

LES MODELES, OBSTACLES ET ENJEUX DE LA CRITIQUE

N. Bouleau, O. Coutard, K. Chatzis, juin 2004

INTRODUCTION

Le thème de la recherche était la critique des modèles et démocratisation des décisions publiques. Elle visait à traiter d'un point de vue critique et réflexif du thème « modélisation et décisions publiques ». Plus précisément, interroger la place et l'usage des modèles dans le processus des décisions publiques : à quelles conditions et selon quelles modalités peut-on réconcilier le caractère plus ou moins « ésotérique » du contenu des modèles utilisés par les décideurs et les exigences d'une décision publique placée sous les signes de l'intérêt général et de la participation démocratique ?

Le point de départ était le suivant : la modélisation illustre les apories et les impasses d'une société (la nôtre) clivée en « deux cultures », littéraire et scientifique, qui n'arrivent pas à entrer en véritable dialogue et à se fructifier mutuellement.

Ainsi des intellectuels de formation littéraire, extérieurs au domaine de la modélisation, voient le plus souvent dans le recours et dans l'usage des modèles d'un accès difficile pour le non-spécialiste la soumission de la décision publique au pouvoir technocratique de l'expert. Aussi bien intentionné qu'il puisse l'être, ce type de critique est peu effectif, car trop externe et éloigné des modalités concrètes de passage des connaissances spécialisées aux réalisations sociales : s'appuyant uniquement sur les ressources du langage ordinaire, il a peu de prise sur l'adversaire et laisse échapper finalement à tout débat des retombées de la science, protégées par l'ésotérisme croissant des langages spécialisés auxquels fait appel la modélisation.

Quant au scientifique, la modélisation se présente à ses yeux trop souvent aujourd'hui sous les habits de la science productrice d'une connaissance sûre et de validité universelle (non locale), connaissance, qui plus est, totalement désintéressée et soustraite de ce fait à toute critique (l'instauration d'un *marché* mondial de connaissances ne facilite pas par ailleurs les ambitions critiques : d'une part, les connaissances à caractère universel sont dévalorisées du point de vue économique en tant que connaissances appartenant au domaine public et appropriables par tous, d'autre part, les savoirs locaux, à visée opérationnelle, dispensés dans des formations professionnalisantes et onéreuses, se trouvent protégés par leur coût contre la critique ouverte). Et quand regard critique il y a, la critique de la modélisation faite par les scientifiques est le plus souvent trop interne en se limitant pour l'essentiel à des procédures de validation ou de « purification ». Réduite à une réfutation intra-scientifique dans un but d'universalisation, cette critique interne vise essentiellement à agréger les connaissances locales et orientées contenues dans les modèles à des corpus disciplinaires et académiquement consacrés. Arrêtons-nous un instant aux pratiques de validation pour illustrer notre propos. Aussi sévères soient-elles, elles constituent des opérations certes nécessaires mais déployées à l'intérieur d'un *espace fermé* par le langage et les conventions choisis par le modélisateur, espace qui, quant à lui, est soustrait à la critique et à la discussion.

Problématique : Entre critique externe, insensible aux contenus de la modélisation et somme toute impuissante, et critique interne « purifiante » insensible aux retombées de la science et aux conséquences de l'innovation, la critique ouverte des modèles et de leur usage dans les décisions publiques est une opération difficile à mener à bien. Difficile mais non pas impossible, tel est le

pari qui sous-tend cette proposition de recherche qui s'appuie sur la thèse suivante, que l'on soumet sous forme d'hypothèse à affiner et à tester.

Loin d'être une application mécanique et univoque des connaissances scientifiques aux problèmes pratiques, la modélisation constitue une *représentation partisane* (au bon sens terme de terme) : au sein de multiples possibilités d'expression et de représentation, le modèle constitue un parti pris qui reflète, entre autres, les objectifs que l'on se fixe, les moyens (la quantité et la précision des données disponibles, par exemple) dont on dispose, l'incertitude plus ou moins grande qui pèse sur les connaissances du moment. Par définition outil partial et partiel, le modèle ne peut être critiqué de façon effective et socialement utile que par des contre-modèles concurrents, construits sur des principes différents. C'est le moyen concret et efficace de relativiser un modèle et de mettre en évidence le parti pris qui lui est constitutif.

Si la contre-modélisation paraît comme la seule voie permettant une critique effective d'un modèle donné, plusieurs conséquences en découlent pour la démocratisation des décisions publiques. Celle-ci exige ainsi la construction des espaces suscitant et accueillant la confrontation de différents modèles concurrents sur la question faisant l'objet de la décision. Et que pour ces espaces soient le plus accueillants possible, démocratisation oblige, il faudra que la modélisation soit devenue une propriété du plus grand nombre. Des ingénieurs bien sûr, qui sont les professionnels en quelque sorte de la modélisation : d'où la nécessité d'introduire et de développer la modélisation dans l'enseignement des écoles d'ingénieurs, peu intéressées jusqu'à présent par ce type de démarche. Mais l'augmentation du nombre de professionnels capables de maîtriser la démarche modélisatrice et de jouer le jeu de la contre-modélisation n'est qu'un premier pas. Si on croit que la démocratisation des décisions publiques est un enjeu important pour nos sociétés, le « profane », le simple citoyen doit être en mesure de s'approprier, lui aussi, la démarche modélisatrice : même si, contrairement à l'ingénieur, il n'entretient pas avec la modélisation une relation professionnelle, il doit être en mesure d'en saisir les enjeux, d'avoir sur elle un regard critique informé et, pourquoi pas, de l'alimenter de ses savoir-faire et compétences locaux. La question de l'enseignement de la modélisation, comme tournure d'esprit et compétence générale du citoyen, se pose alors également pour des institutions qui ne sont pas spécialisées dans la formation des ingénieurs (collèges et lycées, universités).

Une étape importante de l'étude, qui a déjà fait l'objet d'un rapport d'avancement, a été l'organisation d'un colloque à Cerisy sur le thème "langages scientifiques et pensée critique". Cette rencontre, d'une grande richesse, a débouché in fine sur des points de vue divergents traduisant la complexité du thème et rendant artificielle une tentative de synthèse dans des actes. La principale difficulté provient du fait que dans chaque champ (biologie, trafic, économie, environnement, décision publique, philosophie) les chercheurs ont considérablement avancé la réflexion sur les modèles et leurs enjeux et pointent des problématiques assez spécifiques qui leur tiennent le plus à cœur.

Aussi avons nous écarté dans la suite de notre réflexion l'objectif de la synthèse autant que celui du panorama pour tenter au contraire *un essai* qui s'appuie sur ces matériau tout en proposant une dynamique propre qui prolonge le questionnement initial rappelé ci-dessus.

Cet essai adopte le plan suivant :

LA MODELISATION : UNE CONNAISSANCE IMPURE ET UTILE

Le trafic automobile

Le génie des matériaux

Un bassin versant

Nouvelle production de connaissances

LA CONTRE-EXPERTISE : CONSTRUCTION DE CO-VERITES

Quine, Hans Jonas et Ulrich Beck

Mill et la rationalité externe
Linguistique des modèles
Modélisation et "projetation"
Le modèle et ses ornières de pensée
Construction de co-vérités

INSTITUTIONALISER LA CRITIQUE ?

LA REPUBLIQUE DE L'INNOVATION COMME UTOPIE NECESSAIRE

La modélisation et l'homme de la rue
L'homme : idée universelle ou idée générale ?
L'ambivalence assumée

DEVANT LE NOUVEAU POSITIVISME

Un conformisme dominant
Les trois "points de blocage" de Ian Hacking
Des mathématiques contingentes ?
La critique comme activité ludique indispensable
Les modèles comme lieu privilégié de la critique

CONCLUSION : LE TEMPS DE L'IMAGINATION

Nous lui annexons des notes, non retravaillées, aide-mémoire des débats de Cerisy

*

* *

Plutôt que de la définir *a priori*, nous aborderons la modélisation par des exemples. Cela permettra de montrer concrètement qu'elle produit des connaissances qui diffèrent sur plusieurs points de celles produites par la physique classique. Nous distinguerons le rôle des unes et des autres au regard de la vie économique et des problèmes d'environnement. Clarifier cette ambiguïté est un travail indispensable à une réflexion sur les modèles, non que les scientifiques eux-mêmes fassent la confusion, ils sont trop sensibles aux précautions méthodologiques pour cela, mais l'opinion est encore aujourd'hui imprégnée d'une image classique et épurée de la science de sorte que des assimilations de pure forme, notamment par la présence des mathématiques créent de véritables quiproquos.

LA MODELISATION : UNE CONNAISSANCE IMPURE ET UTILE

Les philosophes des Lumières et leurs disciples du XIXe siècle, en réaction aux connaissances révélées et aux croyances surnaturelles, voyaient la science à la fois comme processus d'élaboration de connaissances objectives et comme langage

capable de véhiculer la vérité au sein de la société. À leurs yeux, la science est un terrain neutre de description des faits et de leurs enchaînements, elle “renonce à chercher l'origine et la destination de l'univers, à connaître les causes intimes des phénomènes, pour s'attacher uniquement à découvrir par l'usage bien combiné du raisonnement et de l'observation leurs lois effectives, c'est-à-dire leur relation invariable de succession et de similitude”¹. Mais nous devons noter que dès le début, déjà dans l'*Encyclopédie* de Diderot et plus encore à l'époque du positivisme, la "pensée des Lumières" va plus loin et n'hésite pas à faire de la science le cadre approprié pour mener au mieux les affaires humaines, une fois écartées les métaphores prises pour des raisonnements et établies les règles générales convenables pour procéder sûrement à la recherche de la vérité. C'est souvent un trait que l'on attache à la modernité de considérer que les exigences méthodologiques de la science sont non seulement compatibles avec l'avancée des connaissances mais sont la condition même de leur progrès véritable à l'exclusion de tout autre forme de représentation ou de compréhension. Plus tard, à propos de l'exercice de la médecine, Claude Bernard sera partisan de limiter la thérapeutique aux seuls faits observables et leurs causes efficientes. Ainsi, au cours du dix-neuvième siècle, la science moderne, encouragée par le développement technique, ne se construit pas comme un recueil de représentations consensuelles minimales mais se prétend bien le seul langage de l'efficacité. Au début des années 1980 ce dogme ne semble pas être remis en cause ni par la majorité des scientifiques ni par des pans entiers de la population notamment parmi les acteurs économiques.

Or cela est loin d'être évident. Est-il si sûr que les vertus requises pour la description du réel dans un effort de rationalité, d'objectivité et d'universalité, soient les mêmes qu'on puisse attendre d'une communication entre acteurs, partenaires ou adversaires à la recherche de solutions efficaces dans la complexité du jeu social ? C'est cette question qui nous sépare du XIXe siècle et de la première moitié du XXe siècle, période souvent dite moderne, et ouvre la voie à des formes nouvelles de construction de connaissances. Qu'il y ait, en réponse à cette interrogation, des choses intéressantes à dire, nouvelles, est contraire à ce qui est enseigné le plus souvent. La théorie semble tout contenir tant nous sommes imprégnés de cette culture. Tenter de lui échapper semble vain, toute pratique étant théorisable. Pourtant rien ne fait obstacle, d'un point de vue logique, à ce que des connaissances subjectives et locales, soient plus utiles et plus efficaces dans certaines conditions que les seules vérités objectives et universelles. Jamais aucun argument sérieux n'a été avancé, ni par l'économie, ni par la théorie des jeux ni par la sociologie des organisations que les actions les plus pertinentes d'un groupe étaient celles dans lesquelles chacun ne faisait usage que de connaissances

¹ A. Comte, *Cours de philosophie positive, première leçon*, 1830.

scientifiques. Et dès lors que de telles connaissances sinon subjectives du moins fortement contextuelles ou de portée limitée, peuvent utiliser des mathématiques, celles-ci ne sont plus intrinsèquement modernes, mais participent à des enjeux post-modernes, tout simplement en tant qu'éléments linguistiques de représentations sociales vécues et utiles. Pour le montrer nous prendrons des exemples rencontrés par l'ingénieur, pris ici au sens le plus large d'utilisateur de connaissances partiellement mathématisées. Comme nous allons le voir, certaines situations rencontrées pratiquement ne se laissent pas appréhender par une théorie à visée universelle. Elles posent des questions sur la nature de la connaissance et sa production qui nous placeront au cœur de notre investigation.

Le trafic automobile

Le trafic automobile intéresse peu les scientifiques, on laisse en général ce genre d'affaire aux ingénieurs. Si l'on en juge par le temps passé en voiture dans les grandes agglomérations, par les poids économiques de l'industrie automobile et des transports routiers ou encore par l'énergie consommée et la pollution produite, il est pourtant une activité de première importance et mériterait *a priori* au moins autant de considération que la philologie indo-européenne ou la tectonique des plaques. Les enjeux sont considérables et il y a lieu de s'interroger sur la faible mobilisation d'intelligence – du moins sous la forme universitaire classique – sur cette question. Serait-ce que les problèmes théoriques sont résolus et que l'état des choses ne relève plus que de décisions politiques ? En réalité certaines questions algorithmiques restent sans réponse et la gestion opérationnelle ne réside pas uniquement dans les grandes options politiques. Serait-ce au contraire qu'ils sont trop difficiles parce qu'ils touchent à la fois au quantitatif et au social ? On peut observer que ces raisons n'ont pas été considérées comme des obstacles en d'autres domaines comme l'économie par exemple.

Voyons les choses plus en détail. Le trafic peut être mesuré par divers capteurs, fils en travers des chaussées, boucles magnétiques, etc., placés sur certains points du réseau routier pour compter les véhicules ou en estimer la vitesse. Ces mesures sont les faits bruts¹. Elles sont insuffisantes cependant pour réguler le trafic urbain par des feux de circulation, pour répartir les investissements de voirie d'après les besoins supposés ou pour éclairer les urbanistes dans la conception de quartiers nouveaux. Envisager ces décisions nécessite de *modéliser* le trafic car celui-ci est un phénomène très variable dans le temps et dans l'espace dont on espère, justement, mettre en avant certaines régularités. Il s'agit d'en trouver une représentation, constituée d'explications compréhensibles par les ingénieurs

¹ A ce niveau, nous prenons le terme "fait" comme quelque chose de non problématique pour les acteurs, sans arrière pensée constructionniste que les faits sont faits : il s'agit simplement du nombre de véhicules qui passent en tel point à tel moment.

concernés et incluant des symbolisations mathématiques le plus souvent programmées sur ordinateur. Une telle représentation est donc une *interprétation* des mesures, mais va bien au-delà puisque celles-ci ne qualifiaient que le passé ou le présent et qu'on est à même maintenant d'envisager des prédictions.

Quels sont les modèles de trafic les plus couramment utilisés ? Ils se rangent schématiquement suivant une hiérarchie des plus grossiers aux plus fins. On peut distinguer au moins quatre niveaux :

a. *Les modèles origine-destination* consistent à partager une agglomération en zones relativement homogènes quant à leur proportion d'emplois, de logements et d'équipements et à estimer la demande de trafic entre la zone i et la zone j par un coefficient a_{ij} construisant ainsi une matrice des flux de circulation quotidiens, hebdomadaires ou annuels. De tels modèles sont utilisés par les urbanistes pour les études d'aménagement et sont la base des argumentations dans les dossiers destinés à justifier les investissements de voiries importantes (voies rapides) ou de transport collectif auprès des collectivités territoriales. Ils peuvent être perfectionnés en tenant compte des capacités des voies existantes afin de ne pas raisonner sur des flux qui ne pourraient pas s'écouler.

b. *Les modèles hydrologiques* visent à donner une image plus précise de l'écoulement du trafic durant la journée en représentant celui-ci comme un fluide, compressible jusqu'à une certaine limite, caractérisé en chaque point et à chaque instant par sa concentration et sa vitesse ainsi que par une loi de comportement. La conservation de la masse représente la conservation du nombre de véhicules. Ces modèles rendent bien compte, par la mécanique des fluides, des phénomènes d'ondes de compression lors d'encombres ou de décompression lorsqu'un feu passe au vert ainsi que des écoulements turbulents et instables au-delà de certains débits critiques. Ils sont particulièrement utiles aux services d'exploitation des grands réseaux de voirie rapide.

c. *Les modèles granulaires* précisent les précédents en individualisant les particules du fluide. Ils relèvent de la théorie des réseaux de files d'attente, très développée pour l'informatique mais fonctionnant ici sous des hypothèses différentes et aléatoires. La complexité mathématique de ces modèles est déjà considérable.

d. *Les modèles microscopiques* vont encore plus dans le détail en prenant en compte les comportements statistiques par types d'usagers et en modélisant par des lois de probabilité les distances entre véhicules suivant les vitesses, les dépassements, les carrefours, etc.

Pour aller plus loin il faudrait tenir compte des informations que les automobilistes reçoivent eux-mêmes sur le trafic, des systèmes de navigation embarqués, des voies équipées (route intelligente, etc.). On voit que la réalité "trafic automobile" est fuyante, elle ne saurait être appréhendée exhaustivement.

On doit considérer que certains utilisateurs abonnés à des services spécialisés sont mieux renseignés sur les congestions que ne l'est le modélisateur lui-même. L'ingénieur de trafic n'est pas dans la même situation qu'un scientifique expérimentateur.¹

Dans sa démarche de modélisation, l'ingénieur de trafic est pris entre sa recherche d'efficacité pratique et son souci de rester fidèle à la réalité, et cette situation se retrouve dans la plupart des circonstances où la modélisation est utile. Les modèles simples, comme les modèles origine-destination, sont très grossiers et même faux en ce sens qu'ils fournissent des résultats fort éloignés des quantités mesurées mais sont aisés à ajuster car ils nécessitent relativement peu de mesures. Au contraire les modèles microscopiques prétendent s'approcher mieux des phénomènes mais se servent de lois de probabilité inconnues et autres paramètres qu'on n'a pas les moyens de connaître. C'est toujours un modèle intermédiaire qui est le moins mauvais, ni trop simpliste ni trop perfectionniste. Evidemment un modèle très élaboré qui intègre dans sa structure de nombreux éléments de la réalité à modéliser, mais mal calé, risque même de quitter les ordres de grandeurs que les modèles simples respectent.

Aussi l'ingénieur, dans cet entre-deux, doit penser au-delà du seul descriptif, il a à envisager les moyens disponibles et le coût de leur mise en œuvre. Il n'y a certainement pas de bon modèle en soi, avant d'engager la modélisation, il doit impérativement se demander *à qui va servir le modèle*. La démarche n'est pas la même si le commanditaire est un organisme d'aménagement, une régie de transports collectifs, un service de gestion des feux ou encore une association de défense contre un projet jugé nuisant. Les possibilités d'action de cet organisme sur le trafic et ses capacités de faire des mesures vont conditionner la connaissance qui sera élaborée et sa pertinence pour l'action.

On comprend dès lors pourquoi la science classique se détourne d'un domaine comme le trafic : elle y est inopérante. La nature universelle des connaissances qu'elle élabore la limite, *de facto*, à des généralités. *Le choix d'une bonne façon d'utiliser les outils et représentations scientifiques pour rendre service à un acteur économique spécifié n'est pas, à proprement parler, un problème scientifique du moins au sens des disciplines classiques de la science moderne de la physique à la sociologie.*

Le génie des matériaux

Notre second exemple, *le génie des matériaux*, illustrera mieux encore le rôle partiel que joue la science dans l'élaboration de certains types de connaissances.

¹ Signalons que l'ordre de complexité des modèles microscopiques est tel qu'ils ne peuvent appréhender avec les plus gros ordinateurs que quelques dizaines de carrefours et ne servent donc pas de base aux décisions actuellement.

S'agissant de matière, les disciplines convoquées sont la physique, la chimie et leurs chapitres spécialisés, thermodynamique, automatique, optique, cristallographie, etc. En outre les mathématiques ont ici un rôle particulier, comme nous allons voir, qui ne se réduit pas à assurer le service syntaxique des disciplines précédentes. La plupart des secteurs d'activité économique sont dépendants des matériaux disponibles et sollicitent la recherche dans l'espoir d'améliorer les performances et les coûts ou de mieux satisfaire les contraintes d'environnement qui deviennent chaque jour plus pressantes. Le domaine est immense. Les matériaux les plus importants quantitativement sont ceux, dits structuraux, qui servent au génie civil et au bâtiment : bétons, aciers, bois ainsi que certains verres. Chaque champ d'activité est concerné par des matériaux spécifiques, l'électrotechnique par exemple par les matériaux magnétiques, les conducteurs et supraconducteurs électriques, les corps piézo-électriques, les cristaux liquides, etc. Les produits manufacturés mettent à profit depuis longtemps le moulage des polymères fusibles (thermoplastiques) et utilisent les thermodurcissables, les céramiques et les matériaux composites, ainsi que, plus récemment, les biomatériaux pour les emballages à cause de leur facile dégradabilité.

Le génie des matériaux est une parfaite illustration du double mouvement dans lequel est prise l'innovation : entre la recherche d'une part et la demande d'autre part, cette dernière s'exprimant de nos jours au travers de l'économie de marché.

D'un côté les laboratoires proposent de nouveaux matériaux. Ils sont proches des établissements d'enseignement supérieur et disposent de savoirs théoriques. Par application de certains effets physiques, de nouvelles synthèses chimiques ou par la mise en œuvre de certains appareillages, ils fournissent des corps dont les caractéristiques sont inhabituelles. Ce travail de recherche est vécu comme création scientifique.

D'un autre côté, l'industrie s'appuyant sur le marché, attend la solution de problèmes mal résolus. Les Américains disent “sciences push and markets pull” les sciences poussent et les marchés tirent. Plus précisément la science fondamentale vise le long terme, elle fournit des solutions en attente de problèmes alors que la technique pose des problèmes en attente de solutions.

Il est incontestable que l'apparition d'un matériau aux propriétés nouvelles, tel que la recherche est capable d'en produire, un gel de silice par exemple, viendra modifier le jeu des questions-réponses dans l'évolution technique. Ce double mouvement est une dialectique nécessaire de l'innovation, il prend du temps. Des matériaux peuvent dormir plus de dix ans dans les armoires des laboratoires avant de participer à un processus de développement industriel. Les cristaux liquides sont restés longtemps des curiosités avant qu'on en fasse des thermomètres chromatiques et des affichages de montre puis d'ordinateur.

Dans ces conditions, une question intéressante est de savoir si on peut favoriser le dialogue, entre industries et laboratoires, donner une plus large portée aux produits de la recherche et assouplir les problèmes posés par la technique. Faire en sorte que les chercheurs qui suivent leur logique propre liée au jugement des pairs dans la discipline et à leur plaisir d'investigation et les industriels qui ressentent les enjeux ou du moins certains enjeux puissent se parler. Dans quel langage ? Faut-il apprendre les sciences aux entrepreneurs et le marketing aux scientifiques ?

La modélisation se révèle *le meilleur outil de dialogue*.

Les laboratoires, en plus d'expériences matérielles qui restent, par nature, coûteuses et limitées à un choix de températures, de concentrations et autres caractéristiques des dispositifs, élaborent *des modèles* des matériaux étudiés. Ces modèles sont simplement des écritures informatiques de représentations mathématiques des propriétés des corps conformes aux lois physiques, simplifiant éventuellement certains aspects considérés comme secondaires, afin que les résolutions d'équations et l'algorithmique se déroulent assez rapidement pour qu'on puisse observer les réponses du "matériau" aux actions qu'on lui fait subir. L'avantage d'avoir un tel modèle est qu'on peut maintenant faire varier les paramètres constitutifs du corps étudié, les proportions des mélanges, les températures de changement de phase, les constantes diélectriques, les lois rhéologiques, voire même, pourquoi pas, les constantes physiques telles que la constante électrostatique ϵ_0 ou la constante de Planck h afin de rendre plus apparent tel effet électrique ou quantique. *On est alors dans la fiction*. Mais le dialogue peut s'engager. Parmi ces corps virtuels, dont certaines propriétés sont hypertrophiées, l'industriel peut déceler des idées pour aller au-devant de la demande. On a une piste, vers un objet caricatural certes mais susceptible d'amélioration et de modifications. Les chercheurs et les entreprises peuvent envisager des étapes dans l'investigation, solliciter des aides publiques pour les atteindre, une compréhension mutuelle s'élabore qui permet à chacun de percevoir mieux les obstacles qui s'imposent à l'autre.

S'il y a dialogue, si des perspectives nouvelles apparaissent, c'est qu'il y a désormais de la connaissance en jeu. Quelle est sa nature ? Question extrêmement difficile. D'ores et déjà, l'exemple du génie des matériaux montre que le langage de la science par les exigences qu'il s'impose d'objectivité, de rigueur, de conformité à l'expérience, est trop rigide, trop pur pour que la discussion soit possible. Psychologiquement, le scientifique doit accepter que sa vérité soit trahie par les mi-mensonges mi-vérités que sont les modèles pour qu'une zone d'ambiguïté laisse place à des motivations pour lui et ses interlocuteurs et que du sens apparaisse. Elle amplifie comme une orchestration la ligne mélodique du savoir éprouvé et fait surgir des résonances autour des raisonnements. La

modélisation n'efface certes pas tous les obstacles, il n'est pas à exclure que dans certains cas elle n'engage dans une direction qui fasse perdre du temps sur de faux problèmes. Justement, ceci est à étudier. Alors que les assertions scientifiques relèvent du seul registre de la validité, elle, maladroite ou habile, lourde ou schématique, lumineuse ou incompréhensible, constitue un nouveau chantier hors des disciplines traditionnelles si ce n'est la linguistique à condition de l'entendre en un sens étendu.

Un bassin versant

Envisager des connaissances plus utiles que la science appelle quelques éclaircissements. S'agit-il de ce qui favorise le développement économique, ce qui rend service aux entreprises ? Pas uniquement. L'enjeu est aussi d'avancer dans les choix de projets en présence d'intérêts contradictoires où la science est impuissante. La croissance des villes et la protection de l'environnement nécessitent des aménagements où un intérêt collectif doit prévaloir devant les points de vue individuels. C'est une difficulté à laquelle le libéralisme économique n'apporte de solutions que très partielles. *La main invisible* jette aussi des débris qui doivent être traités par des mains bien visibles. Le point de vue collectif est mal défini, des positions les plus diverses prétendent le représenter. Ceux qui veulent créer des emplois, ceux qui luttent contre la voiture individuelle et souhaitent des transports en commun, ceux qui résistent pour préserver un site ou un patrimoine culturel, etc.

Nous retrouvons, dans ces situations, la vieille question philosophique de la "sélection des prétendants" omniprésente dans la Grèce antique. Comment juger des discours qui tous prétendent être en parfaite correspondance avec leur objet ? Pour Platon, fait remarquer Gilles Deleuze, "le prétendant n'est conforme à l'objet que pour autant qu'il *se modèle* (intérieurement et spirituellement) sur l'idée. Il ne mérite la qualité (par exemple la qualité de juste) que pour autant qu'il se fonde sur l'essence (la justice)"¹. Cette même question se pose aujourd'hui aux niveaux des coalitions partisans, des lobbies, des associations, des réseaux économiques et des rouages de la représentation démocratique. Sans doute sommes nous, comme Platon, à la recherche d'un système d'Idées qui pourrait élever le débat et mettre les intérêts en perspective, mais nous ne le trouvons plus. Si nous examinons le passé d'une façon réaliste, cette référence théorique apaisante n'a jamais été trouvée hors de la religion, mais nous quittons une période où l'on avait crédité la science d'une telle ambition. Le doute s'est installé maintenant. Qui plus est, les problèmes s'énoncent à notre époque sur fond d'un vaste corpus scientifique dans diverses disciplines qui représentent chacune une dynamique

¹ G. Deleuze, "Platon et le simulacre", *Logique du vécu*, Les Éditions de Minuit, 1969.

propre et une inertie de pensée considérables. C'est un changement majeur dont on doit tenir compte. Il laisse penser que la philosophie pure et l'histoire peuvent difficilement apporter, à elles seules, la même lumière qu'au temps des Grecs.

