la littérature épistémologique, on verra tout de sorte de types d'ouvrages. Les discours sur la science se portent bien, le nombre de publications est impressionnant.

Tout d'abord des livres historiques, expliquant les caractéristiques des sciences « expérimentales ».

Des ouvrages qui mettent en évidence des aspects spécifiques de la science (elle mesure, elle expérimente, elle modélise, elle prévoit, elle simule, elle expérimente, elle conçoit, etc. etc.) ;

Des ouvrages d'histoire des idées de la philosophie des sciences et de l'épistémologie (par exemple : B. Russell, *Histoire de mes idées philosophiques*, ou encore des dictionnaire du type *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, éd. D. Lecourt, Paris, P.U.F., 1999, où l'on peut suivre sur bien des notions une telle histoire) ;

Des ouvrages sur les technologies actuelles et leurs suites éthiques (p. ex. si l'on en reste au français, les ouvrages de Gilbert Hottois et de son équipe (voir la *Nouvelle Encyclopédie de la Bioéthique*, chez de Boeck), en américain les grands classiques sont Durban et Carl Mitcham) ;

Des ouvrages de sociologie des sciences (*Social Studies*), représentés en France en particulier par Bruno Latour³ ;

De nombreux ouvrages où des scientifiques d'une discipline exposent et généralisent des traits de leur discipline sous la forme d'une vue du monde (il y en a passablement d'exemples dans la collection « Science ouverte » au Seuil et aux éditions Odile Jacob) ;

Des études techniques et locales d'histoire des sciences ou des techniques ;

Des ouvrages de politique de la science (le classique en France étant Jean-Jacques Salomon).

Des ouvrages sur l'instrumentation et l'expérience, sur l'importance de nouvelles technologies dans le développement des sciences (microscope à effet tunnel, etc.) ;

Des ouvrages ou articles sur les sciences lourdes (analyse du CERN, tokamak, etc..)

Des ouvrages sur les sciences dans un contexte historique (guerre froide, nazisme, URSS, etc.) ;

³ Par exemple, Bruno Latour, *La Science en action*, Paris, la découverte, 1989, ou encore, Bruno Latour et Stephen Woolgar, *La Vie de laboratoire : La production des faits scientifiques*, Paris, La Découverte, 1988.

Des livres sur l'ingénierie ou l'histoire de l'ingénierie (Jean-Louis Lemoigne, Hélène Vérin) ;
Des livres sur la conception (les livres édités sous la direction de Jacques Perrin ou de Joëlle Forest, ou de Armand Hatchuel) ;
Des ouvrages sur la science et l'éthique, les technologies et l'éthique ;
Sur l'interdisciplinarité, la modélisation et les objets complexes ;
Des ouvrages de résumé de l'histoire de l'épistémologie et/ou de la philosophie des sciences (il y en a maintenant un certain nombre sur le marché français) ;
Etc.etc.

Par contre, il y a peu d'ouvrages qui tentent de comprendre ce que peut être l'unité instable de l'épistémologie à travers toutes ces manifestations, qui cherchent à évaluer les rapports de la philosophie des sciences et de l'épistémologie, ou qui tentent, dans leur relation aux sciences, une approche plus expérimentale qui mette en œuvre les distinctions élaborées par ces deux disciplines proches.

Il arrive que ces genres soient combinés d'une façon ou d'une autre ces diverses approches, et les objets visés sont très disparates, des contenus de sciences, des thèses philosophiques sur les sciences, des commentaires qui prolongent les rapports entre les sciences et les techniques, des analyses sur l'organisation économique et sociale des sciences.

Il n'est pas nécessaire de prendre parti pour l'une ou pour l'autre de ces pratiques, mais il vaut mieux ne pas s'engager sur une voie exclusive, contre les autres. J'expliquerai plus tard ce que j'entends par là.

Le symptôme qui se manifeste à partir de toute cette littérature : une quantité d'ouvrages et de colloques sur des questions locales, précises, historiques. La plupart des ouvrages de philosophie des sciences ou d'épistémologie deviennent des résumés de l'histoire des doctrines, Duhem, Popper, Lakatos, Kuhn, Feyerabend, et un petit peu de modèles à la fin à l'aide d'auteurs américains (Galison, Pickering, etc.), et non pas de véritables travaux, plus expérimentaux, plus philosophiques aussi, de philosophie des sciences. Mais que devient la philosophie des sciences ? Certains philosophes avaient bien pris la mesure du problème, chez qui elle est devenue passablement silencieuse – souvenons-nous du titre de l'ouvrage de Jean-Toussaint Desanti, *La philosophie silencieuse ou critique des philosophies de la science* (Le Seuil, 1975), ou encore celui, plus récent, de Gilles-Gaston Granger, *La pensée de l'espace* (Odile Jacob, 1999) où la philosophie est réduite au minimum. Ce silence s'explique

parfaitement, philosophiquement parlant. À notre avis, cette dernière solution n'est pas la seule possible, nous le verrons plus loin.

L'épistémologie du 20^{ème} siècle a recherché des critères de scientificité

a) description

Une première remarque : l'épistémologie a une littérature extrêmement riche, il y a des textes de philosophes, de savants, de scientifiques (ce qui est une nuance différente), d'historiens, d'ingénieurs extrêmement nombreux et divers. En France, à cette rentrée 2006, on a vu toute une série de livres sur l'épistémologie, sur l'eugénisme, sur l'histoire des protéines, sur les travaux mathématiques d'Emily Noëther, sur Gaston Bachelard, sur les modélisations multi-agents dans les sciences humaines, etc. etc. Mais cette tradition est souvent trop simplifiée pour les besoins de la clarification. Il y a la lignée française : Duhem, Poincaré, Couturat, Meyerson, Bachelard, pour ne citer que les plus connus. Il y a la lignée anglo-saxonne, souvent d'origine autrichienne, hongroise, allemande,... : Russell, Carnap, Neurath, Popper, Lakatos, Kuhn, Feyerabend,... Toutes leurs œuvres sont importantes. Mais il ne faut pas croire que l'histoire de leur filiation soit une description de la science. De nouveau, il y a des thèses qui s'affrontent. Il ne suffit pas de faire l'histoire du passage Popper, Kuhn, Feyerabend pour répondre à la question « qu'est-ce que la science ».

Ce qui unit plus ou moins explicitement cette variété est justement l'idée des limites, donc des critères de la science en général ou de la science étudiée. On connaît bien certaines variations de ces idées. Est scientifique une proposition déduite (la logique importe dans toutes ces idées) qui donne lieu à vérification. Ou bien une proposition qui peut donner lieu à réfutation. Ou bien un ensemble de propositions qui se détachent du sens commun, supposé faire « obstacle » à la science. Ou bien un ensemble de dispositifs conceptuels et expérimentaux donnant lieu à des programmes de recherche. Ou encore un certain rapport aux mathématiques, à la mesure, etc. La fin du 20^{ème} siècle est marquée par l'idée qu'aucune des idées proposées ne permet de décrire complètement la science. L'une des conséquences

marquées dans les débats actuels est que l'on ne dispose plus de critères des sciences, que celles-ci, avec leur développement institutionnel depuis la dernière guerre, sont un fait social qui ne se distingue plus des autres faits sociaux que par un langage spécialisé. Cette idée consonoit bien avec le relativisme ambiant, il n'y a pas de vérité, ni même peut-être d'objectivité dans les sciences. Ou bien, on a une « objectivité faible », un « réalisme faible » — toutes ces expressions sont élaborées en comparaison à un matériau historique particulier de l'épistémologie, qui est d'abord la mécanique classique.

À mon avis, cette conclusion est trop rapide. Aucune de ces idées n'est désuète ou inintéressante, à condition que l'on abandonne l'idée que chacune de ces thèses donne une description directe des sciences, et donc que la description de la mécanique est pertinente pour toutes les autres disciplines. Les critères restent importants à notre avis, mais comme des descriptions locales, et non pas des critères. Nous travaillons sur des représentations des sciences, et non sur la science elle-même.

b) Thèse : ces descriptions sont indirectes – il n'y a pas de continuité simple entre philosophie des sciences et épistémologie

Toute description qui se croit directe, part d'un état historique particulier qu'elle généralise. Les conséquences relativistes de l'épistémologie actuelle tiennent à ses origines dans la mécanique, et dans son développement conçu comme un élargissement progressif aux autres disciplines. Une telle approche ne peut qu'aboutir à l'idée que la mécanique ne suffit plus, voire que les inventeurs de la mécanique étaient des naïfs, qui élevaient à l'universel ce qui n'était qu'un état particulier de la science et à une sorte de dévaluation idéologique de la science (j'ai vu cela dans certains textes épistémologiques).

La description des sciences demande autre chose qu'une linéarité historique — jamais suffisante —, elle demande aussi que l'on admette qu'un point de vue de philosophie des sciences et/ou d'épistémologie ne concerne pas directement les sciences, mais les représentations que l'on a de celles-ci. Ce que je propose ici, c'est une généralisation de ce qui a été dit plus haut du concept de crise.

Cela ne veut pas dire que l'on ne puisse rien savoir des sciences. Cela ne veut pas dire non plus que nos efforts philosophiques ne vailent pas la peine. Mais qu'il nous faut réfléchir aux méthodes par lesquelles nous appréhendons les sciences.

c) Conclusion sur la méthode : comprendre les sciences suppose l'usage d'hypothèses

Cela veut dire que nous devons adopter une autre méthode, non pas directe, mais indirecte, pour traiter des sciences. De même que la mécanique quantique porte non pas sur des objets, mais sur des « opérateurs », il faut voir l'effet des thèses épistémologiques non sur telle discipline, mais sur l'ensemble des représentations possibles de cette discipline. Pour prendre une analogie à très grands traits, il faut faire une révolution analogue à celle des géomètres. Ils pensaient autrefois que les notions de point, de droite, de plan étaient données. Ils ont montré plus tard qu'il y fallait un système d'opérations, puis une axiomatisation. Nous ne pouvons plus admettre le concept de « science », celui de « philosophie », comme donnés, il faut élaborer des hypothèses pour pouvoir les mettre en évidence dans les conjonctures historiques où elles sont toujours mélangées.

Pourquoi cette position théorique ? On peut faire diverses remarques.

a) Les critères habituels pour distinguer ce qui est science et ce qui n'est pas science finit par exclure d'importants pans de recherches que l'on pourrait s'attendre à qualifier de scientifiques (par exemple des grands pans de modélisation ou de conception). Toute position directe finit par exclure des champs entiers.

b) L'autre raison est que nous traversons actuellement une grande crise du concept de science. Non pas une crise dans les sciences, celles-ci se développent dans de très nombreuses directions, aussi bien que possible. Par contre, le concept de science est dans une crise profonde.

En quoi consiste cette crise ?

La philosophie et l'épistémologie ont un référent commun, le concept de théorie. Même si l'on parle d'expérimentation, de modèle, d'observation, de mesure, on suppose habituellement que les sciences se forment autour de théories. Le concept de théorie est très important, voire majeur.

Mais il y a tout une pratique des sciences contemporaines qui procèdent par « modélisation », et tant que l'on rapporte le concept de modèle exclusivement à celui de théorie, on se trouve dans une situation d'exclusion de toute une pratique scientifique.

Rappel sur le concept de théorie

Qu'est-ce qu'une théorie ? Les définitions des théories ont été marquées à la fois par les mathématiques, la logique et la physique à travers la mécanique. On peut la définir comme un ensemble de mots, où la formation des mots est réglée, ou un système formel, muni de règles de déduction, et où l'on choisit un ensemble de théorèmes sans démonstration, que l'on appelle les axiomes, et un ensemble de notions primitives, dont la définition indirecte est donnée par les axiomes. Ces choix sont nécessaires, sans quoi les démonstrations sont circulaires.

Dans une démarche théorique, dite souvent « hypothético-déductive » (selon le terme de Mario Pieri au début du 20^{ème} siècle), on part de principes, ou d'axiomes, ou d'hypothèses *supposées vraies*, et, en vertu de règles de déduction admises, on en déduit des conséquences, qui, si les règles sont bien appliquées, sont elles aussi alors *supposées vraies* (et non pas vraies, comme le sens commun a tendance à le croire). La déduction est une relation d'ordre partiel (partiel, parce que l'on peut répéter les hypothèses, etc). Le mathématicien Jacques Herbrand (mort à 23 ans), a montré cette chose remarquable que si l'on peut déduire d'une hypothèse une conclusion, alors on peut affirmer que l'hypothèse implique la conclusion, et que cette implication est elle-même supposée vraie. Il pose ainsi une relation entre la déduction (qui est une relation) et l'implication (qui est une opération). Il montre que démontrer, c'est supprimer une hypothèse pour en faire l'antécédent d'une implication.⁴

⁴ En des termes un peu plus explicites, si d'une hypothèse A supposée vraie, on peut déduire la proposition B - qui est alors également supposée vraie - alors on peut poser que $A \Rightarrow B$ est supposé vrai. C'est là ce que l'on appelle le théorème de la déduction, ou encore le théorème de Herbrand (1928 - loi que Tarski dit avoir trouvée indépendamment⁴) lorsqu'il est exprimé de façon un peu plus générale, par exemple sous la forme suivante :

Or l'implication⁵ est, comme toute opération entre deux propositions dans une logique classique à deux valeurs (V, F ou 1,0) est une suite de 4 cas. Notons l'hypothèse A et la conclusion B. Si $A = (1100)$, $B = (1010)$ alors le résultat de l'implication est $(=)(1011)$. L'implication n'est fautive que si A est vraie et B est fautive, dans tous les autres cas elle est

Si l'on appelle Γ un ensemble d'hypothèses

"A" une hypothèse particulière

« L » signifie "est déductible de", et est
"signe d'assertion"

appelé

alors on peut noter Γ, ALB pour dire que B est déductible des Hypothèses Γ et A.

Alors on peut démontrer le théorème suivant (dû à Herbrand) :

Si l'on a Γ, ALB , alors on peut en déduire $\Gamma LAZB$

On voit que $LAZB$ est un théorème (c'est-à-dire a été démontré) si l'on peut montrer que l'ensemble Γ est vide⁴.

Cela signifie que $LAZB$ est vrai dans tous les mondes possibles : il n'y a aucune restriction à sa propriété d'être supposée vraie. Si l'on se rapporte alors à la définition de la conditionnelle (voir le tableau plus haut), on comprendra pourquoi l'hypothèse A ne peut être que supposée vraie, et non pas être dite vraie : ce serait ne pas tenir compte des trois cas où la conditionnelle est vraie.

Il existe donc un rapport entre le tableau de la conditionnelle et la relation entre une hypothèse et les conséquences qui en sont déduites. Le théorème montre de suite que lorsque $LAZB$ est supposée vraie dans tous les mondes possibles, il n'est plus tenu compte de la seconde ligne du tableau, si bien que cette formule devient une relation. On peut alors écrire, d'une autre écriture, celle de la logique des prédicats du premier ordre : $(\forall x)(A(x)ZB(x))$ ou plus couramment $(\forall x)(axZbx)$, où $(\forall x)$ signifie "pour tout x" ou "quel que soit x". Cela ne veut pas dire - c'est une confusion fréquente dans l'interprétation des propositions universelles - que tous les objets du monde ou de la pensée x doivent se soumettre au principe $LAZB$, mais que, quel que soit $(\forall x)(axZbx)$ est vrai, même si ax est interprété de telle façon qu'il soit faux. On peut interpréter a comme le domaine de x , et b comme une propriété qui lui est attribuée ; la conditionnelle $(axZbx)$ est vraie même si x n'appartient pas au domaine. Si x est d'un domaine très éloigné de a , la proposition est vraie, mais n'a aucune importance ; par contre, si x est très proche de a , il peut arriver que l'on invente de nouvelles notions - autrefois confondues sous le label a . C'est là l'un des procédés courants de l'invention scientifique.

⁵ L'implication ou conditionnelle est l'un des 16 *opérateurs* qui combine des propositions deux à deux, de telle façon que l'attribution de la vérité ou de la fausseté aux propositions de départ donne un résultat à chaque fois déterminé quant à la vérité ou à la fausseté. Un opérateur est une application de $(VV)V$ (où $V = \{V, F\}$). L'implication ou conditionnelle se définit alors de la façon suivante pour deux propositions A et B: si A est vraie et B est vraie, alors l'implication est vraie; si A est vraie et B est fautive, alors l'implication est fautive; si A est fautive et B est vraie, alors l'implication est vraie; Si A est fautive et B est fautive, l'implication est vraie. L'implication n'est fautive que dans un cas, et reste vraie si l'antécédent A est faux. L'opération conditionnelle est vraie même si l'on n'a pas A, quelle que soit dans ce cas la valeur de B. C'est pourquoi Russell dit que la croyance en une proposition générale scientifique commence lorsque l'antécédent de la conditionnelle n'est pas avéré : le sens commun ne tient compte *grosso modo* que de la première ligne de ce tableau. Or, du point de vue de la conditionnelle, les première, troisième et quatrième lignes sont équivalentes, si bien que, hors les nécessités pédagogiques, rien ne sert de donner des exemples typiques, tel celui que nous avons rappelé plus haut, car ils supposent quelque part l'existence empirique des éléments qu'ils rapportent. C'est le sens commun qui généralise simplement les cas sur lesquels il se fonde, inconsidérément ou de façon bien fondée, et qui forme ainsi ses opinions. La démarche scientifique, qui généralise également souvent, est de ce point de vue intellectuellement plus subtile.

vraie, *même si A est fausse*. Si l'on fait une expérience, et qu'elle marche, il y a trois cas possibles, que rien ne distingue a priori, et c'est sur ces trois cas que travaille le scientifique (alors que le sens commun, ainsi que la vulgarisation suppose que dans une démarche scientifique, seul le 1^{er} cas est avéré. Par exemple, on peut enseigner au collège des démarches du type : prenons une barre de fer, chauffons-là, et nous pourrions observer un léger allongement. Mieux, et plus simpliste : certains ajoutent que l'on peut *répéter* l'expérience et que cela la rend plus objective. Cela est évidemment une vulgarisation très simpliste, et ne peut porter que sur des choses déjà acquises et bien connues, et non en recherche. Poincaré a formulé de façon beaucoup plus subtile ce dont il s'agit dans l'implication, en montrant bien que la formulation devait être du type : si A a toutes les propriétés connues de (par exemple de l'eau)... sauf celle qui est mise dans le conséquent B (par exemple le point d'ébullition), alors, si on atteint l'ébullition, trois cas peuvent en être la « cause ». Soit nous avons effectivement chauffé une substance qui a effectivement toutes les propriétés bien connues, etc..., ou alors, le cas le plus intéressant pour l'invention scientifique est le dernier : on n'a pas tout à fait les propriétés connues, le point d'ébullition n'est pas tout à fait, etc..., donc, dans les livres de physique, on a longtemps confondu deux substances sous le nom d' »eau«⁶. C'est là une cas tout à fait imaginaire, mais il montre la subtilité du problème. Actuellement au CERN, se monte une expérience pour tenter de décider s'il y a quatre ou cinq états de la matière, le problème étant de savoir si les phénomènes bizarres peuvent se réduire au cas classique (il y a 4 états de la matière) ou non (on acceptera alors que ces phénomènes tombent sous le dernier cas. Des physiciens du CERN m'ont dit que toutes les nouvelles particules (par exemple) se découvriraient par ce moyen. Dans de tels cas, la question de la répétition de l'expérience est beaucoup plus subtile que le suppose le sens commun (elle peut par exemple consister dans un suivi *informatique on line* de l'expérience, entre autres précautions).