Prenons comme troisième exemple le cas, très actuel, de la gestion du bassin versant d'une rivière. Les enjeux sont multiples : garder des réserves d'eau pour l'irrigation des cultures au moment où celles-ci en ont besoin, utiliser de façon optimale les possibilités d'énergie hydroélectrique, prévoir des lacs artificiels ou des barrages pour maintenir un écoulement d'étiage suffisant pour la navigabilité et la survie de la faune aquatique, prévenir les dégâts des inondations lors de précipitations inhabituelles, et naturellement faire en sorte que ces aménagements ne défigurent pas le paysage mais encouragent un tourisme modéré, respectueux de l'environnement... Les acteurs poursuivent des intérêts, sont soumis à des contraintes et se réfèrent à des valeurs différentes. Les élus des agglomérations concernées, réduisant en général le long terme à la prochaine échéance électorale, sont hypersensibilisés aux risques d'accidents, leur responsabilité pouvant être mise en cause à tout propos. Les agriculteurs sont pris en tenaille entre deux aléas qu'ils ne maîtrisent pas, celui de la météo et celui du marché, dans le cadre d'un système réglementaire complexe parfois contraire à leurs usages ancestraux. Les représentants des services régionaux prétendent souvent encore incarner la rationalité technique. Les compagnies d'électricité et d'eau potable ont leurs propres projets. Quant aux associations de défense, quoiqu'il arrive, elles ne peuvent quitter la position (parfois jusqu'au-boutiste) qui leur sert de slogan pour rassembler les adhésions. L'environnement est ici révélateur de difficultés qui se rencontrent aussi pour d'autres décisions collectives. Non seulement des parties du problème rétroagissent sur le tout (la question de la reproduction des écrevisses pouvant conduire de proche en proche à un échec électoral), mais plusieurs risques y sont appréhendés de façon symbolique (tel paysage ou telle coutume devenant le symbole d'une culture à préserver), non probabilisables et hors de toute approche statistique. Que tel bâtiment rural ancien, typique de l'architecture vernaculaire du lieu, soit menacé, devient un événement unique dans l'Histoire. Les agents économiques n'agissent pas suivant des fonctions d'utilité qui permettraient de calculer l'équilibre d'un donnant-donnant entre des risques circonscrits et acceptés et les coûts des aménagements de protection. Les choix sont imprégnés de sens par les relations entre les gens, le jeu des alliances, les espoirs, les déceptions, les histoires vécues.

Ces questions d'aménagement du territoire ne sont pas passagères et se poseront en des termes analogues dans plusieurs siècles. Les bassins versants seront toujours là, les intérêts divergents et les risques également. Aussi une voie nouvelle est-elle à défricher. Si certains intervenants prennent l'initiative de faire des modèles, de calculer des variantes, et si d'autres répondent par des contre-

projets, modélisés également, on n'est peut-être pas encore sur le chemin d'une solution, mais on a quitté la guerre de tranchée des idéologies inconciliables, des langues de bois superficielles aux slogans indéfiniment répétés. Un certain nombre de faits quantitatifs peuvent être pris en compte. Une campagne de mesure ou de prélèvements peut se révéler d'un intérêt déterminant. Un dialogue s'installe, qui n'est pas plus facile, mais qui, sans relever d'une rationalité unique globale, établit des liens de cause à effet entre certains phénomènes, dégage des arguments partiels. Il peut se faire que des éventualités nouvelles apparaissent qu'on n'aurait pas vues si, prenant le problème pour définitivement posé dès le début, on avait laissé les pouvoirs en place opérer à partir de jugements présentés comme scientifiques et irrévocables.

Admettons donc qu'il puisse y avoir une certaine utilité à faire des modèles au moins comme outil de dialogue. Un point fondamental reste à élucider. Faut-il croire qu'il y a sur chaque projet un modèle qui prend le mieux en compte les débits, les probabilités de débordement et d'assèchement, le modèle le plus scientifique en quelque sorte, en droit de prévaloir sur les autres plus fantaisistes ? C'est sûrement ce que vont prétendre certains intervenants notamment ceux qui ont investi une modélisation approfondie et coûteuse qu'ils entendent faire prévaloir.

Faisons l'expérience de pensée de laisser de côté les aspects sentimentaux et passionnels pour ne considérer que les grandeurs qui décrivent l'hydrologie du bassin versant et supposons provisoirement, pour l'exercice, que les acteurs suivent des fonctions d'utilité explicites, peut-on admettre que la question se résoudrait scientifiquement comme un problème d'optimisation, avec plus ou moins de précision bien entendu ? La réponse est négative. Il y a plusieurs façons de faire, toutes aussi compatibles avec les données observées et fournissant des conséquences différentes. Une analyse détaillée des raisons de cette *sous-détermination* a été faite pour les modèles de crues d'une rivière¹. Elle réside dans le fait qu'on ne dispose que d'un ensemble fini de mesures en certains points du site et depuis peu de temps (quelques décennies, au mieux quelques siècles). Plusieurs interprétations (mathématiquement plusieurs familles paramétrées) adaptées à ces mesures prédisent différemment les crues décennales tout en restant les unes et les autres indéfiniment perfectibles si des données nouvelles sont recueillies. Ce phénomène, mentionné par Henri Atlan, à propos de la biologie en 1990², a été aujourd'hui décrit par de nombreux chercheurs dans les domaines appliqués les plus variés. Il donne aux thèses du philosophe américain W. Quine

¹ Cf. N. Bouleau. *Philosophies des mathématiques et de la modélisation, du chercheur à l'ingénieur*, L'Harmattan, 1999.

² H. Atlan, "Des limites de la science au besoin de philosophe" in *Science et philosophie pourquoi faire ?* éd. Le Monde, 1990.

un renouveau d'intérêt. Celles-ci avaient généralement été considérées comme de subtiles arguties de philosophie analytique sans portée concrète. Cette philosophie, malgré des conclusions de prime abord paradoxales, éclaire considérablement la problématique contemporaine de la modélisation, nous y reviendrons.

Nouvelle production de connaissances

Incompréhension entre acteurs qui déclinent des logiques incompatibles, opacité des savoirs spécialisés pour le citoyen, incompréhension entre émules de disciplines différentes, devant ce lourd bilan l'importance de la modélisation tient à ce qu'elle modifie les questions relatives à l'ésotérisme scientifique, à l'inefficacité de la vulgarisation et à la recherche de modes d'organisation favorisant l'innovation. Elle y parvient parce qu'elle occupe un nouvel espace du compréhensible. On comprend mieux en général un modèle, quoique fait de notions hétérogènes, qu'une équation ou qu'une longue explication sociologique. Sans doute parce qu'il donne l'impression d'être modifiable, critiquable, amendable, plus directement et plus facilement qu'en passant par les discours disciplinaires de légitimité académique donc lointaine. Des exemples que nous avons présentés nous pouvons tirer deux premières conclusions.

1. Quoique exprimée au moyen de représentations scientifiques, la modélisation n'a pas les mêmes objectifs qu'un processus scientifique. Elle est une démarche, toujours partisane, de lecture du monde dans la complexité des enjeux sociaux. Elle ne saurait donc être comprise, évaluée, comparée, validée comme s'il s'agissait d'une tentative scientifique.

2. La modélisation, en tant que permettant à des acteurs sociaux de communiquer, que ce soit en situation conflictuelle ou pour tenter des comportements coopératifs, s'avère de première utilité dans le développement économique et pour la maïeutique des décisions collectives.

Ces thèses conduisent à envisager différemment le phénomène social d'élaboration des connaissances et suggèrent que le langage de la science, grâce à la modélisation, se déploie comme une extension du langage ordinaire permettant l'expression de représentations virtuelles, subjectives ou intersubjectives¹. *Ce registre des connaissances partisans et locales soumises à des exigences de communicabilité et des procédures de validation devient le support principal de l'innovation et du travail des décisions collectives. Le langage scientifique peut*

¹ Ceci nous rapproche des travaux de certains sociologues américains qui dégagent à côté de la recherche scientifique traditionnelle, essentiellement universitaire, où les problèmes sont posés dès le départ dans le cadre cognitif d'une discipline, une *new production of knowledge* où les questions se présentent dans un contexte d'application et qui se caractérise par la transdisciplinarité, la diversité organisationnelle, l'implication d'acteurs en situation de responsabilité sociale et corrélativement par une grande diversité de critères de qualité. Cf. M. Gibbons, C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott, M. Trow, *The new production of knowledge*, SAGE publications, 1994.

quitter la science grâce à la modélisation et permettre des échanges dont la pertinence satisfait à des hauts critères d'exigence tout en étant locale et restreinte à des acteurs particuliers.

Tous les modèles ne se valent pas évidemment, leur comparaison fait appel à plusieurs registres. Pourquoi certains modèles emportent-ils mieux l'adhésion que d'autres, semblent s'appuyer sur des raisons plus sûres et ne pas rester à la surface des choses ? Plusieurs facteurs interviennent. Indiquons ici que le premier degré de la qualité dépend de la confrontation et l'ajustement du modèle avec ce qu'il prétend représenter. C'est *la validation*. Les cas où elle peut se faire directement avec la réalité sont relativement rares ou coûteux. Parfois ce qu'on modélise est un événement redouté (catastrophe naturelle, collision, erreur) et ne saurait être provoqué pour les besoins de la cause. La validation se fait alors grâce à des maquettes ou des simulations informatiques. Elle utilise abondamment la statistique, parfois des méthodes d'optimisation plus sophistiquées (assimilation) constituant un large ensemble de techniques enseignées aux élèves ingénieurs.

Le point capital, du point de vue de la philosophie de la connaissance, est qu'un modèle validé n'est jamais qu'une approche parmi d'autres. *La validation rejette les modèles qu'on peut juger trop invraisemblables compte tenu des mesures effectuées.* Quoique l'auteur de la modélisation ait souvent tendance à s'y accrocher comme à la vérité vraie, elle ne constitue qu'une lecture de la complexité rencontrée. Ainsi les conflits d'interprétation sont monnaie courante et sont appelés à se généraliser. Tous les grands thèmes de partage d'opinion, nature et progrès technique, relations entre les pays riches et pauvres, etc., sont susceptibles de recevoir des argumentations chiffrées dans un sens ou dans l'autre, tout à fait convaincantes si les grandeurs, les unités de mesure et les modes de comparaison sont soigneusement choisis.

L'exemple des émissions de gaz carbonique est typique. En absolu, les États-Unis émettent 5.5, la Chine 3.2 et l'Allemagne 0.8 milliard de tonnes par an. Rapportés à l'habitant, ces chiffres deviennent respectivement 20, 2.5, 10 tonnes par an, la Chine est la moins polluante en CO₂ par habitant. Mais si l'on entend qualifier la propreté des diverses économies et qu'on ramène les émissions au Produit Intérieur Brut on voit que l'Allemagne est la plus performante avec 500 grammes émis seulement par dollar produit contre 1 kg aux USA et 8 kg en Chine. Sur quelle base, dans ces conditions, la répartition des efforts peut-elle être équitable ? En l'absence de consensus, les négociations internationales n'avancent guère. La position finalement la plus paresseuse pour chacun est de porter le doute sur le problème de l'effet de serre ou même de le nier purement et simplement. Par rapport au travail de l'ingénieur dans les exemples du trafic routier ou de l'innovation dans les matériaux, le cas de l'effet de serre montre une situation où la confrontation des modèles, leur validation, leur critique, ne se fait pas

spontanément par le simple jeu de l'activité économique. Au contraire, l'intérêt immédiat des entreprises et des gouvernements serait plutôt d'occulter le problème afin de préserver leur productivité ou leur électorat.

Aussi cela accorde-t-il un rôle historique déterminant à de *nouveaux intellectuels* capables de critiquer et d'organiser la confrontation des modèles à tous les niveaux.

Sans entrer dans le détail de cette vaste controverse, indiquons-en quelques éléments typiques¹. Ce sont des mathématiciens modélisateurs du climat qui ont réveillé cette inquiétante éventualité, déjà évoquée au dix-neuvième siècle, du réchauffement de la planète. Depuis une dizaine d'années, grâce aux puissances de calcul à présent disponibles, aux perfectionnements des algorithmes de résolution des équations et à la connaissance du passé et du présent par de meilleures mesures, elle a fait l'objet d'un impressionnant travail de modélisation. Malgré les conflits d'intérêts et les débats cacophoniques entre les modélisateurs, les anthropologues des sciences, les experts officiels ou privés, les économistes et les politiques, une part significative de la communauté scientifique a jugé ces travaux de modélisation suffisamment conclusifs pour que les spécialistes internationaux de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) affirment dans leur second rapport *l'influence certaine de l'activité humaine* sur le forçage radiatif (l'effet de serre) terrestre.

Dans cette foire d'empoigne à propos de modèles, entre les scientifiques en position scientifique (i.e. qui n'avancent que des assertions objectives), les scientifiques en position d'experts (i.e. qui prennent parti), les spécialistes qui plaident une cause avec l'habit de scientifiques et les experts engagés qui s'en tiennent à des positions d'experts, les uns et les autres étant censés éclairer les hommes politiques, quel est le rôle des intellectuels actuels? Ces penseurs indépendants, ces philosophes qui ont tant contribué dans le passé à faire évoluer les idées ? Il est faible. C'en est une désolation. Il semble qu'ils n'ont pas prise sur la question, leurs phrases sont belles et puissantes comme celles des anciens mais ne font plus rien bouger. Finalement les seuls registres qui aient de l'effet sur l'opinion sont les deux extrêmes : le discours de scientifiques éminents qui s'appuient sur la science par autorité (cf. la déclaration de Heidelberg²) ou le montage médiatique qui fait appel aux sentiments et à l'émotion exclusivement.

¹ Sur l'effet de serre le lecteur pourra se reporter aux références suivantes et à leurs bibliographies : <http://www.ipcc.ch> ; *Changements climatiques*, Annales des Ponts, n° 79, 1996 ; *Le Climat, risque majeur et enjeu politique*, Courrier de la Planète/Cahier de Global Chance, mars-avril 1998 ; *Le Plan d'action de Buenos Aires*, Mission interministérielle sur l'effet de serre, 1998.

² Appel aux chefs d'Etat et de gouvernement rendu public le 1^{er} juin 1992 jour de l'ouverture du sommet de la Terre de Rio et approuvé en avril 1992 à Heidelberg. Il réunissait les signatures de cinquante-deux prix Nobel et de plus de deux cents autres personnalités dont une majorité de scientifiques et dénonçait " l'émergence d'une idéologie irrationnelle qui s'oppose au progrès scientifique et industriel". La tentative d'influencer le déroulement de la conférence par le poids du prestige des signataires a choqué davantage que le texte de la déclaration qui est d'un scientisme assez ordinaire.

De sorte que le citoyen se trouve dans une situation schizophrénique et que les journalistes consciencieux ne savent plus très bien quoi dire.

L'effet de serre est essentiellement une affaire de modèles : modèles atmosphériques, modèles marins, modèles de circulation générale incluant les cycles de l'eau et du carbone, modèles économiques pour évaluer le rôle de telle taxe sur les transports, de telle mesure fiscale sur les prix et les comportements, etc. Or il faut considérer et prendre la pleine mesure du fait que la modélisation va au-delà du langage ordinaire. Ces modèles ne sont pas autre chose que des discours d'origines et de destinations diverses, tantôt compréhensibles par une audience assez large, tantôt complexes et s'appuyant sur des masses de données. Comment les mots et les phrases, les arguments de raison et les récits littéraires pourraient-ils à eux seuls changer les choses ? C'est comme si on voulait procéder à une critique efficace des thèses de l'économiste Keynes avec un vocabulaire limité, celui de Racine par exemple. On n'aurait pas l'accrochage pour saisir l'adversaire.

Il faut des intellectuels qui osent mettre leurs mains dans le cambouis des modèles, énoncer des commentaires et des interprétations différentes, mettre en place des méthodes critiques, construire d'autres modèles¹. Certains voient avec angoisse cette *guerre des modèles*, mais c'est mal estimer le rôle des débats et des polémiques, cela fait plutôt avancer que reculer ce qu'on désigne par civilité et civilisation.

LA CONTRE-EXPERTISE : CONSTRUCTION DE CO-VERITES

Pour étudier ces situations complexes où plusieurs points de vue légitimes s'affrontent et semblent interdire toute approche rationnelle unitaire, ayant dans l'idée que la modélisation a un rôle à jouer comme substrat *d'une meilleure communication parce qu'elle est une extension de langage qui accueille aussi bien la langue ordinaire que les représentations scientifiques symboliques*, nous nous trouvons intéressés par des travaux philosophiques susceptibles d'éclairer les questions de conflits d'interprétation, de linguistique des modèles et des rapports de la science et de la société, notamment sur l'environnement. Nous porterons principalement notre attention sur trois auteurs qui ont considérablement fait avancer cette réflexion, nous voulons parler de W. Quine, de H. Jonas et de U. Beck. La discussion de leurs thèses fera émerger *une acception sociale de la rationalité*, idée majeure dont la paternité remonte à John Stuart Mill, encore

¹ Les chercheurs universitaires, par leur talent et leurs compétences, me semblent tout désignés pour jouer le rôle de ces nouveaux intellectuels. Cela suppose néanmoins qu'ils souscrivent aux valeurs de la critique, ce qui réoriente une part de leur activité. Voir à ce propos Alasdair MacIntyre *Quelle justice ? Quelle rationalité ?* PUF 1993.

qu'elle ne soit qu'un élément de sa philosophie essentiellement développée dans la direction d'un positivisme qui ne nous concerne pas ici.

Quine, Hans Jonas et Ulrich Beck

L'œuvre de Willard Van Orman Quine est essentiellement consacrée à expliciter ce que la logique mathématique peut apporter à la linguistique et, par suite, à la philosophie. Logicien-mathématicien proche des grandes heures de la réflexion sur les fondements des mathématiques, il est l'auteur de traités classiques et connaît parfaitement les *limitations des formalismes* tant en ce qui concerne les questions d'incomplétude, de contradiction et d'effectivité que d'interprétations multiples. Un des plus anciens résultats de la logique mathématique¹ et, sans doute, celui dont les conséquences sont les plus vastes, est que les théories axiomatiques ont plusieurs interprétations non isomorphes – ce qui signifie qu'on peut vraiment les comprendre de différentes façons – sauf théories pauvres et de peu d'intérêt. Imprégné de ces lois de la logique, le projet de Quine est de porter son regard sur les autres langues scientifiques ou vernaculaires pour examiner si leurs spécificités leur épargnent l'ambiguïté et autres limitations des syntaxes mathématiques. Cette investigation lui fait dégager des thèses qui l'ont rendu célèbre par leur caractère *a priori* paradoxal alors qu'elles sont banales depuis longtemps du point de vue de la logique mathématique : *la relativité de l'ontologie, l'indétermination de la traduction, la sous-détermination des théories par l'expérience*.

Ses principaux ouvrages non mathématiques² paraissent dans les années 1950 à 70 au moment où le siècle, marqué dans sa première moitié par des révolutions dans plusieurs domaines de connaissance, tente de mieux comprendre les relations interdisciplinaires. La linguistique en particulier y connut un développement remarquable et, considérée comme exemplaire pour les autres sciences humaines dont l'anthropologie, initia le mouvement structuraliste et exporta des notions jusqu'à la psychanalyse (Lacan) et l'épistémologie (Kuhn). Elle fournissait aux philosophes l'occasion de tourner leur attention vers leur matériau principal au moment où certains d'entre eux (École de Francfort) s'intéressaient au travail d'interprétation des écrits, l'herméneutique. Dans ce contexte intervient l'essai de Paul Ricœur *Le Conflit des interprétations*³ qui traite exactement de notre sujet dans les champs philosophique et littéraire et qui débouche sur des formulations

¹ Obtenu dans les années 1915-20 par Löwenheim et Skolem.

² *From a logical point of view* 1953, *Word and object, philosophy of logic* 1970, *The roots of references* 1973, et en français notamment *La Relativité de l'ontologie*, trad. D. Largeault, Aubier, 1977 et *La Poursuite de la vérité*, Seuil, 1993. Mentionnons également l'ouvrage de M. Montminy *Les Fondements empiriques de la signification*, Bellarmin et Vrin 1998, qui situe dans les débats contemporains certaines thèses de Quine notamment “la critique de la distinction analytique-synthétique” et “l'indétermination de la traduction”.

³ P. Ricœur, *Le Conflit des interprétations, essai d'herméneutique*, Le Seuil, 1969.

proches de celles de Quine : "ni la polysémie n'est un phénomène pathologique en soi, ni le symbolisme n'est ornement du langage ; polysémie et symbolisme appartiennent à la constitution de *tout* langage"¹, [c'est l'auteur qui souligne], avait-il dans l'esprit les langages scientifiques et la communication des ingénieurs ? Il n'évoque pas la question. C'eût été incompris, en France, au moment de l'apogée de Bourbaki et des maths modernes, d'affirmer la polysémie des mathématiques même si celle-ci était établie sans conteste depuis les premières décennies du siècle.

En revanche Quine aux États-Unis partant de sa légitimité de logicien est à même de réaliser un trajet inverse². Que signifient la "relativité de l'ontologie" et l'"indétermination de la traduction" si on étend ces thèses à la modélisation et la critique des modèles ? Un phénomène très simple. Imaginons qu'on nous expose une modélisation qui comporte, comme le plus souvent, divers aspects physiques, chimiques, biologiques, humains, organisationnels, etc. et qui s'exprime par des schémas, des déductions scientifiques et l'énoncé d'enjeux sociaux. Il nous est toujours possible (plus ou moins facilement) d'adopter une attitude totalement agnostique vis-à-vis de tous les signifiés de ce dispositif et de le considérer dans son fonctionnement strictement formel comme si nous n'en comprenions pas les explications mais seulement le mécanisme et comment il se raccorde au monde réel. De la même façon que David Hilbert disait qu'on devait pouvoir faire de la géométrie en appelant table une droite, chaise un point et bock de bière un plan, après avoir effacé le sens que l'on nous proposait, nous pouvons en essayer d'autres pour voir s'ils s'accordent à cette modélisation. Il y en a toujours plusieurs, d'autant que nous n'avons pas nécessairement la même vision du monde que l'orateur. La relativité de l'ontologie n'est évidemment pas une thèse originale propre à Quine, elle se rattache à un vaste courant philosophique où il faudrait mentionner Nietzsche et l'école pragmatiste américaine. Ce qui est nouveau ici c'est que l'on s'appuie sur la logique mathématique et du même coup le caractère non absolu des objets et l'ambiguïté fondamentale des traductions valent pour *toute* représentation y compris scientifique ou composite.

Quant à la "sous-détermination des théories par l'expérience", cette thèse a pris de nos jours une importance considérable dans tout le champ des sciences appliquées. Indépendamment de Quine, le développement de la modélisation par les chercheurs en biologie et les équipes des bureaux d'étude en ingénierie ou dans

¹ "Le problème du double sens comme problème herméneutique et comme problème sémantique", in *op. cit.*

² D'autant plus que le courant de la philosophie analytique se trouvait conforté par l'argument de Quine contre une frontière nette entre analytique et synthétique. Il faut dire aussi que les idées remarquables que cette littérature a produites émergent d'une telle abondance d'arguties byzantines très collet monté que bien des logiciens et des linguistes lui préféreraient en France Perec ou Queneau. Si cette école n'avait servi que de lieu de discussion et de propagation des idées de Quine et de quelques autres, aurait-elle joué déjà un rôle historique considérable.

les sciences de l'environnement a mis en évidence plusieurs façons de prendre une modélisation, et que ces diverses façons étaient souvent perfectibles les unes autant que les autres et rendaient compte aussi bien de toutes les mesures effectuées. Dans les cas concrets, on s'aperçoit qu'on est fréquemment en présence de plusieurs théories – familles de modèles qu'on peut perfectionner en ajoutant des paramètres – compatibles avec les données, et fournissant des prédictions différentes. Si on convient d'appeler quiniennes ces théories concurrentes indéfiniment perfectibles, ce sont au contraire les théories poppériennes qui sont l'exception : pour qu'une expérience permette de récuser une représentation de la réalité, celle-ci doit être complètement spécifiée, toutes ses fonctions arbitraires étant choisies et tous les paramètres étant numériquement déterminés. Mais s'il y a alors désaccord expérimental, ce ne sera que des valeurs numériques que l'on aura réfuté et souvent des modifications de paramètres scalaires ou fonctionnels permettent de s'adapter aux mesures obtenues. Les charpentes argumentaires restent le plus souvent indéterminées par l'expérience en particulier parce que celle-ci ne fournit qu'un nombre fini de mesures¹.

Lorsqu'on lit une modélisation dans un dossier de projet, une de ces énormes liasses qui tentent de justifier la construction d'un équipement, ou bien qu'on l'entend dans un exposé, l'orateur commentant les formules et les schémas de ses transparents, il se pose toujours un problème *sémantique* lié à la vision du monde sous-jacente. Elle est implicite mais ne nous convient pas forcément. Comme dit fort justement D. Føllesdal "le problème particulier de la sémantique qui la distingue de la syntaxe est que nous apprenons la sémantique d'un langage en même temps que la théorie du monde de nos professeurs [...]. Notre principal problème en apprenant la sémantique est de séparer la théorie à laquelle adhèrent nos professeurs du sens qu'ils attachent à leurs phrases "². En écoutant, de même, les commentaires de notre conférencier, nous pouvons parfaitement dénaturer volontairement sa modélisation en la comprenant différemment, en la séparant des intentions implicites de l'auteur. C'est souvent le moyen de faire apparaître de façon criante qu'il y avait d'autres façons de prendre les choses avec d'autres symboles qui renversent certains rapports entre l'ossature et les détails. Polysémie et symbolisme ne sont pas propres aux langues de Flaubert ou de Shakespeare ni même de Bourbaki, mais conditionnent au contraire l'intérêt du langage qu'il soit géométrique, algébrique, diagrammatique, etc. Seuls des codages pauvres et sans intérêt mathématique n'ont pas ces propriétés.

C'est à dessein que nous n'avons pas évoqué dans cette discussion les modèles probabilistes. Ils compliquent les argumentations sur les théories "quiniennes" ou

¹ Pour des cas concrets de théories quiniennes, cf. N.B. *Philosophies, op. cit.*

² D. Føllesdal, "Indeterminacy and mental states" in *Perspectives on Quine*, R. Barrett and R. Gibson eds, Blackwell, 1990.

"poppériennes" sans changer fondamentalement les conclusions. Il est sûr que la philosophie de Popper est particulièrement faible sur l'épistémologie des probabilités et des statistiques. Mais il faut dire également qu'on abuse des modèles probabilistes qui permettent à leurs auteurs de prétendre à une position d'expert (engagement en faveur d'une décision) tout en conservant les avantages d'une position scientifique (discours qui vise l'objectivité et l'universalisable)¹. D'une façon générale, la science a le défaut congénital d'occulter ce qu'elle ne sait pas et de croire que la réalité se trouve complètement décrite par les représentations scientifiques actuelles ou leurs prolongements. En particulier en matière de hasard, de possible et de contingent, il conviendrait d'inscrire en gros caractères dans le manuel du modélisateur que *jamais un espace de probabilité n'abolira l'imprévu*. L'ignoré surprendra toujours. La plupart des risques sont hors du probabilisable.

L'énoncé d'un risque résulte toujours d'une prise de conscience. Il semble à cet égard que les progrès de la technique et de la médecine aient donné à notre époque une insouciance très ambiguë. On ne craint plus Éole ni Poséidon, les bateaux de plaisance se repèrent par satellites, une opération comme la cataracte est devenue routine, c'est l'âge des scanners, de l'échographie, de l'imagerie cérébrale et du clonage. On ne voit pas quel danger ancien qui terrorisait nos aïeux ne serait pas en passe d'être surmonté tant les dispositifs techniques se perfectionnent. Mais insidieusement ceux-ci se complexifient aussi ainsi que les déchets de leur production. Les contrôles et les *feed-back* n'éliminent pas les pannes dans le TGV, dans les centrales nucléaires ni les bogues dans les systèmes informatiques. *L'imprévu résulte de plus en plus de la rencontre de la logique technique avec elle-même*, interférence des téléphones portables avec les systèmes de sécurité, incompatibilité de médicaments, etc. La technique se présente en effet à l'économie de marché comme si elle innovait et apportait de l'agrément "toutes choses égales d'ailleurs", produisant ainsi, dans une permanente ingénuité, des monceaux d'effets secondaires. Surconsommation d'antibiotiques, de tranquillisants et de médications à accoutumance ; dépendance de l'agriculture aux pesticides ou aux plantes transgéniques avec des conséquences non maîtrisées ; destruction irréversible d'espèces par accident, etc. Plusieurs auteurs ont souligné que les laboratoires de recherche par les retombées techniques qu'exige d'eux une pression sociale croissante, compte tenu de leur incapacité à anticiper les conséquences sociales et environnementales de ces innovations, produisent plus d'ignorance qu'ils n'en dissipent.

Modifier cette situation n'est pas chose aisée. Il est banal de dire que la technique n'a pas rendu les hommes meilleurs, mais c'est une vérité d'importance.

¹ Cf. à ce sujet N.B., " Modèles probabilistes ou modèles déterministes ", *Matapli*, SMAI, avril 1999.

Ainsi, en raison de la fragilité de nos lieux de vie et de notre avenir devant la technique, les risques véritables viennent des possibilités nouvelles ouvertes aux manipulateurs, aux mafias, aux trafiquants¹ et aux formes nouvelles que peuvent prendre le fanatisme religieux, la haine raciale, la volonté de puissance politique ainsi que le vingtième siècle nous l'a tristement montré.

Dans son important ouvrage *Le Principe de responsabilité*², Hans Jonas se place d'emblée sur le plan éthique. En déployant dans le temps l'impératif de Kant "agit de telle sorte que tu puisses également vouloir que ta maxime devienne une loi universelle", il constate l'insuffisance de la seule logique pour fournir une indication morale dans la dimension diachronique : "sans me contredire moi-même, je peux, dans mon cas personnel comme dans celui de l'humanité, préférer un bref feu d'artifice d'extrême accomplissement de soi à l'ennui d'une continuation indéfinie dans la médiocrité"³, aussi ajoute-t-il "le nouvel impératif affirme précisément que nous avons bien le *droit* de risquer notre propre vie mais non celle de l'humanité". La fabrication historique des normes morales n'est plus adaptée aux risques et responsabilités engendrés par la technique moderne et dans le "vide éthique" actuel Jonas donne droit de cité à ce qui a toujours été négligé si ce n'est méprisé : écouter plus ses craintes que ses désirs. Cette heuristique de la peur s'apprécie dans la perspective des effets lointains grâce à la sensibilité aux malheurs des générations futures. À ses yeux la formule très stoïcienne de Kant "tu dois donc tu peux" a été retournée par la technique qui dit "tu dois, car tu fais, car tu peux". Le danger de surexploitation et d'emballement de la machine scientifique-technique-industrielle a pour origine le programme de Francis Bacon de domination de la nature par le savoir et Jonas cherche un "pouvoir sur le pouvoir" dans ce difficile entre-deux qui préserverait le progrès scientifique et non le progrès technique.

Partant du même constat – "vivre sur le volcan de la civilisation" – Ulrich Beck mène une enquête sociologique plus détaillée de la notion de risque et de ses relations aux catégories usuelles de l'économique et du politique. Son propos est moins métaphysique que celui de Jonas et plus orienté vers la mise en lumière de mécanismes sociaux négligés. Ainsi obtient-il finalement une critique plus décapante de préjugés bien établis. Son premier point est que la production sociale de richesse est systématiquement accompagnée de production de risques *qui sont souvent perçus par la population avant d'être éventuellement appréhendés par le discours scientifique*. Cette situation curieuse s'explique par le fait que les scientifiques, préoccupés de purifier les situations étudiées et de s'échapper vers le

¹ Dans le pays le plus puissant du monde, 10 % de la population est touchée par les drogues dures.

² Hans Jonas, *Le Principe de responsabilité, une éthique pour la civilisation technologique* (1979), Les Éditions du Cerf, 1995.

³ *Loc. cit.* Notons que depuis que Jonas écrivait ces lignes la prolifération des sectes et des suicides collectifs a fait passer sa remarque du spéculatif abstrait au bon sens concret.

long terme pratiquent une recherche trop "confinée" (Michel Callon). Cette perception par le public est rationnelle et légitime. Du coup "dans la définition des risques le monopole de la science sur la rationalité est rompu" et on peut même dire "qu'à leur façon de traiter les risques dans maints domaines, les sciences ont dilapidé jusqu'à nouvel ordre leur réputation historique de rationalité"¹. La fin de la dualité science/nature par la prédominance de la technique donne un caractère nouveau à la démarche scientifique. Les sciences perdent leur vertu émancipatrice, issue des Lumières, elles ne brisent plus des tabous mais en fabriquent, en particulier au sujet de la liberté et de l'indépendance de la recherche. Beck porte également son regard sur l'autoréflexion récente de la science, l'épistémologie de Kuhn et les courants du pragmatisme et du postmodernisme. Il note qu'on ne sépare plus les savoirs et les valeurs. Finalement "en interne, la science a battu en retraite et prend des décisions. Au dehors, les risques prolifèrent. Ni en interne ni en externe la science ne jouit désormais de la bénédiction de la raison".

Ces deux ouvrages, l'un et l'autre d'une force peu commune et peu complaisants pour les idées à la mode, débouchent sur l'inquiétante interrogation d'une rationalité malade ou déviée en tout cas à restaurer si ce n'est à refonder. Leur façon de proposer une réponse à cette immense question est toutefois très différente. De la lecture de Jonas ressortent une tristesse profonde et un effet de vertige : l'activité de progrès de la connaissance, qui est bonne et saine, induit la science et la technique et nous entraîne dans des dangers croissants tant en aléa qu'en dégâts possibles. Sa conclusion se consacre essentiellement à penser le pire et se focalise sur le risque extrême. Il envisage même une tyrannie bienveillante exercée par des experts et ne retrouve quelque optimisme que par l'évocation d'un fond de sentiment religieux : "Nous avons éprouvé que même dans les systèmes coercitifs les plus totalitaires, la faculté de liberté des individus s'anime invinciblement et vivifie notre foi en l'homme. Dans cette foi, nous sommes en droit d'espérer non sans raison que – aussi longtemps que survivront des êtres humains – l'image de Dieu continuera également à vivre avec eux dans l'attente secrète de son heure à venir"². Les hommes s'acclimateraient d'une dictature s'il le fallait car il leur reste toujours une marge de liberté et la croyance en Dieu peut se maintenir au fond de leur cœur. La conclusion de Jonas tourne court. Une grande peur exprimée dans une belle langue philosophique, mais inefficace et même quelque peu sublimée. Les yeux fixés sur le long terme et sur le péril de l'humanité, il ne suggère aucune voie quant à l'élaboration des décisions ce qui est bien le point capital.

¹ Ulrich Beck, *Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne*, Suhrkamp Verlag, 1986 (traduit en anglais sous le titre *Risk society, toward a new modernity*, SAGE, 1992).

² H. Jonas, *Pour une éthique du futur*, Payot et Rivages, 1998.

À cet égard, le livre de Beck va beaucoup plus loin et les suggestions avancées dans le dernier chapitre sont une ébauche de programme politique. Changer les choses dans la société industrielle est particulièrement difficile parce que celle-ci sépare en deux le processus d'innovation. "Une part seulement des compétences décisionnelles qui structurent la société sont réunies dans le système politique et soumises aux principes de démocratie parlementaire. Une autre part est écartée des règles d'inspection et de justification publiques et reléguée à la liberté de l'investissement des entreprises et à la liberté de la recherche scientifique." Cela implique qu'il faut prévoir de nouvelles institutions qui protègent "les évaluations contestataires, les pratiques professionnelles dissidentes, les discussions au sein des organismes et des professions sur les conséquences de leur propre développement". N'est-ce pas une démagogie facile de légitimer toutes les contestations ? Ulrich Beck pense au contraire que des institutions sont possibles, compatibles avec la démocratie, qui permettent des débats et que, ceux-ci, loin d'être négatifs, sont notre seule garantie de sagesse : "Ce n'est que lorsque la médecine s'oppose à la médecine, la physique nucléaire à la physique nucléaire, la génétique humaine à la génétique humaine ou les technologies de l'information aux technologies de l'information, que le futur qui mijote dans les tubes à essais peut devenir intelligible et évaluable par le reste du monde". Évidemment si des réformes politiques et juridiques sont nécessaires, c'est qu'il n'y a pas de "main invisible", au contraire l'économie de marché est fondamentalement fondée sur des "privileges accumulés de créer des faits accomplis". L'analyse sociologique de Beck le dissuade d'une séparation entre la bonne connaissance et la mauvaise technique : "pour la recherche, cela veut dire qu'il serait nécessaire d'engager *des discussions et des controverses contestataires* sur les risques de certaines étapes et de certains projets à l'avance, et non seulement dans les cercles intradisciplinaires mais aussi dans des lieux interdisciplinaires partiellement publics qui sont à créer institutionnellement"¹.

Si la peur n'est pas bonne conseillère, du moins ce vieux système de mise en émoi de notre nature biologique peut-il servir à une prise de conscience pour le fondement d'une nouvelle réflexion éthique, c'est ce que nous montre Jonas d'une façon difficilement contestable. Quant à la notion de risque, Beck en dégage la double fécondité. D'une part elle peut être à l'origine d'une nouvelle pensée politique. D'autre part elle fait émerger une nouvelle rationalité en donnant droit de cité à la contestation et à des approches hétérodoxes de la science et ceci rejoint la philosophie de Quine. Car il ne s'agit évidemment pas de réhabiliter l'éther, la mémoire de l'eau ou la fusion atomique froide. Non, la nouvelle rationalité est de

¹ *Op. cit.*

se donner les moyens politiques et financiers de plusieurs discours concurrents pour une compétition des clairvoyances.

Mill et la rationalité externe

Il est incontestable que ce type de rationalité *externe*, c'est-à-dire fondée sur une ouverture la plus large possible des avis et des critiques, avait déjà été envisagée dès le dix-neuvième siècle par John Stuart Mill. Ce penseur, de huit ans plus jeune qu'Auguste Comte, a jeté sur un vaste champ, de la logique à l'économie politique, des idées dont la pertinence se nourrit d'une certaine impertinence très britannique donnant à la philosophie une tournure concrète qui a fortement influencé le pragmatisme et le libéralisme anglo-saxon. "Il existe, écrit-il, une différence extrême entre présumer vraie une opinion qui a survécu à toutes les réfutations et présumer sa vérité afin de ne pas en permettre la réfutation. La liberté complète de contredire et de réfuter notre opinion est la condition même qui nous permet de présumer sa vérité *en vue d'agir* : c'est là la seule façon rationnelle donnée à un être doué de facultés humaines de s'assurer qu'il est dans le vrai."¹. Mill s'est rendu célèbre par le point de vue utilitaire qu'il adopte en permanence et qui distingue son positivisme de celui plus théorique d'Auguste Comte. "Il n'existe pas de certitude absolue, mais, ajoute-t-il, il y en a assez pour les besoins de la vie". Cette phrase, aujourd'hui, pourrait être une réponse optimiste aux craintes de Jonas. La rationalité de Mill n'est pas abstraite, elle ne cherche pas une parfaite solution tirée de l'harmonie d'un système théorique mais la moins mauvaise issue, compte tenu des savoirs disponibles et des critiques exprimées. Elle place la libre critique au sein même de la démarche scientifique : "Même en philosophie naturelle, il y a toujours une autre explication possible des mêmes faits : une théorie géocentrique au lieu d'héliocentrique, le phlogistique au lieu de l'oxygène ; et il faut montrer pourquoi cette autre théorie ne peut pas être la vraie ; et avant de savoir le démontrer, nous ne comprenons les fondements de notre opinion."². C'est dire que Mill admet que la vérité soit provisoirement plurielle au moins dans cette période de temps où les controverses, qui sont nécessaires et utiles, n'ont pas encore débouché. Il se réfère pour son épistémologie, c'est tout à fait typique, au travail des avocats et aux plaidoiries : "l'un des plus grands orateurs de l'Antiquité rapporte qu'il étudiait toujours la cause de son adversaire avec autant, sinon davantage, d'attention que la sienne propre. Ce que Cicéron faisait en vue du succès au barreau doit être imité par tous ceux qui se penchent sur un sujet afin d'arriver à la vérité.". Il s'agit toujours d'une vérité suffisante pour agir et en aucun

¹ J.S. Mill, *De la liberté* (1859), Gallimard, 1990. Comme souvent, Mill, fondateur de cette "rationalité externe", a lui-même des précurseurs. Ainsi lit-on dans l'aphorisme XXXI de Diderot : "Ce qu'on n'a jamais mis en question n'a point été prouvé. Ce qu'on n'a point examiné sans prévention, n'a jamais été bien examiné.", *Pensées philosophiques*, Librairie Droz, 1965.

² *Loc. cit.*

cas d'une déduction logique interne. Mill attache le plus grand crédit à ce qui a résisté au "plus habile avocat du diable" et fuit tous les arguments d'autorité. Il semble qu'il souhaitait une organisation sociale telle que préconisée par Beck où des vérités différentes sont aisément confrontées. "Il arrive plus souvent encore que les doctrines en conflit, au lieu d'être l'une vraie et l'autre fausse, se départagent la vérité ; c'est ainsi que l'opinion non conforme est nécessaire pour fournir le reste de la vérité dont la doctrine reçue n'incarne qu'une partie"¹. Autrement dit, Mill accorde un rôle positif aux opinions contestataires et aux positions hétérodoxes dans l'élaboration de cette "vérité suffisante pour agir". On notera combien son faillibilisme est plus ouvert que celui de Popper qui s'en est inspiré en le restreignant à la sanction d'un système théorique par l'expérience le rendant ainsi inapte à aider la raison dans les problèmes prospectifs d'action collective.

On ne saurait pour autant faire de la philosophie de Mill un cadre adéquat pour penser aujourd'hui les questions de cadre de vie, de décision publique et de générations futures. Son *Utilitarisme* qui réconcilie la recherche du bonheur avec le bon fonctionnement de l'économie et la liberté d'initiative² est un des ouvrages fondateurs sur lesquels s'appuie le libéralisme économique actuel imbibé de positivisme qui mercantilise le savoir, la biologie et les discussions internationales. C'était avant Buchenwald, Hiroshima et Tchernobyl. Il y a autant d'optimisme bagarreur chez Mill que chez Marx et leurs deux doctrines, à nos yeux actuels, sont marquées l'une et l'autre d'une insouciance naïve et irréaliste.

Peut-on approfondir aujourd'hui cette rationalité "externe" ? Les économistes et les sociologues ont défini plusieurs rationalités ou plutôt plusieurs registres où la question de comportement ou de décision rationnels se pose. Max Weber établit la célèbre distinction entre la "rationalité par rapport à un but" et la "rationalité par rapport aux valeurs" dans laquelle les moyens ne sont pas justifiés par les seules fins. Les économistes ont séparé quant à eux la rationalité d'agent et celle du système représentant l'activité économique dans son ensemble, également se sont penchés sur le cas intermédiaire des rationalités collectives et les façons de les appréhender (RCB³, théorie des jeux). Il s'agit de tout autre chose. Toutes les catégories précédentes sont fondées sur l'idée de *cohérence*. L'individu qui poursuit rationnellement un but est censé mettre en œuvre le raisonnement ou même l'optimisation mathématique pour l'atteindre. Celui qui s'attache à des valeurs assigne aux modalités de son comportement des préférences qui lui

¹ *Ibid.*

² J.S. Mill, *L'Utilitarisme* (1861), Flammarion, 1988.

³ La RCB, rationalisation des choix budgétaires, est une méthode qui fut mise en application en France au début des années 1970 pour tenter de résoudre le problème des choix contradictoires entre les services ministériels. Elle était en fait importée de l'armée américaine pour les répartitions de crédits entre l'armée de terre, la marine et l'armée de l'air.

permettent d'effectuer logiquement ses choix. Si les rationalités collectives sont difficiles à définir, c'est qu'il s'y attache des paradoxes logiques (comme celui de Condorcet) et que les coalitions multiplient les possibles. Toutes ces variantes reflètent une acception du rationnel comme *logos*, si ce n'est logique formelle et mathématisée du moins de l'ordre d'une compatibilité du discours avec lui-même.

Tout autre est *la rationalité externe*. Elle est fondée sur une *ouverture sociale* de la critique. Est-ce une utopie ? Certes, mais à la différence d'autres, elle tente de mettre de son côté toutes les ressources de prudence. Fondamentalement, *elle est un appel à la biodiversité des idées*. La biodiversité et la variabilité génétique sont les caractéristiques qui permettent le mieux aux êtres vivants de surmonter des situations imprévues. Dans le domaine des théories, des doctrines, pour évaluer les conséquences et les effets secondaires, nous ne pouvons mettre tous nos œufs dans le même panier. Cela signifie pratiquement qu'on a besoin d'une réelle pluralité d'écoles au sein des diverses disciplines, et donc de prévoir la dissidence et l'essaimage des équipes universitaires et des labos¹. N'est-ce pas précisément *l'organisation effective de lieux de critique des savoirs qui peut fournir une garantie de prudence devant les conséquences de l'innovation pour prévenir les faits accomplis* ? Seule l'imagination et "l'opinion non conforme" sont susceptibles de faire apparaître les effets secondaires non voulus et occultés par les logiques internes. La *précaution* ne peut pas fonctionner sans une ouverture à penser l'inconcevable. Donc un principe démocratique nouveau se fait jour où tous les intéressés ont leur mot à dire. La loi Bouchardeau pour les projets d'aménagement a facilité le droit d'ester en justice des associations, ce qui permet de faire valoir les points de vue de groupes économiquement faibles sur *l'impact* des équipements réalisés². La rationalité externe est au fond *un droit d'ester étendu*, en des institutions appropriées, pour tout domaine aussi bien économique, technique que scientifique.

Regardons un instant le cas du génome car il est au contraire l'exemple le plus actuel de *rationalité interne*. Forts des avancées de la physique, de la biochimie et de la biologie moléculaire, les chercheurs ont approfondi les acquis de la théorie darwinienne de l'évolution en précisant les mécanismes de l'hérédité qui donnaient

¹ A. MacIntyre a brillamment plaidé en ce sens dès 1990. Cf. *Three Rival Versions of Moral Enquiry : Encyclopaedia, Genealogy, and Tradition*, Londres, Duckworth, 1990. Cf également K. Chatzis, "Le plus moderne des antimodernes : MacIntyre et la rationalité des traditions" *Les Etudes Philosophiques*, n°3, 1999, p311-331.

² Loi du 12 juillet 1983 sur la démocratisation des enquêtes publiques et la protection de l'environnement. Mentionnons également la loi Barnier du 2 février 1995 qui permet l'ouverture d'un débat public "sur les objectifs et les caractéristiques principales" de grandes opérations d'aménagement pendant la phase de leur élaboration. Soulignons que la notion française de débat public organisé par une Commission nationale du débat public est une disposition très différente dans son esprit de celles du Québec ou des Pays-Bas qui imposent une discussion sur *plusieurs* options techniquement spécifiées, dont (aux Pays-Bas) une option sans aménagement dite option zéro. Cf. J. Godbout, *La participation contre la démocratie*, éd. Saint Martin, 1983.

aux organismes vivants ces facultés particulières d'être à la fois adaptables et relativement stables, évolutifs et non dégradés sur le long terme. À la suite de penseurs aussi éminents qu'Erwin Schrödinger (*What is life ?*, 1944) et Jacques Monod (*Le Hasard et la Nécessité*, 1970), s'est répandue l'idée générale que la permanence dans la transmission de la vie était le résultat d'un phénomène cristallin ou du moins moléculaire, discret, relevant d'un déterminisme combinatoire et que les changements étaient le résultat du hasard par divers mécanismes, erreurs de transmission, cassures et reconfiguration de chromosomes, élimination de phénotypes non viables, etc. Les appareils et les crédits de recherche sont aujourd'hui focalisés sur les correspondances entre les séquences d'ADN et certains caractères physiologiques de l'adulte. Les conséquences, comme toujours, sont innombrables et mal circonscrites, ce qui procure aux uns des espoirs excitants et aux autres des craintes vertigineuses. On ne sait pas où cela mène dans l'avenir, la seule chose évidente est ce qu'on voit aujourd'hui : une convoitise extrême pour des profits immenses. Non seulement, dans cet engouement, on veut ne pas voir les risques, mais on raisonne suivant une argumentation strictement disciplinaire, avec des œillères, *qui sous-estime largement toute la dimension épigénétique de l'ontogenèse*, c'est-à-dire le rôle du contexte, dans la cellule, dans la famille, en classe, dans la société.. Pour mieux dire, c'est le terme de *hasard* utilisé par Monod pour qualifier ce qui ne relève pas de la combinatoire chimique qui convient mal. Sans doute aimait-il par ce terme attaquer les tabous religieux en présentant l'homme comme le fruit de la logique et de la roulette seules, et son livre fut un succès incontestable à cet égard, mais l'image de la roulette ne convient pas pour qualifier *tous les contextes* successifs dans lesquels se déroulent les réactions chimiques de l'ontogenèse. Il n'y a pas une combinatoire isolée, rigoureuse, soumise à des erreurs, il y a des interactions permanentes avec un environnement qui n'est pas le hasard, dans la cellule, dans l'œuf, dans le placenta, etc. Philosophiquement l'erreur est exactement la même que celle que faisaient à propos des mathématiques les logicistes du début du vingtième siècle. Bertrand Russell, fort de l'axiomatique qu'il avait élaborée avec Whitehead, croyait avoir "ramené" les mathématiques à la théorie des ensembles et à la logique. Il en était très fier et n'hésita pas à présenter cela comme "une des plus grandes découvertes de notre âge". On croyait vraiment à cette époque qu'avec les axiomes et la logique on avait en main toutes les mathématiques. C'était naïf et présomptueux. D'abord en raison des limitations dégagées dans les années trente par Gödel, Church et Turing, mais surtout parce que cela *n'a rien changé* à la pratique des mathématiques. Celles-ci sont faites de situations élaborées par l'histoire qui résultent d'un retravail permanent d'ingéniosités conceptuelles liées à des problèmes jugés intéressants. Même à l'époque des plus gros ordinateurs, on ne fait pas des mathématiques avec les formalismes logiques.

La matrice dans laquelle se fait *l'épigenèse des mathématiques qui accouche de théorèmes*, c'est l'objet même d'étude de l'histoire des mathématiques. Russell *ne voulait voir* dans les mathématiques que la logique. Comme l'exprime Henri Atlan avec une grande clarté, la situation est semblable pour le génome. Il appelle cela "l'effet réverbère", les scientifiques ne veulent regarder que là où ils voient clair : "de très nombreux programmes de recherche sont développés là où sont disponibles de nouvelles techniques que l'on exploite au maximum. Depuis les grands développements de la technique des ADN, il est effectivement beaucoup plus facile de connaître la structure des gènes que les mécanismes de l'épigenèse, qui sont plus compliqués à appréhender."¹. Mais pour sortir de la logique interne du génome, il ne suffit pas de mieux prendre en compte des phénomènes plus difficiles à appréhender. Il faut accepter de nous laisser conduire par d'autres logiques, qui ont aussi leur légitimité, leur fécondité, etc. qui peuvent venir de champs éloignés. On prend ainsi la mesure de l'enjeu considérable que représente la rationalité externe. Elle instaure le principe qu'il est souhaitable de ne jamais se laisser enfermer. Il s'agit d'une société ouverte en un sens très fort.

La société ouverte de Karl Popper est simplement une société qui est imprédictible et qui le sait. Contre les historicistes – les marxistes en particulier – il oppose le fait que le développement futur de la science est hors du champ du connaissable. Ceux qui prétendent mettre la science de leur côté pour dire où va l'histoire des peuples sont des idéologues ou des manipulateurs. Popper s'appuie sur deux arguments. Le premier, logique, est que le progrès du savoir est précisément fait de surprises et que les lois dégagées par la physique ou les autres sciences laissent ouvertes les possibilités de perfectionnement de ces lois et de révolutions conceptuelles ; le second est moral et fondé sur l'idée que la liberté du chercheur est à placer au sommet de la hiérarchie des valeurs tant la science est belle et tant elle a contribué à la civilisation.

Aujourd'hui, que l'histoire échappe aux théories prédictives religieuses ou pseudo-scientifiques est un fait acquis, la cause de Popper est, sur ce point, entendue. Ce premier argument de Popper a même pris de la force : l'impact social du développement scientifique est considérable, l'innovation technique jouant un rôle de plus en plus grand dans l'activité économique. Ce qui ne va plus, c'est la position que Popper révèle dans cette polémique d'une confiance infinie dans tout ce que la science élabore. Il pense que le jeu des théories et des réfutations expérimentales fournit *une vérité* à laquelle il faut se soumettre, perfectible certes mais constitutive aujourd'hui de la rationalité la plus raisonnable.

À l'époque où la plupart des points de ressource en eau d'un pays aussi arrosé que la France sont pollués par des pesticides, on ne peut plus se contenter de cette

¹ H. Atlan, *La Fin du tout génétique*, INRA, 1999.

confiance. Elle est trop vague. On observe objectivement trop de dégradations liées au "progrès scientifique" pour laisser les choses aller. (En l'occurrence installer des filtres au charbon actif à chaque point de captage qu'il faut changer tous les six mois...) Le principe philosophique auquel Popper donne le nom de société ouverte est une confiance *a priori* dans les hypothèses scientifiques pourvu que celles-ci soient formulées suivant un style d'expression accepté par la communauté scientifique : elles doivent perfectionner ou récuser les idées actuelles en tenant compte des faits expérimentaux connus.

Il s'agit finalement de la structure formelle seule. Cette société est fermée à toute pensée critique qui ne s'exprime pas suivant un schéma hypothético-déductif, en particulier à la critique des conséquences de l'activité scientifique elle-même. *La critique* ne saurait pourtant se ramener à trouver une erreur ou un fait mal expliqué, elle est l'ouverture des limitations, la relativisation d'une approche à son contexte, et surtout l'exploration des conséquences non seulement cognitives mais techniques des perspectives nouvelles qui se présentent. Pour cela il faut abandonner résolument la vision de la connaissance suivant une vérité scientifique faite de théories réfutables qui s'appuient les unes sur les autres comme les étages successifs d'une fusée. On ne sait pas où va cette fusée, on sait en revanche qu'elle pollue. *La société vraiment ouverte est celle qui tolère des représentations contradictoires* comme la démocratie admet des opinions divergentes. *Si on tente de la penser réellement, la rationalité externe est un bouleversement majeur. Jamais dans l'histoire on n'a tenté d'instaurer une gestion politique de la connaissance qui offre droit de parole à toute critique. Toute la difficulté est de faire que cette démarche soit opérationnelle.* Actuellement elle est décriée par les agents économiques qui y voient une perte d'initiative et qui brandissent le spectre de la récession par blocage. Ils ajoutent que de toute façon il faut bien prendre des risques, on ne peut tout prévoir, c'est la vie. Mais cette rengaine sonne faux de plus en plus : *on n'accepte plus aujourd'hui que ce soit le fauteur de risques qui soit aussi l'avocat de la liberté d'entreprendre et des bienfaits de cette dynamique.*

Cette mise en concurrence de l'imagination ne peut certainement pas se faire selon le langage pur des disciplines constituées mais doit au contraire accepter des modes mixtes, hybrides, mi-schématiques, mi-phrasés que nous avons regroupés sous le vocable de *modélisation*. Celle-ci apparaît donc comme *la langue de la critique*, celle de l'expertise et de la contre-expertise, la seule capable d'avoir prise sur ce que fait la science, sur ce que font les ingénieurs et d'en parler en des termes recevables par la presse et les hommes politiques.

D'ailleurs elle a d'ores et déjà été mise en œuvre dans les textes juridiques normatifs ou réglementaires. Les règlements sanitaires ou de construction, parce qu'ils ont à régir des actions à risques liées à l'exercice de compétences fondées sur des savoirs scientifiques et techniques et qu'ils doivent néanmoins être

compréhensibles par des non-spécialistes appelés à statuer sur leur respect en cas d'accident, sont rédigés en mêlant au texte des formules mathématiques ou chimiques, des schémas et des notions en usage dans les professions. Évidemment pour que la modélisation joue ce rôle, il faut qu'elle soit enseignée *en tant qu'expression de la critique*. Dans l'avenir, elle sera *la culture* scientifique des avocats, des journalistes et des associations.