⁶ Voici une formulation de Poincaré : H. Poincaré, *La Valeur de la science*, 1905, Garnier-Flammarion poche p. 164 : « Quand je dis le phosphore fond à 44°, je veux dire par là : tout corps qui jouit de telle ou telle propriété (à savoir de toutes les propriétés du phosphore, sauf le point de fusion) fond à 44°. Entendu ainsi, ma proposition est bien une loi, et cette loi pourra m'être utile, car si je rencontre un corps jouissant de ces propriétés, je pourrai prédire qu'il fondra à 44°. Sans doute, on pourra découvrir que la loi est fausse. On lira alors dans les traités de chimie : "il existe deux corps que les chimistes ont longtemps confondus sous le nom de phosphore ; ces deux corps ne diffèrent que par leur point de fusion". Ce ne serait évidemment pas la première fois que les chimistes en arriveraient à séparer deux corps qu'ils n'auraient d'abord pas su distinguer; tels par exemple le néodyme et le praséodyme, longtemps confondus sous le nom de didyme ».

La plupart des épistémologies des théories supposent que l'objectif de la science est de trouver ou d'élaborer, de découvrir ou d'inventer (selon les attaches philosophiques des auteurs) des lois. Tout le monde n'est plus d'accord sur cette question. Des biologistes ont bien montré leur désaccord sur cette question (par exemple Ernst Mayr), mais aussi des philosophes de la physique (Bas van Fraassen – *Manifeste au cas où il n'y aurait pas de loi* – dans *Lois et Symétrie* (1989), trad. C. Chevalley, Paris, Vrin, 1994).

Commentaire : Tous les développements précédents sont importants, pour comprendre que les démarches scientifiques, si elles supposent un réel= X , ou un objet réel, ne portent pas de façon brute sur lui. L'invention suppose ce « décollement » des hypothèses (transformées dans les démonstrations en antécédent de conditionnelles) par rapport à l'empirique pour augmenter nos connaissances. Cela, nous le verrons, sera toujours vrai pour les modèles et les méthodes de modélisation.

On voit que la notion de théorie est subtile, et on peut la prendre de bien des façons, soit en la tirant vers un système formel, une axiomatique, ou au contraire en évitant cela.

Qu'est-ce qu'un modèle⁷ ?

Qu'est-ce qu'un modèle ? Un modèle a été compris comme une interprétation vraie de la théorie. On construit une application mathématique entre les termes de la théorie et ceux d'un domaine d'interprétation. Le modèle est alors un objet formel, simplement plus concret que la théorie.

Ou alors, on conçoit le modèle comme « abstraction du réel » (expression qui n'a pas du tout la rigueur formelle de celui d'« interprétation vraie ») permettant à la théorie, s'il y en a une, de s'appliquer. On choisit des paramètres, on les mets dans une relation, on les confronte à ce qui est observé et expérimenté. Ces deux approches ont paru longtemps contradictoires. En fait, elles le sont tant que l'on fait de la théorie la notion centrale de l'épistémologie.

⁷ Pour se faire une idée de la façon dont les modèles ont pris leur place dans l'épistémologie, voir, Anne-Françoise Schmid, « L'extension épistémologique du concept de modèle », chapitre 4 de *L'Âge de l'épistémologie. Science, Ingénierie, Ethique*, Paris, Kimé, 1998, et Franck Varenne, *Les notions d'analogie et de métaphore dans les épistémologies des modèles et des simulations*, Paris, Pétra, 2006, dont la bibliographie sur les modèles est pertinente et récente.

Poincaré a montré que si l'on a un modèle mécanique pour un autre phénomène physique, alors on en a une infinité d'autres. On ne raisonne plus sur un modèle, mais sur une multiplicité de modèles dans beaucoup de domaines. La solution des problèmes concrets demande souvent une articulation de modèles qui proviennent de disciplines différentes. Cela rend complexes les représentations que l'on a des relations entre disciplines.

Il est alors possible de penser les modèles d'une façon qui est relativement autonome du concept de théories. Leurs relations ne sont plus seulement directes (interprétation vraie), mais il peut y avoir des articulations de modèles, des poly-formalisations – comme dit Franck Varenne —, dont les règles ne dépendent plus des théories. Nous reprendrons cela vers la fin du cours, mais je vais donner quelques indications générales qui nous conduisent vers une interprétation des modèles qui ne soient plus compris des « intermédiaires » ou des « médiateurs » (comme chez Morgan et Morrison⁸).

Une raison de fond à cette interprétation classique des modèles, répartis selon deux catégories contraires, c'est que les concepts avec lesquels on parle des sciences ne sont pas purement scientifiques, mais aussi philosophiques. Les concepts de vérité, d'objectivité, de réalisme, etc... sont des concepts philosophiques, c'est entendu, mais les concepts plus « techniques » de théories, de modèles sont eux aussi partiellement philosophiques, et sont mis dans des relations philosophiques par couples. La notion de théorie s'oppose en particulier à celle d'expérience, la seconde pouvant vérifier ou infirmer la première. C'est ainsi que l'on trouve à une certaine époque, vers la première moitié du 20^{ème} siècle, une quantité de textes cherchant à savoir si la théorie précède et informe l'expérience, ou si, au contraire, les termes de la théories proviennent de généralisations de l'expérience ou de l'observation..

Donc, lorsque l'on parle en termes de philosophie des sciences, on ne parle pas seulement de sciences, mais aussi de philosophie. Donc à chaque proposition, le départ entre le scientifique et le philosophique est lui-même complexe. C'est pourquoi il importe d'examiner les interactions entre philosophies et sciences, mais aussi celles que l'on pose habituellement entre théorie expérience, ou les fonctions médiatrices des modèles (ou de la simulation) entre théorie et expérience.

⁸ M. S. Morgan et M. Morrison eds., *Models as Mediators*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.

Comment décrire la cartographie des sciences ?

Il y a une carte articulée autour des théories, qui dépend des principes, des compatibilités. Poincaré en avait proposé une, toujours la même, dans ses ouvrages de philosophie des sciences : arithmétique, algèbre, analyse, géométrie, mécanique, physique mathématique, physique expérimentale. Celle-ci était organisée sous l'hypothèse que l'esprit contient le germe d'idées mathématiques (la possibilité de répéter une opération une fois qu'elle est possible, l'idée de groupe), et que l'expérience donne l'occasion de les développer. Une expérience seule ne fait pas la science, il faut une généralisation qui permette de mettre en rapport l'énoncé du fait et les mathématiques. Toute sa philosophie consiste dans les articulations entre ces deux pôles.

On peut faire une cartographie un peu différente, par grands domaines : mécanique, électromagnétisme, thermodynamique, chimie, biologie, etc... On sait par exemple que Maxwell a passé beaucoup de temps à chercher des modèles mécaniques pour les phénomènes électromagnétiques. Une telle démarche donnait plus de force à sa théorie, car elle pouvait aboutir à une forme de compatibilité. Mais il savait bien qu'un modèle suffisait, mais qu'il y en avait bien d'autres possibles (par là je prends parti pour l'interprétation de Poincaré, contre celle de Duhem, qui pensait que Maxwell cherchait juste une façon d'illustrer ses équations — c'est là, à mon avis, une incompréhension due à la différence des styles de travail en Angleterre et en France, telles que d'ailleurs Poincaré par exemple les décrit).

Les limites de l'épistémologie des théories

Cette carte des sciences permettait de faire une place aux modèles — du moins comme interprétations vraies des théories —, mais de façon limitée. Mais il y avait plusieurs problèmes. Déjà, dans un domaine bien établi, il y avait des modèles que l'on ne pouvait plus interpréter à la façon logique, en mécanique des fluides. Personne ne songeait à les mettre en doute, mais ils n'apparaissaient guère dans les ouvrages d'épistémologie.

a) La description du concret

D'autre part, dans bien des domaines scientifiques apparaissaient des objets que l'on ne pouvait plus décrire comme solution exacte des équations, en particulier en mécanique des fluides. Un écoulement lent (du miel dans un robinet) peut être décrit comme solution exacte des équations de Navier-Stokes, par contre un écoulement rapide (de l'eau dans un robinet) donne lieu à des variations de vitesse, les turbulences, qui ne peuvent être décrites directement par l'équation. Il faut un ajout théorique, l'analyse dimensionnelle, qui nous assure que ce que nous faisons sur un modèle « réduit » pourra être transposé sur l'objet final (par exemple un pont ou un avion). Enfin, il faut un dispositif expérimental de soufflerie, des méthodes de simulations, etc. dans ce cas, les modèles ont été conçus alors que la théorie n'était pas « complète » et ne pouvait pas décrire tous les phénomènes observés. Mais ce type de modèles, connus dès le début du 20^{ème} siècle, on mis du temps à remonter dans l'épistémologie.

Plus un objet est « concret » (= proche de l'observation), plus il est nécessaire de disposer d'une modélisation, c'est-à-dire une articulation de modèles, d'origine disciplinaires parfois différentes, pour décrire ces objets. Voulait-on décrire l'architecture d'une plante, il y fallait de l'embryologie, de la physiologie, de la génétique, etc., Une théorie unifiée ne paraît alors pas possible. Elle le reste sans doute dans certains domaines. Mais on ne peut plus espérer une théorie unifiée de toutes les sciences à partir de l'une d'entre elles. Le problème de l'unité des sciences se pose aujourd'hui autrement.

b) les sciences de l'ingénieur

D'autre part, toutes les démarches scientifiques ne demandent pas, du moins au premier chef, vérification ou réfutation. Il y a bien entendu toujours des aspects de vérification, de réfutation, etc..., mais ce ne sont pas toujours les procédures principales, celles qui doivent être prises pour critère. Tout ce qui est « conception », c'est-à-dire invention orientée en fonction d'un objectif, n'a pas pour critère la vérification, même si les concepteurs font souvent des vérifications. Les vérifications n'y sont d'ailleurs pas toutes expérimentales. Elles consistent aussi à s'assurer que les hypothèses sur lesquelles reposent les modèles sont compatibles avec les connaissances fondamentales ou théoriques. On s'aperçoit alors que bien des domaines ont été tenus à l'écart de l'épistémologie. Je pense ici aux sciences de

l'ingénieur, où la conception est plus importante que la théorisation ou l'expérimentation. Avec la modélisation, on peut supposer que les méthodes des sciences de l'ingénieur pourront avoir de l'importance dans presque tous les champs scientifiques. Ce que l'on appelait autrefois l'application, ou les sciences appliquées – expression qui se trouve dans le nom de l'institution où je travaille —, deviennent un problème fondamental, et non plus dérivé.

Tous ces éléments nous conduisent à complexifier la cartographie des sciences. La carte par domaines est surimprimée par une autre, plus flexible, des relations entre les disciplines au travers des modélisations.

Les nouvelles fonctions de la théorie :

Cela donne une nouvelle fonction aux théories : celle de valider la construction de modèles. On s'aperçoit alors de leur épaisseur. Elles ne fournissent pas seulement des règles de calcul et de prédiction pour certaines classes de phénomènes (délimités indirectement par les axiomes), mais elles ont une valeur régulatrice, des règles de pensée si l'on veut. J'ai vu des collègues biologistes qui pensent par exemple que la théorie de l'évolution est une théorie comme une autre, d'autres qui affirment qu'elle est une méta-théorie permettant une unification des faits biologiques ou encore des diverses disciplines de la biologie. Il me semble que l'on peut accepter l'une et l'autre idée. La relation des concepts et des lois aux phénomènes n'est pas simple, cela, toute l'épistémologie nous l'a appris. Seules nos habitudes intellectuelles peuvent nous faire croire que pour certains domaines cette relation est plus directe. Cela signifie aussi que l'on ne peut réduire les théories à leurs relations aux faits qui leur sont pertinents, mais aussi à d'autres théories ou fragments théoriques. L'importance des théories est donc majeure, mais il n'est plus nécessaire qu'elle soit au centre de l'épistémologie, au sens où le rapport entre les concepts ne doit plus être une relation hiérarchisée, sauf, évidemment, dans l'examen des conjonctures. Mais ces hiérarchies sont mobiles, variables, etc.

Cela permet de rendre compte d'autres pratiques scientifiques que de celle par théorie.

Tout se passait comme s'il s'agissait d'élargir les concepts d'origine de la mécanique à des disciplines autres que la mécanique, et à des logiques qui ne sont plus tout à fait celle de la méthode hypothético-déductive, par exemple.

Epistémologie de la modélisation

C'est une épistémologie qui rend compte d'une forme d'autonomisation des modèles par rapport aux théories, qui permette des relations mobiles entre disciplines en fonction d'un objectif, d'un objet à construire. Epistémologie des modèles, de leur construction, de leur articulations, etc... C'est une épistémologie qui donne sens à l'interdisciplinarité et à l'examen des objets complexes. Dans un premier temps, ces réflexions se trouvaient éparpillées dans les articles scientifiques, comme une sorte d'épistémologie silencieuse. En France, il y a maintenant un certain nombre de travaux, parfois liés à des thèses philosophiques, qui mériteraient discussion— par exemple que les modèles seraient de l'ordre du langage ou de la pragmatique (Dahan-Dalmedico & Armatte⁹). Mais ce décalage a eu d'autres effets, que l'on s'est précipité trop vite sur le concept de « technologie », dont je ne nie pas l'importance, mais il a fait partiellement obstacle à une épistémologie de la modélisation et de la simulation. La France y revient progressivement, à travers notamment des auteurs américains. Il faudrait reconstruire tout cela, en tenant compte des travaux de chacun, en France aussi. Il y a donc beaucoup à faire en épistémologie, et c'est une bonne nouvelle.

Il y a diverses définitions de la complexité, mais, du point de vue de l'articulation des modèles, on appelle complexe un phénomène qui demande plusieurs disciplines pour sa description. C'est un cas de plus en plus courant. Jean-Marie Legay pensait que Descartes avait raison d'opter pour le simple en son temps, que ce n'était pas du tout une décision naïve, mais que, actuellement, il faut opter pour le complexe¹⁰. Cela suppose que l'on ne peut plus

⁹ Michel Armatte et Amy Dahan-Dalmedico, « Modèles et modélisations, 1950-2000 : nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », *Revue d'histoire des Sciences*, tome 57, volume 2, juillet-décembre 2004.

¹⁰ Jean-Marie Legay, *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*, Paris, INRA, 1997. Ou encore Jean-Marie Legay et Anne-Françoise Schmid, *Philosophie de l'interdisciplinarité. Correspondance (1999-2004) sur la recherche scientifique, la modélisation et les objets complexes*, Paris, Pétra, novembre 2004.

s'appuyer sur l'évidence, que l'on ne passe plus par le schéma hypothèse déduction confirmation, qu'il n'y a plus toujours de groupe témoin, etc...

L'histoire particulière de la philosophie française devant la modélisation

Cette situation avait provoquée une sorte de crise en France entre certains philosophes et des scientifiques pratiquant la modélisation. Cette crise a marqué l'histoire française de la modélisation.

- 1) Replaçons-nous vers les années 1970. Alain Badiou, qui est le philosophe qu'on connaît, écrit un petit livre *Le Concept de modèle. Introduction à une épistémologie matérialiste des mathématiques*, où il soutient que le seul bon usage des modèles est celui qui a cours en logique mathématique, c'est-à-dire modèle comme interprétation vraie d'une théorie ou d'un langage formel. Tout autre usage du concept de modèles est idéologique, et sert à faire passer pour scientifiques des projets qui ne le sont pas — il s'agit toujours bien de critère de scientificité. Dans la foulée, il fait une critique très vive de Claude Lévi-Strauss.

- 2) À peu près au même moment, et dans la même mouvance, Louis Althusser dans *Philosophie et philosophie spontanée des savants (1967)*, édité en 1974, s'oppose au concept d'interdisciplinarité, comme idéologique, conduisant à des contradictions, etc...

Ces deux critiques n'ont de sens que dans une épistémologie basée sur la théorie. Dans cette perspective, elles se comprennent assez naturellement. Mais c'était une projection philosophique de concepts organisés à l'occasion d'une conjoncture scientifique très différente.

Le biologiste français, Jean-Marie Legay, a tiré en son temps l'épistémologie de ces difficultés en proposant une thèse épistémologique très libératrice, qui était que les modèles ne sont pas des *représentations*¹¹. Cela permettait d'éviter les difficultés soulevées par Alain Badiou et Louis Althusser. Penser les modèles comme représentations est un obstacle complet à toute poly-formalisation.

En Amérique, lors de la guerre froide, la question a été résolue de façon beaucoup plus pragmatique, par les *think tank* (voir Peter Galison¹² et Amy Dahan-Dalmedico & Dominique Pestre) : la défense se donnait des objectifs et formait des groupes de réflexion interdisciplinaires, mathématiques, informatique, balistique, systèmes hommes-machines, etc..., et construisait des modèles en fonction de ces objectifs. Ces méthodes (quoi qu'on pense de leur origine militaire) ont eu du mal à s'imposer d'un point de vue scientifique en France.

De nouveau, on voit l'importance épistémologique de Poincaré. Dans la « carte » qu'il avait construite (il aimait d'ailleurs les cartes et les schémas, comme l'a fait remarquer Peter Galison, *L'Empire du temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré* (2003), Folios Essais, Paris, 2005), il laissait la place à toutes les relations possibles entre les disciplines. Beaucoup de ses idées novatrices résultent d'ailleurs de mises en relation entre disciplines différentes, par exemple son idée de mécanique algébrique.

Unification des épistémologies (le problème du début)

Il importe de faire une épistémologie qui tienne compte de ses acquis, mais aussi des pratiques contemporaines de la science. Il faut unifier les épistémologies des théories aux épistémologies de la modélisation et de la simulation.

Pour cela, il faut admettre que toutes les descriptions épistémologiques des sciences sont indirectes. Cela a une conséquence importante. On pensait que la philosophie des sciences pouvait prendre pour objet (direct) les sciences. Que la lecture de textes scientifiques pourrait

¹¹ Pour une argumentation en ce sens voir l'article « Modèle » de Jean Goguel (ingénieur des Mines) dans *l'Encyclopedia Universalis* – c'est un magnifique article, qui est resté trop peu remarqué, mais qui pose des questions fondamentales.

¹² Peter Galison, *Image and Logic*, Chicago, The Chicago University Press, 1997.

nous livrer le secret d'un critère. Que l'on puisse généraliser ce que l'on observait sur un fragment de science sur les autres disciplines. Toutes ces idées ont d'ailleurs donné lieu à quantité de distinctions intéressantes.

Ce sont ces hypothèses générales que les pratiques nouvelles des sciences obligent à modifier.

Mais actuellement la situation est plus complexe. Il ne s'agit plus seulement de critiquer la « philosophie spontanée des savants », mais celle aussi des philosophes des sciences et des philosophes. La spontanéité signifie ici que l'on croit pouvoir généraliser directement des sciences aux philosophies. Vouloir faire de la philosophie des sciences au sens « spontané », pour reprendre le terme d'Althusser, conduit finalement à vider le concept de science de son sens, comme nous l'avons vu, pour aboutir à un scepticisme sur les sciences, à un relativisme où l'on suppose que ni les sciences ni les philosophies ne peuvent être caractérisées, si ce n'est comme phénomènes sociaux.

Ma position est la suivante. Par hypothèse, « il y a » de la science, il y a de la philosophie, il y a de l'éthique, il y a de la « technologie » et la modélisation nous permet de réarticuler des liens entre ces « domaines ». Ou encore : il y a des sciences, il y a des éthiques, il y a des techniques, et, moins banalement, il y a des philosophies. Le problème n'est plus seulement celui de la philosophie des sciences, mais des relations entre philosophies et sciences, les deux au pluriel. Il ne s'agit plus de philosophies réduites à des thèses dans l'épistémologie, mais de nouvelles interactions entre philosophies et sciences.