Linguistique des modèles

Le lecteur aura perçu que nous ne restreignons pas le sens du mot modèle à l'acception qu'il a dans la science. Son emploi principal y est de « représentation simple qui fait comprendre ». Ainsi Alexandre Koyré par exemple a pu dire que la découverte des satellites de Jupiter par Galilée a plaidé en faveur du système copernicien parce que, dans la lunette, on avait *un modèle* du système héliocentrique. De même, la physique a parlé de modèles de l'atome (modèle de Rutherford, etc.) ou de modèles de thermodynamique statistique ou encore de modèle standard en physique quantique. La vertu simplifiante d'un modèle pour appréhender une réalité complexe n'est pour nous qu'un aspect de la modélisation.

C'est dans la pratique de l'ingénieur que le modèle prend, ainsi que nous avons tenté de le montrer dans les chapitres précédents, sa dimension philosophique la plus intéressante. Car en effet le scientifique se sert de modèles pour illustrer ses constructions théoriques, mais l'ingénieur n'agit pas, en général, dans un cadre théorique de référence. Il fait des dossiers de projets et d'expertise dans lesquels les modèles tout à la fois représentent, argumentent, prennent parti et persuadent plus ou moins bien. Dans ce cadre qui reste ouvert, une définition formelle est illusoire. Nous nous proposons, en revanche, de préciser les notions de modèle et de modélisation en nous inspirant de concepts et d'outils que la linguistique a forgés pour l'étude des langues écrites et parlées. Nous noterons les similitudes et dégagerons quelques différences nécessairement instructives.

Par rapport à la langue, aux parlars quotidiens, aux discours et aux textes de la presse ou de la littérature, la modélisation est *une extension*. Elle utilise le langage et va au-delà. Le vocabulaire des sciences et des techniques lui est permis ainsi que tous les schémas, calculs et simulations auxquels les usages donnent une pertinence quelconque pour contribuer à l'assise de positions convaincantes. Une approche naturelle serait de l'étudier grâce à ce que Saussure a appelé la sémiologie : « une science qui étudie la vie des signes au sein de la société »¹. Dans cette voie, Émile Benveniste a précisé quatre caractéristiques d'un système sémiologique : *Le mode opératoire*, manière dont le système agit, notamment le sens (vue, ouïe, etc.) auquel il s'adresse ; *Le domaine de validité* ; *La nature et le*

¹ Ferdinand de Saussure, *Cours de linguistique générale* (1907-1911), pour les références aux diverses transcriptions du cours cf. F. Gadet, *Saussure, une science de la langue*, PUF, 1996.

nombre des signes ; Le *type de fonctionnement*, relation qui unit les signes et leur confère une fonction distinctive¹. Au demeurant la sémiologie n'a pas donné ce que nous attendons d'elle. Jamais elle n'a osé parler des calculs par éléments finis, des équations aux dérivées partielles employées pour évaluer les effets de l'enfouissement des déchets nucléaires ni des modèles climatiques.

Suivons donc plutôt un des grands manuels de linguistique, dont le *Cours* de Saussure est l'exemple séminal, en notant les concordances et les problèmes nouveaux que pose la modélisation. D'emblée nous tombons sur une différence : une des caractéristiques de la langue, la *linéarité* du système des signifiants, ne se retrouve pas en modélisation. Ceci peut se voir à deux niveaux. D'abord parce que l'informatique permet *les bouclages*, *les feed-back* qui sont un outil fondamental de régulation et de résolution de problèmes. Elle autorise une procédure à s'appeler elle-même au cours de son exécution². Plus généralement les techniques d'optimisation et de simulation utilisent des algorithmes dont la description est complexe et relève d'une ontologie proprement mathématique. Mais la non-linéarité de la modélisation provient également d'un autre phénomène : elle fait constamment *des appels allusifs à la science*. En ce sens elle est incomplète, discontinue et lacunaire. Dans les cas, courants, où en première approximation on ne peut pas la remettre en cause, la science est considérée comme évidente. On y fait référence sans expliciter les détails. La modélisation se présente alors comme les plaidoyers émaillés de rappels à la loi et à la jurisprudence, ou comme les textes de l'herméneutique religieuse, elle ne se suffit pas à elle-même. Elle est un commentaire permanent de la science et des connaissances considérées comme solides et admises par tous qu'elle relie et dont elle comble les vides interdisciplinaires. Avec les matériaux durs de la science et les liants plus souples et plus plastiques des savoirs d'ingénieurs elle construit des effets de sens qui prennent place dans la réalité vécue.

Comment s'opère cette mise en œuvre ? La linéarité du langage ordinaire ne simplifie pas réellement cette question et nous pouvons suivre, pour clarifier notre propos, les catégories de *syntaxe*, *sémantique* et *pragmatique* largement reprises après Peirce, même si leurs frontières restent des champs d'étude de la linguistique.

La distinction entre les deux premières est clarifiée par celle que fait Saussure entre la relation *in præsentia* qui fournit un rapport syntagmatique et la relation *in absentia* qui renvoie à une série d'éléments substituables associés dans un rapport paradigmatique. La même distinction est formulée par Jakobson en termes de rapport de concaténation et rapport de sélection. Cette première dualité conserve

¹ É. Benveniste, *Problèmes de linguistique générale*, 2, Gallimard, 1974.

² La programmation récursive est possible dans les langages qui succédèrent à BASIC et FORTRAN et qui permirent l'essor des fractals de B. Mandelbrot.

sa pleine valeur dans le cas des modèles et prend même une force considérable si l'on songe à la notion de *sous-modèle*. Destiné à effectuer une représentation particulière et jouissant de la même sous-détermination que tout modèle, un sous-modèle peut se voir substituer selon l'axe paradigmatique un autre sous-modèle. Par exemple lors de la modélisation d'un pont, l'étude de la fatigue peut faire appel à un sous-modèle concernant le trafic franchissant l'ouvrage et la dynamique de la suspension des véhicules. On rejoint ici le sens premier de paradigme, *παράδειγμα* modèle, exemple. Notons cependant un fait bien connu des modélisateurs que les modèles constitués par l'agrégat de sous-modèles qui se trouvent ainsi *en couplage* sans qu'on les ait substantiellement modifiés, sont plus simplistes en général que la modélisation prenant directement en compte l'interaction des phénomènes. Il y a donc une imbrication de la syntaxe et de la sémantique qui a quelque analogie avec les notions de structure superficielle et structure profonde proposées par Chomsky en linguistique.

Un sous-modèle n'est pas un module informatique ou une sous-routine. Il se situe au niveau de la compréhension. À cet égard la modélisation tend à rapprocher cette notion de celle de *paradigme* suivant l'usage qu'en fait Thomas Kuhn en épistémologie : "Dans cette application classique [en linguistique], le paradigme fonctionne en permettant de reproduire des exemples dont n'importe lequel pourrait en principe le remplacer. Dans une science, au contraire, un paradigme est rarement susceptible d'être reproduit : comme une décision judiciaire admise dans le droit commun, c'est un objet destiné à être ajouté et précisé dans des conditions nouvelles ou plus strictes"¹. En modélisation, le remplacement d'un sous-modèle par un autre est une opération complexe qui nécessite de repenser en général l'ensemble de la démarche.

Reprenons l'exemple de la modélisation d'un pont et du trafic qui l'emprunte. Le modèle de l'ouvrage et celui des poids lourds supposent des mouvements verticaux de faible amplitude. Si des résonances se produisent parce que les modes de vibration ont des fréquences communes, un effet "pas cadencé" se produit qui peut entraîner l'endommagement, et qui fait sortir des domaines de validité des deux sous-modèles sans indiquer, d'ailleurs, de façon fiable de quelle façon on en sort car les deux sous-modèles sont devenus faux. Une analyse plus fine et une nouvelle validation sont nécessaires.

Syntaxe

Si l'on tente d'imaginer les hiérarchies, les arbres ou les treillis de modèles et sous-modèles², force est de dépasser la notion ordinaire de grammaire et d'ouvrir la syntaxe à toutes les relations que proposent les mathématiques. Au demeurant, ce serait une erreur de croire trouver dans les mathématiques le cadre tout fait des

¹ T. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques* (1970), Flammarion, 1983.

² Pour des exemples on pourra consulter le n° 74 « Modèles en hiérarchie » des *Ann. des Ponts*, 1995.

relations *in praesentia* qu'on rencontre en modélisation. N'oublions pas qu'elle comporte de façon essentielle non seulement des symbolismes scientifiques, mathématiques et informatiques mais du langage ordinaire et qu'on n'a jamais tenté, même dans les heures les plus glorieuses du structuralisme, de mathématiser le langage. C'est d'ailleurs une des critiques faites aux grammaires génératives de Noam Chomsky de nécessiter de nombreuses hypothèses périphériques sur les compétences du locuteur, sur les facultés langagières innées (*linguistic acquisition device*) ainsi que le recours à l'informateur (*native speaker*), pour pouvoir s'insérer dans la linguistique à côté des approches prudentes et clarificatrices des Whitney, des Saussure et des Troubetzkoy¹.

Cependant, même si on laisse de côté une bonne part de l'ambition du programme chomskyen – qui se développe en rien moins qu'une véritable épistémologie, au demeurant très classique – il faut reconnaître que la modélisation redonne à ces travaux une pertinence nouvelle comme outils d'analyse utilisables aussi bien pour les langages semi-artificiels. Qu'on puisse représenter la compétence du sujet parlant par un système fini de règles explicites qui permettent d'engendrer l'ensemble infini de phases correctes d'une langue et celles-là seules, est une thèse que la linguistique doit discuter. Mais, même si ce genre d'idée ne suffit pas à théoriser correctement, du moins apporte-t-il des enseignements qui peuvent être précieux en modélisation parce qu'ils valent à la fois pour le langage, les langages de programmation et les systèmes mathématiques formalisés. Notamment le fait que certaines de ces grammaires ont des propriétés spécifiques parce qu'elles peuvent se ramener à l'application d'un procédé analytique alors que d'autres n'ont pas cette régularité, apporte une description de la complexité qui peut renseigner sur ce qui est susceptible de plus ou moins d'informatisation.

Dans le même ordre d'idée, les travaux des logiciens sur le "problème du mot"² montrent que la substituabilité dans l'axe paradigmatique ne doit pas être pensée comme une évidence *immédiate*. Le rapport de remplacement, si ce rapport est défini transitivement de proche en proche, mène à *l'indécidable*. Autrement dit le locuteur chomskyen produit des phrases correctes mais le problème de la grammaticalité d'une phrase donnée *a priori* peut dépasser les capacités de l'informatique. Chomsky fait ainsi la connexion entre la théorie de la calculabilité effective et la *créativité du sujet parlant*, ce qui est intéressant à plus d'un titre. D'abord, pour la même raison qu'en mathématiques, cela renforce le rôle de l'intuition dans l'élaboration des trajets constructifs, et ensuite cela pose le modèle comme objet accompli qui, une fois produit, est difficile à soumettre à la critique :

¹ Cf. le chapitre sur Chomsky de *La Linguistique du XX^e siècle* de G. Mounin, PUF, 1975.

² Cf. par exemple M. Davis, *Computability and unsolvability*, McGraw-Hill, 1958 ; J.E. Hopcroft, J.D. Ullman, *Introduction to automata theory, languages, and computation*, Addison-Wesley, 1979.

le modèle a la vertu de s'imposer – dans une certaine mesure – en installant du sens et profitant de la nécessaire tolérance du langage tant que le critique éventuel ne dispose pas du détail de la démarche de conception pour soupeser la légitimité de chaque étape. Nous reviendrons sur ce phénomène des ornières de pensée qui est primordial pour la critique des modèles et pour la modélisation comme langage de la critique.

Sémantique

Une des thèses les plus célèbres de Ferdinand de Saussure est que le signe, en tant que correspondance entre signifiant et signifié, est arbitraire, il se distingue en cela de l'onomatopée et du symbole¹. Cette thèse se complète d'une autre qui la renforce que "dans la langue il n'y a que des différences". "Qu'on prenne le signifié ou le signifiant, la langue ne comporte ni des idées ni des sons qui préexisteraient au système linguistique, mais seulement des différences conceptuelles ou des différences phoniques issues de ce système." Autrement dit la signification ne fonctionne pas par le plein des termes mais par les oppositions et les rapports, "le lien qu'on établit entre les choses préexiste aux choses elles-mêmes, et sert à les déterminer". La linguistique induit pour Saussure une ontologie relative, qui rappelle, avant la lettre, la philosophie qu'Albert Lautman élaborera dans les années 1930 à partir d'une réflexion sur les mathématiques². L'une et l'autre serviront d'ailleurs de soubassement au structuralisme qui n'eut pas moins d'importance en mathématiques avec le groupe Bourbaki qu'il n'en eut en linguistique puis dans d'autres sciences sociales. Si l'on rapproche ainsi Benveniste, héritier de Saussure, lorsqu'il écrit "La langue est un système où rien ne signifie en soi et par vocation naturelle, mais où tout signifie en fonction de l'ensemble ; la structure confère leur 'signification' ou leur fonction aux parties"³ de Lautman qui déclare dans sa thèse "Les propriétés du nombre 21 ne sont donc pas toutes données avec la simple construction de ce nombre ; on ne peut les étudier qu'au sein du corps où le nombre est plongé et ceci fait intervenir toute l'axiomatique de la théorie des corps algébriques et de leurs extensions successives"⁴ et qui ajoute "l'idée de l'action organisatrice d'une structure sur les éléments d'un ensemble est pleinement intelligible en mathématiques", on est induit à penser qu'en modélisation qui participe à la fois de la langue ordinaire et des mathématiques les mêmes principes se retrouvent. On rejoint alors la philosophie de Quine, déjà évoquée, qui précise ces questions en soulignant les

¹ Symbole est pris ici au sens usuel de repère évocateur et emblématique : la balance pour la justice, traits en éventail pour les panoramas sur une carte, etc. Nous l'employerons souvent au sens, bien sûr, très différent – quoique parfois historiquement lié – de symbole mathématique.

² Cf. N.B., *Philosophies, op. cit* p 126 et seq..

³ É. Benveniste, *Problèmes de linguistique générale*, 1, Gallimard, 1966.

⁴ A. Lautman, « Essai sur les notions de structure et d'existence en mathématiques » (1937) in *Essai sur l'unité des mathématiques et autres écrits*, Union générale d'édition, 1977.

phénomènes de sous-détermination et d'indétermination de la traduction qui sont fondamentaux en modélisation plus encore qu'en mathématiques ou en linguistique.

Il convient de souligner que ces idées de relativisme du sens qu'on considère comme des pas significatifs dans la philosophie de la connaissance apportée par Saussure, Lautman et Quine sont des prises de recul qui viennent au second plan. La donnée première est que le modèle a tendance à être réifié de façon absolue, et ce d'autant plus que sa structure syntaxique est plus enchevêtrée qu'un discours ordinaire. Quoique l'analyse nous oblige à la même conclusion, pour la modélisation l'évidence de ce relativisme est plus difficile à établir. L'argumentation propre à la logique mathématique ne s'étend pas car la modélisation ne constitue pas un système formel axiomatisé, et celle propre à la langue ordinaire dont le dictionnaire renvoie les mots à d'autres mots, à l'infini, ne se transpose pas non plus car les modèles et sous-modèles ne se laissent pas ordonner en un agencement lexical.

Notons que des deux grandes voies pour appréhender le sens en linguistique : a) l'approche structuraliste par niveaux où « le sens d'une unité se définit comme sa capacité d'intégrer une unité de niveau supérieur »¹ b) la méthode distributionnelle de Harris où le sens d'une forme est défini par la totalité de ses emplois, c'est-à-dire du contexte de ses occurrences, la première fait référence à la sémantique ensembliste dont nous avons vu qu'elle est très pauvre déjà pour les mathématiques, et la seconde se heurte à des difficultés insurmontables dans les langages semi-formalisés dans la mesure où le contexte d'un symbole mathématique peut fort bien contenir le symbole lui-même. Ainsi sans chercher la généralité théorique nous nous contenterons d'analyser certaines locutions typiques des langages intermédiaires utilisés en modélisation.

Nous parlerons de *termes d'ingénieurs* pour désigner des expressions telles que 'crue décennale'², 'potentiel de réchauffement global'³ ou 'magnitude de Richter'⁴ qui sont assez représentatifs de ce qu'on rencontre dans cette littérature abondante et de niveau d'exigence varié qui participe à l'élaboration et la compréhension des modèles. Elle reçoit, en général, un jugement sévère des scientifiques qui y relèvent des approximations non justifiées, une méthodologie mal explicitée. Fréquemment les données dont on dispose ne sont pas celles dont on aurait besoin pour alimenter le modèle, aussi en fabrique-t-on à partir de celles qu'on a par les moyens du bord. On n'y voit qu'exceptionnellement des études de sensibilité des

¹ É. Benveniste, *op. cit.*

² Cf. N.B., *Philosophies, op. cit.*, p. 304-305.

³ Cf. Ph. Roqueplo, *Esprit*, 129-155, mai 19994.

⁴ Pour un séisme, elle se définit par un niveau sur un sismographe de type Wood-Anderson placé à une certaine distance de l'épicentre. Comme le hasard ne place pas les épicentres des séismes à cette distance des stations, c'est par une modélisation qu'on la définit pratiquement.

conclusions aux hypothèses... On ne peut évidemment pas comprendre le registre de pertinence de ces textes en gardant un regard scientifique. Ils sont toujours des tentatives pour éprouver l'avis de collègues sur la façon d'aborder une décision dans un certain décor social : une situation est schématisée, une rationalité s'en dégage d'où des conclusions. La vraie question est de savoir si cette approche entraîne une désolidarisation du milieu professionnel des ingénieurs compétents ou si, au contraire, les faiblesses de l'approche font partie des doutes acceptés en ce domaine par les règles de l'art.

Prenons un exemple peu polémique : les savoirs sur la houle destinés à dimensionner les ouvrages en mer et, par exemple, les plates-formes offshore. Ici pas de controverses entre *lobbies* qui s'opposent, mais néanmoins des enjeux économiques et de responsabilité en cas d'accident. Dans les rapports, les projets et les interventions dans les colloques, les ingénieurs de ce champ utilisent une notion qui leur est familière, celle de « hauteur de houle significative $H_{1/3}$ » qui se définit comme la moyenne des hauteurs de vagues qui sont dans le tiers des vagues les plus grandes. Quoique très utilisée, autrement dit de grande valeur pragmatique, cette notion n'a pas de sens précis, c'est-à-dire possède une large ambivalence sémantique. Il est facile de se convaincre en effet que sa valeur dépend considérablement de la durée de la mesure si elle est mesurée, de la modélisation de la houle si elle est calculée. Il apparaît pourtant convenable de fonder sur elle le dimensionnement des ouvrages y compris pour les experts des compagnies d'assurance. Il semble que pour la communauté des ingénieurs en travaux maritimes la notion de « hauteur de houle significative $H_{1/3}$ » prenne sens, comme le suggère Saussure, par la globalité du système du langage. Elle se réfère en effet à un dialecte particulier qui concerne la description des « états de mer ». La mer avec ses vagues de hauteur et de direction variable n'est pas un objet si facile à appréhender. Dans le bulletin de l'Association Internationale de Recherches Hydrauliques on ne trouve pas moins de 138 *termes d'ingénieurs* différents désignés par des symboles définis par du texte et expliqués par des figures pour décrire un état de mer¹. Ces termes sont reliés les uns aux autres par des formules mais ces liens ne constituent pas un modèle, ils restent compatibles avec un grand nombre de modélisations qui pourraient pour certaines d'entre elles en introduire de nouveaux. On voit mal cependant qu'un nouveau modèle ne fournisse pas de formule pour interpréter la « hauteur de houle significative $H_{1/3}$ » et pour relier cette grandeur-usage à d'autres grandeurs-usages.

Le linguiste et pédagogue L. Vygotski apporte ici une distinction fort pertinente pour appréhender certaines notions de modélisation c'est l'idée de *saturation*. « L'enfant n'a pas assimilé le concept de “loi d'Archimède”, écrit-il, de la même

¹ « Paramètres des états de mer », supplément au bulletin n° 52 de l'AIPCN, Bruxelles, 1986.

manière que le concept de “frère”. Il sait ce qu'est un frère mais il doit gravir dans le développement de cette connaissance de nombreux échelons avant d'apprendre à définir ce mot [...] le concept de “frère” est saturé de la riche expérience personnelle de l'enfant. Il a déjà parcouru une partie considérable de sa trajectoire de développement et dans une certaine mesure il a déjà épuisé le contenu purement concret et empirique qui y est inclus. Et c'est justement ce qu'on ne peut dire du concept de “loi d'Archimède” »¹. Les concepts scientifiques sont insaturés pour les enfants. Ils ne sont pas à même d'en envisager les tenants et aboutissants. Dans le cas de la communauté des ingénieurs de travaux maritimes, de même, il semble que par l'usage collectif, tant pour les plus âgés que pour les plus jeunes, la notion de « hauteur de houle significative H 1/3 » est une notion *saturée*, chacun sait comment on peut l'obtenir dans les cas usuels et comment on l'utilise. Seulement ce qui est nouveau ici c'est que *la même notion est clairement insaturée pour les non-spécialistes*, aussi transmet-elle une relation de pouvoir. Celui qui la trouve dans un dossier est en quelque sorte brutalisé comme l'enfant par le principe d'Archimède, il ne sait pas où cela va le mener, et il est dans l'incapacité de l'extraire chirurgicalement pour l'examiner car elle se relie intimement à toute la modélisation.

Les éditeurs savent que la présence de formules mathématiques dans un texte détourne d'emblée un certain nombre de lecteurs, c'est le syndrome de rejet qu'on peut déplorer mais qu'on connaît bien. Ici, en modélisation, dans les langages semi-artificiels le phénomène est bien plus fort parce que précisément on sait que les notions sont saturées pour une communauté qui représente un pouvoir social effectif². Il apparaît une véritable peur du pouvoir symbolique qui, à mon sens, est une différence notable de la sémantique des modèles par rapport au langage ordinaire.

Parmi les modélisations qui établissent des liens entre les *termes d'ingénieurs*, il en est certaines qui ont une structure suffisamment riche pour constituer à elles seules un langage, ce sont les *sciencettes*. Mentionnons la résistance des matériaux, l'optique de Gauss, la thermodynamique des gaz parfaits, l'économie de la concurrence parfaite, etc. Elles sont presque déjà une culture et celui qui connaît bien les sciencettes d'un domaine sait dégrossir un problème et proposer des ordres de grandeur. Mentionnons encore une autre *sciencette*, comme toujours très commode, mais située plus en amont du côté des mathématiques et pour cela utilisée couramment dans des domaines assez divers. Il s'agit de la simplification du calcul des probabilités que l'on peut appeler *le monde gaussien*. Elle considère

¹ L. Vygotski, *Pensée et langage*, La dispute, 1997.

² Denis Duclos parle de « phénomènes de coupure entre rationalité pratique reconnue comme sienne par l'acteur, et symbolique “humaine” ou “culturelle” attribuée à l'autre mais déniée pour soi-même », *La Peur et le Savoir*, La Découverte, 1989.

que toutes les lois de probabilités sont des lois normales (loi de Gauss) et se restreint à des problèmes linéarisés. Quoique ces limitations puissent sembler *a priori* très sévères, elle couvre un vaste ensemble de situations par le fait qu'on peut augmenter librement la dimension. Ainsi, le monde gaussien englobe le mouvement brownien et la théorie du filtrage des signaux stationnaires de Norbert Wiener. Le concept d'indépendance est présent, ainsi que celui de loi conditionnelle. Cette sciencette se raccorde aux méthodes statistiques par le théorème de limite centrale et à la théorie des moindres carrés par l'estimateur de maximum de vraisemblance. Beaucoup d'ingénieurs considèrent qu'une loi de probabilité inconnue est gaussienne tant qu'on n'a pas d'argument contraire. C'est une première approche, d'autres sont possibles également¹.

Pragmatique

Poursuivons notre enquête concernant la transposabilité des notions de linguistique à la modélisation par un regard sur la pragmatique c'est-à-dire l'étude en fonction du locuteur et de l'auditeur dans le contexte social de la communication.

Le premier degré de la relation d'une modélisation avec l'extérieur est *sa validation*. Elle débute en général durant la modélisation elle-même et peut se poursuivre durant l'usage du modèle selon des procédés d'apprentissage. Cette préoccupation s'inspire de la méthode scientifique lorsque celle-ci confronte au réel mais dans un esprit différent. Il y a ici plus de plasticité, le souci est de s'adapter, de minimiser les défauts, de maximiser la vraisemblance.

Des opérations préalables sont souvent nécessaires pour rendre un modèle validable et pouvoir le confronter avec ce qu'il doit représenter. D'abord diminuer son niveau d'abstraction en remplaçant des symboles par des fonctions explicites ou des valeurs numériques afin que les données dont on dispose permettent d'ajuster les paramètres restant à déterminer. Ensuite la comparaison avec la réalité peut nécessiter des intermédiaires, ce qu'on veut modéliser se prêtant mal à des mesures directes comme lorsqu'on veut représenter une évolution future de l'environnement ou les conséquences d'un accident qu'on veut éviter.

L'expérimentation en échelle réduite sur maquette est de moins en moins utilisée à cause de son coût et des difficultés de la similitude dimensionnelle. On lui préfère la validation par simulation obtenue par un banc d'essai informatique qui reconstitue des cas par des sous-modèles déjà validés. La discipline scientifique qui règne sur toutes ces opérations pour l'identification de paramètres ou l'assimilation est *la statistique*. Elle intervient même si la réalité qu'on modélise n'est pas aléatoire par l'analyse des données, les méthodes de régression,

¹ Les performances de cette sciencette sont parfois difficiles à expliquer, tel est le cas du filtrage de Kalman qui se théorise dans le monde gaussien mais marche dans un champ de circonstances beaucoup plus vaste et mal connu.

de moindres carrés, de séries temporelles, etc. À cet égard, l'adage "on peut faire tout dire aux statistiques" est une façon d'exprimer dans la sagesse populaire le fait fondamental que le modèle est sous-déterminé par la réalité et que les opérations de validation ne font jamais que rejeter les invraisemblances les plus criantes.

Lorsque la réalité appréhendée est changeante, elle peut relever d'une modélisation aléatoire dans le cadre probabiliste. Dans ce cas l'informatique est un outil exceptionnel pour simuler le hasard par des tirages en grand nombre pour chacun desquels des calculs compliqués sont à effectuer. On appelle cela la méthode de Monte Carlo. Cette technique mérite d'être mentionnée parce qu'elle est typique de la modélisation dans sa philosophie même : on utilise des *nombres pseudo-aléatoires*, ce qui signifie des nombres réels compris entre 0 et 1 et se succédant de telle façon qu'on puisse considérer qu'ils sont tirés au hasard. La situation est alors la suivante : d'un côté la logique mathématique et la théorie des probabilités démontrent que de tels algorithmes pour simuler le hasard *ne peuvent pas exister*, d'un autre côté, force est de constater que *ça marche remarquablement bien*. *Le statut ontologique des nombres pseudo-aléatoires est représentatif de la modélisation en général : un modèle faux peut être très utile néanmoins.*

La pragmatique des modèles conduit par le biais de la question de leur légitimité à les analyser également sous l'angle historique : à défaut d'étymologie proprement dite, on peut retracer des enchaînements de préoccupations qui conditionnent les soubassements des modèles.