L'hypothèse fondamentale d'une telle démarche est que le réel précède la pensée, qu'elle soit philosophique ou scientifique. L'unité de la philosophie et celle de la science peuvent être comprises comme leur identité. Il ne s'agit plus du tout d'unifier à partir d'une conception épistémologique particulière, mais d'un rapport indirect, ou, comme dit François Laruelle, de dernière instance au réel.

Dans une épistémologie de la modélisation, on peut investir des thèses considérées comme opposées dans une épistémologie des théories. Ce n'est ni la fin de la philosophie des sciences, ni celle de l'épistémologie ! certains concepts généraux de la philosophie des sciences pourraient servir, dans l'étude de conjonctures, scientifiques, de modèles d'application pour des distinctions plus fines de l'épistémologie. C'est une sorte de modélisation de la philosophie des sciences et de l'épistémologie. Bref, une épistémologie qui saurait qu'elle travaille sur des représentations de la science, et non directement sur les

sciences elles-mêmes. Pour cela, il faut une conjonction de disciplines, qu'il y ait des praticiens des sciences (cela c'est institutionnellement acquis), mais aussi des personnes connaissant et pratiquant les philosophies contemporaines (dans le système français, c'est beaucoup plus rare), des personnes connaissant l'éthique, la technique, la conception, etc... Que l'on soit capable aussi de faire un état de l'art (pas seulement un historique des doctrines...), permettant de donner sens à des collaborations et à l'interdisciplinarité, où la philosophie ait sa place propre, sans porter directement sur les sciences. L'un des problèmes en France est que les épistémologues n'ont souvent pas assez de connaissances de la philosophie contemporaine. Il y a plusieurs causes à cela, la première étant que dans l'enseignement universitaire, la philosophie est identifiée à l'histoire de la philosophie. L'autre est que de nombreux épistémologues sont d'origine scientifique, ce qui est heureux, mais n'ont par conséquent il leur est difficile de connaître les philosophies contemporaines. De plus, la mode en épistémologie est de tenir compte de philosophies anglo-saxonnes et de mépriser ce qui vient de France. Cela rend difficile l'étude des interactions entre philosophies et sciences. Il faudrait une véritable multiplicité et une interdisciplinarité dans l'épistémologie et dans la philosophie des sciences.

Or il y a des différences entre les ordres de savoirs, et poser des continuités trop rapides conduit à comprendre le concept universel de science comme sortant d'une conjoncture historique particulière. Il y a une unification possible, par le simple fait que les sciences se rapportent au réel.

Epistémologie « quantique » ou « non-épistémologie »

On pourrait parler d' « épistémologie quantique », au sens où elle ne porterait pas directement sur les objets, mais sur les opérations qui permettent de les construire. Ce serait aussi le témoignage qu'une discipline scientifique peut changer la donne dans une description des sciences, fût-elle indirecte. D'autres termes seraient possibles, à conditions qu'ils fassent voir qu'il ne s'agit pas d'une approche exclusive. J'ai parlé aussi dans un autre contexte de « non-épistémologie », qui, parallèlement à la « non-philosophie », est une généralisation de l'épistémologie et de la philosophie des sciences, mais avec la contrainte qu'elles perdent leur pouvoir de porter directement sur les sciences. On peut alors faire usage des concepts de la philosophie des sciences et de l'épistémologie, sans que l'opposition des thèses soit pertinente – cette opposition découle de la forme de continuité que l'on pose entre les sciences et les

généralisations philosophiques. Ainsi, la philosophie des sciences n'est pas dépassée par l'épistémologie. Ses concepts généraux peuvent servir de modèles d'application pour ceux, plus techniques et locaux de l'épistémologie.

Chapitre 2 — La série « technologie »

Reprenons la question de la description du concret, déjà abordée dans la série précédente.

Les phénomènes scientifiques récents

Toute une série de phénomènes se greffent à ce souci de la description et de la transformation du concret, et dont nous allons voir qu'elles demandent de réfléchir à la distinction des frontières disciplinaires.

Il y a les sciences génériques qui se multiplient. Des sciences qui relèvent d'une discipline particulière, mais qui trouvent leur application partout où leur « objet » importe. Par exemple, la tribologie (sciences des frottements) relève de la mécanique, mais travaille à tous les problèmes, quel que soit leur « domaine » où le frottement a quelque pertinence. On peut traiter l'informatique ou les mathématiques de sciences génériques (quoiqu'il y ait d'autres interprétations).

Il y a des technologies génériques (nanotechnologies). Les nano-technologies ont ceci de nouveau qu'elles n'imposent qu'un ordre de grandeur (10^9 puissance moins 9), et non une discipline de base : la mécanique, l'électricité, la chimie, la biologie, etc., vont pouvoir y prendre part, et parfois, modifier leurs relations aux mathématiques, vu le changement d'échelle. Là aussi, la question des limites entre disciplines se rejoue sous une nouvelle forme.

Il y a des technologies convergentes, NBIC, 2002 : Nano—Biologie —technologies de l'Information — sciences Cognitives. Un plan du National Found américain encourage la convergence systématique de disciplines dont on voyait se dessiner plus empiriquement les convergences. D'un point de vue scientifique, c'est une modification importante. Si l'on se met au niveau des théories, la relation qui apparaissait la plus structurante étant l'analogie ; si l'on se met au niveau des nouveaux programmes de recherche, ce sont évidemment les convergences qui importent. À mon avis, les analogies restent importantes, mais elles se déplacent, et concernent les liens des modèles aux théories, nous le verrons également dans la série « modélisation ».

Toutes ces pratiques des sciences et des techniques outrepassent une épistémologie des théories, parce que leur normalité est d'être pluri- ou interdisciplinaires. Les modèles et la modélisation doivent prendre leur place.

Philosophie des sciences génériques et sens commun

On peut remarquer que les objets « concrets » construits dans la perspective de la complexité, grâce à des démarches interdisciplinaires paraissent plus proches du sens commun. La science, à certains égards, simule le sens commun. Nous devons faire très attention, car l'opacité de la théorie au sens commun qui nous en protégeait et donnait un sens à la coupure, n'est plus pertinent pour caractériser les sciences contemporaines, il faut donc se donner des moyens de rester très vigilants dans les différences entre science et sens commun. Avec l'interdisciplinarité et la complexité, tout se passe comme si il y avait une confusion continue entre les sciences et le sens commun. La question de l'environnement en est l'un des témoins. Tout le monde a maintenant dans sa poche une planète Terre avec des préoccupations écologiques, mais sont-ce les mêmes que les scientifiques ? Les associations de malades sont parties prenantes de la recherche médicale, on le sait de mieux en mieux. Qu'est-ce qui distingue leur savoir de celui des chercheurs ? Comment cette différence est-elle gérée et par les chercheurs, et par le sens commun, dont celui des chercheurs ? La même ambiguïté existe avec la politique. Lorsque l'ex-président de la France déclare que les points-clés de la recherche sont l'eau, le cancer, l'environnement, est-ce une déclaration politique ou de politique scientifique ? Le sens commun de la politique se mélange avec les définitions des objectifs de la recherche. C'est sur ces ambiguïtés que la question des relations entre science et sens commun se joue, mais elles ne peuvent à elles seules expliquer ces difficultés. Nous avons changé presque insidieusement de couple de référence, et du positivisme et de ses avatars, nous passons à une discussion du réalisme. Ce n'est pas seulement un changement de métaphysique, une réapparition de la métaphysique dans la philosophie des sciences, mais aussi un changement dans les pratiques scientifiques.

Ce qui change, c'est que les relations entre fragments de théories dans la description du concret deviennent la règle. Beaucoup de fragments de théories servent de morceaux structurels pour des problèmes définis partiellement par d'autres fragments. Par exemple, si l'on veut rendre compte du développement d'une plante, il y faudra des mathématiques, de

l'informatique, de la physiologie, de l'embryologie, de la génétique, etc. Aucune de ces disciplines n'apparaîtra dans son entier dans la description de l'objet, chacune devra trouver un mode d'articulation aux autres qui ne dépende pas directement de ses caractéristiques théoriques.

On connaissait déjà des « sciences génériques », dont la caractérisation est d'intervenir dans toutes les disciplines où le problème qu'elle permet de résoudre se pose. Par exemple, la « tribologie » augmente sans doute les connaissances en mécanique, qui est sa discipline d'origine, mais elle sert avant tout de fragment de science permettant de résoudre les problèmes de frottement dans toutes les dimensions théoriques où ils peuvent se trouver. Il y a sans doute des perspectives où l'on pourrait traiter de sciences génériques certains aspects des mathématiques ou de l'informatique.

Avec le concret, en particulier avec la précision que peut apporter l'ordinateur, il est possible de généraliser cette approche du générique, en posant que, selon les occasions, tout fragment de sciences peut être utilisé comme générique pour un autre. Les relations entre les sciences sont alors profondément modifiées et multipliées. Lorsque l'on arrive à ce stade, le singulier n'est plus une combinaison des universaux, mais une singularité mise en rapport indirectement avec les autres ingrédients de la science. D'un point de vue pratique, cette différence est perceptible. Par exemple une prothèse faite selon les règles classiques est fabriquée au mieux des connaissances, et la jambe devra s'y adapter. Lorsque l'on arrive à élaborer l'identité de cette blessure concrète, on peut alors faire une prothèse qui s'adapte à la jambe. Cela ne signifie pas qu'il n'y ait plus de relation entre l'identité d'un problème et les universaux, mais ces relations sont profondément changées. Cette identité ne peut être expliquée par l'extension d'une théorie que l'on particularise. Cette question avait bien été vue par Popper et par Laudan, qui avaient tous deux souligné l'importance du problème dans la pratique scientifique, mais ils en étaient restés l'un et l'autre à une épistémologie organisée de façon principielle par la théorie. L'unité de l'ordre de grandeur épistémologique change, il n'est plus nécessairement le rapport théorie/fait, ou plutôt, il y a une variété d'ordre de grandeur épistémologique. L'opposition positif/spéculatif n'est plus la seule à articuler les relations entre le donné et le construit. Le « grain » de la science n'est plus seulement le fait. C'est l'attachement implicite à ce couple qui, en France, a organisé l'opposition contre la modélisation et l'interdisciplinarité.

Il nous faut donc une philosophie des sciences génériques. Elle ne se substitue pas à la philosophie des sciences classiques, mais la complète de façon à défaire les hiérarchies qui font obstacle à la compréhension des sciences contemporaines. Il faut conserver les distinctions classiques, mais en les rendant plus mobiles, en les mettant dans de nouvelles combinaisons. Cela suppose une épistémologie capable de reconstruire des liens entre des espaces apparemment éloignés des sciences, une épistémologie flexible.

Pour cela : épistémologie qui ne porte pas directement sur les objets, mais sur les opérations sur les objets, une sorte d'épistémologie quantique. L'unification de l'épistémologie des théories et de celle de la modélisation suppose un tel passage. Il y a une sorte de dissociation entre l'épistémologie et ses objets qui n'entraîne pas une moindre objectivité des sciences, mais une critique de l'objectivité comme ne passant que par la validation de la théorie.

Quel est le statut d'une telle épistémologie ? Celui d'être une sorte de nouveau sens commun permettant les passages entre fragments séparés de sciences. Plutôt qu'une philosophie des sciences, elle sera une philosophie des interactions possibles entre philosophies et sciences, les deux au pluriel. L'épistémologie est le sens commun nécessaire en régime de spécialisation et de complexification des sciences et de ses interactions aux autres savoirs. Elle accompagne les sciences, mais elle tisse aussi des liens avec les philosophies, les éthiques, la technologie. L'épistémologie est une sorte de plan à plusieurs dimensions permettant de démultiplier les perspectives des sciences et sur les sciences. Franck Varenne a montré dans sa thèse d'histoire des sciences contemporaines comment les scientifiques expriment leur épistémologie lorsqu'ils modélisent ou qu'ils simulent. Ces pratiques supposent des choix continus, qui demandent d'exprimer au moins partiellement son épistémologie. Celle-ci devient un outil nécessaire dans la pratique des sciences elles-mêmes.

Nous faisons l'hypothèse que la science est ce qui rend compte du réel par des moyens multiples, théories, lois, concepts, calculs, modèles, simulations, de telle façon que ces derniers ne se confondent jamais avec lui — cela distingue déjà la science de la philosophie.

Que dire alors du sens commun ? Lui aussi, est capable de se modifier, il est d'une certaine manière le minimal qu'admettent les disciplines, une sorte d'invariant minimal, dont les dimensions ne sont plus simplement les faits face aux théories, mais toutes les disciplines. D'une certaine façon, il accompagne partout les sciences. Qu'est-ce qui les distingue d'elles ? celles-ci rendent compte du complexe par des modélisations qui dérivent de théories multiples. Elles doivent donc distinguer, ce que le sens commun réunit synthétiquement. C'est entre une synthèse spontanée et une fiction analytique que se fait la différence entre science et

sens commun. Reprenons l'exemple de l'environnement. Le sens commun, recevant des informations par exemple sur l'état de la mer, en tirera un certain nombre de conséquences sur l'avenir et sur les actions à faire ou ne pas faire. Le scientifique lui, ne pourra se contenter d'un scénario d'avenir, comme le fait très facilement le sens commun. Il lui faut multiplier les modèles, de nature et de taille différentes, tenter de construire quelques traits pertinents permettant de proposer des interprétations. C'est devant la multiplicité de modèles et de scénarios que le scientifique doit se débrouiller, en posant de nouvelles hypothèses. C'est une différence difficile à mettre en œuvre. D'une part, les scientifiques sont de plus en plus engagés dans des actions de conservation – qui ne sont en principe pas leur occupation —, ils doivent trouver une attitude entre le scepticisme face aux persuasions du sens commun et leurs engagements. On a vu toutes ces hésitations autour de ce que l'on appelle le « changement climatique », certains d'entre eux prenant ce terme comme une trace du sens commun, et d'autres voyant dans ce scepticisme une nouvelle sorte de négationnisme ! Les difficultés du rapport du sens commun et de la science ne se jouent plus sur les aspects incompréhensibles de la science par le profane, mais plutôt par les mélanges continus entre opinions et modèles auxquels donnent lieu les objets complexes. Ces objets participent de la philosophie, de l'éthique, du sens commun. Cela ne signifie pas qu'ils soient tout cela indifféremment. Sur des mélanges, on a le droit de faire des hypothèses analytiques, qui permettent les distinctions. Mais cela ne donne pas d'évidence empirique à ces distinctions.

Ces quelques réflexions sur les modifications avec l'épistémologie des modèles des relations entre science et sens commun montrent que la question des problèmes éthiques devra construire ses relations à ce nouveau sens commun.

Le concept de « technologie »

Mais l'histoire ne s'est pas passée ainsi, le concept de « technologie » — dont nous ne nions pas l'importance — a pris la place d'une épistémologie des modèles.

Que signifie le terme de « technologie » ? On le présente en règle générale comme une synthèse indécidable entre science et technique sous l'horizon de l'économie, de la politique, du militaire, etc...

Qu'est-ce que cela signifie ? On avait des sciences, universelles et publiques (elles s'enseignent et se publient), des techniques, locales et souvent secrètes (on articule un ensemble d'éléments hétérogènes en un « tour de main », qui se transmet de patron à ouvrier, de mère en fille, etc..., et qui donne lieu souvent au secret.

Quelle différence entre un objet technique et un objet technologique (au sens contemporain) ? Un objet technique est le résultat d'articulations d'éléments hétérogènes, accompagnée en général de discours, qui l'intègrent socialement, professionnellement, etc. Sur un objet technique que vous ne connaissez pas, vous pouvez faire des hypothèses sur son usage. Vous pouvez raisonner sur un marteau, un stylo, une machine à coudre classique, etc., et, à partir de la forme, de la composition, vous faire une idée des types d'usage possibles. Il existe évidemment une marge d'erreur, mais il y a peu de chances que vous imaginiez exactement les mêmes usages pour le marteau et le stylo, même si l'ordre de grandeur est sensiblement le même (la main).

Sur des objets technologiques, de telles hypothèses ne sont plus pertinentes. De tels objets sont eux aussi le résultat d'articulation d'éléments hétérogènes, mais certains de ces éléments ne sont plus du bois ou du métal, mais un fragment de science, de design, de psychologie, une articulation de disciplines pratiques et théoriques dans la même configuration. Regardez un ordinateur : vous ne pouvez plus en raisonnant sur son aspect faire des idées pertinentes sur ses (nombreux) usages, vous ne pourrez plus trouver que des analogies partielles (écran, clavier), qui le rapprochent de telle autre technique. De plus, si vous démontez l'ordinateur, vous ne pourrez pas faire deux tas distincts de ce qui vient de la technique et de ce qui vient de la science (mécanique quantique, électronique, etc.). D'autre part, de tels objets ne peuvent plus être vus comme continuité de la main, du cerveau, etc (c'est un point qui a été beaucoup discuté). Vous pouvez faire des raisonnements tout à fait analogues sur la télévision. Rien de sa forme ne pourra vous dire que l'une de ses fonctions est d'introduire la culture sociale dans la culture familiale, etc. Si vous la démontez, vous ne pouvez plus distinguer ses éléments techniques, scientifiques, de design, etc.. c'est un ensemble de fonctions intégrées, ce que la voiture « twingo » devient aussi (voir ses publicités, qui révèlent une gestion de type nouveau de sa conception).

Or, la technologie n'est pas seulement une transformation de la technique, mais aussi celle de la science. Si vous vous promenez au CERN et dans ses trous d'expérience, vous y trouverez de la technique (marteau, colle, bouts de bois, etc...). mais vous y trouverez de gros

ordinateurs avec des milliers de fils (une seule erreur de connexion coûterait des sommes difficilement imaginables), ces ordinateurs permettant à la fois le suivi *on line* de l'expérience, son analyse et sa préparation. Vous y trouvez du béton (à la fois soutien et protection contre les « rayons »), de grosses machines (détecteurs, qui sont à la fois de la technique et de la science), très souvent de très gros champs magnétiques), un accélérateur de particule (qui suppose tout de sortes de techniques, de la géodésie, des bilans énergétiques, etc.). C'est ce qu'on appelle la « science lourde ». Une telle science a la particularité de coûter extrêmement cher, et de demander la collaboration internationale pour sa poursuite (de même les « tokamak » - dans lesquels on fabrique du plasma. Certains télescopes ou miroirs paraboliques, des techniques de fusion (ITER), sont aussi dans ce cas). Ces collaborations demandent de plus en plus de monde et de plus en plus de temps : on peut mettre ensemble au CERN une centaine de physiciens pour une expérience qui dure plus de 15 ans, c'est-à-dire plus que la longueur de trois thèses. Pour ITER, ce sera une cinquantaine d'années.