Par exemple, il ne serait pas sans intérêt à propos du modèle de *fonction d'utilité* chère au calcul économique et sur laquelle on fonde de nos jours encore le principe de l'individu rationnel (individualisme méthodologique) de remonter à l'époque de la mécanique quantique. Les découvertes de Niels Bohr et de Werner Heisenberg apportèrent des changements si radicaux que le monde des savants communiquait par énigmes (paradoxe d'Einstein-Podolski-Rosen) et se trouvait dans l'incapacité d'exposer simplement la théorie à des non-spécialistes. Dans le monde microscopique, le fait de procéder à une mesure crée une perturbation fondamentale du système où intervient une non-causalité dont Von Neumann proposa une représentation mathématique en termes d'opérateurs dans l'espace de Hilbert¹. Or, comme pour prendre le contre-pied de ce monde où les particules ne sont pas individualisées, il élabore avec Morgenstern une théorie de l'utilité où les affres du microscopique sont effacées et où la rationalité gouverne le comportement des agents. On critique aujourd'hui cette hypothèse sur la base des phénomènes affectifs de contagion et sur le fait que les choix se font par des significations symboliques où interviennent les liens sociaux. On entrevoit donc une succession historique qui part des relations d'incertitudes de la physique

¹ Cf. J. Von Neumann, *Les Fondements de la mécanique quantique*, F. Alcan, 1946.

quantique et de la dualité onde/corpuscule, puis vers la rationalité macroscopique de l'individu agent économique optimisant sa fonction d'utilité et aboutit aujourd'hui à ces fameux *modèles multi-agents*, derniers avatars des systèmes experts, où les agents eux-mêmes sont interrogés sur les règles qui vont servir à les modéliser (ce qui se rattache aux *integrated assessment models*¹) pouvant conduire à de puissants outils de manipulation sociale aussi bien qu'à des fiascos.

De même que l'histoire a conservé les textes littéraires remarquables, de même certains modèles ne manqueront pas de devenir célèbres dans l'avenir. Par exemple en 2050 le problème de l'effet de serre ne sera vraisemblablement pas réglé et on aura tant parlé et critiqué les modélisations climatiques que certaines d'entre elles seront peut-être marquées du sceau de l'exemplarité, comme c'est déjà le cas en finance pour le modèle inventé par Black et Scholes en 1973². Sans doute certaines observations des philosophes sur l'interprétation des textes (l'herméneutique) seront transposables à l'interprétation des modèles. Il serait souhaitable que l'entraînement à ce genre d'exercice se pratique d'abord sur le mode ludique et culturel, comme cela se passe actuellement en littérature, plutôt qu'en situation de conflit armé sur des questions de droits à polluer.

Modélisation et "progettation"

Lors du colloque de Cerisy "Langages scientifiques et pensée critique" les exposés et dialogues concernant la modélisation en architecture ont montré que non seulement les architectes utilisaient bien sûr la modélisation pour représenter l'insertion urbaine du bâtiment et ses caractéristiques techniques (ensoleillement, thermique, etc.) aux divers stades de l'étude, mais qu'une forte analogie existait entre le projet architectural au sens de la démarche, la "progettation" pour prendre ce néologisme d'inspiration italienne, et la modélisation en général quel que soit son ancrage économique et décisionnel.

Nous approfondissons ce parallèle dans les quelques pages qui suivent car il donne l'occasion de nombreuses remarques éclairantes.

Le terme de modèle est venu d'Italie au seizième siècle où il désignait celui ou celle qui prend la pose dans l'atelier du peintre ou la maquette d'un bâtiment à réaliser. Pour les constructions ambitieuses l'utilisation de modèles permettait une bonne coordination des équipes durant le chantier, phase souvent la plus délicate de la vie de l'édifice. Pour un ouvrage par exemple tel que le dôme de *Santa Maria dei Fiore* à Florence que Brunelleschi réalisa sans cintres de charpente par lits horizontaux successifs, de tels modèles étaient indispensables³. Alberti

¹ Voir les articles de Hubert Kieken "Genèse et limites de l'évaluation intégrée" et de Pierre Matarasso "Evaluation intégrée et modélisation" Annales des Ponts 2003

² Cf. N.B., *Martingales et marchés financiers*, Odile Jacob, 1998.

³ Cf. A Choisy, *Histoire de l'architecture*, 1899, tome II, p. 616 *et seq.*

recommande d'utiliser des modèles de bois dès la phase d'imagination de l'architecture et il précise qu'il est mieux « de faire des modèles non pas déjà impeccablement finis et brillants, mais nus et simples de façon à mettre en lumière l'acuité de la conception et non l'exactitude de l'exécution »¹. Le modèle prend donc le sens de schématisation expressive de principes intentionnels et du parti constructif adopté par l'architecte ; dès la Renaissance il est ainsi à la fois une représentation et ce qu'il faut reproduire, début d'une évolution richement polysémique qui mènera aussi bien aux ouvriers modèles, aux voitures dernier modèle qu'au modèle d'atome de Bohr, au modèle de Kekule pour la molécule de benzène ou encore aux modèles de circulation générale en climatologie.

Ces liens sémantiques que le mot modèle possède avec l'architecture sont la marque historique d'une analogie profonde de la modélisation avec le projet architectural. Ils partagent trois aspects caractéristiques et complémentaires. La *mimesis* [μιμεσις], imitation, représentation, portrait, tentative de ressemblance avec un modèle idéal, donc description de celui-ci et par suite *mathesis* [μαθησις], action de s'instruire, désir de connaissance, élaboration de règles enseignées et transmises, ce qui permet la *poiesis* [ποιησις], création, expression dans ce langage et invention.

L'histoire de l'architecture – à toutes les époques mais particulièrement durant cette longue période si riche pour le patrimoine bâti où la mécanique des milieux continus n'avait pas donné aux ingénieurs les moyens de calculer exactement les structures, c'est-à-dire avant le dix-neuvième siècle – nous montre que les maîtres d'œuvre procédaient d'après des modèles de référence par une *mimesis* active, incluant des modifications et des audaces, des tentatives parfois infructueuses d'augmentation des portées ou des hauteurs. Henri Focillon et Nikolaus Pevsner ont montré que les deux églises de Sainte-Sophie et des Saints-Apôtres de Constantinople ont été des modèles qui, indirectement, de proche en proche, ont influencé une grande part de l'art roman d'Occident. Plus régionalement, les cinq grandes églises romanes d'Auvergne semblent construites sur le même modèle. Elles ont la même structure générale et la même particularité, unique, des sortes d'épaules qui viennent flanquer le clocher central, et qu'on appelle *massif barlong*. Ces églises n'ont pu être édifiées, en même temps, dans la seconde moitié du douzième siècle sans un modèle qui reste pour nous une énigme et suscite plusieurs hypothèses...

Les bâtisseurs avaient aussi à transmettre leur savoir. Cela ne se ramène pas à de l'imitation, car l'œuvre achevée révèle peu d'elle-même. Du maître au compagnon, du compagnon à l'apprenti, les formes sont expliquées, les tracés géométriques sont révélés, la logique des voûtes est argumentée pour l'équilibre

¹ L.B. Alberti, *De re aedificatoria*, (*Les Dix Livres de l'Architecture*).

des masses et leur stabilité. Cette *mathesis* est aussi structuration des concepts, des parties majeures aux détails. À cet égard, la Renaissance n'est évidemment pas une simple imitation des antiques, elle est « le grand atelier »¹ où s'élabore un nouvel enseignement, où se dégagent des règles et des harmonies mathématiques (rapports musicaux d'Alberti) pour la composition. Initialement la mathématique est ce qui est enseigné. Qu'il y ait dans l'architecture des nombres et des figures cela s'impose au premier regard du Parthénon au Panthéon ou aux thermes de Caracalla. La géométrie règne par des relations métriques précises sur l'équilibre et la splendeur des édifices.

Grâce à ce travail pédagogique, les éléments architectoniques de l'Antiquité se trouvent séparés des *ordres* classiques, réajustables, recomposables. Dès lors la création devient possible. La *mathesis* permet la *poiesis*, un langage a été fabriqué, des grammaires structurantes sont imaginables avec lesquelles les Michelange, les Vignole, les Palladio inventeront des lieux urbains, palais, églises, façades, places, si émouvants et si parlants à notre culture qu'ils deviendront des modèles pour plusieurs siècles, imités dans toute l'Europe et au-delà.

Ces traits communs de la modélisation et de l'architecture sont permanents durant toute l'histoire des arts et des techniques. Aujourd'hui mimesis, mathesis et poiesis se conjuguent dans la pédagogie des écoles d'architecture, par l'étude des grandes œuvres récentes dont on s'inspire pour les esquisses, par l'analyse des doctrines et le traitement des programmes et des contraintes techniques et enfin par une démarche et un vocabulaire que l'étudiant s'approprie dans ses projets. *La modélisation tirerait grand avantage d'être enseignée de cette façon.* Non seulement cela introduit une véritable compétence langagière mais fait apparaître des points, des transitions, des principes ou des étapes de conception qui peuvent faire difficulté et qui sont particulièrement importants à élucider. Évoquons-en quelques-uns car ils constituent évidemment des caractéristiques des projets et des modèles qui donnent prise à la critique de façon pertinente.

Inscription dans le site, embrayeurs

Une représentation n'a d'effet que si elle a un ancrage. Les philosophes ont insisté sur ce lien crucial. « Quand Spinoza remonte de l'idée à l'effort de chaque être pour exister, nous dit Paul Ricœur, quand Leibniz articule la perception à l'appétition, et Schopenhauer la représentation à la volonté, quand Nietzsche subordonne perspective et valeur à la volonté de puissance, et Freud la représentation à la libido », tous ces philosophes conditionnent l'idée à l'acte fondateur de la conscience donc à l'action². Sur cette articulation, essentielle à expliciter pour replacer les idées dans le monde intéressé et profane qui les utilise, la modélisation a beaucoup à apprendre du projet d'architecture.

¹ Cf. André Chastel, *Le Grand Atelier d'Italie*, Gallimard, 1965.

² P. Ricœur, « L'acte et le signe selon Jean Nobert », in *Le Conflit des interprétations*, op. cit.

C'est en effet *la première chose* que l'on fait faire à l'élève architecte sur chaque projet : le site, les lignes de niveau, la qualité du sol, l'ensoleillement, les données climatiques mais aussi le paysage, le contexte urbain fonctionnel et historique. Les Grecs évidemment choisissaient leurs sites avec un raffinement extrême. Que l'on pense à Thaormine, Agrigente, Éphèse, Pergame, etc. Mais une fois choisi l'emplacement de la cité, les extensions, les renouvellements se faisaient avec des contraintes analogues à celles que rencontrent les opérations contemporaines avec le terrain, la voirie, les accès, etc. Plus généralement le projet d'architecture s'inscrit dans un *site social*. Le travail de la traduction du programme en espaces doit se faire en fonction du vécu. C'est la recherche de *l'appropriation de l'espace* dans les deux sens du terme : disposition géométrique propre à la destination qui est prévue, et conception de lieux que puissent s'approprier les usagers. Il s'agit là de dépasser le fonctionnel standardisé – dont les réalisations « modernes » d'après guerre nous ont donné tant d'exemples affligeants – et l'espace programmatique technicisé où le choix des matériaux est élevé au rang d'esthétique, telle la cathédrale d'Houphouët-Boigny à Yamoussoukro ou la grande bibliothèque de Mitterrand à Paris. Le site est toujours inducteur de sens parce qu'il est qualifié par la ville et son tissu historique. En tenir compte est le premier degré de la pertinence et une grande source de créativité.

Cela correspond en linguistique à ce qu'on appelle *les embrayeurs*. Ce sont des termes comme *ici, aujourd'hui, l'an passé, je, nous, à mon avis, tu, Monsieur le Président, chers collègues*, qui inscrivent l'usage du langage par la parole ou l'écrit dans son cadre communicationnel. Ces mots ne font pas sens par eux-mêmes ni par leurs voisins mais renvoient aux acteurs du discours. Ils sont des enclaves de la pragmatique dans la sémantique, des pièces de liaison qui permettent à l'auditeur de tenir compte du locuteur dans son évaluation de ce qui le concerne, évidemment cruciaux dans les pièces de théâtre et les plaidoiries.

Finalement si l'on passe en revue tous les styles et les genres de discours, les seuls textes qui conservent leur sens plein sans que ne soit précisée aucune inscription dans un site social sont les énoncés scientifiques. Par exemple « Le spectre d'émission d'un atome présente des raies dont les nombres d'ondes sont proportionnels à des différences d'inverse de carrés de nombres entiers »¹ est une assertion dont la signification ne dépend pas de qui l'écrit ou la lit, ce qui ne veut pas dire qu'elle ne soit pas contestable, perfectible, etc. Même si le sens précis de ses termes renvoie à des protocoles expérimentaux sur lesquels existent plusieurs écoles épistémologiques, elle prétend à une vérité, provisoire sans doute, mais universelle, elle se pose comme une étape dans cette direction. C'est la raison pour laquelle la modélisation sans inscription dans un site social et économique, est un

¹ Cet énoncé est une des propriétés fondatrices de la mécanique quantique, les raies d'émission correspondent aux chutes d'électrons d'orbites quantifiées plus énergétiques à des niveaux plus bas.

non-sens. Nous avons montré par des exemples au premier chapitre que la pertinence d'une modélisation dépend de façon décisive de l'instance décisionnelle pour qui elle est faite. Mais on voit, à notre époque, par les facilités de l'informatique fleurir des modèles en tout genre, une véritable épidémie de modélose, sans que, trop souvent, soit indiqué pour qui est fait le modèle. Contrairement à ce que croient leurs auteurs, cette confusion ne tournera pas à leur avantage. L'inutilité du modèle l'emportera largement en général sur son intérêt scientifique.

L'ambiguïté est à son comble actuellement parce que la modélisation est enseignée principalement par des scientifiques qui s'inspirent de contrats d'études dont ils effacent les particularités. Il en résulte des *quiproquos* encore plus graves dans l'interprétation des études techniques par le public ou par les élus. C'est un peu comme si on apprenait aux élèves architectes à faire des dessins et des maquettes uniquement destinés à être publiés dans les revues.

*Le problème n'a pas de solution unique ;
mais chaque solution heureuse atteint l'unicité.*

Le problème architectural, même inscrit dans la spécificité d'un site géographique et fonctionnel, n'a pas une seule solution. Il ne se pose pas en termes de maximisation d'une fonctionnelle d'utilité et ne relève d'aucun algorithme. L'analogie est précieuse pour la modélisation car les outils de celle-ci étant empruntés pour beaucoup d'entre eux à des disciplines constituées, leur articulation et leur technicité peuvent faire oublier que *modéliser c'est prendre parti*.

Dans le cas de l'architecture il y a une raison fondamentale à cette non-unicité qui vient de ce que la fonction, la tâche, n'est jamais complètement déterminante de la forme. Ceci vaut du verre à boire au château d'eau en passant par l'automobile, etc. Il y a là *une sous-détermination de la forme par la fonction* que les styles fonctionnalistes, Mies van der Rohe, Bauhaus, etc. ne sont jamais parvenus à éliminer. Elle joue du côté du *design* le rôle que joue la sous-détermination des théories par l'expérience du côté de la modélisation. La notion la plus courante en modélisation est la dépendance entre deux grandeurs, c'est une des briques de base des représentations mathématisées de plusieurs variables. Elle peut se représenter d'une infinité de manières différentes : comme fonction analytique, par des fonctions simples par morceaux, comme somme de polynômes orthogonaux, avec de l'aléatoire, par des régressions, etc., etc.

Comment l'architecte réduit-il cette indétermination ? L'analyse des contraintes de programme, techniques, spatiales et l'étude de leurs imbrications par des esquisses successives lui permettent de maîtriser, dans une certaine mesure, les implications mutuelles des options formelles, structurelles et économiques. Dans ce faisceau de solutions, il se déplace par des calques et des croquis, auxquels il

superpose d'autres calques et d'autres croquis, jusqu'à ce qu'une ou plusieurs cristallisations remarquables apparaissent. C'est *la découverte du simple* dans cet écheveau de relations de nature différente qui va attirer son attention et l'inciter à pousser une variante plus au détail. Après de longs détours, peut apparaître une solution d'une telle évidence, d'une telle force qu'elle en acquiert cette sorte d'unicité que les Anciens appelaient la beauté par l'harmonie des parties, quoique aujourd'hui cette harmonie se place à un niveau plus abstrait que la seule géométrie.

Y a-t-il l'équivalent en modélisation ? Le champ du discours y est si large que les cristallisations remarquables sont rares. Elles peuvent exister. *Pour l'instant la modélisation est une langue ordinaire et profane qui n'a pas de monuments ni d'anthologie*. Néanmoins elle témoigne abondamment du principe que ce qui est compliqué, ésotérique, affublé de superfétatoire, est faible. La force d'un modèle lui vient largement d'une simplicité dégagée spécifiquement pour le problème.

L'architecture et le vécu

Dans son travail d'organisation des formes, l'architecte pense les espaces en termes d'usage. S'il s'agit d'une crèche, il y a le lieu d'accueil des mamans avec les poussettes et le déshabillage, l'emplacement de la directrice qui doit pouvoir voir tout ce qui se passe, la salle des nourrissons avec les tables à langer, les lieux de jeux pour les petits et pour les grands, les dortoirs et les terrasses ensoleillées en plein air. Comme dit Norberg-Schulz « Une œuvre d'architecture est jugée, avant tout, en analysant si la forme convient à la tâche » et l'objet de la critique est de dénoncer « si une correspondance sémantique satisfaisante fait défaut »¹. La création traduit une compréhension de l'usage, elle l'exprime et le favorise par la disposition et le caractère des espaces. Ainsi le temple de Karnak en Égypte présente une architecture adaptée à un culte processionnaire organisée par des enceintes successives qu'on pénètre par un cheminement jalonné de symboles avec une émotion croissante. Au contraire pour la maison des jeunes et de la culture de Firminy Le Corbusier par un toit suspendu laisse un espace flexible à usages multiples.

C'est aussi par référence à des usages que se constituent les sèmes architecturaux. Chez Palladio ce sont les escaliers extérieurs bordés de murs bas et épais, les façades à pilastres et colonnes dans un jeu de bas-relief et haut-relief, le motif de la serlienne pour les entrées qu'il emprunte à Sebastiano Serlio, etc. Le vocabulaire de Le Corbusier est lui composé d'ensembles structurés qui regroupent des fonctions séparées : brise-soleil, balcon-terrasse accessible, baie fixe pour la lumière, ou encore pilotis, rythme de façade réglé par le modulator et puits de lumière. Lorsqu'il fonctionne bien un élément signifiant est repris par d'autres

¹ Ch. Norberg-Schulz, *Système logique de l'architecture*, Dessart et Mardaga, 1974.

concepteurs, il devient style, puis décor comme les murs de pierre à appareillage horizontal associés à des poutres de bois du vocabulaire de Gropius qui se sont répandus dans le monde entier en tant que marque de la modernité pour finir avec les autres corniches et balustrades parmi l'attirail des décorateurs.

Pour penser un modèle en terme d'usage, il faut appréhender le milieu social utilisateur. Il s'agit non seulement d'une validation au sens ordinaire mais d'une adaptation au langage et aux modes de représentation des praticiens du domaine. Il s'agit du choix des symboles mathématiques, choix aussi des termes clés dans les sciences de l'ingénieur ou dans les dialectes économiques ou financiers concernés. Il y a des cultures locales qui résultent de l'évolution des techniques et de leur pédagogie au cours de l'activité professionnelle. On ne parle pas de la sécurité et des risques de la même manière chez les ingénieurs du matériel roulant à la SNCF, dans les expertises parasismiques, ou dans les salles des marchés des banques, et ces langages ne reviennent pas au même parce que les possibilités d'action ne sont pas les mêmes.

Soumission naturelle à la critique

Un dernier point mérite d'être relevé dans la pratique architecturale pour en tirer enseignement du côté de la modélisation, et ce n'est pas le moindre. La conception architecturale se fait généralement, sauf pour les petites commandes, dans un climat de compétition. On sait que c'est par un concours que Brunelleschi obtint la maîtrise d'œuvre de la fameuse coupole de Florence selon un usage qui semble remonter aux Grecs. Les programmes importants font normalement l'objet de concours ce qui n'empêche pas certains avatars, comme dans le cas célèbre du siège de la Société des Nations à Genève où Le Corbusier classé premier sur quelque quatre cents projets n'obtint pas la réalisation. Les municipalités et autres collectivités y trouvent le moyen d'élargir le débat en faisant participer la population. C'est une façon pour les jeunes architectes de se faire connaître et constituer un cahier de références. Plus généralement l'architecture est naturellement soumise à la critique, elle se fortifie de la critique et intègre la critique dans sa démarche. En particulier, l'enseignement la fait intervenir au moins à trois niveaux : celui du commentaire des œuvres significatives où l'étudiant dispose souvent de textes intentionnels de l'auteur qui l'aident à construire *son jugement*, celui de l'histoire de l'architecture où l'on compare en permanence les procédés et les solutions et celui de la pédagogie par ateliers avec notamment l'affichage des projets et leur évaluation en public par l'enseignant après les explications de l'étudiant.

La critique rencontre souvent un obstacle qui nous est bien révélé par l'architecture. Si le lecteur a assisté à des décisions en matière de bâtiments publics, qu'il y ait concours ouvert, consultation restreinte ou choix de gré à gré, il a sûrement remarqué que la critique a un rôle certes, mais en général assez faible,

on peut dire marginal une fois que les œuvres sont mises en forme. Voici un maire qui organise une réunion publique autour d'un projet de centre culturel. Devant une splendide maquette, des perspectives, des croquis d'ambiance à l'échelle du piéton, l'architecte évoque le fonctionnement de l'édifice et ses multiples potentialités qui ne manqueront pas de donner à la ville un rayonnement dont tout le monde profitera. Des questions sont posées. On discute les plans, le nombre de places de la salle de spectacle, des économies possibles, les lieux pour les jeunes, pour le troisième âge, l'espace pour les expositions. On envisage de déplacer une porte, d'agrandir une circulation, etc., mais la maquette résiste, le parti est là, il s'impose, personne n'est en situation de pousser la critique jusqu'à ce qu'une modification majeure aboutisse à une option nouvelle, insoupçonnée qui soit une meilleure solution. Impossible, les jeux sont faits. Ce phénomène, très important, vaut aussi pour la modélisation et doit être pensé en tant que tel.

Le modèle et ses ornières de pensée

L'effet « belle maquette » est vrai de tout dossier, même comprenant des parties scientifiques et techniques. Les arguments chiffrés s'appuient les uns les autres, tout se tient. Aucune instance, collégiale ou spécialisée, n'est capable de faire autre chose que de tout rejeter ou de tout accepter avec, au mieux, quelques changements de détail. Finalement, le plus souvent, c'est seulement l'enveloppe financière qui est vraiment discutée, d'où les pratiques de déshabillage si fréquentes qui prétendent économiser sans dénaturer le projet.

L'obstacle est fondamental. Il touche à la nature même de la représentation et de la communication. Cela constitue un énorme travail de s'extirper de toutes les hypothèses implicites d'un modèle, souvent plus difficile que d'en inventer un *ex nihilo*. On a beau savoir que tout modèle présente une part d'arbitraire on ne perçoit pas cette liberté concrètement. Émile Benveniste prend soin de souligner que l'arbitraire du signe, cher à Saussure, n'est pas perçu par le locuteur : « Pour le sujet parlant, il y a entre la langue et la réalité adéquation complète : le signe recouvre et commande la réalité ; mieux il *est* cette réalité (*nomen omen*, tabous de parole, pouvoir magique du verbe, etc.) »¹. De même le modélisateur est incapable d'imaginer la contingence de son approche, ce qu'il dépeint *est* la réalité, tout au plus admet-il qu'il y a approximation, que des ajustements sont possibles pour améliorer la précision.

Il est renforcé dans cette conviction par le langage scientifique dont il se sert. La science, en effet, ne nous fournit de langage que pour parler de ce qui est connu dans la discipline. Bien plus, elle a la tare innée d'occulter tellement ce qu'elle n'appréhende pas qu'elle nous présente toujours le monde comme s'il était

¹ É. Benveniste, *Problèmes de linguistique générale*, Gallimard, 1966.

parfaitement décrit avec les outils qu'elle a d'ores et déjà construits. Les Grecs ont commencé à raisonner sur les grandeurs par des rapports rationnels. Nous savons maintenant que la plupart des nombres sont irrationnels. Les mathématiciens des dix-septième et dix-huitième siècles pensaient les fonctions comme fonctions analytiques. Avant Bolzano et Cauchy, celles-ci étaient les seules qui fussent sans conteste dans les mathématiques. Les statisticiens du dix-huitième et du début du dix-neuvième siècle ainsi que tous les savants qui s'exprimaient sur la question des erreurs de mesure considéraient que le théorème de limite centrale était universel et fondaient sur lui les prévisions et les estimations. Nous savons aujourd'hui qu'il n'en est rien et que d'autres lois peuvent se présenter que la loi normale. Mentionnons aussi que la mécanique pré-poincarienne admettait que le mouvement était par nature déterministe et prédictible. Les systèmes dynamiques sensibles aux conditions initiales sont nés comme des objets pathologiques, à l'instar de la fonction continue sans dérivée de Bolzano. Bien plus, pendant le demi-siècle qui suivit, personne n'a vu grand-chose par la fenêtre que Poincaré avait ouverte. Les systèmes chaotiques sont considérés aujourd'hui comme l'immense majorité. Il est difficile avec le langage de la science de décrire des situations négligées par la science, il est même audacieux d'en envisager l'existence. De toute façon cela se fera par des langages hybrides et l'intolérance de l'ontologie scientifique se transmettra à la modélisation en une pesanteur et une inertie d'autant plus grande que les implications internes du modèle sont plus enchevêtrées.

Cette *loi des ornières* s'applique à tous les modèles, théoriques ou appliqués, généraux ou spécialisés, quels que soient les domaines. *Aussi, le rôle d'expert sans contre-expert est-il très ambigu.* L'expert se distingue du scientifique en ce qu'il prend parti. Ce faisant, il se sert d'embrayeur, il a besoin de points d'appui sociaux, d'un référentiel qui n'est pas interchangeable ou galiléen mais ancré dans la réalité historique, politique et les intérêts convoqués. Si des instances décisionnelles ou des responsables régionaux sont dans la perplexité, organiser des expertises plurielles n'est pas un luxe. Il ne suffit pas de confier la modélisation à un institut dont on sait qu'il s'attache à bien faire son travail. Le rôle de la critique est de « montrer que les choses ne sont pas si évidentes qu'on croit, faire en sorte que ce qu'on accepte comme allant de soi n'aille plus de soi » nous dit Michel Foucault et son propos vaut parfaitement pour la modélisation lorsqu'il ajoute : « la critique (et la critique radicale) est absolument indispensable pour toute transformation. Car une transformation qui resterait dans le même mode de pensée, une transformation qui ne serait qu'une manière de mieux ajuster la même pensée à la réalité des choses ne serait qu'une transformation superficielle. »¹. Il faut sortir des voies

¹ M. Foucault, *Dits et écrits*, Gallimard, 1994.

argumentées¹. Or la logique externe que nous évoquions avec J. S. Mill se trouve renforcée par la linguistique : elle peut s'appuyer sur la socialité du langage qui vaut aussi bien pour la modélisation. Ainsi que le remarque Sylvain Auroux cet externalisme dépasse le rationalisme classique par le fait que « la connaissance est un processus tout à la fois matériel, social et collectif, jamais limité, enfermé, préservé ou produit par des compétences individuelles qui n'en concernent que des moments et des fragments. »². Introduire une dimension sociale, c'est ici organiser une confrontation ouverte des savoirs. La critique à la marge, qui relève des petites fautes est aussi vaine que celle qui rejette tout en bloc. Comme dit encore Foucault « la critique par sentence m'endort ; j'aimerais une critique par scintillements imaginatifs. Elle ne serait pas souveraine vêtue de rouge. Elle porterait l'éclair des orages possibles. »

De quelque façon qu'on prenne le défi d'une critique qui fasse sortir des chemins creux, son arme véritable est l'imagination. Finalement, *la seule façon de lutter contre une interprétation est d'en fournir une autre concernant le même site social*. Dès lors, la fausse évidence que le modèle est l'application directe de connaissances scientifiques éprouvées et ne fait qu'exprimer ce qui est admis par la communauté scientifique la plus exigeante, cette fausse évidence disparaît et le parti pris du modélisateur est mis en pleine lumière. Le scientifique qui souvent dramatisait les enjeux dans lesquels il se trouvait impliqué avec les modèles comme une poule qui a couvé des canetons les voit partir à l'étang, trouve un nouveau métier s'ouvrir à lui qui est d'utiliser son imagination, son talent créateur, dans la contre-expertise.