Dans toutes ces sciences, l'idée générale est que leur continuation serait impossible sans le soutien politique, économique, militaire, etc..., si bien que l'image classique des sciences s'inverse. On ne voit plus la science comme source d'« applications » (nous verrons que ce terme est actuellement à juste titre critiqué), mais les conditions sociales, économiques et militaires d'application comme la condition de continuation de la science. La science devient un « nœud » dans un complexe, la science « pure » une sorte de bulle rare dans un faisceau de conditions hétérogènes, réglées non seulement par le jeu de règles pratiques, mais par les relations entre disciplines scientifiques hétérogènes sous l'horizon de l'économie, la politique, la société, la défense, etc...¹³

Technologie et épistémologie

Cette image de la science converge avec le « résultat » de l'épistémologie, que l'on n'a finalement pas de critère pour distinguer la science de ce qui n'est pas science (et voudrait éventuellement se faire passer pour telle). La technologie se prête bien aux *Social Studies*, études sociales de la science, comme un fait social qui ne se distingue pas en nature des autres, juste par un langage spécialisé, l'usage des mathématiques (qui est plus spécifique que celui de l'informatique), etc... Dans tous ces cas, on ne sait plus distinguer science, économie,

¹³ Sur le concept de technologie, ses soubassements philosophiques et les technologies contemporaines, on peut lire Bernadette Bensaude-Vincent, *Se libérer de la matière ? Fantasmies autour des nouvelles technologies*, Paris, INRA, 2004.

techniques, social, politique, économie. La science semble pouvoir se prolonger dans tous les sens, et elle est devenue, après la seconde guerre mondiale, en enjeu stratégique et économique international. Les Etats organisent la science, la financent (CNRS, ANR –Agence Nationale de la Recherche, etc.), partagent l’enveloppe — toutes choses qui ont donné lieu aux manifestations de chercheurs et à leur organisation (« Sauvons la recherche » avec Bertrand Monthubert, Pierre Tambourin) ces trois ou quatre dernières années en France. Le « scientifique » (qui n’est plus nécessairement un « savant »), ne consacre plus sa vie à la recherche, mais aussi à son organisation (montages de laboratoires, qui sont remis en jeu tous les 4 ans, moyens pour les données, relations entre laboratoires publics et privé, sur la région, la nation, l’Europe et l’international, recherche de fonds, réponse à des projets, relations scientifiques et politiques, etc. On peut dire que ces deux dernière années encore, les conditions de la mise en œuvre de la recherche a encore changé. C’est une réadaptation continue, qui fait que ceux sur lesquels repose la recherche proprement dite sont les doctorants et les « post-docs ».

Comment alors distinguer la « science », les sciences, de ce réseau complexe ? Beaucoup d’épistémologues raisonnent comme si on ne pouvait expliquer le complexe que par le complexe – ce qui est une façon de devenir « relativiste », comme je l’ai déjà suggéré dans la première « série ». Elle peut toujours être continuée par d’autres moyens, ou reproduites par d’autres moyens, dont elle dépend finalement.

Technologies et sciences

Nous pensons que sur ces mixtes et mélanges de sciences, d’économie, de *design*, de commerce, de défense, on peut raisonner autrement, et faire des hypothèses pour comprendre ces mélanges (ce qui aboutirait à autre chose que le relativisme ambiant).

- 1) La recherche scientifique ne consiste pas dans ces continuations indéfinies, comme le suppose le concept de technologie. Un scientifique ou un ingénieur travail avec des contraintes finies, dans des problèmes qui sont formulés de telle façon à avoir des solutions possibles. Il ne travaille pas avec des contraintes indéfinies, prolongeables indéfiniment sous diverses formes, etc... Le travail scientifique, même pris dans des

réseaux, ne procède pas selon les ressorts de la technologie. C'est là une première hypothèse.

- 2) La technologie serait alors la façon dont les éléments de la science seraient engagés dans les réseaux d'économie, de stratégie, etc..., mais ce n'est pas la même chose. En cela, le concept de technologie est extrêmement utile, mais il faudrait le laisser dans cet usage.
- 3) On peut alors faire une hypothèse sur la généalogie du concept de technologie. Les conditions de réalisation de la science étant fondamentales pour la continuation de la science. C'est que l'épistémologie, dans ses difficultés (voir la série « épistémologie ») a vu dans une généralisation et une intensification du pôle « expérience » la condition du pôle « théorie », dans le jeu de contraire entre les concepts de théories et d'expérience, dans leur jeu philosophique en contraires dans l'épistémologie¹⁴.
- 4) J'en tire la conséquence suivante, qui décrit passablement bien certains aspects de la conjoncture actuelle. La philosophie de la technologie est la continuation normale de l'épistémologie lorsque celle-ci ne sait plus identifier la science par ses critères. Lorsque les représentations sur les sciences ne suffisent pas, on peut les compléter par des descriptions plus technologiques.
- 5) Ces descriptions peuvent être très intéressantes, mais elles manquent quelque chose du travail scientifique, que l'on pourrait décrire sous le label de « épistémologie de la modélisation ». Bien entendu, les philosophes des sciences n'ignorent pas ce qui a été fait aux USA, que j'ai déjà cité (Morgan et Morrison, Galison, etc...), mais qu'ils voient dans leurs rapports à une épistémologie des théories (les modèles sont alors des intermédiaires entre théorie et expérience, la simulation une nouvelle fonction entre théorie et expérience, etc... ce qui peut arriver, mais ne permet pas d'expliquer la « carte » des savoirs dans sa complexité actuelle. La série « technologie » importe, elle permet de rendre compte de beaucoup d'aspects des nano-technologies, de la fabrication des nouveaux matériaux, matériaux intelligents, des convergences technologiques, mais elles ne touchent pas la façon dont les scientifiques travaillent effectivement, par modélisation et conception.

¹⁴ Ces hypothèses se trouvent déjà dans *L'Age de l'épistémologie. Science, Ingénierie, éthique*, Paris, Kimé, 1998.

Chapitre 3 : série « modélisation », la question des hypothèses et de la complexité

Dans la première série, il a déjà été question de modèles et d'épistémologie des modèles ou de la modélisation. Nous allons néanmoins développer ce volet de l'épistémologie, et montrer certains des aspects nouveaux qu'il entraîne, en particulier sur l'usage des hypothèses et sur l'un des usages du terme de complexité.

Nous avons vu que dans l'usage moderne, le terme de « modèle » est en usage presque toujours au pluriel. Depuis Poincaré, on sait que lorsque l'on a un modèle mécanique d'une phénomène physique, on en a une infinité d'autres. Il suffit d'en trouver un pour savoir qu'il y a une relation de compatibilité entre cette discipline de la physique et la mécanique. Mais cela signifie aussi qu'il n'est pas nécessaire de s'attacher à tel modèle particulier, ou de voir dans l'un d'entre eux, une description ou une explication définitives du phénomène que l'on veut modéliser.

Jean Goguel, dans l'article « Modèle » de l'*Encyclopedia Universalis* déjà cité, insiste beaucoup sur cet aspect. Il fait remarquer que l'on peut en géophysique construire, par des méthodes de Monte-Carlo des centaines de modèles d'un phénomène géophysique (par exemple la façon dont une vibration se transmet dans les profondeurs de la Terre). Si l'on trie ces modèles pour ne conserver que ceux qui sont compatibles avec les mesures et les observations, il en restera quelques-uns (une vingtaine, dit-il). Parmi ces derniers modèles, certains reposeront sur des hypothèses, d'autres sur d'autres hypothèses, et *ces hypothèses seront parfois en contradiction*. Par exemple, certains de ces modèles supposeront la formation de la Terre à froid, d'autres cette formation à chaud. La conséquence qu'en tire la Terre, aucun d'eux ne peut être considéré comme une représentation, comme l'avait affirmé par ailleurs Jean-Marie Legay dans un autre contexte.

Ce caractère non représentatif du modèle une fois admis permet de ne plus opposer les modèles de type logique (*interprétations vraies d'une théorie*) et les modèles qui partent de l'observation d'une situation, ou plutôt, qui sont construits de façon à être compatibles avec elle, opposition que n'a que trop soulignée la tradition épistémologique française dans les

années 1970 (voir le chapitre 1). Il y a de toute façon une grande multiplicité de types de modèles, dont cette opposition ne suffit pas à rendre compte. On peut dire qu'elle appauvrit le regard épistémologique sur les modèles.

Dans la perspective ouverte par Legay, on peut définir la modélisation de deux façons :

- on peut la comprendre comme la construction d'un modèle construit en fonction d'un objectif, comme la décrit Legay dans la lettre 25 de *Philosophie de l'interdisciplinarité*¹⁵.

« Un modèle pour quoi faire ? Pour comprendre le fonctionnement du système ? Pour faire tout simplement la liste des éléments composant la situation expérimentale ? Pour imiter au moins les apparences de la situation concrète ? On peut être trompé par l'apparente évidence de l'objectif. »

Les grands types de modèles sont des modèles d'hypothèses (portant en général sur les conditions initiales), des modèles de mécanismes (proposition d'explication à tester), des modèles de décision et de prévision. L'une des questions essentielles lorsque l'on construit un modèle est celle des hypothèses.

« On ne peut pas travailler sans émettre d'hypothèses et parfois sans en poser de façon déterminée. Il y en a d'au moins deux sortes. D'abord celles concernant la situation dont il est rare qu'on connaisse toutes les composantes. Leur existence n'est généralement pas douteuse, mais les caractéristiques, ou les valeurs à leur attribuer, beaucoup moins sûres. D'autre part, il y a les hypothèses qu'on ajoute volontairement et qui sont justement les éléments à déterminer et en tout cas à tester. La prise en compte d'hypothèses différentes et parfois seulement de valeurs diverses attribuées à un même paramètre hypothétique peut conduire à des situations elles-mêmes très distinctes. »

Mais il y a une autre façon de définir la modélisation, qui ne contredit pas la première, mais complète le modèle par l'idée d'interdisciplinarité. Cette idée est présentée dans la lettre suivante 26, d'AFS, pp. 137-140.

¹⁵ Jean-Marie Legay et Anne-Françoise Schmid, *Philosophie de l'interdisciplinarité. Correspondance (1999-2004) sur la recherche scientifique, la modélisation et les objets complexes*, Paris, Pétra, 2004, pp.131-135. Les citations sont faites avec l'autorisation des éditions Pétra.

« La modélisation peut prendre des formes très diverses. Elle peut permettre d'aider à déterminer ce qui fonctionne comme système et comme sous-système dans la description d'un phénomène mécanique. Elle peut permettre d'articuler des échelles, entre les phénomènes proprement physiques, une échelle intermédiaire et le modèle tel qu'il représente l'« objet » pour le client. Ce serait là plutôt le problème de l'architecte. Elle peut aussi chercher à décrire des processus, qui comportent des courbes en « feed-back ». La modélisation permet une simplification : celle, dans certains cas et sous certaines conditions, de travailler dans l'un des modèles qu'elle articule. Il faut ensuite retrouver l'ensemble des interactions entre modèles. La simplification est donc possible, mais localement et de façon provisoire. Les relations entre le « simple », le « compliqué », le complexe peuvent être organisées et évaluées par une modélisation, alors que les articulations trop simples entre théorie et expérience ne le permettraient pas. La modélisation modifie profondément les relations entre les ingrédients qui entrent en jeu dans les sciences, et il est désolant de voir qu'une bonne partie de la production épistémologique et de philosophie des sciences n'en tient pas encore compte. Cela amplifie certainement l'indétermination dans laquelle nous sommes concernant la science et ses critères. Dans tous les cas, les conceptions classiques sur la science ne s'y retrouvent pas, et l'on comprend que l'on s'en remette à des critères sociologiques, même si cela n'est pas satisfaisant.

Dans un tel contexte, la question du statut des hypothèses se renouvelle. Elle n'est pas seulement description des conditions initiales, ni proposition qui attend d'être confirmée (elle « tombe » alors comme hypothèse, et devient susceptible d'être transformée en loi) ou infirmée (elle « tombe » également). Elle est ce qui rend possible l'articulation entre les modèles. Il n'est donc pas possible de s'en débarrasser à bon compte. Classiquement, l'hypothèse formule une proposition comme postulée pour comprendre le réel. Elle doit être « bien fondée », c'est-à-dire compatible avec les connaissances que nous avons, tenir compte des observations et des mesures effectives. Mais on peut raisonner autrement : supposant un réel que doit décrire la science, mais que celle-ci ne détermine pas, l'hypothèse fonctionne tel un axiome, d'une certaine façon plus proche qu'un « postulat » du réel. Elle est alors « bien déterminée » plutôt que bien fondée, chacun des ingrédients de la science contribuant à la déterminer. C'est juste un changement de posture, rien de plus, mais il est fondamental pour prendre en compte la modélisation. La question de l'articulation des modèles ne concernera plus un postulat sur le réel, mais supposera un travail de détermination progressive, qui, à chaque pas, peut être mis en rapport au réel donné. »

Comment caractériser la modélisation ? je dirais qu'il y a modélisation lorsque, dans un modèle, tous les éléments hétérogènes qu'il met en relation sont eux-mêmes des modèles. Cette idée vient indirectement de Russell. Il fait remarquer à Couturat¹⁶ que $\varphi(x)$ n'est pas une proposition variable comme le croit Couturat. "P" est une proposition variable, et $\varphi(x)$ est une valeur variable d'une fonction variable. De même "R" est une relation variable, non pas telle ou telle relation particulière. Lorsque l'on considère une série, les termes de la série sont eux-mêmes des séries. On peut alors faire droit à une logique de relations et donner sa place à la notion d'ordre. Ma caractérisation de la modélisation suppose une généralisation semblable, peut-être leibnizienne à l'origine, où il ne s'agit pas de construire un modèle, mais d'articuler des modèles hétérogènes entre eux. On peut, de droit, considérer un modèle comme une articulation de modèles. Cela est difficilement pensable par la philosophie, parce que les modèles sont multiples – et non plus le reflet d'une idée – et parce que les modèles prennent ainsi une autonomie relative dans la science, au même titre que la théorie. La modélisation montre que le modèle est différent de la théorie, et qu'il ne suffit pas de dire que la théorie est une suite de modèles pour déterminer leurs différences. De plus, la modélisation donne un autre statut à l'hypothèse, qui n'est plus destinée à disparaître, mais une pièce centrale de l'articulation des modèles dont on ne saurait se passer. Elle est de plus un indicateur d'un certain rapport au réel, la modélisation ne pouvant se substituer à celui-ci.

Avec cette conception des modèles, qui répondent à des objectifs ou des problèmes, on peut décrire des *poly-formalisations*, où chaque modèle construit relève d'une discipline différente, par exemple de l'embryologie, de la génétique, de la physiologie pour la description d'une plante. Voire même de la mécanique, si l'on cherche à déterminer les conditions sous lesquelles les branches pourraient casser sous le poids des fruits, etc...

Comment une telle association de modèles peut être compatible ? Par l'existence même de l'objectif, qui détermine les fragments de disciplines nécessaires. Par la façon, indirecte, dont on s'assure de la compatibilité des modèles en rapportant les hypothèses sur lesquels ils reposent aux connaissances théoriques fondamentales.

Enfin, la simulation informatique est une façon de déterminer cette cohérence, en articulant ces modèles non pas selon un surplomb théorique, mais pas à pas, par des répétitions pas à pas.

¹⁶ Bertrand Russell, *Correspondance sur la philosophie, la logique et la politique avec Louis Couturat (1897-1913)*, éd. Anne-Françoise Schmid, 2 volumes, Paris, Kimé, 2001, p. 428.

L'histoire de la simulation informatique a été faite par Franck Varenne dans sa thèse présentée à l'Université de Lyon 2 en novembre 2004. Il en résume certains traits dans son livre *Les Notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations* (Paris, Pétra, 2006). Les simulations informatiques se distinguent des simulations numériques en ce qu'elles peuvent servir d'expérience. Elles ne peuvent alors être réduites à des activités langagières. La question n'est plus alors de savoir si elles sont ou ne sont pas des représentations. Elles sont plutôt des répliques du réel, parfois plus précises que le réel lui-même.

La simulation informatique «... ne s'affronte pas d'emblée à une formulation mathématique unique qu'il s'agirait de résoudre pas à pas. Elle joue à plein de cette caractéristique qu'ont les ordinateurs de modifier à volonté les règles de traitement de leurs données au cours du traitement. Elle utilise le plus souvent les langages évolués (émancipés de toute hégémonie donnée naguère aux mathématiques en ce domaine...) pour intégrer pas à pas des modèles axiomatiquement hétérogènes entre eux. Ces langages informatiques traitent les modèles pour les faire servir à la constitution d'objets substitutifs. La modélisation orientée-objet, la simulation multi-agents réifie fortement ces productions qui ne sont pas tant des calculs résolvant un modèle, que des représentations complexes de scénarios virtuels tendant à mimer une tranche complexe du réel, dans ses différentes dimensions, spatiales et temporelles. Dans le programme informatique, la simulation a donc pour fonction essentielle d'intérioriser le perspectivisme des modèles en rendant computationnellement compatible ce qui ne l'est pas axiomatiquement. Ce perspectivisme, que les approches sociologiques veulent encore souvent concevoir comme extérieur et essentiellement incarné par les divers points de vue et langages des concepteurs et des praticiens du modèle, est en quelque sorte relevé, supprimé et concrétisé dans une forme de substitut du réel à la fois pluri-expérimenté et pluri-formalisé [i.e. relevant de plusieurs disciplines]. Le modèle du modèle mathématique ne fonctionne donc plus pour penser et comprendre la simulation.

Du fait de leur caractère très intégré et quasi-concret, ces simulations peuvent donner lieu à des expériences virtuelles très utilisées de nos jours dans les problèmes de modélisation d'objets complexes (sciences de la vie, sciences de l'homme, sciences de l'ingénieur). Des modèles mono-formalisés [i.e., relevant d'une seule discipline] sont ensuite recherchés sur ces simulations pluri-formalisées. Mais il y a plus. Dans leur phase applicative, les simulations informatiques, de par leur pluri-perspectivisme intégré, ne servent pas seulement à la science fondamentale. Etant des substituts partiels des objets, on observe parfois que les mêmes simulations peuvent être employées ensuite par plusieurs corps de métier, cela pour des

objectifs tout à fait différents. La simulation informatique se distingue donc de la simulation numérique en ce qu'elle n'est pas seulement un instrument offrant un espace pragmatique de dialogue, de transaction, mais en ce qu'elle réalise parfois un véritable terrain d'expériences. Ces expériences peuvent être faites sur des simulations abstraites lorsqu'il s'agit de voir comment un modèle formel très composite ou non-calculable va se comporter. Elles peuvent aussi être menées sur des simulations très réalistes d'un point de vue perceptif et qui, sur l'écran, donnent des mondes virtuels très proches du nôtre : simulation des plantes, des villes, de systèmes agro-pastoraux, d'anthroposystèmes... » (pp. 35-37, avec l'autorisation des éditions Pétra).

Si cette citation est si longue, c'est qu'il n'y a pour le moment pas beaucoup de synthèse et sur la pluri-formalisation et sur la simulation informatique. La difficulté pour les penser sont non seulement l'idée de représentation, mais aussi celle que le modèle se réduirait entièrement au langage et à la pragmatique. Or beaucoup des travaux qui abordent ces questions relèvent de ces interprétations. Aussi bien le livre très remarquable de Peter Galison (*Image and Logic*) — quoique chez lui cette thèse donne lieu à une idée très intéressante, que les modélisateurs doivent apprendre à parler un « créole » pour pouvoir communiquer entre eux. En français, le n° spécial de revue organisé par Dahan-Dalmedico et Armatte (voir la première série) tombe dans le même mouvement, une interprétation pragmatiste et langagière. Peut-être n'est-ce pas un hasard qu'ils ne citent guère les travaux français sur la question, leurs choix philosophiques en étant peut-être l'une des raisons¹⁷ !

¹⁷ Sur la question de la simulation, vient de paraître de Frédéric Amblard et Denis Phan, eds, *Modélisation et simulation multi-agents, applications pour les sciences de l'homme et de la société*, Paris, Hermès, lavoisier, septembre 2006, au prix de plus de 80€ — à faire acheter par les bibliothèques ! Les philosophes peuvent y trouver au chapitre 4, une annexe rédigée par Franck Varenne et Denis Phan : « Epistémologie dans une coquille de noix : concevoir et expérimenter » (pp. 121-140), ainsi qu'un chapitre de Pierre Livet : « Essai d'épistémologie de la simulation multi-agents en sciences sociales » (pp. 193- 218). Ces deux chapitres posent des bases importantes en épistémologies pour ces nouvelles méthodes, trop ignorées dans les ouvrages d'épistémologie, même parus récemment. Ce livre est en cours de parution en anglais, et le chapitre épistémologie a été complété : "Epistemology in a nutshell", in collaboration with D. Phan, A.-F. Schmid, M. Dubois, F. Varenne, in *Modeling and Multi-Agent Systems - Applications to Social Sciences*, Amblard and Phan (eds.), Oxford, The Bardwell Press, GEMAS Studies in Social Analysis, fin 2007. Les travaux du groupe SMASHS se consacrent à cet objet (Simulation Multi-Agents dans les Sciences Humaines et Sociales, dirigé par Denis Phan), dont font partie Pierre Livet, Franck Varenne et Anne-Françoise Schmid du côté de la philosophie et de l'épistémologie. D'autre part, Nicole Mathieu (géographie, Paris 1) et Anne-Françoise Schmid organisent un séminaire « Les disciplines face à la modélisation et à l'interdisciplinarité », sous l'égide de l'association et de la revue *Natures, Sciences, Sociétés* (NSS, EDP sciences), qui sera publié. Ont eu lieu la journée sur la géographie (D. Pumain, P. Langlois), sur les philosophies (F. Laruelle + exposé de F. Varenne sur le *Concept de modèle* de Badiou), la journée sur les biologies aura lieu le 8 octobre (J.-C. Mounolou et Philippe de Reffye), à l'ENS de Paris.

D'une certaine façon, les modèles ont acquis leur relative autonomie par rapport aux théories, en faisant la critique des accompagnements métaphysiques des théories. Longtemps ont interprété les théories comme des images de la nature. Les modèles étaient des moyens opérationnels destinés à disparaître. Ils restent aussi des moyens opérationnels, mais sans que les notions de représentation, de langage, de pragmatique interviennent de façon exclusive dans leur constitution.

Dans la poly-formalisation, les hypothèses ne sont plus seulement des propositions à vérifier — et qui, du coup, ne resteront plus des hypothèses, mais la construction nécessaire des liens entre modèles de disciplines différentes. Il faut actuellement travailler au concept d'hypothèse, pour comprendre à la fois l'autonomisation des modèles par rapport aux théories et leurs relations à l'interdisciplinarité. Voir la lettre 40 de *Philosophie de l'interdisciplinarité*, pour compléter ce développement (AFS) :

« La question des hypothèses est dans une première approche compliquée, parce qu'elle engage des considérations formelles, des connaissances d'histoires des sciences et de philosophie. Mais toutes ces approches, sous leur forme classique, tendent à comprendre l'hypothèse comme une étape destinée à disparaître.

D'un point de vue formel, l'hypothèse est une pièce importante pour faire voir les liens entre l'opération binaire d'implication et la relation de déduction, qui ont été compris par un jeune mathématicien français, mort en montagne à 23 ans, qui avait beaucoup lu Hilbert, Jacques Herbrand. Il a formalisé le fait que, si, d'une hypothèse on pouvait déduire une conséquence, alors on pouvait faire de l'hypothèse l'antécédent d'une implication. Si d'un ensemble Γ d'hypothèses supposées vraies et d'une hypothèse particulière A , on peut déduire la conséquence B , alors on peut déduire de Γ que $A \supset B$ est elle aussi supposée vraie. Cela signifie que la démonstration d'un théorème mathématique consiste à montrer que l'ensemble Γ est vide. Donc démontrer consiste à supprimer les hypothèses.

Dans l'histoire des sciences et l'épistémologie, l'hypothèse est aussi évanescence. Elle apparaît comme une proposition qui attend d'être confirmée – et elle perd alors son statut d'hypothèse -, ou infirmée, et elle est abandonnée. On voit bien qu'elle est nécessaire, mais elle est instable, et dans le résultat, dans ce que l'on retient, on ne fait allusion qu'à quelques hypothèses fondamentales, liées plus souvent au travail théorique plutôt qu'expérimental. Elle a donc peu d'autonomie relative et n'intéresse pas en tant que telle. On a parlé peut-être plus

de « conjecture » en science, avec Popper en particulier, qui souligne mieux le caractère d'invention et de risque intellectuel dans l'histoire des idées scientifiques.

La philosophie quant à elle a abandonné les hypothèses aux mathématiques, puis aux sciences expérimentales et cela dès Platon (dans *La République* et le *Ménon*). L'hypothèse est nécessaire lorsque l'on ne connaît pas la nature de ce que l'on étudie. La philosophie, par la contemplation des Idées, connaît en principe la nature de ses objets. Une méthode par hypothèse en philosophie n'a de sens que dans la mesure où l'on ne connaît pas encore cette nature. Elle tombe donc de soi dès que l'on peut accéder à l'Idée.

Il est possible que dans les approches théoriques on puisse ainsi traiter l'hypothèse comme participant d'un échafaudage qui n'aura plus grande importance plus tard, si ce n'est parfois dans certains *rappels*. Mais dans la modélisation, la situation n'est pas la même. Comme vous l'avez dit dans une lettre précédente sur les modèles, on peut faire de très grosses erreurs si l'on n'éclaircit pas les hypothèses sous lesquelles un modèle est utilisé. Dans les cas où la modélisation consiste à articuler des modèles d'origine disciplinaire différente, la cohérence ne peut être acquise si les hypothèses qui permettent de les articuler ne sont pas explicites. Elles peuvent relever de la théorie, mais leur fonction comme hypothèse devient fonctionnellement indispensable, parce que le modèle n'est pas identique au réel qu'il décrit. Plus local, plus souple et plus maniable que la théorie, le modèle n'a aucun sens sans les hypothèses qui limitent et précisent son usage. En régime pluridisciplinaire, on ne peut supprimer l'hypothèse, elle est ce qui permet de distinguer à la fois le modèle ou la modélisation du réel et de la théorie. Elle devient un matériau essentiel de la science, parce qu'elle permet indirectement l'autonomie relative des ingrédients qui entrent en jeu dans la pratique scientifique.

Il me paraît très intéressant que Poincaré, qui a toujours montré une certaine méfiance à l'égard des théories (on lui doit tout de même une théorie des marées et une théorie de la relativité), ait tant fait pour que soit reconnue la valeur des hypothèses, dès son premier recueil d'articles philosophiques (*La Science et l'Hypothèse*, 1902). La plupart de ses idées résultent d'un rapprochement rapide entre disciplines et d'analogies inhabituelles. Il est très intéressant qu'il ait repensé les relations entre les disciplines scientifiques. Son rôle sur ce point est parfois négligé parce que l'on compare souvent trop vite les connaissances qui nous sont transmises par la tradition sur ces disciplines à la façon dont elles avaient été repensées par Poincaré en fonction de sa façon d'inventer. » (pp. 214-216, avec l'accord des éditions Pétra).

L'autre grande question qui suit celle de la reconstruction de la notion d'hypothèse est celle de la complexité. Cette notion a bien des usages, en informatique ou en algorithmique, par exemple. Ici, nous allons suivre l'idée de la poly-formalisation et chercher une définition de la complexité en accord avec elle.

Il y a bien des tâtonnements sur cette question, bien ou parce que la notion est très à la mode.

Prenons différentes approches de la complexité selon les disciplines (Biologie, physique et éthique technologique). Je choisis trois auteurs, Jean-Marie Legay (biologie des populations), Jean-Marc Lévy-Leblond (mécanique quantique) et Gilbert Hottois (bioéthique)¹⁸

Les trois auteurs donnent trois définitions de la complexité, qui ont des parentés, mais aussi des oppositions. Il faut donc tenter de les caractériser, de voir les convergences et les séparations.

Caractérisation de ces définitions :

La définition de Legay affirme qu'un système est complexe si la suppression d'une discipline pour son étude change tout à fait la nature du problème. Il dit aussi à quoi il refuse de réduire sa définition : aux systèmes chaotiques. La question est celle de la convergence de disciplines différentes pour l'étude d'un phénomène. Il existe maintenant une foule de problèmes dans la science que l'on ne peut aborder qu'avec le concept de complexité et la pratique de la modélisation.

La définition de Jean-Marc Lévy-Leblond est assez différente de celle de Legay, le complexe y étant identifié à peu près aux phénomènes non-linéaires et aux rapports entre niveaux. À beaucoup d'égards, JMLL admet comme définition de la complexité partiellement ce qui n'est qu'un cas particulier pour Legay. Surtout, en physicien, il pense que la science, avec l'aide des mathématiques a pour tâche de réduire la complexité.

¹⁸ Soit trois ouvrages *L'expérience et le modèle* de Legay (1997), *Les différentes approches de la complexité selon les disciplines (Biologie, physique et éthique technologique)*, *La Pierre de touche. La science à l'épreuve et l'exercice de la pensée*, Paris, Gallimard, Folio, 1996, de Jean-Marc Lévy-Leblond, et *Qu'est-ce que la bioéthique*, de Gilbert Hottois, Vrin, 2003.

Hottois définit la complexité (pp. 24 et 25 de son texte) par la pluridisciplinarité (comme Legay) et le multiculturalisme. Cette posture est nécessaire aux travaux des Comités d'éthique.

Les objets et les thèses :

Le propos de Legay est de montrer comment, dans sa discipline, on est arrivé à des types de problèmes où le concept de complexité est devenu tout à fait nécessaire, et il montre ce faisant que la notion de méthode expérimentale se modifie complètement (plus d'évidence, plus d'universalité de temps et de lieux, on peut ajouter, plus de témoins, etc..., un rôle nouveau des maths et des probabilités, etc... et il fait à grand trait l'histoire de cette nécessité. La conséquence est que l'on entre dans l'ère des modèles (ce qui suppose aussi des conséquences méthodologiques). Son problème n'est pas de dire que tous les phénomènes sont complexes, mais de tenter d'identifier ceux qui le sont.

Quant à JMLL, il est parfois très dur sur la complexité, il la voit comme un phénomène de mode, un mirage (tout en soulignant que les mirages sont bien utiles). Il pose que le réel et les phénomènes sont complexes, mais, qu'au niveau du travail scientifique, une telle phrase est une banalité. C'est qu'il parle d'un objet tout à fait différent : la théorie physique (et non pas les modèles, comme chez Legay).

L'élaboration d'une théorie suppose une certaine circularité (qu'il voit comme un aspect de la complexité), et les mathématiques cassent cette circularité, et homogénéisent ce qui était hétérogène. Donc, le travail dans la théorie physique consiste à éliminer la complexité. Il se réfère aussi à l'histoire de sa discipline, mais pour montrer qu'elle n'a pas besoin de ce concept.

Mais il y a néanmoins de la complexité dans le rapport entre les disciplines (questions de politique de la science), ou à propos de la multiplicité des formalismes dans la physique. Il fait intervenir la complexité lorsqu'il réfléchit SUR sa discipline, alors que Legay voit la complexité DANS sa discipline.

Hottois est dans une discipline qui parle à la fois de la R&D (recherche et Développement) et du social. Il est donc immédiatement dans le complexe, il n'y a pas à l'acquiescer, comme chez Legay, et il cherche des méthodes pour traiter cette complexité. Mais il le fait un peu différemment que ses collègues, parce qu'il n'y a pas de solution définitive aux avis qu'il faut élaborer en éthique, c'est pourquoi il faut un « respect » du pluralisme, qui n'est pas tout à fait au centre du travail scientifique. Il s'agit plutôt de l'interface entre science, technologie et société. Le désaccord est donc une donnée du problème. Cette complexité est déterminée par toutes les différences, les écarts de temps et d'espace, les rapports aux futurs, les rythmes de changement, les communautarismes, les traditions, les philosophies, les religions, et il faut trouver des méthodes pour se débrouiller dans ce champ de différences. Le problème est d'autant difficile que l'on ne peut se douter de tous les effets d'une innovation technologique.

La question est d'évaluer ces différences. Qu'y a-t-il de commun ? C'est l'idée de multiplicité ou de pluralité (de disciplines, de formalismes, de pluralismes sociaux), mais ensuite, les problèmes sont traités différemment : rapport entre les disciplines (Legay et Hottois, Jean-Marc Lévy-Leblond, à la fin, mais lorsqu'il réfléchit SUR les sciences ou les formalismes), non-linéarité ou différences, circularité, etc ? les différents concepts utilisés par les auteurs. Est-ce le domaine qui fait la différence ? Modèle en biologie, théorie en physique, réseaux de différences ou de contrastes pour l'éthique technologique ? Voilà les problèmes importants. Les problèmes n'ont pas le même développement ou la même pertinence d'un domaine à l'autre. Néanmoins, nous cherchons des tendances qui permettent de ne pas exclure des développements scientifiques au nom de l'épistémologie. De ce point de vue, la méthode de Legay est la plus intéressante, celle de Lévy-Leblond étant déjà acquise depuis longtemps. Nous verrons que du point de vue des biotechnologies, elle est aussi importante que celle d'Hottois, parce qu'il faut tenir compte de la modélisation dans les problèmes d'éthique technologique contemporaine (voir la série sur l'éthique technologique).

Si nous ne voulons pas exclure des pans entiers de la recherche scientifique actuelle, nous ne pouvons plus nous contenter de l'épistémologie des théories, mais nous devons travailler à une épistémologie des modèles et des simulations et à son unification avec l'épistémologie des théories. Mais cela va avec un nouvel usage des distinctions de cette dernière, non plus comme critères.

Chapitre 4 — La série « monde possible »

La notion de « monde possible » a été créée pour rendre identifiable d'un point de vue extensionnel ce qui ne l'est pas. Ainsi, Leibniz a créé cette notion pour comprendre comment le calcul à l'infini des circonstances contingentes pouvait présenter des alternatives — c'est en calculant, que Dieu crée le monde. Ce calcul à l'infini n'est pas actuellement effectuable par l'esprit humain, mais la comparaison de mondes alternatifs pourra lui permettre de comprendre l'importance de cette notion.

Leibniz insiste sur le fait que la conception des mondes possibles, le fait même que nous puissions nous les représenter comme en un théâtre, suppose une distinction entre le nécessaire et le certain. Si la suite des choses est nécessaire, la fiction des mondes possibles est invalidée, ou, du moins, n'a aucune pertinence. Mais si la suite des choses est certaine, cela ne veut pas dire dans tous les cas qu'elle soit nécessaire.

En l'occurrence, « nécessaire » signifie ce dont le contraire implique contradiction (voir par exemple, le *Discours de métaphysique*, § 13) :

« A quoi je réponds, qu'il faut faire une distinction entre ce qui est certain, et ce qui est nécessaire : tout le monde demeure d'accord que les futurs contingents sont assurés, puisque Dieu les prévoit, mais on n'avoue pas pour cela qu'ils sont nécessaires. Mais (dira-t-on) si quelque conclusion se peut déduire infailliblement d'une définition ou d'une notion, elle sera nécessaire. Or est-il, que nous soutenons que tout ce qui doit arriver à une personne est déjà compris virtuellement dans sa nature ou notion, comme les propriétés le sont dans la nature du cercle, *ainsi la difficulté subsiste encore*. Pour y satisfaire solidement, je dis que la connexion ou consécutivement de deux sortes, l'une est absolument nécessaire, dont le contraire implique contradiction, et cette déduction a lieu dans les vérités éternelles, comme sont celles de géométrie ; l'autre n'est nécessaire qu'*ex hypothesi*, et, pour ainsi dire, par accident, mais elle est contingente en elle-même, lors même que le contraire n'implique point. Et cette connexion est fondée, non pas sur les idées toutes pures et sur le simple entendement de Dieu, mais encore sur ses décrets libres, *et sur la suite de l'univers* ».

Si l'on s'en tient aux aspects les plus superficiels de la doctrine, on dira, d'après ce texte, que la distinction entre le nécessaire et le certain permet de concilier la sagesse de Dieu, qui ne peut choisir que le monde le plus parfait, et sa liberté. Mais dans ce passage, Leibniz

nous donne d'autres informations, plus importantes, c'est que « tout ce qui doit arriver à quelque personne est déjà compris virtuellement dans sa nature ou notion ». Si nous reprenons l'exemple de Sextus, dans chaque monde « il porte toujours avec lui ce qu'il sera » (§ 414). Dans chaque monde, Sextus contiendra tout ce que nous connaissons effectivement de lui, mais tout ce que nous n'en connaissons pas encore, et dont le contraire n'implique pas contradiction, peut donner lieu à des Sextus « approchants », mais pas tout à fait les mêmes. Nous pouvons néanmoins les identifier par ce que nous connaissons effectivement et actuellement de lui (mais non pas virtuellement).

Se construisent alors des séries de perspectives toutes fondées, mais plus ou moins riches, et qui manifestent une continuité plus ou moins forte dans la suite des phénomènes. Et cette suite de perspectives est elle-même la manifestation de la richesse en phénomènes de l'univers : c'est un système de représentations de représentations où chaque perspective de l'une sur l'autre enrichit à la fois cette dernière et la suite de l'univers. Mais il faut bien une hypothèse pour soutenir la suite de ces perspectives, et celle-ci, Leibniz l'exprime explicitement de bien des manières, en particulier en disant que les mondes « contiennent » le cas ou le sujet – par exemple Sextus tel qu'on le connaît déjà – et ses suites ou les conséquences de ses actes : « Ainsi vous pouvez vous figurer une suite réglée de mondes qui contiendront tous et seuls les cas dont il s'agit, et en varieront les circonstances et les conséquences » (*Théodicée*, § 414). Mais plus encore : dans chacun des mondes possibles, Sextus contient en sa notion tout ce qui lui arrivera. « Praedicatum inest subjecto » : le prédicat est dans le sujet.

Le sujet est identifié comme « substance individuelle », et le critère en est grammatical ou logique : « lorsque plusieurs prédicats s'attribuent à un même sujet, et que ce sujet ne s'attribue à aucun autre, on l'appelle substance individuelle » (*Discours de métaphysique*, § VIII). Ainsi, le véritable sujet est ce qui n'est pas prédicable, et ce qui, en outre contient en lui ses prédicats. Ainsi, Sextus n'est pas un prédicat de Jules César, mais « sortir en colère du temple » est un prédicat de Sextus dans un monde possible, et dans ce dernier, Sextus contient en lui ce prédicat de toute éternité. Par cette thèse, nous touchons là le centre structural de la philosophie de Leibniz, qu'il a su traduire en de multiples perspectives, en logique (où pourtant, il est sans doute le premier, ou l'un des premiers, à avoir développé l'idée d'une logique des relations), en métaphysique, en mathématiques et dans son interprétation des lois de la nature (qui sont alors des « maximes subalternes »).

Mais Leibniz a été longtemps arrêté par une difficulté. Si l'on admet que les prédicats sont dans le sujet, il s'ensuit que toute vérité est analytique, c'est-à-dire peut se déduire de

l'analyse du sujet doit révéler toutes la suite de ses prédicats passés et futurs. Mais si la négation de ces prédicats ne conduit pas à une contradiction, ils ne sont pas nécessaires. Il s'ensuit qu'il y a des vérités analytiques qui sont contingentes. Cette conséquence a été une grande difficulté de Leibniz. Louis Couturat, qui a édité au tout début du 20^{ème} siècle un magnifique livre sur *La Logique de Leibniz*, ainsi qu'un recueil de textes, *Fragments et Opuscules de Leibniz*, qu'il était allé copier à Hanovre, la ville de Leibniz, a rapporté en particulier celui-ci dans sa correspondance avec Bertrand Russell¹⁹.