Construction de co-vérités

Les distinctions que nous avons apportées dans les pages précédentes posent plutôt des questions qu'elles n'en résolvent. Les premiers exemples grâce auxquels nous avons introduit la modélisation appellent à envisager un nouveau type de connaissances qui ne peuvent prendre place dans le champ du savoir qu'à condition de dépasser l'épistémologie poppérienne, étroite, biaisée, et d'envisager une conception plus large dont nous avons esquissé les relations complexes qu'elle aurait avec la réalité et les acteurs. Motivés par les problèmes d'environnement, nous avons ensuite plaidé pour un véritable appel à la diversité des idées comme condition d'une raison la moins déraisonnable.

Maintenant il nous faut aller plus loin et montrer comment la linguistique peut fournir les outils critiques concrets pour dénoncer ceux qui font des modèles en

¹ Une remarque analogue est faite par M. Callon à propos du langage économique cf. "An essay on framing and overflowing: economic externalities revisited by sociology" in *The Laws of the markets*, Blackwell, 1998.

² S. Auroux, *La Raison, le Langage et les Normes*, PUF, 1998.

les faisant passer pour science. Ils sont malheureusement pléthore en ce début de vingt-et-unième siècle. On modélise à tous crins, sans aucune insertion dans un site social, *on étend à ces pratiques les usages de la communauté scientifique de publications et de congrès et on en tire des légitimités qui sont en réalité usurpées*. L'ambiguïté est particulièrement forte pour le troisième cycle : nombre de thèses dites appliquées ne sont pas autre chose que des modélisations auxquelles on a pris soin de retirer tous les *embrayeurs* (commanditaires, dates, enjeux, coûts) pour leur donner une apparence de science. C'est un filon très exploité. Le bilan n'est pas négatif, les doctorants acquièrent des compétences qu'ils pourront en général valoriser professionnellement mais la méthode est artificielle et devient hypocrite quand seul le directeur de thèse est à même de tirer de ces travaux des enseignements réellement scientifiques dont il se servira dans ses publications. Faire de la modélisation durant la thèse est une excellente chose, mais on aimerait alors que des thèses soient aussi consacrées à la critique de modèles et que ce type de déconstruction, difficile s'il en est, soit aussi admis parmi les travaux reconnus par les jurys.

Transformons-nous donc en critiques et mettons nos mains dans le cambouis des modèles. Voici un modèle, quel traitement lui faisons-nous subir ? Le premier toilettage est le changement des notations et des variables significatives. Nous avons vu à propos des productions de CO₂, par pays, par habitant ou rapportées au PIB, combien le problème se métamorphose. C'est général. Si un modèle ou un sous-modèle se présente sous la forme :

$$x = f(u, v, w) \quad y = g(u, v, w) \quad z = h(u, v, w)$$

où u, v, w sont des variables explicatives, nous pouvons leur substituer d'autres explications

$$\alpha = \varphi(u, v, w) \quad \beta = \psi(u, v, w) \quad \gamma = \chi(u, v, w)$$

et nous intéresser à d'autres effets

$$X = F(x, y, z) \quad Y = G(x, y, z) \quad Z = H(x, y, z)$$

qui seront alors des fonctions de α, β et γ . Par exemple les mécaniciens expriment tantôt les modèles en termes de déplacements, tantôt en termes de contraintes. Les significations peuvent se modifier considérablement, les incertitudes se localiser ou se disperser. Évidemment, ce ne sont pas les choix de notations qui peuvent faire sortir des ornières de pensée, il faut pour cela des changements plus profonds.

Prendre les choses autrement, appréhender le problème sous un angle nouveau, c'est le seul moyen concret et efficace de relativiser un modèle. Il était candidat à la vérité absolue, il se trouve remplacé parmi des représentations construites avec des matériaux différents que nous appelons *co-vérités*. Celles-ci ne révèlent pas seulement des parties cachées du réel, elles modifient les enjeux, les validations à entreprendre et l'établissement des légitimités.

Prenons un exemple, les modèles de pollution de rivière, selon une approche classique en France, tentent d'établir l'inventaire des produits chimiques et leurs concentrations, depuis les ions métalliques jusqu'aux matières organiques en suspension, dont la présence est considérée comme un facteur de dégradation de la qualité de l'eau. La méthode a l'avantage d'une grande objectivité. Les instruments de mesure sont de plus en plus précis et sont capables par analyse de prélèvements de déceler des traces d'éléments polluants. *Construire une co-vérité peut venir ici d'une réflexion plus approfondie sur le concept de propreté.* Les eaux minérales et les sources ne sont pas chimiquement pures. On peut aussi qualifier la qualité de l'eau par les espèces qui y vivent, plantes, poissons, crustacés, mollusques, et procéder à un suivi de cette flore et de cette faune spécifique. C'est ce qui se fait dans certains pays étrangers et aussi maintenant en France. Les deux approches ne sont pas comparables. La première peut ne pas identifier des germes pathogènes qui contaminent la chaîne animale. La seconde peut difficilement faire la part des fluctuations aléatoires « normales » dans les populations et celle des causes indésirables (rejets polluants).

Mais une co-vérité est toujours enrichissante. Elle ouvre à une autre dimension, elle invente un déploiement qui donne une profondeur nouvelle, *évidente et nécessaire a posteriori*. Nous allons présenter quelques registres par lesquels peuvent s'imaginer des co-vérités.

Nous les exprimerons sous forme de dualités suivant en cela la voie tracée en linguistique par Ferdinand de Saussure. Evidemment ces dualités seront d'autant plus parlantes au lecteur qu'il aura lui-même pratiqué la modélisation.

Particules / milieu continu

Un grand nombre de problèmes possèdent la même équivoque que la lumière dans la dualité ondes/corpuscules. Louis de Broglie la résume ainsi : « Quand on réfléchit à l'incompatibilité apparente des phénomènes d'interférences et de diffraction d'une part, des phénomènes photoélectriques et de l'effet Compton d'autre part, on ne peut guère échapper à la conclusion suivante : la théorie classique de la lumière possède un caractère de continuité trop accentué, tandis que la conception purement corpusculaire paraît inacceptable »¹. Ceci le conduit à proposer une co-vérité ondulatoire pour toutes les particules matérielles et de même Léon Brillouin imaginera une co-vérité corpusculaire aux phénomènes vibratoires : les phonons.

Plus généralement cette dualité concerne les procédures de discrétisation. On peut toujours partager les corps solides ou fluides en petits éléments et suivre leur mouvement (représentation de Lagrange) ou les regarder passer en les comptant pour avoir les flux (représentation d'Euler). De même, alors qu'une grande partie

¹ L. de Broglie, Thèse, 1924.

de l'économie peut être faite sans individualiser les agents ni les biens, certains considèrent éclairant de retrouver les lois globales à partir d'une rationalité individuelle micro-économique. On croit parfois que la discrétisation, spatiale ou temporelle, simplifie les problèmes, que les règles de récurrence sont plus élémentaires que les équations différentielles et que les programmes d'éléments finis ramènent les équations aux dérivées partielles à de la simple algèbre. Souvent pourtant c'est le contraire, les probabilités discrètes sont parfois inextricables et certains algorithmes (comme celui de Kalman, puissant instrument de guidage), se comprennent mieux en temps continu. Il faut ajouter qu'il y a quantité de façons de discrétiser, toute représentation d'une fonction comme élément d'un espace vectoriel en permet une, et ces dernières décennies des avancées nombreuses ont été faites avec des choix judicieux du vocabulaire des fonctions de base.

Descriptif / explicatif

En 1970, deux auteurs américains, G. E. P. Box et G. M. Jenkins publiaient un livre où ils transposaient les méthodes inventées par Norbert Wiener pour le traitement du signal à la prédiction économique. Leur ouvrage devint la référence dans une polémique entre les partisans de modèles explicatifs et ceux des modèles purement descriptifs. Ces derniers à partir de séries annuelles de chiffres traités indépendamment de leur signification économique donnaient, parfois, de meilleures prédictions. Dans l'histoire des sciences, l'opposition descriptif / explicatif se déroule souvent par périodes successives. L'approche purement descriptive peut être un progrès quand elle libère d'interprétations par trop prégnantes. Alors que les explications permettent à une lecture d'éclairer des situations autres que celles déjà rencontrées¹. Dans une certaine mesure on peut rattacher à cette dualité l'opposition entre les marchés financiers et les analyses de fondamentaux économiques². Ces dernières expliquent en fonction des actions des hommes et des performances des entreprises (productivité, etc.) alors que les marchés attribuent des notes comme un jury de concours et sont souvent ressentis comme déconnectés de la réalité.

Quantitatif / qualitatif.

C'est une erreur qu'on ne peut plus commettre d'assimiler le qualitatif avec ce qui est d'expression littéraire. L'œuvre philosophique de René Thom a brillamment illustré que les mathématiques proposaient des outils de représentation qui allaient au-delà du quantitatif. Sur le principe cela était connu depuis longtemps, l'*analysis situs*, la topologie, l'étude de la stabilité des systèmes dynamiques forment un courant ancien et vivant, mais à l'époque où l'informatique de puissance abandonnait l'analogique pour le digital et le numérique, Thom insistait au contraire sur la compréhension et montrait avec un regard de

¹ Sur cette dualité, voir R. Thom, *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, 1993.

² Cf. N.B., « Les réticences de l'opinion envers la finance », *Esprit*, novembre 1998.

naturaliste encyclopédique qu'un champ immense de phénomènes naturels pouvait être abordé de façon qualitative grâce à un langage adapté à l'évolution des formes¹. Cette sémantique tire son origine de la théorie des singularités des variétés différentiables et accorde un rôle typique à la notion de « déploiement universel » comme interprétation explicative. Schématiquement cela consiste à lire l'évolution singulière d'un phénomène comme la projection d'une évolution régulière se situant dans un espace plus grand. On notera là une démarche authentiquement platonicienne, d'ailleurs l'ensemble du langage élaboré par Thom et ses élèves² se place volontiers dans un cadre philosophique qui accorde à l'idée une place ontologique éminente. Pour nous la référence à Platon (Thom) ou à la phénoménologie de Husserl (Petitot-Cocorda) des créateurs de cette nouvelle langue et de sa linguistique n'est pas un obstacle à un usage plus large, et plus commun, de ses outils pour la construction critique de co-vérités. Ils ont élaboré un langage qui, pour les systèmes dynamiques³, dépasse et le qualificatif et le purement descriptif. Cela doit maintenant être pratiqué par les ingénieurs et les bureaux d'études dans leur démarche d'expertise critique car ses « catastrophes » qualitatives font sortir des ornières des extrapolations primaires en suggérant de nouveaux champs du possible.

Déterministe / probabiliste

Le calcul des probabilités a connu un développement prodigieux au vingtième siècle qui confirma *a posteriori* la fécondité de la voie initiée par Kolmogorov de construire un langage (variables aléatoires, espaces de probabilité, etc.) fondé sur la théorie de la mesure. Deux grandes étapes peuvent être dégagées. D'abord l'élaboration d'outils pour le traitement du signal dans la lignée des travaux de Norbert Wiener puis, après la Seconde Guerre mondiale, la mise au point à partir de l'intégrale de Ito d'un véritable calcul stochastique permettant le maniement de modèles analogues au « mouvement brownien » régis par des équations non linéaires dans des champs très divers de la dynamique des structures à la finance. Ce riche attirail a rendu des services immenses dans la plupart des domaines où se développait la modélisation, en télécommunication (filtrage des bruits), en transports, en génie civil (vent, houle, séismes) et en environnement pour la quantification des risques et la prévision. Mais nous sommes arrivés à un point tel

¹ R. Thom, *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Benjamin, 1972.

² Citons parmi les termes de base : la queue d'aronde, le papillon, les ombilics, le pli, la fronce, la chréode, etc. Un approfondissement mathématique et philosophique dans la direction d'une sémiologie de la dynamique des formes a été réalisé par Jean Petitot-Cocorda dont le traité *Physique du sens*, Éd. du CNRS, 1992, est une référence pour le modélisateur des formes et de leur évolution. Voir également A. Boutot, *L'Invention des formes*, O. Jacob, 1993, notamment pour les liens avec les phénomènes chaotiques et sensibles aux conditions initiales.

³ Mentionnons dans cet ordre d'idées La théorie de la viabilité de Jean-Pierre Aubin *Viability Theory*, Birkäuser, 1991.

que nous devons insister ici sur les abus des modèles probabilistes. On camoufle trop souvent l'ignorance par des variables aléatoires et des lois de probabilité. Tous les interstices entre les choix semblent comblés et ce colmatage est une façon naïve mais trop répandue de rendre la réfutation plus difficile. Popper s'en est parfaitement rendu compte mais n'a pas réussi à établir une position philosophique aussi claire à cet égard qu'elle pouvait l'être sur les théories déterministes.

Imagé, imaginé / symbolique, symbolisé.

Même si elle fait appel ici ou là à l'imagination, la modélisation ne limite pas son ambition à fournir une image, elle est plus que cela, elle propose un procédé d'expression symbolique. Cette question mérite un éclaircissement d'autant plus urgent que la télévision et l'informatique de réseau fournissent une profusion d'images plus ou moins traitées, transformées ou synthétisées qu'on peut aisément confondre avec la modélisation. Y a-t-il une différence essentielle ou faut-il considérer que la seule catégorie pertinente est celle de représentation en général ? Dans le contexte particulier d'une démarche structuraliste en psychanalyse, Jacques Lacan substitua à la dualité cartésienne du corps et de l'âme une trilogie Réel-Symbolique-Imaginaire en insistant sur les liens forts d'interpénétration de ces champs deux à deux et dans leur ensemble. Son argumentation ne nous concerne pas ici mais il est intéressant de noter que l'étude de la modélisation nous conduit à une problématique voisine, qu'on peut aborder directement.

Prenons l'exemple de l'écriture de la danse. Depuis la nuit des temps et de façon systématique à partir du dix-septième siècle, les maîtres de danse ont voulu noter les ballets les plus réussis, à la fois pour l'apprentissage des jeunes danseurs et danseuses et pour faciliter la conduite chorégraphique des mouvements collectifs. Le principe d'une telle notation est analogue à l'écriture de la musique mais beaucoup plus difficile et donc plus instructif sous l'angle de la modélisation. Il s'agit de représenter, en coordination avec la mélodie, le mouvement des corps, souples, déformables, en équilibre statique ou suivant les trajectoires dynamiques que peuvent engendrer diverses impulsions sur le sol ou entre les danseurs.

Plusieurs dizaines de systèmes d'écriture ont été mis au point, relativement simples, fondés sur un vocabulaire limité de pas enchaînés en phrases comme dans le système Feuillet (1700) ou plus élaboré permettant de noter l'énergie que le danseur fournit dans chaque mouvement comme dans le système Laban (1927)¹. Mathématiquement, compte tenu des flexions et torsions que ses articulations autorisent, le mouvement d'un danseur nécessite une cinquantaine de paramètres dépendants du temps et pour un ballet c'est le produit des espaces représentatifs

¹ Cf. Hutchinson-Guest, *Dance notation, the process of recording the movement on paper*, Dance books, 1984.

qui intervient. Le but est de trouver un langage pour une telle représentation qui soit à la fois commode et assez précis. La question se pose donc en terme de modélisation, avec les contraintes habituelles d'utilité pour le chorégraphe et les danseurs. *Mais n'est-ce pas là un faux problème puisque le cinéma et la vidéo peuvent nous fournir une image quasi parfaite du ballet sous tous les angles ?* L'image reproduit, elle peut fournir l'illusion parfaite de la réalité, seulement elle ne permet pas à elle seule *la création chorégraphique*. Les systèmes d'écriture de la danse ont l'immense supériorité de rendre possible la notation d'un ballet qui n'a jamais été dansé. *Le symbolique est un moyen de faire passer l'imaginaire dans la réalité*. Nous retrouvons ici l'effet que nous avons signalé à propos de la modélisation des matériaux et qui est inhérent à tout langage. Le cas de la danse montre d'ailleurs très bien que cet enrichissement du réel interdit de raisonner « à réel constant ». Une fois imaginé et transcrit le nouveau ballet sera dansé. Peut-être certaines de *ses interprétations* seront si remarquables, apporteront tant d'émotion, qu'elles deviendront un vécu que l'on souhaitera prendre en référence et pour lequel les moyens d'écriture utilisés seront insuffisants. Il faudra alors en trouver d'autres, qui à leur tour ouvriront de nouveaux champs de l'imaginaire¹.

Dans le cas des modèles, de la même façon, la ressemblance parfaite est un but illusoire. La photographie la plus piquée possible a la faiblesse de ne représenter que la situation de départ. Il faut pouvoir s'en échapper. Le premier niveau est celui du traitement d'image, autrement dit pour la modélisation, le changement des paramètres. Mais le second niveau, celui qui met à profit le vocabulaire et la syntaxe du modèle pour évoquer, travailler, évaluer des éventualités nouvelles est le plus important pour le concepteur et donc pour le critique puisque, comme nous l'avons vu, celui-ci a comme arme principale non pas la réfutation expérimentale, mais l'imagination, seule capable de faire « danser » autrement ceux à qui est destiné le modèle.

Les dualités que nous venons d'évoquer peuvent faire apparaître des dimensions dont la perspective favorise *la construction de co-vérités*, mais fondamentalement celle-ci ne saurait résulter de recettes. Ajoutons enfin la remarque que sortir des ornières de pensée d'un modèle ne relève pas toujours au départ d'un travail sémantique de changement d'interprétation. L'échappée peut s'enclencher aussi par des modifications purement syntaxiques qui produiront un appel à des interprétations nouvelles. La mécanique quantique fournit plusieurs

¹ Lorsque, grâce au logiciel *Lifeforms*, Merce Cunningham filme le mouvement de corps réels (*motion capture*) et reconstitue des danseurs virtuels par image numérique comme dans son ballet *Biped*, il tente, dirait-on, d'échapper à cette dualité et d'atteindre l'imaginaire sans passer par le symbolique. Ou bien veut-il exprimer par ces projections de corps clonés la problématique elle-même de l'itération du sens et de sa transcription ? D'une certaine façon ce sont les informaticiens développeurs du logiciel qui tiennent le rôle de MM Feuillet et Laban avec en plus une vision quelque peu fantasmagorique des nouvelles technologies.

exemples de ce type qui montrent que les changements de paradigmes, chers à Thomas Kuhn, trouvent parfois leur origine, non dans une inadéquation avec l'expérience, mais dans des considérations purement mathématiques et même formelles¹. Un bel exemple est relatif à l'équation de Schrödinger. Conduit, selon ses propres dires, par la formalisation hamiltonienne à représenter les phénomènes mécaniques sous la forme d'une propagation d'onde et après avoir tenu compte de l'aspect granulaire de l'énergie sur la vitesse des ondes, Erwin Schrödinger, poussé seulement par un « désir de simplification » essaya une équation du type :

$$\Delta\psi(x, y, z) + k[E - U(x, y, z)]\psi(x, y, z) = 0$$

qui a même allure que celle de Hamilton-Jacobi pour la mécanique ordinaire et fait apparaître la quantification grâce à un problème aux valeurs propres. Mais il est tout à fait frappant de noter que lorsqu'il publie ce travail dans les *Annalen der Physik* en 1926, il ne sait guère à cette époque quelle signification donner à la fonction Ψ dans ladite équation². Il a pensé un certain temps que Ψ^2 devait représenter la densité de charge électrique, ce n'est que plus tard que Max Born l'interpréta comme une densité de probabilité. D'ailleurs peu après un phénomène analogue se reproduira, l'équation de l'électron invariante du point de vue relativiste écrite par Dirac en 1928 attribue quatre composantes à l'état de l'électron dont deux sont difficiles à interpréter sauf à envisager une particule semblable à l'électron mais de charge positive. D'autres exemples pourraient être cités. Ceci vaut d'ailleurs aussi bien pour la modélisation, le langage d'ingénieur et les sciencettes. Des considérations formelles peuvent être à l'origine de créations sémantiques³. D'une façon générale, construire des co-vérités a un coût, que ce soit dans le registre du sens ou de la syntaxe la difficulté est souvent plus grande que pour fournir le modèle initial et nécessite plus de talent.

INSTITUTIONALISER LA CRITIQUE ?

LA REPUBLIQUE DE L'INNOVATION COMME UTOPIE NECESSAIRE

Si les outils conceptuels et méthodologiques de la critique existent comme nous venons de le voir, force est de constater qu'ils ne sont pas actuellement opérants, ni pour ce qui est des modèles outils des décisions publiques et privées, ni pour ce

¹ Notons que le paradigme de Kuhn est à la fois de nature sémantique (cas typique servant de référence) et syntaxique (théorie avec des règles qu'on décline comme la déclinaison d'un nom). C'est ce que Kuhn a décelé lui-même "Part of the reason for its success is, I regretfully conclude, that it can be too nearly all things to all people" (in *The Essential tension*, Chicago Univ. Press, 1977). Entre ces deux acceptions, Kuhn ne choisit pas, ou plutôt il prend paradigme au sens anthropologique, sociologique et historique de « ce qui est partagé par les membres d'une communauté scientifique » ("Second thoughts on paradigms", *ibid.*).

² « Schrödinger reconnaît que la fonction ψ dont les caractéristiques très générales suffisent à l'usage mathématique qu'on lui demande, attend de recevoir une interprétation physique précise » écrit P. Costabel, *Encyclopædia Universalis*.

³ En finance, par exemple, la notion de *volatilité*, perçue aujourd'hui par les praticiens comme désignant une propriété de la réalité des cours cotés sur les marchés financiers, est née du modèle de Black-Sholes en 1973 comme un coefficient purement formel.

qui est des artefacts techniques nouveaux qui fleurissent sans que des contre-expertises aient pu jauger les conséquences de leur présence sur l'existant minéral ou vivant. Les uns comme les autres naissent comme *des enfants naturels de la science et de la société*, dont la présence est actée sans avoir été voulus en tant que tels. Ulrich Beck, nous l'avons dit, a souligné l'avantage commercial pour les entreprises de sauver ainsi leur liberté d'initiative qui met l'utilisateur devant un fait accompli. On se souvient aussi que Jacques Chirac, à propos de la vache folle, avait reproché aux experts de formation scientifique, en révélant leur hésitations, d'augmenter la perplexité. On perçoit la prudence avant tout comme un frein à la libre entreprise.

En matière de modélisation, il s'ajoute à l'absence de forces économiques engendrant spontanément la critique, la lourdeur du travail de contre-modélisation lui-même. Le vieil adage s'est retourné : l'art est aisé mais la critique est difficile.

Le rôle crucial en la matière doit-il revenir à des intellectuels nouveaux issus du profil de chercheurs en STS ? C'est la thèse argumentée par W. E. Bijker¹. Ou bien la complexité des langages symboliques impose-t-elle que ce rôle soit tenu par des universitaires de formation scientifique dans le cadre de laboratoires ayant de puissants moyens informatiques ?² On ne peut que supputer la généralisation d'expériences rares et exemplaires relevées ici ou là. Les usagers les plus sensibles ou les plus touchés par les retombées d'une innovation, que les sociologues autour de Michel Callon désignent sous le terme de "groupes concernés"³ sont certainement un ferment réel de modification des discours et des forces en présence s'ils s'organisent et ouvrent une dimension nouvelle à l'action politique. La faiblesse actuelle de ces contre-pouvoirs et l'inquiétante surdité des "fonciers de l'innovation" pose fortement la question d'une réflexion théorique sur le gouvernement mondial des ressources, de l'environnement et de l'innovation dans ce qu'elle a de "borderline", de transgression des limites c'est-à-dire à la fois quant à ses impacts physiques qu'en ce qui concerne les modifications des valeurs morales qu'elle entraîne, registre où s'opposent également conservateurs et progressistes⁴. L'idée de *république de l'innovation* réclame une assise philosophique solide avant que puisse être envisagée une forme quelconque d'assemblée constituante. Le livre de Bruno Latour *Politiques de la nature, comment faire entrer les sciences en démocratie*⁵ s'attaque à cette question par une

¹ Wiebe E. Bijker " The need for critical intellectuals : a space for STS" contribution to NSF-911 workshop at MIT, 16.3.2003

² Cf. N. Bouleau, "La modélisation entre science et société : qui seront les intellectuels capables d'une pensée critique ?" *Annales des Ponts* n°99, 2001.

³ Cf. M. Callon, P. Lascoume et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain, essai sur la démocratie technique*, Seuil, 2001.

⁴ Voir par exemple le livre de D. Lecourt *Humain post-humain* PUF 2003 où celui-ci se montre résolument partisan d'un progrès inventif des valeurs morales s'adaptant au progrès technique.

⁵ La Découverte, 1999.

démarche structurale mêlée de thèses fortes de sociologie des sciences constructionniste. Il a déjà le mérite d'aborder ce grand problème en évitant les affres de philosophies usées ou raccommodées. Il propose de scinder en deux l'usage social de la notion de 'fait' : d'une part en une fonction d'innovation, de candidature et de prise en compte, d'autre part en une fonction d'agencement, de mise en ordre et de cohérence. Procédant de même avec la notion de 'valeur' vue sous l'angle des parties prenantes (notre droit d'ester généralisé) et sous l'angle du vivre ensemble, il envisage de regrouper les fonctions de prise en compte des faits et des valeurs dans le concept de 'chambre haute' et les fonctions de réagencement dans celui de 'chambre basse'. Il décrit comment les compétences des métiers anciens (scientifiques et politiciens qui se partageaient faits et valeurs) contribuent au fonctionnement de ces deux instances. La chambre basse a pour tâche d'établir une harmonie minimale entre les diverses représentations c'est-à-dire une rationalité, alors que la chambre haute est une ouverture aux êtres qui n'ont pas encore droit de cité.

Par rapport à un tel travail philosophique de clarification et de conceptualisation qui a incontestablement la vertu *d'ouvrir* le débat, nous voulons insister sur l'importance *des langages*¹. Quel que soit le système de politique élargie que l'on adopte, nous pensons que les langages employés seront des éléments décisifs du fonctionnement des instances et conditionneront les pouvoirs et les issues des conflits. Il y a là une différence notable avec le problème politique classique de la représentation populaire. La science n'est pas seulement productrice de faits-valeurs, elle fournit des moyens d'expression et d'imagination. L'innovation scientifique et technique utilise langages spécialisés et produit des moyens de langage nouveaux. Les êtres en lice, en attente de prise en compte par la chambre haute, peuvent être aussi des signifiés inventés dans des modélisations dissidentes. Si la langue maternelle ordinaire est capable de porter la vie politique dans les institutions existantes, il n'est pas clair qu'elle puisse jouer ce rôle de liant entre le bon sens du citoyen et les choix techniques de la même façon. *Le colloque de Cerisy "Langages scientifiques et pensée critique" de juin 2002 a largement confirmé au contraire, que la langue ordinaire omniprésente, repousse vers l'extérieur tout ce qu'elle embrasse mal et oblige les langages scientifiques à des traductions donc à des trahisons pour que le débat ait lieu sur son territoire, au risque de ne plus avoir réellement prise sur les facteurs déterminant les choix possibles.*

La modélisation et l'homme de la rue

¹ Cf. N. Bouleau et R. Foot, "Sur le livre de Bruno Latour *Politiques de la nature*" *Annales des Ponts* 2000.

De quelque façon que l'on prenne cette question¹, l'homme de la rue doit avoir son mot à dire malgré son ignorance scientifique et technique : c'est précisément le rôle d'institutions politiques définissant la chose publique en ces nouveaux registres. Les experts ne reçoivent pas une caution sociale suffisamment forte pour pouvoir se considérer porte-parole d'un groupe concerné. La commission du débat public en France reflète ce souci d'ouvrir la discussion à qui se sent touché. Tout le monde reconnaît à l'homme de la rue une légitimité ultime, notamment par ce qu'il apparaît *de bonne foi* par son ignorance même.

Mais ne serait-ce pas une grave erreur, en l'occurrence, d'oublier *la bonne foi du modélisateur* ? C'est là un point fondamental pour notre étude. Quoique le mot "foi" n'ait pas de pluriel, il y a plusieurs "bonne foi" évidemment. Le constat le plus largement répandu, quasi-unanimement, est que le modélisateur, s'étant appliqué consciencieusement à faire le mieux qu'il peut pour ajuster les représentations aux observations, ne se sent pas responsable des enjeux et avantages que l'usage du modèle donnera à son commanditaire. L'inscription sociale de la modélisation comme discours et son caractère partisan sont oubliés. Le modélisateur est tellement de bonne foi que

- 1- il confond sa modélisation avec une démarche scientifique
- 2- il ne sent pas l'intérêt d'une critique indépendante et prend toute critique pour partisane
- 3- il reçoit toute critique comme critique de sa bonne foi.

Ce dernier point est au cœur du problème. En effet si nous poussons l'analyse, il apparaît que le modèle — supposons qu'il soit utilisé dans un débat autour d'un projet d'aménagement pour fixer les idées — le modèle n'a de chance de modifier un tant soit peu le point de vue des *personnes concernées*, de déplacer légèrement leurs opinions, que si la bonne foi initiale du modélisateur est évidente et claire.

Il s'agit, en quelque sorte, d'une question de point d'appui bien connue des techniciens de la communication : pour modifier une conviction ou l'écartier du reste des valeurs d'un individu ou d'un groupe, il faut pouvoir s'appuyer sur la majeure part de ses croyances et être admis parmi ceux qui les partagent. Il est donc utile au "maître d'ouvrage" du modèle que celui-ci soit fait par un "maître d'œuvre de bonne foi. On s'arrangera donc dans les débats pour que le modélisateur soit présent, car sa bonne foi s'il parvient à l'exprimer et à se faire comprendre, peut être aussi désarmante que celle de l'homme de la rue.

Regardons maintenant du côté de l'utilisateur du modèle, entreprise ou organisme aménageur par exemple. Il ne clame pas, quant à lui, sa bonne foi, elle lui serait refusée à l'évidence, il est par définition un stratège, un type d'homme qui

¹ Voir aussi, U. Beck, *Ecological politics in the age of risk*, Polity Press 1995 ; *The reinvention of politics, rethinking modernity in the global social order*, id. 1997.

agit par intérêt dans le cadre des lois économiques du marché. Ceci est acceptable parce que l'économie néo-libérale est considérée comme un dispositif permettant d'obtenir certains comportements et de résoudre certains conflits sans demander aux agents d'être vertueux, ce qui la distingue nettement des structures politiques républicaines faisant référence à un intérêt public et à l'homme en tant qu'être de droits et de devoirs universels. Actuellement ce sont bien ces hommes au profil d'entrepreneur qui mènent tout le jeu. Les groupes concernés n'ont guère de place institutionnelle et les scientifiques sont considérés comme une ressource qu'il convient d'organiser au mieux pour une meilleure production. L'économie néo-libérale a l'ambition d'être un cadre pour des hommes qui sont des preneurs d'initiative. Les obstacles à l'instauration de forme institutionnalisée de critique en matière d'innovation sont donc à relier nécessairement à une certaine idée de l'homme : les inquiétudes pour l'avenir ne sont pas un moteur suffisant pour instaurer des règles politiques selon une "sagesse" républicaine définissant un patrimoine commun et des règles de représentation des citoyens.

L'homme : idée universelle ou idée générale ?

Certaines remarques très simples du philosophe Alain nous permettront d'éviter un long détour parmi la littérature récente sur la défaite de l'humanisme, le pragmatisme et le post-modernisme. Alain dans ses commentaires sur la théorie des idées de Platon, met le doigt précisément sur ce qui nous apparaît *théorique et abstrait* dans les structures susceptibles de régir les affaires humaines : "La définition, explicite ou implicite, suppose une idée générale; mais il y a loin d'une idée générale à une idée immuable et éternelle. Et il est hors de doute que ce n'est pas du côté des généralités empiriques que Platon veut nous conduire [...] L'universel c'est ce qui vaut pour tout esprit. Par exemple le triangle est universel; il n'est général que par conséquence. Et au contraire l'homme est une notion qui n'est que générale, et qui est bien loin d'être universelle, car chacun définira l'homme à sa manière et selon sa propre expérience. Aussi ne pouvons-nous pas nous vanter d'avoir une idée de l'homme, ni du singe, ni du lion, ni du lit; mais ce sont plutôt des abrégés commodes. Aussi celui qui cherche le général peut fort bien manquer l'universel. En revanche celui qui cherche l'universel cherche aussi le général. Et, d'après la forme même de ses recherches, où l'on voit que les hommes sont présents et les choses non, Socrate cherchait premièrement l'idée universelle, voulant que tous les esprits s'accordassent sur le sens des mots courage, vertu, puissance, justice, ce qui suppose une définition que rien ne puisse rompre. Or, qu'il ne soit jamais arrivé à définir la justice et le courage comme

Euclide définit le triangle, je le crois; que nul n'y soit jamais arrivé, cela se peut. Mais de ces essais, si peu dogmatiques, il ressort une plus haute condition."¹

L'homme est une idée générale et l'entreprise de Platon est, dans son ambition complète, vaine. Alain est déjà post-moderne ainsi que l'était Nietzsche. Alors que Platon tente de faire entendre l'idée de justice au dessus des justices partisans, un des principes du libéralisme économique est d'agrèger l'homme sans vertu dans le processus de production. Sous ce regard, le communisme et les idéalismes sont vus comme des utopies parce que fondés sur des pratiques vertueuses. Les néo-libéraux d'aujourd'hui admettent que le conflit entre la nature profonde mauvaise, voire perverse, de l'homme et un système exigeant des comportements conformes à des valeurs de désintéressement, ne peut que conduire à des systèmes totalitaires où la vertu est préservée au détriment de la liberté. Tout ce qui ressemble à une solidarité humaine universelle est donc à proscrire préventivement. D'où la défiance vis-à-vis des problèmes globaux engendrés par l'effet de serre et le changement climatique.²

Il n'y a pas si longtemps, on considérait souvent dans les milieux universitaires africains — les collègues d'Abidjan soutenaient cette idée à propos des jeunes chercheurs — que faire un séjour en Europe de quelques années avant de retourner en Afrique, était une façon de quitter l'enfance et d'accéder à la vie adulte. De quel adulte s'agit-il aujourd'hui ? Jusqu'où va la perte de naïveté ? Assez loin chez certains néo-libéraux qui s'inspirent des nombreux ouvrages de Harold Lasswell (1902-1978) spécialiste de psychologie politique et professeur à Yale pour lequel la minorité intelligente doit reconnaître "l'ignorance et la stupidité des masses" et ne pas succomber aux "dogmatismes démocratiques selon lesquels les hommes sont les meilleurs juges de leur propre intérêts"³.

¹ Alain, *Les passions et la sagesse*, La Pléiade, Gallimard 1960, p851.

² La force de cette position s'est illustrée tout récemment : Le 10 juin 2003, la chaîne Arte a diffusé une émission particulièrement tendancieuse et manipulatrice sur l'effet de serre au cours de laquelle il a été lourdement argumenté que "si les Américains font l'effort demandé à Kyoto, c'est le risque de récession économique et de l'effondrement du monde occidental". Comment l'intérêt des groupes pétroliers américains est parvenu à trouver des défenseurs habiles et décidés sur la chaîne Arte ? Cela reste un mystère.

L'idée occidentale de l'homme a été mise à rude épreuve par les agissements de responsables très en vue, notamment par la longue période durant laquelle les dirigeants américains ont maintenu contre l'ONU une position mensongère sur les armes de destruction massives en Irak afin de justifier la guerre qu'ils souhaitaient. L'homme occidental devient non-idéaliste et dénié, il a compris que les attachements sont trop rigides pour l'action. Les silhouettes d'un Jean-Marie Messier ou d'un Silvio Berlusconi vont bien dans ce nouveau tableau. A noter également comme révélateur d'un pragmatisme qui confond courage politique et cynisme, faisant finalement le jeu d'un plat conformisme, cet article du *Financial Times* paru durant la guerre en Irak où le rédacteur Clive Cookson défend, preuves historiques à l'appui, qu'il faut des guerres pour relancer le développement technique (*Financial Times* du 5 avril 2003.)

³ Cité par N. Chomsky *Le profit avant l'homme*, Fayard 2003. Dans cet ordre d'idée les médias semblent avoir atteint aux Etats-Unis des sommets pour la maîtrise de l'opinion : une enquête révèle qu'en juin 2003 52% des Américains croient à des liens entre Sadam Hussein et les événements du 11 septembre par l'intermédiaire d'Al Kaida et 30% croient que l'on a trouvé des armes de destruction massive en Irak.

Sur cette question de l'humain, évoquer d'une part la bonne foi de l'homme de la rue et celle du modélisateur et d'autre part la non-naïveté des acteurs économiques est insuffisant. Un changement significatif dans la nature humaine, ou du moins dans la façon d'en parler, apparaît nettement du côté du *spécialiste et de l'expert* : plusieurs auteurs ont souligné que son talent présente nécessairement une ambivalence intrinsèque, au contraire de ce qu'on pourrait penser *a priori*.

L'ambivalence assumée

L'argumentation développée par Jean-Jacques Salomon dans *Le scientifique et le guerrier*¹ en ce qui concerne les spécialistes des armes dans les négociations internationales sur le désarmement peut être transposé en bien des domaines et a une valeur générique. Nous pouvons l'exposer à propos du dopage sportif par exemple.

Les spécialistes des contrôles anti-dopage doivent connaître les substances proscrites et les méthodes utilisées en laboratoire pour les déceler. Ils peuvent contribuer à perfectionner ces interdictions et ces méthodes par des travaux de recherche communiqués en congrès de spécialistes. Du côté des entraîneurs des sportifs, le problème de la qualité nutritionnelle des aliments des athlètes se pose à cadre juridique fixé. Les compétences de l'entraîneur et celles du contrôleur se rejoignent dans une ambivalence dynamique en ce sens que le renforcement des contrôles ne peut résulter que de la bonne connaissance des moyens de contourner les règles actuelles. L'innovation en matière de produits dopants ou de grande qualité nutritionnelle non-dopants installe les compétences de l'expert dans une situation qui ne se révélera répréhensible qu'éventuellement par la suite. Le jeu entre un côté et l'autre qui est nécessaire à l'accroissement des savoirs de l'expert, fait de lui un homme compromis ayant perdu l'ingénuité des croyances simples et entières. Souvent les modélisateurs ne parviennent pas à percevoir ou à supporter une telle fluidité. "Ils sont convaincus qu'ils ont élaboré leur proposition 'rationnellement', écrit Beck, au mieux de leurs connaissances et de leurs compétences, en accord avec le 'bien public'. Là, cependant, ils ratent d'emblée l'ambivalence. *Ils luttent contre l'ambivalence avec les vieux moyens de la non-ambiguïté*".²

L'institutionnalisation de la critique qui se justifie essentiellement par la mise à profit de l'imagination créatrice pour penser et prévenir certains risques, élude l'ambivalence des spécialistes et la volatilité de leurs attaches. On peut penser qu'elle ne serait possible qu'avec des protocoles déontologiques raffinés

Au demeurant, malgré toutes les difficultés, la mise en place d'instances organisatrices d'une chose publique est une utopie dans la direction de laquelle

¹ Belin 2001.

² U. Beck, A. Giddens and S. Lash, *Reflexive modernization*, Polity Press, 1994.

nous sentons davantage de civilisation, opposée aux pulsions plus ou moins barbares. Alain nous y encourage malgré les obstacles : "que nul n'y soit jamais arrivé, cela se peut. Mais de ces essais, si peu dogmatiques il ressort une plus haute condition". Ce chemin, de façon encore imprécise, semble avoir une certaine audience en Europe. A ce jour cependant, aucun trajet significatif ne peut être acté. La donnée principale est un monde scientifique et technique qui reste devant nous d'une uniformité de pensée impressionnante, en contraste saisissant avec la pluralité des points de vue qu'on pourrait attendre des chercheurs, compte tenu des responsabilités qu'ils ont désormais sur l'avenir de la société.

DEVANT LE NOUVEAU POSITIVISME

Le renouveau de vitalité des intégrismes religieux d'une part, l'inquiétude que suscitent les comportements individuels collectivement programmés d'autre part, ont renforcé, dans les sociétés démocratiques, le repli vers une philosophie de référence, simple et solide, compatible avec le mode de vie, l'économie et la culture du monde occidental. Le positivisme toiletté en fonction des limitations apparues aux vingtième siècle et revigoré par le libéralisme économique, est particulièrement apte à jouer ce rôle grâce à son principe fondateur de ne pas s'attacher aux causes premières ni aux questions ontologiques et à sa compatibilité totale avec l'idée de progrès, aussi mal définie soit-elle, comme facteur de prospérité et de puissance économique¹.

Un conformisme dominant

Malgré les nombreuses voix dissidentes des défenseurs de l'environnement qui rejoignent souvent à cet égard celles des mouvements anti-mondialisation, malgré le développement des 'social studies', notamment du courant constructionniste, dont l'audience s'installe durablement maintenant dans le monde universitaire, malgré aussi les prises de positions de certains scientifiques², l'immense majorité du monde scientifique se comporte comme s'il souscrivait à la philosophie de Comte mêlée de celle de Mill d'un progrès indéfini de l'humanité obtenu par la mise en œuvre d'une rationalité efficiente définie par la science dans son seul souci de se perfectionner elle-même, éventuellement avec soubresauts et remises en question nécessaire à une meilleure prise en compte de nouvelles observations. Alors que certains réclament de démocratiser son fonctionnement ("faire entrer les sciences en démocratie"), l'institution scientifique semble si bien huilée qu'elle est prise au contraire comme référence par le philosophe pragmatiste Richard Rorty,

¹ Nous parlerons de "nouveau positivisme" et conserverons suivant l'usage le terme de néopositivisme pour désigner le positivisme logique du début du XXe siècle.

² Voir par exemple A. Jacquard et A. Kahn, *L'avenir n'est pas écrit*, Bayard 2001.

mutatis mutandis, pour envisager la gestion des affaires humaines¹. Peut-on réellement penser comme Dominique Lecourt l'écrit dans un ouvrage destiné au grand public, que "la science gouverne son devenir " ?² Peut-être en ce qu'elle crée un contexte vis-à-vis duquel la production de connaissance a à se situer, mais quelle capacité de gouvernance peut-on lui accorder ? Les philosophes Heidegger et Habermas ont assez insisté sur ce point. Pourtant l'idée n'effraie pas les nouveaux positivistes libéraux qui privilégient l'audace, l'entreprise et le risque comme éthique³. "Avec chaque accroissement de la connaissance, écrit l'un d'entre eux, nos responsabilités augmentent. Maintenant l'évolution ressemble davantage à une fusée fonçant dans l'espace, et nous ne sommes plus passagers mais pilotes. Quelle sorte d'êtres humains allons-nous créer ?"⁴ Le supplément d'âme indispensable à l'humanité pour mener cette affaire lui viendrait du savoir collectif fourni par les sciences cognitives et leur progrès.

Il ne s'agit pas seulement d'une pensée unique mais d'une *pratique* dans toute la force de cette acception tant marxiste que pragmatiste. Les acquis des sciences de la matière constitue une colossale agrégation de concepts et de représentations et la biologie monte majestueusement sur le trône de la reine des sciences sous le regard admiratif des courtisans. la dimension imposante de l'épopée technoscientifique, surtout en comparaison de l'histoire des mouvements sociaux, religieux ou politiques, est une justification ordinaire et une raison suffisante de l'activité quotidienne du chercheur. Elle fait naître aussi des attitudes fatalistes. Après Hans Jonas, et dans le registre au contraire optimiste, Henri Atlan, en critique du platonisme, fait revivre un spinozisme subtil pour repenser le libre-arbitre individuel malgré le déterminisme issu des savoirs scientifiques en biologie en se référant à la "nature" qui gouverne aussi les objets techniques : "Autrement dit, le souci de définir en faisant appel à ce qui serait l'essence immuable d'une chose, d'un animal, d'un être humain, échoue devant l'unité de la nature envisagée dans son évolution. Certes ce sont les techniques et la fabrication d'artefacts vivants qui contribuent à faire voler ainsi en éclats les définitions essentialistes, mais la technique ne peut réussir que dans la mesure où elle se soumet aux lois de la nature, même si c'est pour la transformer."⁵ Il y a un déterminisme, même s'il n'en a pas conscience, qui emporte le chercheur dans la grande aventure de la nature se transformant elle-même. Voici une façon de préserver la liberté d'investigation des laboratoires. Là se situe le cœur du consensus le plus écrasant :

¹ "Il existe un grand nombre de raisons d'apprécier les institutions que [les hommes de science] ont développées et au sein desquelles s'effectue leur travail, et d'en faire un modèle pour le reste de la culture" R. Rorty, *Science et solidarité*, L'Eclat 1990.

² D. Lecourt *La philosophie des sciences* Que sais-je, PUF 2001

³ La revue de liaison du mouvement politique des "groupes libéraux" en France a pour titre "Osons". L'insertion du principe de précaution dans le droit y est violemment critiqué.

⁴ Mihaly Csikszentmihalyi "The future of happiness" in *The next fifty years*, 2002

⁵ H. Atlan, *La science est-elle inhumaine ? essai sur la libre nécessité*, Bayard 2002.

l'UNESCO organe voué à la culture et qui se veut l'écho des préoccupations des pays pauvres contribue elle-même à marteler cet axiome ainsi énoncé par son directeur général en 1995 "Ce n'est qu'en laissant aux scientifiques la liberté d'aller là où les mène leur curiosité que nous pourrions être sûrs de voir la science s'épanouir et nos économies avec elle."¹

De ce slogan chaque terme mériterait d'être analysé, il affiche une ingénuité toute désuète qui fait aussi sa force : "leur curiosité" n'est-ce pas là un facteur typiquement social sur lequel les conditions techniques, les débouchés industriels et les enjeux de carrière vont agir de façon déterminante ?

Les trois "points de blocage" de Ian Hacking

Force est de reconnaître que non seulement la technique mais aussi la science sont influencées dans leur développement par des facteurs sociaux sur lesquels il est possible d'agir sciemment. Tous les nouveaux positivistes ne le nient pas. Ils ont pour la plupart abandonné l'idée d'une connaissance dévoilant une réalité prédéfinie et admettent que les vitesses différentes de progrès de diverses branches de la science eussent pu conduire à des idées et des objets techniques différents. Mais ils récusent aux facteurs sociaux, plus précisément à des facteurs sociaux politiquement maîtrisables, le pouvoir de modifier les contenus de la science.

Dans sa lumineuse analyse de ce conflit² avec les constructionnistes, Ian Hacking dégage trois questions philosophiques qui constituent les principaux fronts sur lesquels les nouveaux positivistes sont assaillis. La question de la *contingence* : est-il envisageable que la science, ou certaine de ses parties se soit développée radicalement différemment ? Celle du *nominalisme* : est-ce que le monde est par lui-même structuré ou bien n'est-ce là qu'une illusion due aux mots et aux concepts que nous employons ? Celle enfin de la *stabilité*, vieil argument qui s'est renforcé récemment ainsi que l'explique Hacking "Contrairement aux thèmes abordés par Karl Popper et Thomas Kuhn, à savoir la réfutation et la révolution, une grande partie de la science moderne est stable. Les équations de Maxwell, la deuxième loi de la thermodynamique, la vitesse de la lumière, et les substances moins nobles telles que la dolomite sont là pour durer. Les scientifiques pensent que la stabilité est conséquence d'une factualité indiscutable tandis que les constructionnistes pensent que la stabilité résulte de facteurs extérieurs au contenu manifeste de la science."³

Il semble en effet, sur ce dernier point, qu'il faille revoir les positions communément admises dans les années soixante. "Les futurs historiens de la

¹ Federico Mayor, Science et pouvoir aujourd'hui et demain" in *Science et pouvoir*, F. Mayor et AForti (ed.), UNESCO, 1995.

² I. Hacking, *Entre science et réalité, la construction sociale de quoi ?* (1999) La Découverte 2001.

³ *loc. cit.*

philosophie et de l'histoire des sciences pourront penser que Popper et Kuhn ont travaillé à une époque inhabituelle. Des événements du début du XXe siècle leur ont fait croire à une instabilité essentielle des sciences. A partir de maintenant des instabilités futures à grande échelle semblent tout à fait improbables."¹ Jean-Marc Lévy-Leblond, physicien, va dans le même sens : "Ses plus récentes coupures historiques, [la science] les a connues assez tôt au cours du XXe siècle et vit depuis sur son acquis. La relativité générale date de la première décennie du siècle dernier; la quantique et la cosmologie (expansion de l'univers), de la troisième; la physique nucléaire, de la quatrième. Quant à l'informatique et aux nouvelles techniques de communication, leurs principes et premières réalisations résultent de la seconde guerre mondiale. Même dans le domaine si actif aujourd'hui de la biologie, la conception moderne de la théorie de l'évolution remonte aux années 1920 et la découverte du code génétique, aux années 1950."²

La discussion que Hacking propose de cette question n'est pas à reprendre ici, elle mérite qu'on s'y reporte. Il est intéressant de noter toutefois — puisque notre fil conducteur est la modélisation et les langages scientifiques — que son argumentation en vient, finalement, à discuter de *mathématiques*. Sur la "réalité" des lois physiques, il soupèse l'affirmation qu'elles sont "aussi réelles que n'importe quoi d'autre que nous connaissons" en remarquant que "de telles paroles viennent spontanément à la bouche des mathématiciens qui travaillent en théorie des nombres. Les théorèmes sont aussi réels que quoique ce soit que nous connaissons. Cela veut dire qu'ils sont tout aussi irrésistibles, tout aussi 'inexorables' (c'est l'expression utilisée par Perutz pour la deuxième loi de la thermodynamique) que quoique ce soit que nous connaissons."³ Hacking en vient à jauger le sentiment de réalité en s'appuyant sur la psychologie du *mathématicien* : "Les gens qui n'ont jamais fait l'expérience d'une preuve mathématique (la sensation, selon l'expression de Wittgenstein de 'la dureté de l'obligation logique') ne peuvent guère saisir ce qui taraude les mathématiciens platoniciens. La simple inexorabilité de la preuve mathématique a convaincu ceux qui ont fait cette preuve, que les nombres et leurs propriétés sont aussi réels, ou même plus réels que n'importe quoi d'autre que nous connaissons. Un physicien peut faire une expérience analogue à partir des équations de Maxwell"⁴.

Que les mathématiques viennent prendre une place privilégiée dans cette analyse n'est pas étonnant si l'on songe qu'elles ont toujours servi de renfort aux philosophes du progrès⁵. Laissant de côté les questions de la stabilité et du

¹ I. Hacking, *op. cit.*

² J.-M. Lévy-Leblond, "Lascience et le progrès, quel rapport ?", in *Peut-on encore croire au progrès ?*, PUF 2000.

³ *loc. cit.*

⁴ *ibid.*

⁵ Cf. N. Bouleau, "Progrès, mathématiques et raison" in *Peut-on encore croire au progrès ?*, PUF 2000.

nominalisme nous pouvons approfondir celle de la contingence grâce à l'exemple des mathématiques. A travers la modélisation l'image courante des mathématiques est, en effet, à reconsidérer.

Des mathématiques contingentes ?

On peut attaquer ce thème selon plusieurs registres. Mentionnons d'abord un argument de philosophie analytique qui sans doute ne convaincra personne — un argument de philosophie analytique a-t-il jamais convaincu quelqu'un ? — mais vaut sur le plan stratégique en créant tout de même une gêne de l'adversaire sur ses arrières. Il est lié au paradoxe de Richard¹ qui est lui-même une forme intuitive et frappante de l'argument diagonal de Cantor : Tenant compte du fait que les mathématiques sont *écrites* avec, disons les lettres de l'alphabet, l'espace, les signes de ponctuation, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, et d'autres signes spécialisés, Monsieur Richard classe par ordre alphabétique toutes les suites finies de ces signes, en commençant par les suites d'un signe, puis celles de deux signes, etc., ce qui forme une liste infinie dans laquelle figure toute phrase de tout livre de mathématiques. Certaines de ces séquences de signes désignent un nombre réel, il les souligne. Il a ainsi toutes les définitions de nombres réels. Il les numérote dans l'ordre où elles apparaissent et note u_n les nombres réels ainsi désignés. Monsieur Richard alors de s'étonner (et nous de même) que "le nombre, sans partie entière, dont chaque décimale suit immédiatement la décimale de même ordre du nombre de même rang dans la suite u_n , le zéro étant considéré suivre le chiffre 9" est une définition d'un nombre réel qui ne figure pas dans la liste alors que sa définition ne fasse intervenir qu'un nombre fini de signes². Derrière cette apparente énigme est l'argument diagonal de Cantor qui établit que le cardinal de l'ensemble des nombres réels (le continu) est strictement plus grand que le dénombrable. Ainsi que Quine, Lacan et d'autres l'ont souligné la portée philosophique de cette affaire n'est pas si anodine qu'on pourrait croire. On peut en tirer, ce qui nous intéresse ici, que le futur mathématique n'épuisera jamais le possible. En effet, les nombres réels précisément désignés par tous les scientifiques et leurs élèves successifs ne formeront jamais qu'une suite dénombrable et il serait contradictoire de voir là *tous* les réels.

Il est un argument plus pratique, lié à la fabrication des théorèmes qui s'appuie sur la notion d'algorithme dégagée au début des années 1930 par Church, Turing et Gödel principalement³. L'algorithme est la forme la plus élaborée de procédé systématique effectif. On peut appliquer des algorithmes à la logique des

¹ Jules Antoine Richard, professeur du secondaire (1862-1950).

² Le paradoxe de Richard a été publié dans la *Revue générale des Sciences pures et appliquées* du 30 juin 1905 et repris plus tard dans les célèbres *Acta Mathematica*. (cf. aussi J. v. Heijenoort *From Frege to Gödel* Harvard Univ. press 1981).

³ Cf. N. Bouleau, *Philosophies des mathématiques et de la modélisation*, L'harmattan, 1999.

mathématiques et déduire ainsi des théorèmes. Les mathématiques étant écrites aujourd'hui suivant une axiomatique complètement formalisée, une question naturelle est de savoir s'il existe un algorithme qui partant d'un énoncé quelconque nous dise s'il est un théorème ou non. La réponse est négative (déjà pour l'arithmétique), ces systèmes formels ont un degré de complexité qui les range dans une catégorie particulière, ils dépassent l'algorithmique. Là encore l'importance de ce résultat a été soulignée par plusieurs auteurs (Jean-Pierre Dupuy, David Ruelle, par exemple). Gustave Choquet s'y réfère du point de vue du chercheur en mathématiques "Est-ce qu'on découvre quelque chose ou qu'on l'invente ? A mon avis la question est mal posée et ceux qui répondent dans un sens ou dans l'autre n'ont pas bien compris de quoi il s'agit. Si vous partez d'un système d'axiomes, alors de façon formelle, il y a tout un réseau de conséquences qui en résulte logiquement. [...] Mais on ne peut le découvrir en entier, alors que fait le mathématicien ? Il dispose d'une sorte de lanterne, celle de son intuition et de ses goûts liés à son passé : à chaque instant, il va devant lui, créant des notions et progressant ainsi de proche en proche dans ce réseau. [...] Le théorème que l'on cherche existe de toute éternité, mais pour le découvrir il faut inventer un chemin".¹ La contingence en mathématiques est donc due à ce que les mathématiques qui se font, — non pas celles théoriques qu'un être imaginaire pourrait faire — résultent du talent des mathématiciens à découvrir des chemins démonstratifs au sein de l'inextricable complexité des liens logiques. Ce talent est éminemment culturel et social. Une preuve historique de cette socialité nous est donnée par les Japonais durant la période de l'Edo où ils se trouvaient coupés du monde occidental. Ils ont alors développé des pratiques curieuses relatives à des problèmes ardues de géométrie plane qui servaient d'ex-voto dans les temples shintoïstes qu'on n'a jamais poursuivies ensuite lorsque le Japon s'est trouvé de nouveau imprégné des textes occidentaux².

On peut se servir aussi du modèle réduit des mathématiques et de ce qu'il enseigne sur la contingence pour le problème épistémologique plus large de la pluralité des avenir possibles de la science (et de la technique) ainsi que pour la question de l'accueil ou du rejet d'êtres nouveaux.