D'après Couturat, ce qui étonne Leibniz est qu'une proposition analytique — c'est-à-dire dont le prédicat est contenu dans le sujet —, puisse ne pas être nécessaire : « Atque ita arcanum aliquod a me evolutum puto, quod me diu perplexum habuit, non intelligentem, quomodo praedicatum subjecto inesse potest, nec tamen propositio fieret necessaria. Sed cognitio rerum geometricarum atque analysis infinitorum hanc mihi lucem accendere, ut intelligerem, etiam notiones in infinitum resolubiles esse ». Ce qui peut être traduit ainsi : « Je pense ainsi avoir expliqué quelque chose de mystérieux qui m'a laissé longtemps perplexe et que je ne comprenais pas, à savoir comment un prédicat peut être compris dans le sujet et comment cependant la proposition ainsi formée ne soit pas nécessaire. Mais la connaissance de la géométrie et l'analyse de l'infini m'ont apporté la lumière et m'ont fait comprendre que les notions peuvent être elles aussi résolubles à l'infini ». Selon Couturat, toutes les propositions sont analytiques chez Leibniz, même celles qui sont contingentes. Il est le premier à avoir mis en lumière cet aspect de la philosophie de Leibniz. Russell a d'ailleurs la même année écrit un livre sur Leibniz : *La Philosophie de Leibniz, exposé critique*, qui vient d'être réédité en français, et il ne partageait pas cette interprétation. Il dit à Couturat que c'est la lecture de ce fragment qui la lui a fait admettre.

Ce que ce fragment apporte de nouveau, c'est l'idée d'infini (sur laquelle Leibniz a beaucoup travaillé). Les prédicats peuvent être dans le sujet et les suites de ses actions être contingente, parce que les notions (et pas seulement les situations) sont analysables à l'infini. L'infini est ce qui surmonte la contradiction de la vérité analytique contingente. Là aussi, on voit l'importance des recherches mathématiques pour la métaphysique de Leibniz, même s'il ne faisait pas de passage immédiat de l'un à l'autre, réservant une autonomie à chacune des disciplines.

¹⁹ Kimé, 2001.

Ainsi, la théorie des mondes possibles de Leibniz n'est pas un simple conte, et concerne très étroitement la structure de la proposition en sujet et prédicat, ainsi que la question de l'infini. Cette question restera centrale dans la discussion des mondes possibles.

Dans la série « éthique technologique », nous verrons l'importance de la structure prédicative et de sa critique — le passage par Leibniz n'est pas inutile. Le problème des mondes possibles a ressurgi au 20^{ème} siècle, à l'occasion des expressions logiques ne trouvant pas d'interprétation extensionnelle. Le monde possible est alors une construction permettant de passer de l'intensionnel à l'extensionnel, et d'évaluer les propositions qui ne sont pas susceptibles d'évaluation dans le calcul classique. Les deux grands champs étudiés sont l'interprétation des modalités (ce que fait Leibniz plus haut) et celle des attitudes propositionnelles, qui rassemblent les cas de l'évaluation indirecte de propositions précédées par « je crois que... », « je pense que... », etc. C'est ce qu'on appelle la logique épistémique²⁰. Bien que ces problèmes soient assez éloignés de ceux de Leibniz, la question est aussi de construire des systèmes d'alternative permettant de réduire à un cas classique ce qui n'en est pas un. C'est à chaque fois une extension théorique pour permettre de rendre compte de ce que le système classique ne pouvait intégrer. Cela permet de comprendre le rôle de l'infini, celui des modalités, celui des attitudes propositionnelles, éventuellement aussi, de la logique juridique. Auparavant, on avait utilisé la fiction de mondes possibles pour faire comprendre les géométries non-euclidiennes (Delbœuf, Poincaré). Dans ces nouveaux cadres, la question des mondes possibles ne se pose plus sous la forme sujet/prédicat, mais dans celles des fonctions et des propositions — ce qui aura aussi son importance dans la série « éthique technologique ».

Les mondes possibles de Leibniz avaient ceci d'intéressant, qu'ils pouvaient distinguer les vérités nécessaires des vérités contingentes. Est nécessaire toute proposition qui est vraie dans tous les mondes possibles, contingente celle qui ne l'est que dans l'un des mondes. Il n'est pas possible que dans tous les mondes se retrouvent exactement les mêmes individus, puisque les attributs sont contenus dans le sujet. En cela, la nécessité est proche de l'universalité.

²⁰ Fabien Schang, du Laboratoire de Philosophie et d'Histoire des Sciences — Archives Henri Poincaré » UMR n° 7117 du CNRS, Université de Nancy, a soutenu une thèse dont le titre est « Philosophie des modalités épistémiques », (le 2 mars 2007) qui permettra de faire connaître au public français une partie de ces travaux.

C'est dans le contexte d'une logique modale principalement et de la question de l'individuation que se sont développés les débats sur les mondes possibles au 20^{ème} siècle. Le problème principal est que dans le cas des logiques modales, où l'on donne un statut à la nécessité et à la possibilité et où l'on pose non seulement « p », mais « il est nécessaire que p » ou bien « il est possible que p », l'interprétation des propositions ne peut plus être simplement extensionnelle et être interprétée complètement en fonction des seules valeurs de vérité. Il n'est alors plus possible de remplacer une proposition par une proposition équivalente, c'est-à-dire par une proposition qui aurait le même parcours dans les valeurs de vérité. Dans ces cas là, le principe de compositionnalité de Frege n'est plus valable. Ce principe dit que, dans une proposition complexe le parcours des valeurs de vérité dépend de celui des propositions dont est composée la proposition complexe. L'hypothèse des mondes possibles apparaît lorsque l'on cherche une solution à ce problème.

Russell a longtemps hésité lui-même entre une interprétation intensionnelle et une interprétation extensionnelle de la logique. Il a opté finalement, après plusieurs années d'hésitation, comme en témoigne sa correspondance avec Couturat, pour une interprétation extensionnelle, mais il en exceptait les constantes logiques, tels les connecteurs. D'autre part, il était opposé aux logiques modales, pensant que l'on pouvait exprimer par des moyens classiques les notions de possibilité et de nécessité : il n'y avait donc pas nécessité de concevoir un calcul spécial pour ces notions.

D'un point de vue formel, la question des mondes possibles se présente sous la forme suivante (c'est la formulation que l'on attribue à Saül Kripke) : c'est un triplet (un ensemble de trois ensembles d'éléments) : $\langle W, R, I \rangle$ où W est un ensemble de mondes possibles, R une relation définie sur W , relation dite d'accessibilité qui détermine les rapports entre mondes possibles, et I l'ensemble de fonctions d'assignation d'une valeur de vérité à chaque énoncé relativement à un monde possible. Cette définition est formellement très simple, mais elle donne lieu à de très nombreuses interprétations métaphysiques selon que l'on admet comme éléments « primitifs » des mondes possibles des individus ou des propriétés. Dans le premier cas, la théorie des ensemble sera sous-jacente. Dans le second cas, une « méréologie » (théorie de tous et des parties) sera plus appropriée²¹. Une telle méthode permet de distinguer

²¹ Voir Frédéric Nef, « Propriétés et mondes possibles, objets et profils. Problèmes de méréologie modale », article que j'ai trouvé sur l'Internet et qui ne donne aucune référence. C'est le même auteur que celui de : *L'objet quelconque. Recherches sur l'ontologie de l'objet*, Paris, Vrin, 1998. On peut se reporter aussi à la quatrième partie de son livre, intitulée

la sémantique comme théorie formelle des modèles et sémantique comme théorie des objets. Dans ce cas, le concept de monde possible permet de distinguer des propriétés des objets qui auraient la même extension, et seraient donc non distinguables du point de vue formel et extensionnel. Frédéric Nef prend pour exemple les propriétés (ce même article, p. 11) : « créature à un cœur » et « créature à deux reins ». Dans notre monde, d'un point de vue formel, l'extension de ces deux propriétés n'est pas possible, parce qu'elles ont la même extension. Par contre, en passant par les mondes possibles, on peut imaginer un monde où les deux propriétés ne seraient pas vraies à la fois et n'auraient pas la même extension. On peut alors distinguer une sémantique extensionnelle et une sémantique intensionnelle. Les sémantiques modales intensionnelles permettent une combinatoire des propriétés, des objets, des états de choses et des mondes possibles. L'identité des objets dépendra de la façon dont sera interprétée la combinaison des propriétés.

Nous ne voulons pas entrer dans le détail de ces métaphysiques très inspirées de logique. Elles sont en règle générale assez difficiles, justement parce qu'elles combinent à la fois des compétences logiques et une grande connaissance du traitement des problèmes métaphysiques.

Mais nous aimerions souligner un changement très profond dans la façon de traiter du possible. La logique mathématique n'est pas passée par là sans changer fondamentalement sa conception. Cela, Russell l'a exprimé déjà très clairement peu après avoir rédigé *Principia Mathematica* (1910-1913).

Dans *La Méthode scientifique en philosophie. Notre connaissance du monde extérieur*, il écrit ceci :

« Le rôle de la logique en philosophie, comme j'essaierai de le montrer plus tard, est excessivement important. Mais je ne pense pas que, ce rôle, nous devions l'imaginer comme le considérait la tradition classique. Dans cette tradition, la logique devient constructive au prix d'un certain nombre de négations. Lorsqu'un nombre d'alternatives semblent, à première vue, également possibles, la logique doit les condamner toutes, sauf une, et déclare celle-ci réalisée dans notre monde. Le monde est donc construit au moyen de la logique sans faire appel, ou très peu, à l'expérience concrète. Le rôle véritable de la logique, à mon avis, est exactement l'opposé de celui-là. Dans la mesure où elle s'applique à un contexte qui fait l'objet de l'expérience, elle est plus analytique que constructive. Prise *a priori*, elle montre la

« Possibilia », en particulier le premier chapitre : « Identité et identification des objets et des individus dans des contextes modaux et des mondes possibles », pp. 255-273. Voir aussi ce même livre, p. 191.

possibilité d'alternatives insoupçonnées jusqu'alors, plus qu'elle ne montre l'impossibilité d'alternatives qui semblaient de *prime abord* possibles. Ainsi, tandis qu'elle offre à l'imagination ce que le monde *peut* être, elle se refuse de légiférer sur ce que le monde *est*. Ce changement, qui est dû à une révolution interne de la logique, a écarté les constructions ambitieuses de la métaphysique traditionnelle, même chez ceux qui ont la foi la mieux trempée dans la logique ; tandis que pour la majorité de ceux qui considèrent la logique comme une chimère, les systèmes paradoxaux auxquels elle a donné naissance ne semblent pas même valoir la peine d'être réfutés. Ainsi de tous côtés, ces systèmes ont cessé de nous attirer, et le monde philosophique lui-même tend de plus en plus à les négliger ». (trad. Philippe Devaux, Petite Bibliothèque Payot, p. 32).

Une chose est très claire : le monde réel n'est plus considéré comme une réalisation ou une actualisation du possible, mais c'est bien plutôt à partir d'un monde réel — et donc en tenant compte de l'expérience — que l'on construit des possibles. Cette différence, selon Russell, caractérise celle qui existe entre les grands systèmes classiques et la philosophie moderne. Le système est lié à une certaine façon de concevoir le possible, indépendamment de l'expérience. Dans son *Leibniz*, Russell consacre tout un chapitre : « Pourquoi Leibniz croyait-il à un monde extérieur ? » (le chapitre VI). Le monde extérieur est une suite des compossibles. Le problème se pose tout à fait différemment pour Russell, dès le moment où il admet le principe de G. E. Moore, principe des relations externes qui admet que les faits sont indépendants de l'expérience. Évidemment ces thèses ne sont pas partagées par tous les philosophes (certains supposent – les actualistes – que l'on atteint les possibles à *partir du monde existant*, d'autres que l'on atteint directement les *possibilia*). Mais quelle que soit la thèse ontologique particulière, on peut faire l'hypothèse générale que la logique mathématique a changé la donne.

Cette façon de voir aura de nombreuses interprétations au 20^{ème} siècle. Les contre-factuels, dont nous avons parlé très rapidement plus haut, relèvent évidemment de cette façon de voir. Il y a une question que nous n'arrivons pas à résoudre dans le monde des faits que nous connaissons, voyons ce qui se passerait (mais qui ne se passe pas) en variant les conditions. Les contre-factuels sont une relation de similitude avec le monde actuel. Ils permettent des expériences de pensée en distinguant les propriétés en fonction des mondes.

L'une des questions qui vont être reprises dans la série « éthique technologique » concerne de très près la question des mondes possibles. Si l'on interprète ceux-ci comme façon de transposer les sujets et les concepts impliqués dans les propositions en points et en termes — nouveau transfert à une interprétation extensionnelle de ce qui y résiste

partiellement, nous aurons un moyen d'interpréter l'éthique classique en éthique technologique.

Une remarque : le concept de « monde possible » soulève beaucoup d'oppositions — la plus connue est celle de Quine, et nous verrons qu'elle reprend cette idée de la transformation de sujets et de prédicats en points. Quine a discuté l'idée de « description d'état » de Carnap, qui est une première approche des mondes possibles, à propos des expressions d'attitude propositionnelles, c'est-à-dire relatant un discours indirect ou de crainte ou de désir. L'intérêt de ces tours indirects est que leur vérité ne peut être évaluée par des valeurs de vérité. Voici ce qu'il en dit :

« Commençons par nous représenter un état de choses comme une classe d'univers possibles, où, à parler intuitivement, cet état de choses serait réalisé. Cela étant, qu'est-ce qu'un univers possible ? Pour simplifier, acceptons provisoirement la physique traditionnelle, qui affirme que, comme l'enseignait Démocrite, tous les atomes sont homogènes par leur substance et ne diffèrent que par la taille, la forme, la position, et le mouvement. Supposons en outre que l'espace est euclidien.

Une fois cela acquis, il reste pour chaque point de l'espace juste deux états possibles. Un point peut ou bien se trouver à l'intérieur d'une particule, ou bien il peut être vide. On pourra considérer que chaque distribution de ces états sur tous les points de l'espace est non pas encore tout à fait un univers possible, mais un état transitoire d'univers possible.

C'est un peu comme si nous prenions les états d'univers possible comme étant des descriptions d'état à la Carnap, et si nous choissions comme prédicat unique le prédicat « occupé », nos constantes d'individu étant les noms des points de l'espace. Mais ce n'est pas absolument cela. Une objection à l'encontre des descriptions d'état est que chaque individu devrait avoir un nom. Or nos individus sont présentement les points de l'espace, dont nous savons qu'ils ne sont pas tous nommables, puisque les points ne sont pas dénombrables alors que les noms le sont. L'avantage de prendre un état d'univers possible comme étant une assignation exhaustive de « occupé » ou de « vide », de « oui » ou de « non », aux points de l'espace, est que cette assignation n'a pas besoin d'être regardée comme une description d'état ; elle n'a pas besoin d'être verbale. On peut simplement l'identifier à l'agrégat des points occupés eux-mêmes. Chaque portion de l'espace, grande ou petite, compacte ou clairsemée, peut ainsi être présentée comme un état d'univers possible. La réalisation de cet état d'univers consisterait en ce qu'il y aurait de la matière en chacun de ces points de l'espace et aucune ailleurs.

Que sont les points, et qu'est-ce que l'espace ? Serions-nous engagés à reconnaître deux sortes d'individus, à savoir des points de l'espace et des fragments de matière ? Non pas, car nous pouvons éviter les points en adoptant un système de coordonnées et en parlant de triplets de nombres réels. Alors notre ontologie ne requiert plus que des fragments de matière à titre d'individus, et la superstructure habituelle des classes d'individus, des classes de classes d'individus, etc. Les nombres réels trouvent leur place au troisième ou au quatrième étage de l'édifice, comme il est bien connu.

Par cette méthode, un état d'univers possible devient simplement une classe quelconque de triplets de nombres réels. A toute telle classe nous égalons ce qu'intuitivement nous appellerions l'état d'univers possible qui a de la matière juste aux positions indiquées par les triplets de nombres qui appartiennent à cette classe.

J'ai glissé sur une raison irrésistible de passer des points aux triplets de nombres. Il y a le désir de réaliser une économie ontologique ; il y a l'énigme de ce que pourrait être un point sinon ; mais aussi, et plus irrésistiblement, il y a la relativité de la position » (relativité au sens où Leibniz l'entendait ; Quine, *Relativité de l'ontologie et autres essais*, Paris, Aubier Montaigne, 1977 — original 1969, pp. 165-167).

Le problème des descriptions d'état est donc réductible à une procédure extensionnelle. Comme le fait remarquer Quine, la question réside dans le problème des noms, mais aussi de l'identité.

Mais les arguments de Quine ne détruisent pas les mondes possibles. Ils ont une fonction pour l'explicitation des notions de nécessité et de possibilité. Lorsque l'on a une expression du type : « il est nécessaire que p » ou il est possible que p », on peut l'expliciter en remplaçant les notions de possibilité et de nécessité par une quantification sur des mondes possibles, en paraphrasant : « dans tous les mondes possibles p est vrai » ou « il y a des mondes possibles où p est vrai ». Les mondes possibles permettent donc d'une certaine façon de réduire les notions de possibilité et de nécessité.

Néanmoins, Quine a fait remarquer que le langage des mondes possibles obligeait de parler des choses elle mêmes (discours *de re*) et non pas seulement de la façon de parler d'elles (*de dicto*). Le débat sur les mondes possibles a fait renaître en philosophie analytique l'usage de distinctions chères au Moyen Age. L'exemple le plus connu de Quine est celui du coureur cycliste qui serait également mathématicien. Il faudrait pouvoir déterminer ses qualités « de re » pour pouvoir l'identifier d'un monde possible à l'autre : soit : avoir deux jambes et être rationnel. Quine préfère éviter un tel engagement ontologique, et, comme nous

l'avons vu dans le précédent passage, préfère l'économie d'une telle hypothèse ontologique dans la mesure où l'on peut trouver un langage extensionnel.

Le problème est semblable pour les expressions dites « contre factuelles », de la forme : « si X se passait, alors Y » (p. ex. : « si le sucre était plongé dans l'eau, alors il se dissoudrait »). De plus, si cela est possible dans un monde, il est possible que cela le soit dans un autre monde, selon des perspectives diverses d'un monde à l'autre (c'est la notion d'« accessibilité » d'un monde à l'autre). Rien n'empêche alors de parler de la possibilité de la possibilité d'une proposition... Nous pourrions transposer cela à des problèmes de type éthique technologique : « si le transfert de gènes d'une plante comestible à une autre produisait des interactions entre les gènes transférés et ceux du génome de la plante qui reçoit les gènes, peut-être y aura-t-il des effets allergènes que ne produit pas la première plante où se trouvent ces gènes ».

Entre l'interprétation de la sémantique par les mondes possibles et leur traduction dans un métalangage extensionnel, se sont insérées bien des interprétations. Certains voient dans les mondes possibles des réalités (par exemple chez David Lewis), ou des possibilités (l'« actualisme » de Stalnaker) ou de simples fictions commodes pour traduire de façon extensionnelle en termes de quantification ce qui se présentait sous forme intensionnelle. Les « mondes possibles » ont permis de mettre en évidence certaines parentés ou certaines différences des logiques avec les langues naturelles, où les expressions intensionnelles vont de soi.

Quoiqu'il en soit, n'oublions pas que les mondes possibles sont juste des ensemble de propositions, et qu'ils sont une construction pour traduire ce qui semble ne pas pouvoir être transcrit dans le langage de la logique.

J'ajoute une considération méthodologique. Comme je l'ai dit, il y a de fortes oppositions aux mondes possibles. Ce qu'il faudrait examiner, c'est si ces oppositions sont du même type que celles qui ont été faites aux modèles en France dans les années 1970 par Badiou et Althusser ? Les mondes possibles ne peuvent-ils être interprétés comme des sortes de modèles en philosophie, modèles peut-être plus intéressants que les utopies et les catastrophes, lorsqu'elles sont pensées de façon naïve ?

Pour décider d'un tel problème, il faudrait pouvoir penser la philosophie par « paramètres », comme la musique contemporaine a su le faire pour elle-même. Si l'on met entre parenthèse le référentiel et la totalité, on pourra identifier certains paramètres de la

création philosophique. C'est une partie de ce qu'a fait François Laruelle, dans son idée de modélisation de la philosophie²². La réflexion sur les mondes possibles n'est donc pas terminée, mais demande maintenant un travail considérable sur la philosophie elle-même. Dans le même mouvement, il faudra suivre aussi tout ce qui se fait sur l'idée de *fiction* dans la philosophie, soit pour comprendre ses relations aux sciences (Hartry Field, Jean-Pierre Cléro,...), ou à elle-même (l'idée de philo-fiction chez François Laruelle²³).

²² Laruelle F., 2006. Modèles et Modélisation dans la philosophie et la science, *Natures, Sciences, Sociétés*, vol. 14 n°1, pp. 65-66. C'est une pièce du dossier *Academos* (équipe dirigée par Anne-Françoise Schmid) : « Philosophies et sciences : pour une "brique transdisciplinaire" ».

²³ Un certain nombre de textes de philo-fiction de François Laruelle ont été publiés dans la revue *La Décision philosophique* :

- 1987, « Théorèmes de la bonne nouvelle », *La Décision philosophique* 1, pp. 83-85.
- 1987, « Variations sur un thème de Heidegger », *La Décision philosophique* 1, pp. 86-94.
- 1987, « Biographie de Solitude », *La Décision philosophique* 2, pp. 101-104.
- 1987, « Abrégé d'une science humaine de la philosophie », *La Décision philosophique* 3, pp. 105-111.
- 1987, « Octonaire de la suffisance philosophique », *La Décision philosophique* 3, pp. 113-117.
- 1987, « Exercice sur Péguy : " Une philosophie qui ne vient pas manque éternellement " », *La Décision philosophique* 3, pp. 119-124.
- 1988, « Lettre à Deleuze », *La Décision philosophique* 5, pp. 101-105.
- 1988, « Du noir univers dans les fondations humaines de la couleur », *La Décision philosophique* 5, pp. 107-112 ;
- 1988, « Variations Leibniz », *La Décision philosophique* 5, pp. 113-124.
- 1989, « Ce que l'Un voit dans l'Un », *La Décision philosophique* 7, pp. 117-121.
- 1989, « Biographie de l'œil », *La Décision philosophique* 9, pp. 93-104.
- 1989, « Mon Parménide », *La Décision philosophique* 9, pp. 105-114.
-

Chapitre 5 — La série « éthique technologique »

L'éthique technologique (E.T.) ne contredit pas l'éthique classique. Elle se distingue de cette dernière en ce qu'elle articule à ses principes ou ses maximes « quelque chose » (que nous allons tenter de déterminer dans cette série) que la classique ne prend pas en compte. Elle prend aussi en compte les modifications de ce « quelque chose » sur l'éthique classique (E.).

L'éthique classique fait coïncider un sens intime et la reconnaissance de l'humain. Kant avait supposé que chacun sait s'il fait le bien ou le mal. La reconnaissance de l'humain comme humain (et non comme moyen, comme animal, etc.) a pris une importance fondamentale à partir des réflexions sur la seconde guerre mondiale, les génocides du 20^{ème} siècle, l'extension et la systématisation de la torture. On savait, depuis Freud et Nietzsche qu'il était trop simple d'attribuer des actes « mauvais » à des personnes « mauvaises », ou des actes « bons » à des personnes « bonnes ». On savait que les « valeurs », fonctionnant comme grandes catégories *identitaires*, n'étaient pas comparables aux *différences* individuelles — c'est l'une des significations de l'œuvre de Nietzsche. Hannah Arendt, dans *Eichmann à Jérusalem. Rapport sur la banalité du mal*, montre que les catastrophes humanitaires sont le fait non pas de personnes monstrueuses ou perverses, mais de glissements dans la vie quotidienne, dans le passage des rapports entre les ordres reçus et les ordres donnés — c'est cela la banalité du mal. Eichmann y est décrit comme un homme qui a fait sa vie en se reposant uniquement sur les circonstances, travaillant d'abord chez son père, acceptant un travail de représentant qu'on lui offrait, entrant dans l'armée SS sur le conseil d'un ami alors que la récession commençait, etc... D'autre part, Eichmann n'a pas de haine contre les Juifs, il y a des juifs dans sa famille, il a aidé quelques couples juifs à fuir en Suisse, il a une maîtresse juive, il dit à ses subordonnés ne pas les haïr. Hannah Arendt voit dans ce tableau plutôt une carence de pensée, de projet sur sa vie, une carence de pouvoir se la représenter et d'agir en fonction de pensées et projets. C'est cette carence de pensée qui laisse place aux glissements du quotidien, à la *banalité* du mal.

Cette « banalité du mal » peut être transposée au niveau du laboratoire. Les recherches ne peuvent-elles donner lieu, dès le début de la conception des recherches, à des effets techniques, sociaux, éthiques, dont on ne peut au début prévoir les conséquences ?

Classiquement on suppose que les recherches fondamentales sont bonnes, au moins à l'intérieur du laboratoire, si du moins on suit les règles de la déontologie, et que les conséquences bonnes ou mauvaises sont le fait des applications. Ce n'est pas si simple. Cette vision est défendable sans doute dans le travail articulé par les théories, qui est d'ailleurs le lieu où l'idée d'application peut avoir un sens. Dans le travail organisé par modélisation, on ne parlera plus d'application, mais de conception, qui suppose une maîtrise des échelles, de la distinction entre les systèmes et les sous-systèmes, de celle des méthodes hétérogènes investies, des fragments de disciplines entrant en jeu, etc. On peut déjà soupçonner que vont se construire des parentés entre éthique technologique et épistémologie des modèles. Beaucoup de problèmes d'éthique vont avoir une structure proche de questions épistémologiques.

Prenons un exemple. Soit la fabrication d'un OGM (organisme Génétiquement Modifié). Soit par exemple du blé, victime d'insectes du type « charançons ». Soit des petits pois, dont on a remarqué qu'ils n'étaient pas attaqués par les charançons. Peut-on produire un blé qui ne soit plus attaqué par des charançons, et ainsi avoir plus de blé pour les mêmes récoltes ? On étudie la relation charançon/petits pois, et on isole dans ce dernier ce qui tue le charançon, qui peut être identifié à un gène. Le but est de prendre ce gène et de l'insérer dans le génome du blé.

C'est là une vision assez « mécaniste » des OGM. On prend un gène d'un ensemble pour le mettre dans un autre ensemble. On suppose que les interactions entre ce gène et les ensembles de gènes sont négligeables. Mais certains scientifiques (dont J.-J. Kupiec, mais pas seulement) supposent que cet isolement du gène ne va pas de soi, des deux côtés, que les interactions ont en particulier un caractère probabiliste qui rend beaucoup plus complexe l'isolement de ce qu'un gène peut exprimer — cela remet en cause, ou du moins complexifie, les projets d'OGM ou de thérapie génique. De toute façon, même si l'on produit un OGM de façon mécaniste, l'évaluation de la plante OGM ne pourra s'en contenter. Pour évaluer l'OGM, il faudra comprendre les interactions entre le nouveau gène et le génome. Le gène du petit pois peut être mangé par l'homme sans effet secondaire remarquable. Mais il est possible que, inséré dans un autre génome, des réactions allergiques, dont on ne peut au départ mesurer la fréquence et l'intensité. Comment faire ? Quelles stratégies suivre ? On voit sur un tel exemple que éthique et méthodologie en biologie se recourent. Actuellement, les biologistes prennent quelque distance avec une génétique jugée trop « mécaniste », et ont fondé la post-génomique, voire même la post-génomique intégrative, qui prend en compte ces problèmes en

construisant des modélisation de type multi-disciplinaire. Les 29 et 30 novembre 2006 a eu lieu un colloque de post-génomique intégrative à l'INSA de Lyon (IPG), et le colloque était précédé d'une journée méthodologique sur les modélisations et les simulations multi-agents, ainsi que d'un déjeuner de travail sur l'intégration de l'éthique dans cette méthodologie. Ce changement de style peut être suivi par les philosophes et les épistémologues par la lecture des écrits d'Evelyn Fox-Keller ou de Michel Morange, qui tous deux ont pris acte de ces modifications.

À quel moment peut-on dire que l'on a affaire à de l'« éthique technologique ». Je proposerais deux critères :

- 1) L'un porte sur les frontières. Il y a problème éthique dans les sciences lorsque le développement d'une science met en déséquilibre ses relations avec d'autres sciences. On peut prendre pour exemple tous les problèmes posés par l'embryon, la fécondation *in vitro* (FIVETE) et le Dépistage Pré-Implantatoire (DPI). Tous mettent en jeu le statut de l'embryon (biologie, droit, médecine, théologie, philosophie, etc. : quelles nouvelles frontières ?), que faire des embryons surnuméraires (congélation, recherche, source de cellules, enfants conçus très longtemps après la mort du père, etc.) ; faut-il choisir entre les embryons que l'on implante (éviter des maladies, choisir des caractéristiques positives) : eugénisme technologique ? de ces problèmes, on parle toutes les semaines dans nos quotidiens.
- 2) L'autre porte sur l'ambiguïté entre sujet et terme d'un réseau. Dans la série sur les mondes possibles, j'ai déjà exposé les différences entre Leibniz (« praedicatum est in subiecto », l'analyse du sujet à l'infini permettrait de nous donner la suite de tous les événements de sa vie, en approfondissant la notion du sujet on trouve tous ses prédicats — c'est le « principe des relations internes »), et la transformation du jugement en proposition (ou, au contraire, on a un « principe des relations externes » [Russell et G. E. Moore], l'analyse du sujet ne nous dit rien des relations où il est pris).

Ce second point est très important pour comprendre les problèmes éthiques liés à l'Internet. On y projette l'idée de sujets (je suis un sujet avec telles ou telles propriétés, projets, pensées,

etc.), que l'on projette sur un réseau où tout sujet est transformé en terme, ou toute connaissance est transformée en information. Les critiques faites à Internet, ou au contraire les utopies construites à son occasion, sont souvent des constructions qui n'ont pas compris cela, et ne s'en tiennent qu'aux extrêmes de ses manifestations. Là aussi, nous avons une proximité du problème éthique et du problème épistémologique, qui rend la pensée de cette nouvelle éthique extrêmement intéressante.

Quel peut être le lien de l'éthique aux sciences et aux technologies ? Lorsque l'on raisonnait principalement par théorie, comme dans toute l'épistémologie classique, l'éthique était un domaine parallèle, qui n'intervenait pas dans le travail scientifique. Selon Poincaré, la science se conjugue à l'indicatif et l'éthique au subjonctif, elles ne se contrarient pas mais n'ont pas de lien direct.

La situation a changé. Même chez ceux qui ne cherchent pas à développer des recherches éthiques qui accompagnent les technologies, il y a une vague conscience de ce champ, parfois avec un peu de culpabilité. En fait, en France, les institutions sont assez en retard sur les pays anglo-saxons. Les Etats-Unis, par exemple, consacrent 1% des fonds de recherches consacrés aux nanotechnologies aux recherches en sciences humaines et en éthique pour les accompagner. Nous en sommes très loin.

Mais ce changement n'est pas simple, tout de sortes de facteurs y ont concouru, ce qui rend difficile de comprendre la nature et l'impact de cette éthique. Je vais tenter de déceler certains d'entre eux, qui ont tous quelque chose à voir avec l'interdisciplinarité. Rassemblons ces traits de façon systématique, au risque de quelques répétitions d'une série à l'autre.

- 1) Certaines sciences ou certaines technologies, ou mieux, les deux à la fois, ont donné lieu à des développements tels qu'ils ont brouillé les frontières qu'ils avaient avec d'autres disciplines. On peut faire FIVETE ou DPI, techniquement c'est possible. Mais que deviennent alors les relations de la biologie au droit, à la jurisprudence, à la philosophie, aux religions, etc...
- 2) Apparaissent de plus en plus de « sciences génériques » —par exemple la tribologie (sciences des frottements, qui est une discipline relevant de la mécanique mais qui intervient partout où il peut y avoir frottement), peut-être peut-on qualifier ainsi l'informatique —, qui peuvent intervenir en n'importe quel point de la carte des sciences et des technologies dans la mesure où on a besoin de leur compétence. La science générique amène avec elle par conséquent une dimension interdisciplinaire.

- 3) Apparaissent également des « technologies génériques », adaptables partout, et qui ne peuvent être traitées qu'à travers des travaux interdisciplinaires — par exemple, les « nanotechnologies », qui ne sont définies que par l'ordre de grandeur (10^{-9}), et non pas un domaine.
- 4) Apparaissent des « technologies convergentes », telles les NBIC (Nano- Bio-, Info-, sciences Cognitives) en 2002, qui systématisent les convergences qu'on peut observer avec les précédentes. Ce nouveau pas affecte les frontières entre le vivant et le non-vivant, le naturel et l'artificiel.
- 5) Avec ces passages de frontières, ainsi que l'introduction de concept comme celui de « population » en biologie, ou bien encore de conception de matériaux, on traite de plus en plus de singularités et non pas de concepts universels. On aperçoit des liens entre la pratique de l'interdisciplinarité et la possibilité de décrire ou de produire des singularités.

Les liens entre ces aspects nouveaux des sciences et des technologies avec l'éthique ne sont pas immédiatement apparents. Pendant longtemps, seul le premier point est apparu comme suscitant un questionnement éthique. Pourquoi, parce que c'est le seul qui donnait lieu à des représentations où l'on pouvait supposer que des jugements de valeur de « bien » ou de « mal » pouvaient avoir quelque pertinence. C'est là une première approche nécessaire, mais superficielle. Il faut ajouter que ce premier point n'indique qu'une chose vraiment concrète : c'est que les biotechnologies ont pour fonction de rendre plus rapides les effets des décisions individuelles dans le social. Utiliser les moyens modernes de contraception, de conception, d'euthanasie, etc..., supposent que les choix fait par un individu ou un couple face à un médecin ont des effets beaucoup plus rapidement sur le social, que les décisions individuelles prises sans l'aide des biotechnologies. C'est du moins l'hypothèse faite par AFS.

Les stratégies de l'éthique technologique

La prise en compte du seul premier point pour l'éthique a donné lieu à une stratégie, qui consiste à se saisir des problèmes qui se posent au coup par coup, et de tenter de construire un avis sur la nouvelle situation et sur l'attitude à prendre. C'est la façon dont procèdent les Comités d'éthique qui ne se saisissent que des problèmes effectifs. À l'occasion de ces problèmes, ils élaborent une position qui tient compte de la conviction de chacun des

membres du Comité sans dépendre de l'une de ces convictions. C'est une méthode qui n'est pas facile, parce qu'elle demande une approche complexe. Elle suppose que l'on élimine les extrêmes.

Cette première approche éthique a beaucoup modifié celle-ci. Bien entendu, on a toujours besoin de principes abstraits. Axel Kahn a par exemple défendu l'idée que les impératifs de Kant font toujours très bien l'affaire, qui consiste dans tous nos actes à traiter l'homme comme une fin et non comme un moyen. Mais la nouveauté est qu'il faut articuler constamment ces principes abstraits à l'analyse de situations ou de faits. Par exemple, que dire à une famille dans le deuil, à propos d'un prélèvement d'organe, à qui l'on déclare dans le même temps que leur proche est mort et en service de réanimation pour la conservation des organes ? Comment leur faire vivre cette contradiction, alors que la prise de décision doit être très rapide ? L'analyse des faits est essentielle dans l'éthique technologique, et elle ajoute ainsi une nouvelle donne à l'éthique classique. C'est la stratégie des Comités d'éthique, qui consiste à se saisir des problèmes au fur et à mesure qu'ils se posent, à élaborer des modes de discussion qui rendent compte de toutes les opinions sans dépendre de l'une d'entre elles. Cette façon de faire élimine les extrêmes, et cherche des points d'équilibre dans des situations complexes. C'est là un premier point.

Progressivement, les autres facteurs ont été pris en compte, un peu en désordre. Mais ils ont, pris ensemble, donné lieu à d'autres stratégies éthiques. Maîtriser les conséquences de démarches interdisciplinaires n'est pas possible. Il faut donc raisonner autrement que par la suite des conséquences. De telles méthodes existent, au moins depuis l'œuvre de Nietzsche, qui définissait l'homme comme un animal qui peut promettre. La signification de cette définition est que l'homme est capable de donner sens à un énoncé présent (l'énoncé de la promesse) par un acte futur (le contenu de la promesse) quels que soient les événements qui séparent ces deux moments du temps. C'est dire que l'homme est capable d'inverser la flèche du temps, de donner sens au présent par le futur. Cette méthode a été reprise par ceux qui ont voulu tenter d'évaluer nos technologies par des scénarios, « catastrophes éclairées » ou par hypothèse, catastrophe par heuristique, utopies et prophéties, science-fiction en tout genre. Je pense particulièrement à l'œuvre d'Hans Jonas en Allemagne, et à celle de Jean-Pierre Dupuy en France. Il ne faut pas mépriser ces scénarios, ils prennent la place des prospectives là où elles ne peuvent être que très limitées. Ils font voir, si on les prend dans leur pluralité sans s'attacher à l'un d'entre eux, certaines caractéristiques de nos technologies, car les récits

accompagnant les technologies les constituent partiellement. Ces scénarios permettent de développer une sorte de sensibilité aux modifications épistémologiques et sociales.

Nous disposons ainsi de deux grandes stratégies éthiques, l'une qui va du présent vers l'avenir à l'occasion des problèmes qui se posent effectivement. L'autre qui injecte du futur dans le présent pour réévaluer les paramètres choisis dans les modélisations présentes. Beaucoup de questions relèvent d'ailleurs de l'une et de l'autre stratégie, comme les biotechnologies ou tout ce qui touche à l'informatique et aux réseaux. D'autres donnent lieu plutôt à des techniques de scénarios, comme les nanotechnologies. Le point où les scénarios deviennent intéressants est celui où se conjuguent plusieurs technologies, parfois elles-mêmes non spécifiques.

La technologie et l'épistémologie des modèles

Dans ce tableau, il manque quelque chose d'essentiel et qui, nous le verrons, peut modifier l'abord de l'éthique, mais aussi de l'interdisciplinarité.

Il y a un terme qui manque à dans la comparaison de ces deux stratégies éthiques, et qui sans doute n'est pas visible au premier regard. Dans les descriptions des éthiques, comme dans celles de l'interdisciplinarité, on passe presque toujours d'une épistémologie par domaine, élaborées à l'occasion des théories (par exemple Poincaré, Duhem, Meyerson, Bachelard en France, ou Carnap, Popper, Lakatos, Kuhn, Feyerabend en Europe centrale puis en langue anglaise) au concept de « technologie », qui est rarement explicité. Les distinctions élaborées dans ces épistémologies ne sont pas adaptables immédiatement à des contextes de modélisation et de conception. Cela a créé un vide, justement comblé avec le concept multiforme et indéfini de « technologie », très utile pour comprendre les relations actuelles entre les sciences et les techniques, mais insuffisant pour tenir la place d'une épistémologie des modèles, de la modélisation, de la conception et de la simulation. Celle-ci n'est pas tout à fait inexistante. Une thèse d'histoire des sciences contemporaines a très bien montré qu'elle existe de façon diffuse dans les articles scientifiques, surtout lorsqu'ils s'engagent dans une poly-formalisation (Varenne, 2004). En Amérique, certains travaux ont commencé à combler le vide épistémologique sur les modélisations et l'instrumentation, Galison, Pickering, Morgan et Morrison. En France, la prise de conscience de cette carence a été plus difficile, à

cause d'une histoire particulière de la modélisation. Je renvoie ici aux deux séries sur l'épistémologie et la modélisation.

Mais il importe qu'une unification soit faite entre l'épistémologie des théories et celle des modèles. En effet, le passage trop rapide d'une épistémologie théorique à une technologie pragmatique a laissé un tel vide autour de la pratique maintenant la plus répandue de la science, même dans la théorie, et a provoqué non pas une crise de la science, mais certainement une crise du concept de science. On ne sait s'il faut l'interpréter comme un « fait social » dépourvu d'objectivité. C'est pourquoi les suites des sciences sont décrites par des métaphores, récits, scénarios, utopies, qui prennent la place de ce que devrait être une épistémologie des modèles. Celle-ci ne supprimerait pas les récits, mais leur donnerait une autre fonction, plus proche de la constitution des techniques. Admettre à la fois science, épistémologie, récit, admettre ces multiplicités et penser à partir d'elles résorberait une carence et serait un début de solution à la crise du concept de science.

La technologie et les deux stratégies éthiques

Or cette question théorique fait système avec le contraste des deux éthiques, celle qui part du présent et celle qui revient sur lui depuis le futur. Si l'on tient compte de ce que nous avons dit de l'épistémologie, nous pouvons reprendre la description des stratégies éthiques, et proposer l'hypothèse suivante :

Hypothèse de AFS : l'éthique technologique est une science générique de l'interdisciplinarité.

Nous voulons dire par là qu'il y a problème éthique lorsque les frontières entre disciplines sont brouillées par le développement de l'une d'elles, et par le caractère non spécifique et générique de certaines sciences et de certaines technologies. L'éthique est là, quelle que soit sa stratégie, pour trouver de nouvelles articulations entre les frontières. L'idée de « technologie » ne permettait guère de voir cet aspect de l'éthique, car elle est souvent caractérisée comme une « intégrale des techniques » (Serres) du fait qu'elle résulte des liens

systematiques entre les sciences (universelles et publiques) et les techniques (spécifiques et souvent secrètes) sous l'horizon de la politique et de l'économie, en particulier durant la guerre froide (Galison, Dahan-Dalmedico et Pestre). Réélaborer l'épistémologie avec la modélisation permet de prendre conscience de cet aspect fondamental de l'éthique technologique. Elle tente de retrouver des caractérisations disciplinaires là où les frontières deviennent fragiles ou poreuses, elle dessine une carte des savoirs (et pas seulement des sciences) et cherche un nouvel équilibre entre les grands domaines et les pratiques interdisciplinaires.

Cela explique certains aspects de cette éthique, qui lui sont souvent comptés à charge. C'est qu'en soulignant les problèmes posés par les sciences et les technologies et leurs mélanges, elle produit l'effet pervers d'habituer le public à des technologies, qu'il s'agissait justement de maîtriser. En ajoutant l'analyse des faits à l'éthique classique, elle produit des effets qui sont justement le contraire de ce qu'elle projetait. Certains la condamnent pour cela, d'autres estiment que cette critique est inutile. Ces deux extrêmes nous paraissent l'un et l'autre excessifs. C'est un problème que l'éthique ait des effets pervers, mais c'est aussi un progrès immense, qui va du côté de ce que l'on espère comme « démocratie technique », que l'on parle explicitement et publiquement des questions éthiques liées aux sciences et aux technologies. Il faut certainement, comme aux USA, développer ce travail en accompagnant l'enseignement comme la recherche.

Un concept a priori de l'homme

L'effet pervers de l'éthique technologique tient au fait que, dans tous ses développements, on ne tenait compte que de l'homme en tant que perfectible scientifiquement et technologiquement. Les mises au point des technologies peuvent faire partie directement ou non de l'essence de l'homme. C'est là que gît le problème. L'homme a été une bonne horloge, une machine chimique, un ordinateur, un être prothétique selon les dernières technologies de l'époque où l'on cherchait à le caractériser. Cette fuite en avant de la définition de l'homme à l'occasion du renouvellement des sciences et des techniques donne lieu actuellement aux débats sans fin de savoir si les technologies à venir vont dépasser l'homme, et nous faire avancer vers le transhumain, comme le voudrait certaine secte. C'est là une illusion de perspective.

Pour engager la question de l'éthique technologique, il faut d'abord admettre que les technologies ne caractérisent pas directement l'homme. C'est là une chose admise de divers côtés. L'écrivain Robert Musil, ingénieur à l'origine, écrit dans les années 30, *L'Homme sans qualités*, concept qui, transféré en philosophie, me paraît tout à fait important. Jean-Claude Guillebaud, dans *Le Principe d'humanité* (Paris, Le Seuil, « Points », 2001) caractérise l'homme comme un a priori, au sens où il n'est réductible ni à l'animal, ni aux organes, ni aux technologies — et, de ce point de vue, il critique l'effet pervers des travaux des Comités d'éthique. François Laruelle, dans *L'Éthique de l'étranger* (Kimé, 2000) ou dans *L'Ultime honneur des intellectuels* (Entretiens avec Philippe Petit, Textuel, 2003) propose une méthode dans laquelle les technologies et toutes les autres propriétés attribuables classiquement à l'homme ne servent qu'indirectement à sa description. Il y a donc une multitude de descriptions possibles d'un homme sans qu'il soit caractérisé directement par elles.

Cette méthode a été construite partiellement sur la conviction que les barbaries — celles aussi dont nous avons été témoins au 20^{ème} siècle — reposent sur une confusion du sujet, caractérisé par tous les attributs philosophiques que l'on veut, et l'homme, qui ne se réduit pas au sujet. Il est alors possible de parler d'une éthique réelle, pas seulement interdisciplinaire, mais à laquelle on peut rapporter le travail interdisciplinaire. Cette méthode implique que les frontières sont sans doute un instrument important pour la description d'une cartographie des savoirs, mais qu'elle devient inessentielle eu égard au concept d'homme.

Ingénierie collaborative et éthique

On peut alors mettre en rapport ce que nous avons expliqué sur la modélisation, les mondes possibles et l'éthique.

Beaucoup des ouvrages sur les biotechnologies opposent de façon trop simple Les Lumières à l'obscurantisme, le développement de la science éclairée avec ses opposants. Cette vision 18émiste n'est plus compatible avec les problèmes d'interprétation actuelles des sciences, des technologies, de la modélisation et de l'éthique technologique. Trop de travaux d'éthique ignorent les problèmes actuels des sciences fondamentales, parlent de technologie là où il faudrait parler aussi de modélisation, parlent d'éthique sans avoir élaboré de critères pour comprendre les caractères spécifiques de l'éthique technologique, sans même connaître quoi que ce soit aux philosophies contemporaines, qu'elles soient anglo-saxonnes ou continentales.

Je ne pense pas que les distinctions que j'ai faites soient les seules possibles, ni que les hypothèses que j'ai proposées soient les seules pertinentes, loin de là. Par contre, il me semble nécessaire d'en faire, et de tenter de voir certaines des conséquences de ces hypothèses. Cela est nécessaire, et est une façon de faire face à la crise actuelle du concept de science (et non des sciences, ou des discours sur la science, qui se portent bien. L'absence de connaissances en philosophie contemporaine est encouragée par le fait que l'enseignement de la philosophie en France est un enseignement de l'histoire de la philosophie (ce qui a évidemment aussi ses avantages, les étudiants sortent de leurs études avec une idée de ce qu'est le geste philosophique). D'autre part, la tendance dans l'épistémologie est de nommer des personnes ayant la pratique d'une science, ce qui est très bien. Mais elles n'ont souvent que peu de connaissances philosophiques. Il faudrait tenir compte de tous les ingrédients des problèmes contemporains pour trouver un équilibre, où toutes les formations aient leur place, les philosophies contemporaines comme les autres paramètres.

Tout cela est encore une vue programmatique, mais nous y travaillons avec d'autres, philosophes, épistémologues et scientifiques. Nous pensons que l'articulation de ces diverses séries pourra permettre de poser de façon plus pertinente les problèmes éthiques liés aux sciences et aux technologies, en particulier « La querelle des OGM », selon l'expression d'Oury (voir la bibliographie).

L'une des voies que permet la conjonction des séries est celle-ci. De faire collaborer l'éthique comme une pièce de l'ingénierie collaborative²⁴ (*concurrent ingeneering*) qui fait converger sans hiérarchie des fragments de disciplines scientifiques et technologiques. L'éthique pourrait en être l'un des paramètres. Les mondes possibles pourraient y être intégrés comme hypothèses alternatives locales liées à la modélisation, plutôt que comme modèles liées à l'interprétation des théories.

²⁴ Tapez sur Google l'un ou l'autre de ces termes, vous verrez que l'ingénierie collaborative a vu le jour autour des années 1980 dans l'aviation, puis dans l'automobile, où la solution de problèmes dépend de nombreux facteurs. Elle donne lieu à des méthodes de marketing, mais que l'on pourrait transposer sur le mode de l'éthique technologique.

Conclusion

L'identité et le virtuel

J'aimerais terminer ces réflexions sur une question importante et assez peu débattue en épistémologie et éthique sur les OGM.

Tout ce cours suppose que l'épistémologie doit être déplacée, de la notion centrale de théorie à une idée plus minimale du concept de science, qui permette de réunifier épistémologie des théories et épistémologie des modèles. Cette démarche suppose, nous l'avons déjà dit, l'hypothèse que le réel précède la science, mais aussi la philosophie, ce qui est moins commun, puisque celle-ci est vue à travers le concept de Logos qui est une synthèse et une co-appartenance entre le réel et la pensée. Cette méthode rapport au réel les problèmes sous la forme d'identités. Une vision non exclusive des sciences actuelles donne à nouveau de l'importance à l'identité, développée autrefois par Emile Meyerson en particulier, mais en un sens nouveau. Cette identité n'est pas déterminée par l'unité d'un contenu, mais par le rapport de celui-ci au réel. Mais cela modifie considérablement le positivisme classique par lequel on cherchait à trouver la « spécificité » des sciences.

Cela ne signifie pas qu'il n'y ait plus de relation entre l'identité d'un problème et les universaux, mais ces relations sont profondément changées. Cette identité ne peut être expliquée par l'extension d'une théorie que l'on particularise. Cette question avait bien été vue par Popper et par Laudan, qui avaient tous deux souligné l'importance du problème dans la pratique scientifique, mais ils en étaient restés l'un et l'autre à une épistémologie organisée de façon principielle par la théorie. L'unité de l'ordre de grandeur épistémologique change, il n'est plus nécessairement le rapport théorie/fait, ou plutôt, il y a une variété d'ordre de grandeur épistémologique. L'opposition positif/spéculatif n'est plus la seule à articuler les relations entre le donné et le construit. Le « grain » de la science n'est plus seulement le fait. C'est l'attachement implicite à ce couple qui, en France, a organisé l'opposition contre la modélisation et l'interdisciplinarité.

Pour comprendre ce qui s'est passé en sciences, il faut d'autres termes que ceux-ci. Nous proposons celui de virtuel — qui pourrait être compris comme le fait dépouillé de toutes ses caractéristiques théoriques. Il n'y a plus besoin de « fait brut », mais juste de l'identité d'un problème ou d'un objet. Le grain de la science est fait d'identités dont les éléments ne peuvent plus être compris comme le double spéculatif des contenus théoriques. Il y a avait

quelque chose de cela dans l'hypothèse géométrique pour la compréhension des couleurs chez Descartes : leur structure n'était pas « en couleurs ». Pour faire comprendre cette idée par une autre métaphore, on pourrait dire que les sciences sont organisées comme les images par millions de pixels, comme on le dit pour la photographie numérique. Aucun des pixels n'est un morceau de l'image, et pourtant se voit finalement une image. Une couche, très en deçà des contenus théoriques, contribue à constituer la science, et ne contient aucun double ou symétrique des concepts théoriques. C'est cette couche que nous présentons comme le « virtuel ». Ce terme vient de ce que lorsque l'on décrit un objet concret, on le reconstitue par des moyens venant de disciplines théoriques différentes. Dans un tel contexte, l'interdisciplinarité devient une règle naturelle. Les théories et les disciplines restent essentielles, comme garantes de la cohérence ou d'une cohérence. En effet, un travail scientifique a de la validité dans la mesure où il est possible de le mettre en relation avec les connaissances de base. Même les révolutions scientifiques tiennent compte des connaissances acquises, même si c'est pour les rendre valides dans un champ plus étroit.

Le thème de la complexité relève des mêmes configurations épistémologiques. Un phénomène est dit complexe lorsqu'il ne peut être déterminé que par une conjonction de fragments de sciences et de disciplines. Ce n'est pas la seule définition possible de la complexité, mais c'est celle qui permet de rendre compte à la fois de la modélisation et de l'interdisciplinarité.

Il nous faut donc une philosophie des sciences génériques. Elle ne se substitue pas à la philosophie des sciences classiques, mais la complète de façon à défaire les hiérarchies qui font obstacle à la compréhension des sciences contemporaines. Il faut conserver les distinctions classiques, mais en les rendant plus mobiles, en les mettant dans de nouvelles combinaisons. Cela suppose une épistémologie capable de reconstruire des liens entre des espaces apparemment éloignés des sciences, une épistémologie flexible.

Pour cela : épistémologie qui ne porte pas directement sur les objets, mais sur les opérations sur les objets, une sorte d'épistémologie quantique. L'unification de l'épistémologie des théories et de celle de la modélisation suppose un tel passage. Il y a une sorte de dissociation entre l'épistémologie et ses objets qui n'entraîne pas une moindre objectivité des sciences, mais une critique de l'objectivité comme ne passant que par la validation de la théorie.

L'identité et la question des OGM

Les OGM sont définis comme une manipulation par des moyens artificiels d'un patrimoine génétique. Mais y a-t-il « identité » ou « intégrité » d'un tel patrimoine ? C'est une question sur laquelle les biologistes ne sont pas d'accord. Certains estiment qu'ils interviennent, et que, par conséquent, ils modifient l'intégrité d'un patrimoine génétique. D'autres pensent que les modifications génétiques sont constantes de façon naturelle, et en concluent que l'on ne peut définir une telle identité. L'action du biologiste ne serait qu'une modification parmi des modifications naturelles beaucoup plus nombreuses. Les plus extrêmes affirment que les lois sur les OGM n'ont pas d'objet. La plupart ont des positions intermédiaires, cherchant à caractériser l'action humaine tout en tenant compte des constants « flux de gènes ». De toute façon, la question des OGM ne peut être vue de façon complètement « fixiste » au sens où l'on aurait un patrimoine donné une fois pour toutes, sur lequel on interviendrait. C'est un processus dynamique, et donc plus complexe. Il ne s'agit pas d'opposer simplement le naturel et l'artificiel, ou l'exotique à ce qui ne l'est pas.

Que pourrait être l'identité dans un tel contexte ?

La question n'est peut-être pas aussi simple qu'il y peut paraître. Elle ne se donne pas par un état positif, mais plutôt par un ensemble de liens virtuels.

Faisons une analogie avec un concept plus complexe celui d'espace. Lorsqu'un philosophe ou un savant présente sa « philosophie de l'espace », il ne s'agit pas de l'exposé de tel ou tel espace, sensible, « grossier » (Poincaré), géométrique, analytique, euclidien, à n dimensions, non-euclidien, physique, etc... La philosophie de l'espace dépend de la façon dont on articule tous ces espaces, des hiérarchies que l'on construit entre eux, de la façon dont on fait coïncider ces notions entre elles (l'une peut-elle être modèle ou non pour une autre ?). Elle ne dépend d'une façon isolée de concevoir par exemple la géométrie euclidienne et l'infinité des géométries non-euclidiennes.

La question de l'identité d'un patrimoine génétique ne devrait pas non plus être une détermination positive, comme le voudrait la plupart du temps le sens commun. Supposons que l'identité d'un patrimoine est le lien virtuel entre tout de sortes de « couches », de la génétique à l'apparence visuelle de l'individu d'une « espèce ». Cela pose de façon un peu plus complexe le statut de l'OGM entre naturel et artificiel. Il ne faudrait pas poser le problème du naturel et de l'artificiel, ou de l'exogène et de l'endogène sous la forme de contraires, mais selon une autre « syntaxe » qui permettrait de rendre compte de la complexité de ces couches. Supposons que chacune d'entre elles puisse être déterminées tour à tour

comme strictement séparée ou strictement identique à une autre. L'apparence de la violette comme strictement identique à sa génétique, mais aussi comme tout à fait séparé, et éventuellement les deux à la fois. C'est une syntaxe qui non seulement accepte la multiplicité des « couches », mais encore celle des modèles dans lesquelles ces couches sont prises. Faire un feuilletage non seulement des couches, mais des représentations dans lesquelles sont prises ces couches. Cette syntaxe est développée dans la méthode de la non-philosophie et la philo-fiction. Le virtuel y serait l'unité minimale de naturel et d'artificiel, soit rigoureusement identiques lorsque rapportés au réel, soit rigoureusement distincts. Il ne pourrait y avoir de retournement topologique entre eux, qui redonne forme aux passages et aux oppositions qui articulent les Lumières et l'obscurantisme.

Table des matières

Résumé :	2
Bibliographie :	2
Sujets proposés au choix :	4
INTRODUCTION	4
CHAPITRE 1 – LA SERIE « EPISTEMOLOGIE »	7
Les trois problèmes	8
L'épistémologie du 20^{ème} siècle a recherché des critères de scientificité	12
a) description	12
b) Thèse : ces descriptions sont indirectes – il n'y a pas de continuité simple entre philosophie des sciences et épistémologie	13
c) Conclusion sur la méthode : comprendre les sciences suppose l'usage d'hypothèses	14
En quoi consiste cette crise ?	15
Rappel sur le concept de théorie	15
Qu'est-ce qu'un modèle ?	18
Comment décrire la cartographie des sciences ?	20
Les limites de l'épistémologie des théories	20
a) La description du concret	21
b) les sciences de l'ingénieur	21
Les nouvelles fonctions de la théorie :	22
Epistémologie de la modélisation	23
L'histoire particulière de la philosophie française devant la modélisation	24
Unification des épistémologies (le problème du début)	25
Epistémologie « quantique » ou « non-épistémologie »	27
CHAPITRE 2 — LA SERIE « TECHNOLOGIE »	29
Les phénomènes scientifiques récents	29

Philosophie des sciences génériques et sens commun	30
Le concept de « technologie »	33
Technologie et épistémologie	35
Technologies et sciences	36
CHAPITRE 3 : SERIE « MODELISATION », LA QUESTION DES HYPOTHESES ET DE LA COMPLEXITE	39
CHAPITRE 4 — LA SERIE « MONDE POSSIBLE »	51
CHAPITRE 5 — LA SERIE « ETHIQUE TECHNOLOGIQUE »	62
Les stratégies de l'éthique technologique	66
La technologie et l'épistémologie des modèles	68
La technologie et les deux stratégies éthiques	69
Un concept a priori de l'homme	70
Ingénierie collaborative et éthique	71
CONCLUSION	73
L'identité et le virtuel	73
L'identité et la question des OGM	75
TABLE DES MATIERES	77