Il y a, en mathématiques, *un travail d'accueil*, en général long et collectif. Par exemple en ce qui concerne le problème de Dirichlet, il y avait des cas sans solution classique mais avec solution en un sens étendu. Perron, Wiener et Brelot proposèrent de donner comme condition d'existence, comme examen de passage si l'on veut, qu'on soit dans le cas où la plus petite sur-solution coïncide avec la plus grande sous-solution. C'était la solution généralisée du problème de Dirichlet qui s'est avérée riche de propriétés intéressantes. Accepter que tout problème de

¹ *Dialogues autour de la création mathématique, op. cit.*

² Cf. N. Bouleau, *op. cit.* p. 72 et seq.

Dirichlet ait une solution eût conduit à des bizarreries moins fécondes, malcommodes, une politique trop laxiste, sans débat approfondi.

Imaginons, maintenant, que devant la variété des tendances et dissidences dues à l'apparition de nouveaux axiomes — axiome de cardinal inaccessible¹, axiome de Martin, négations fortes de l'hypothèse du continu, négations de l'axiome du choix (tout ensemble est mesurable Lebesgue), analyse non-standard, etc. — c'est-à-dire devant toutes ces mathématiques génétiquement modifiées, l'Union Mathématique Internationale décide de tenter de préserver une mathématique "agrée" utile, ouverte à la recherche, telle qu'on se représente les mathématiques communément, et que pour ce faire, elle instaure un label "Théorème d'appellation contrôlée" qui serait accordé aux "bons" théorèmes de façon définitive et sans dédit possible afin que les mathématiciens puissent s'en servir en toute confiance, sans avoir à connaître de quels axiomes on les a déduits. Par exemple acceptera-t-on le théorème de Hahn-Banach qui utilise l'axiome du choix, mais semble indispensable pour la partie centrale de l'analyse ou le théorème d'existence des limites médiales de Gabriel Mokobodzki, outil commode dans bien des questions, mais qui utilise pour sa démonstration l'hypothèse du continu ? Il est clair que l'Union Mathématique Internationale se trouverait alors devant de vrais choix politiques qui engageraient l'avenir, pour lesquels les conseils des experts-logiciens ne seraient pas inutiles mais ne feraient pas disparaître les risques, les incertitudes et l'intérêt de stratégies de précaution.

Nous voyons que l'avenir des mathématiques n'est pas écrit, il y a des choix, des procédures d'accueil, la liberté du chercheur n'est pas totale, l'avantage de la nouveauté est comparé avec les perturbations qu'elle engendre. Il y a plusieurs avènements pour la science qui ne sont pas indifférents et entre lesquels des choix sont possibles n'en déplaise aux nouveaux positivistes. Ainsi que l'écrit Lévy-Leblond, raisonnant cette fois à partir de la physique, "il faudra bien, enfin, que la technoscience non seulement renonce à toute prééminence morale ou intellectuelle sur la politique, mais encore qu'elle s'y soumette — pour que l'idée même de démocratie conserve un sens. Cette 'liberté de recherche' dont se targuent les scientifiques drapés dans leur blouse blanche pour résister à toute emprise du politique, est soit une prétention vide de sens ('Qui t'a fait savant ?', pourrait demander l'Etat, commanditaire et organisateur de la recherche), soit un privilège exorbitant du droit commun."²

¹ Certains axiomes qui renforcent la théorie des ensembles ont une forme particulière, les "axiomes de l'infini" : ils expriment l'existence d'une puissance très grande (tel l'axiome de cardinal inaccessible, cf. J.-L. Krivine, *Théorie axiomatique des ensembles*, PUF, 1969, p. 61). Paul Cohen conclut son livre *Set Theory and the Continuum Hypothesis*, Benjamin 1966, en proposant un « article de fois plutôt vague » que tout énoncé d'arithmétique serait décidable dans une théorie des ensembles enrichie d'un axiome de l'infini.

² J.-M. Lévy-Leblond, *loc. cit.*

Maintenant n'oublions pas que ces hommes en blouses sont d'abord des hommes. Est-il certain que leur appétit et leur plaisir — qui ne sont pas un motif historique sans importance — coïncident avec l'irresponsabilité quasi-enfantine où le nouveau positivisme les confine ? Les chercheurs et les modélisateurs peuvent avoir le goût d'utiliser plus largement leur imagination !

La critique comme activité ludique indispensable

La science devient de plus en plus ennuyeuse. Les chercheurs poussés à publier le plus possible, génèrent une profusion d'articles qui sont aisément stockés par l'informatique, mais rarement lus, voire jamais. On ne prend pas la peine d'y dégager les idées qui feraient comprendre, de relater l'analogie qui a motivé le raisonnement intuitif, et ceci leur donne un ton triste. C'est d'ailleurs plutôt l'intérêt du chercheur de dissimuler ses idées. Pour Nietzsche l'activité scientifique avait le goût d'eau savonneuse, encore ne connaissait-il pas la prolifération de détails que la science normale, dans laquelle nous sommes bien installés, produit aujourd'hui.

La science qui jadis se nourrissait du futile et du poétique — les probabilités sont nées des jeux de cartes et de dés dans les salons du XVIIIe siècle — et contribuait à la culture par l'intermédiaire des amateurs est devenue sérieuse, laborieuse et ésotérique, à tel point qu'il faut rédiger des textes sérieux, laborieux et ésotériques pour leur donner la chance d'être pris pour scientifiques.

Pour compenser cette désolation désespérante on consacre d'importants moyens médiatiques à illustrer le rêve de la grande aventure de l'Evolution, du big-bang à la conquête du cosmos par des hommes et des femmes éternellement jeunes et superbes. Y a-t-il d'autres plaisirs ici-bas que les manipulations génétiques et les nanotechnologies pour participer à la bio-techno-évolution ?

La sociologie des sciences constructionniste apporte un peu d'oxygène. Elle a une fonction de dévoilement émancipateur qui tente de sortir le chercheur de cet endoctrinement. Au fond elle est à la science ce que l'épigenèse est au développement de l'être vivant. On sait aujourd'hui que la combinatoire arithmétique des composants de la vie se fait depuis l'ADN jusqu'à l'individu adulte dans un contexte chimique, biologique, familial, et socioculturel qui est à la fois déterminant et de détermination inconnue pour l'ontogenèse. La dimension infinie et insondable de l'épigenèse rétablit la balance des lieux de la connaissance utile : il n'y a pas que ce qui est sous le champ du microscope. De même dans la science il n'y a pas que les produits de laboratoire.

Les modèles comme lieu privilégié de la critique

La critique de la science est, au moins l'amorce, de la fabrication de la science elle-même : la science est absorbante. Toute bonne idée à la limite, s'y agrège, il

s'agit simplement de lui trouver sa place. Il n'y a pas de concurrence véritable et durable comme une loi anti-trust dans la science, les conflits se résolvent par le haut, on efface les embrayages et les circonstances des ancrages sociaux des discours et les schémas qui restent deviennent deux méthodes d'approche qui se complètent. Au contraire la modélisation est ancrée dans un site social particulier. La critique devient possible. Faite par des acteurs différents, elle n'a pas la prétention de l'objectivité, elle nourrit des intérêts distincts et peut voir certains risques sous l'angle de ceux qui les subissent.

Ni art, ni science, la modélisation est un plaisir en elle-même comme expression raffinée et agissante dans un monde de pluralité d'intérêts et d'interprétation. D'abord il y a la joie de la mise en scène dans la cité vécue avec des idées construites et des désirs évoqués. Une modélisation est sous cet angle une machine désirante de Deleuze et Guattari. Elle ne parle pas dans l'abstrait, elle émeut comme une dramatisation. Pourquoi par exemple à propos des retraites n'a-t-on pas vu plusieurs équipes élaborer des modèles et des contre-modèles à confronter en diverses enceintes ? Le problème s'y prêtait particulièrement bien. Comme toujours, à cause du positivisme ambiant, certains auraient voulu faire croire qu'ils avaient la vraie science derrière eux, mais la science est à tous et ne conclut ni en faveur des fonctionnaires, ni en faveur des salariés du privé...

Aussi la modélisation et la contre-modélisation sont le plaisir du carnaval et du travestissement. Les défilés de Venise et de Rio de Janeiro de la connaissance ! On habille des mesures et des données de sens, on fabrique des costumes interprétatifs qui sont faits pour plaire et pour séduire. D'ailleurs il n'y a pas vraiment de réalité à travestir, c'est soi-même qu'on déguise en osant défendre un point de vue qu'on a soi-même contribué à charpenter.

CONCLUSION : LE TEMPS DE L'IMAGINATION

Antony Giddens est bien représentatif des sociologues du courant modéré et bien accepté parmi les intellectuels travaillant sur les enjeux de la modernité. Devant l'emprise croissante de la technique, l'accélération de l'innovation et des risques, et les rétro-effets de la technique sur la recherche scientifique, il voit l'issue dans une démocratie participative étendue : "Le développement de la science et de la technologie est profondément lié, écrit-il, aux questions de risque. Le risque est typiquement un phénomène à deux faces. Il est la source de l'énergie économique et de la plupart des formes d'innovation y compris scientifiques et techniques mais par sa nature même il pose la possibilité de conséquences néfastes. Maintenant que le rythme de l'évolution scientifique et technique est devenu si rapide, nous avons à affronter des situations de risque de caractère différent de ceux du passé [...] Nous devrions tenter de démocratiser la science et la technologie comme élément du projet de démocratisation de la démocratie.

Nous ne sommes pas habitués à traiter les questions écologiques dans un cadre démocratique puisque les problèmes qui ont à faire à la science et la technologie sont supposés résolus par des experts. La conséquence de l'influence croissante du développement scientifique et technique sur nos vies, est cependant que la science ne peut être laissée aux scientifiques. Démocratiser un tel développement doit être la préoccupation majeure de la troisième voie en politique".¹

Certes la démocratie contient un principe d'autonomie qui est essentiel. La capacité de représenter son propre intérêt est la condition pour que les conflits d'intérêt puissent éventuellement se résoudre par le dialogue public. Au demeurant la position de Giddens est si vague, les difficultés concrètes y sont tellement éludées, qu'elle en devient totalement démagogique. Parlons concrètement. Que signifie clonage thérapeutique ? Peut-on prévoir la violence d'El Niño ? Quelles sont les conséquences écologiques et sanitaires des barrages dans les pays pauvres ? Pouvait-on anticiper l'implantation accidentelle de l'algue *caulerpa taxifolia* en Méditerranée ? L'envasement de l'estuaire de la Rance était-il prévisible ? Peut-on connaître le comportement des insectes génétiquement manipulés ? Que penser des recherches dans l'Iowa et en Californie sur les automatismes hybrides utilisant des morceaux de système nerveux d'animaux, et des souris qui vivent avec 20% de neurones humains ? Doit-on se réjouir d'une équipe française qui tente une thérapie cellulaire de la maladie de Huntington par greffe de neurone fœtaux dans le cerveau ? En provoquant l'émotion de l'homme de la rue, en le scandalisant sur les irresponsabilités tout en lui suggérant de s'approprier démocratiquement le processus d'innovation, on fait du mauvais journalisme. Il n'a pas les moyens du combat qu'on lui confie. On le met finalement dans une situation morale d'impuissance et de dégoût qui l'incite à sauver les meubles en renforçant ses réflexes égoïstes de survie et de consommation. Il y a les difficultés de langage à maîtriser, il y a des contre-modélisations pertinentes et solides à faire. Des chercheurs dissidents, talentueux, prêts à se lancer volontiers dans des recherches hétérodoxes si le cadre institutionnel leur permettait, sont plus nombreux qu'on croît.

L'université a un rôle décisif à jouer à cet égard. Il n'y a aucune raison, ni philosophique, ni politique, ni même strictement pédagogique, qu'elle se cantonne à une attitude essentiellement purificatrice. Que certains universitaires s'impliquent comme experts est excellent et mérite d'être favorisé. Mais ces engagements personnels n'ont pas l'échelle, la profondeur, ni la précision formelle de ce qui peut être produit collectivement par des équipes au sein des laboratoires. Dès lors qu'on admet que la pensée dissidente est utile en soi, suivant une rationalité *externe*, il n'y a pas lieu de la laisser à des individus isolés, sans

¹ A. Giddens, *The third way and its critics*, Polity Press, 2000.

moyens, vite marginalisés, mais au contraire que des équipes expérimentées prennent la peine de pousser des hypothèses et des formalismes jusqu'à leurs enjeux sociaux. Le support de tels discours est évidemment la modélisation, au sens large que nous lui avons donné.

ANNEXE

Colloque de Cerisy Langages scientifiques et pensée critique 20 - 27 juin 2002 Notes sur quelques interventions et débats (hors ateliers thématiques)

• *Jean-Pierre Kahane. La polysémie de la moyenne.*

Sur la moyenne. La notion de moyenne s'élabore dans les différents domaines de la connaissance (mathématiques, physique, statistiques, probabilités...). La moyenne recèle plusieurs pièges :

(i) la moyenne ne se transforme pas simplement si l'on applique aux termes une transformation non affine ; le choix de la moyenne calculée dépend de

(ii) la moyenne dissimule les variations entre les termes.

(iii) beaucoup de phénomènes n'ont pas de moyenne (par exemple : "quel temps moyen faut-il pour être ruiné en jouant, à pile ou face, 1 euro à chaque coup, lorsque l'on dispose au départ de n euros ?")

(iv) paradoxe de Condorcet

(v) l'espérance de vie, à une date donnée, pour une tranche d'âge donnée d'une population donnée, n'est pas donnée par la différence entre l'âge moyen de décès à cette date et l'âge de la tranche d'âge considérée.

etc.

Ce sont ces pièges qui expliquent que, contrairement à d'autres notions mathématiques, la notion d'intégrale n'a pas de définition unique. Cela amène à une remarque conclusive sur l'enseignement des mathématiques, qui doit reposer à la fois sur : l'apprentissage du raisonnement hypothético-déductif ; la critique des notions mathématiques ; l'acquisition de la capacité de développer des initiatives pour l'élaboration et la construction.

Débat. A une question sur l'abstraction des notions mathématiques et l'utilité, dans l'enseignement des mathématiques, d'éclairer les notions à partir de remarques du type "à quoi ça sert ?", J.-P. Kahane répond sur la nécessité de s'affranchir du caractère doctrinal de l'enseignement des mathématiques. A une question sur la manière de faire comprendre les notions mathématiques, soit à partir d'une définition présentée en profondeur, soit à partir de la confrontation de diverses définitions équivalentes, J.-P. Kahane répond qu'il ne veut pas abandonner la première approche. Mais peut-on supposer qu'une manière de présenter convient mieux, en général, que l'autre. La notion de moyenne, avec ses pièges et ses différentes formes de définition et de calcul, est au cœur de ces interrogations. Une autre série de questions porte sur la difficulté de décider, en matière d'analyse économique ou sociale, la grandeur sur laquelle il est pertinent de calculer une moyenne. Enfin, J.-P. Kahane s'inscrit contre une opinion émise par un auditeur, selon laquelle les mathématiques et leur certitude seraient une fermeture d'esprit : pour lui, le fait d'avoir démontré l'impossibilité de la quadrature du cercle est une ouverture.

• *Alain Franc. Diversité biologique, langage et modélisation*

Deux remarques préliminaires sur le caractère scientifique de la biologie. Rutherford : "Il y a une seule science, c'est la physique. Le reste n'est que collection de timbres postes." Il pensait évidemment à la biologie. L'argument des biologistes est que le recensement des formes biologiques diverses est un préalable indispensable à la mise en évidence des mécanismes d'évolution qui ont présidé à la diversification biologiques. Deuxième remarque : certains ouvrages contemporains de recherche en biologie ne comportent aucune équation.

Il y a près d'un siècle que mathématiciens, physiciens, chimistes, biologistes... travaillent à élaborer des modèles descriptifs, explicatifs, prédictifs de la diversité biologique. Cela

marche dans certains cas (par exemple, évolution d'une population de bactéries), mais pas dans d'autres (diversité biologique de la forêt tropicale humide).

Mais recourir à un indicateur de complexité algorithmique (la théorie algorithmique stipule que plus un phénomène est aléatoire, plus l'algorithme susceptible d'en rendre compte est complexe) pour départager les phénomènes qu'on est susceptible de modéliser de ceux qu'on ne pourra que décrire soulève des difficultés, et notamment renvoie à la différence entre hasard et complexité : en effet, la forêt tropicale humide est complexe, mais son fonctionnement ne se ramène pas au hasard.

La compréhension de l'évolution biologique conduit à la représenter comme l'articulation de processus aléatoires d'évolution et de processus déterministes de sélection. Mais il n'existe pas un modèle unique, du type équation différentielle stochastique, permettant de rendre compte de la diversification biologique. Une question de recherche actuelle est donc de faire la part de l'aléatoire et du déterministe dans les processus biologiques, puis d'intégrer une représentation simplifiée de ces sous-processus aléatoire/déterministe dans une modélisation hybride (*patch models*).

Le travail sur ces modèles (ex. modèle de Hubbel) conduit à une nouvelle piste de réflexion, car ces modèles montrent que des phénomènes purement aléatoires peuvent conduire à la disparition de toutes les espèces sauf une dans un écosystème complexe.

Claude Lobry, Sur la théorie du modèle.

L'irruption de l'ordinateur, au milieu du XX^{ème} siècle, a transformé le travail scientifique. La simulation (permise par l'accroissement considérable des capacités de calcul numérique) n'a rien changé en soi. Mais il y a une vingtaine d'années s'est développée une nouvelle manière de travailler dans lequel la simulation, via un programme informatique, est utilisé pour rendre compte d'un phénomène indépendamment de toute "mise en équation". Dans cet exposé, on désignera par le terme de modèle cette démarche, par opposition à la démarche de "mise en équation".

L'exposé porte sur le statut de ces modèles dans la démarche scientifique, examiné à partir de l'exemple d'automates cellulaires, forme minimale de modèles multi-agents. L'analyse mathématique du comportement d'un système simple d'automates cellulaires montre l'importance d'artefacts numériques propres aux séries de nombres entiers. Si l'on essaie de modéliser un phénomène par un tel système sans connaître les lois mathématiques sous-jacentes, et en l'absence de cadre théorique alternatif, on a de grandes chances d'aboutir à des résultats artificiels.

Débat. Une question sur l'usage des modèles multi-agents en modélisation économique (B. de Vries), à reprendre lors de la session économique. A une question portant sur le fait de savoir si les analyses développées valent de manière équivalente pour les modèles multi-agents humains et pour les modèles multi-agents non humains, Cl. Lobry répond que les modèles relatifs aux systèmes humains sont encore beaucoup plus complexes, ce qui ne signifie pas qu'il faille renoncer à les développer. Mais, actuellement, l'usage d'usines à gaz pour modéliser des systèmes humains pose une question essentielle et non triviale : quand on a programmé, est-on sûr qu'on a programmé ce qu'on voulait programmer ? A ce propos, un participant interroge Cl. Lobry sur le critère de validation des modèles multi-agents : est-ce que ce critère doit être nécessairement la possibilité de démontrer mathématiquement que les résultats obtenus sont ceux qu'on doit obtenir, ou ce critère peut-il être la capacité descriptive des phénomènes modélisés ?

Patrick Lebacque. Modélisation du trafic

L'exposé porte sur la modélisation du trafic sur le périphérique parisien, autour de trois problèmes : les données, les modèles eux-mêmes, les applications. Dans la modélisation des comportements, en l'occurrence les comportements des conducteurs, le choix des bons paramètres est essentiel et ne va pas de soi. Pour la modélisation du trafic, les divers modèles élaborés par les physiciens ne sont pas adaptés. En définitive, on utilise deux types de modèles : des modèles macroscopiques de premier ordre adaptés de la physique de l'écoulement des fluides, dont on peut trouver en général des solutions analytiques (ce qui permet des calculs d'optimisation), et qui ont un excellent pouvoir descriptif,

explicatif et prédictif ; des modèles microscopiques, de structure plus complexe, dont on ne peut pas donner de formulation "fermée", qui se prêtent difficilement aux calculs d'optimisation, mais qui rencontrent un incontestable succès commercial (reposant notamment sur le caractère très séduisant des interfaces graphiques).

Débat. Les modèles dominants postulent l'homogénéité du comportement des conducteurs. Y a-t-il des conditions dans lesquelles c'est l'hétérogénéité des comportements qui détermine le trafic ? Pour P. Lebacque, on peut en général négliger en première approche les variations de comportement. A une question sur les effets de différences inter-culturelles sur le "comportement des embouteillages". N. Bouleau observe que l'interrogation générale soulevée par l'intervention est que l'on ne peut pas comparer les mérites respectifs de différents modèles de trafic sans se référer à ceux pour qui ces modèles sont faits. Les modèles de régulation et les modèles de planification ont des structures fondamentalement différentes. A une question sur la durabilité du système des déplacements, P. Lebacque répond qu'il ne croit pas aux régulations économiques (péages) pour favoriser les formes non automobiles de mobilité, mais à l'offre de moyens de déplacement alternatifs, parce que les automobilistes qui sont stockés sur le périphérique ne sont pas là par plaisir. B. de Vries observe que les choix véritablement importants en matière de développement du système de déplacements sont des choix politiques, pas des améliorations techniques incrémentales reposant sur des simulations de trafic. P. Lebacque objecte que les modèles participent à la construction de l'argumentation politique. Interrogé sur les raisons de sa préférence pour les modèles macroscopiques, P. Lebacque en mentionne deux : le pouvoir explicatif et l'absence de boîtes noires internes (contrairement aux modèles microscopiques).

. *Claire Weill. Décision collective et représentation de l'incertain*

L'exposé s'appuiera sur le dossier de l'effet de serre.

Un premier élément de discussion concerne le coût des engagements de Kyoto pour chaque Etat. Les Américains ont considéré que l'objectif de réduction des émissions (-5% par rapport à une référence 1990, en fait beaucoup plus compte tenu de la tendance à l'accroissement des émissions qui prévaut actuellement aux Etats-Unis. Les Européens, au contraire, ont considéré que le coût serait relativement faible, compte tenu des possibilités d'échanges de permis d'émissions, etc. et ont préconisé un durcissement des objectifs.

Un deuxième élément est le coût dont les différents pays considèrent qu'il doit être supporté par les autres (Cf. négociations sur répartition des coûts entre pays du nord et pays du sud).

Enfin, un troisième élément est l'incertitude scientifique sur les effets climatiques de l'émission de gaz à effet de serre, qui est de trois ordres : problèmes de données (incomplètes, hétérogènes), méconnaissance des mécanismes généraux d'évolution du climat, imprécision des scénarios d'émission. Sur la compréhension du phénomène, l'incertitude semble s'accroître avec la taille des modèles. Il y a un consensus sur le fait que le réchauffement va se poursuivre. Sur la question souvent posée des précurseurs (les responsables politiques demandent aux experts s'il existe de tels précurseurs qui annonceront la crise et permettront de s'y préparer ?), les experts sollicités ne peuvent répondre avec certitude. Il existe des précurseurs de changements climatiques lents, mais on ne sait pas si ces précurseurs (ou d'autres) seront opérants pour des changements rapides.

Quelques mots, pour conclure, sur le thème "expertise et précaution". Ce thème renvoie à la question de la légitimité/légitimation des experts : qui expertise les experts ? les seuls experts utiles sont-ils les spécialistes scientifiques ? quels liens entre expertise et travail scientifique ? comment prendre en compte le fait que l'expert est nécessairement non neutre ?

Débat. A des questions portant sur la définition du principe de précaution, sur d'éventuelles formes nouvelles d'expertise, sur la nature de la nouveauté concernant l'expertise scientifique, sur les formes de l'expertise dans d'autres pays, sur le poids des experts dans les décisions, Cl. Weill répond :

- qu'en France, l'expertise émane essentiellement d'institutions publiques, mais qu'en Allemagne, le système est différent (fondations), de même qu'aux Etats-Unis (*think tanks*) et, surtout, que l'activité d'expertise est davantage qu'en France valorisée dans l'évaluation des carrières scientifiques ;

- que le recours aux experts n'est pas nouveau, mais que l'on demande aux experts de se substituer en partie au politique, voire au religieux, pour la "prise en charge" du futur, dans un contexte de tensions inédites sur les ressources naturelles et l'environnement ;

- que le rôle des experts dans la décision politique varie selon le type d'expertise ; sur le changement climatique, il y a le groupe international d'experts sur le changement climatique (qui ont pour mission de se mettre d'accord sur un état de la connaissance), les experts qui alimentent les politiques en amont des négociations, les experts qui participent aux négociations et qui ont un rôle ambigu mais significatif (formatage des questions, mise sur agenda, etc.)

- que la définition du principe de précaution varie selon les pays, selon les secteurs (ne s'applique-t-il qu'aux dommages graves *et* irréversibles ou à l'ensemble des dommages graves *ou* irréversibles ?) ; surtout, que son usage social ne va pas de soi (comment fonder des décisions ou une mobilisation sociale sur cette notion ?)

- qu'il faut mobiliser sur ces questions non seulement des chercheurs en sciences sociales, mais aussi en sciences humaines (Cl. Weill prend l'exemple de la représentation de l'avenir chez les Babyloniens).

A des questions relatives à la stabilité des systèmes nuageux et sur l'interférence entre expertise et intérêts financiers (Cf. l'ouvrage de Stiglitz, *La grande désillusion*), Cl. Weill répond qu'elle est d'accord sur le fait qu'il y a des incertitudes majeures sur certains sujets (dont la question des nuages) et qu'il lui semble avoir observé le jeu des intérêts financiers au moment des négociations (pays pétroliers, changement de la position américaine). I. Stengers note qu'il y a un formatage des questions par les institutions internationales, avec une séparation aussi stricte qu'injustifiée entre les thèmes "précaution" et "développement durable", et que ce cloisonnement qui empêche qu'on aille au fond des choses profite toujours aux intérêts économiques. B. Barraqué pose une question sur les modalités de construction d'une position au sein d'une délégation comportant chercheurs et politiques. On ne dispose pas de clés pour comprendre l'interpénétration entre science et politique, alors que c'est un fait dominant de la période récente (alors que la séparation était la règle à l'époque où Max Weber a écrit *Le Savant et le Politique*). Cl. Weill note seulement, en réponse, que la position européenne était une position de principe qui s'est écroulée en cours de négociation et a conduit à une défaite en rase campagne et à un retournement complet, au lieu d'une négociation pragmatique telle que l'avaient préparée les Américains. Elle évoque la diversité des positions au sein de l'Europe, la compétence des experts (que penser des "experts administratifs" qui sont envoyés dans des négociations internationales sur des bases institutionnelles plus que de compétences ?). A une question sur le dernier ouvrage de JP Dupuy, Cl. Weill répond qu'à la lecture d'un autre ouvrage de Dupuy sur les nanotechnologies, elle a été gênée par le hiatus entre une production scientifique, qui a certes ses limites mais qui est validée par une communauté, et un discours critique publié chez des éditeurs à large diffusion mais sans validation scientifique (pas de comité de lecture). Un participant indique que la "culture angélique du consensus" qui prévaut dans la communauté scientifique arme mal l'expert scientifique à la construction de la décision, qui dans les domaines dont nous parlons met en jeu des intérêts antagoniques qui ne pourront pas s'accorder à court ou à moyen terme. Cl. Weill est d'accord sur ce point et note que le hiatus est même plus profond puisque, sur la question du risque, l'avancée de la connaissance scientifique sur les mécanismes et les agents porteurs de risque mine la solidarité qui prévaut lorsque cette compréhension est moins fine.

Bernard Barraqué. Modélisation acoustique et décision publique

Au LATTS, il y a longtemps que nous avons fait notre deuil de la séparation entre science et politique. En matière de bruit, BB est dans une position inconfortable puisqu'il est membre du Conseil national du bruit, mais qu'il travaille peu sur le bruit en tant que chercheur. A la suite de la non diffusion de l'avis, négatif, du CNB sur le projet de charte

relative aux nuisances sonores de J.-Cl. Gaysso, BB a démissionné du CNB et a répondu avec succès à un appel d'offre du CNB. Et il est en outre associé aux mouvements de riverains d'aéroports. Il peut donc aisément être dénoncé comme juge et partie, et son expertise rejetée comme engagée, non scientifique. Mais les choses ne sont pas si simples (et d'ailleurs, remarque BB, il est amusant de noter que les chercheurs qui sont "du côté du manche" sont toujours perçus comme neutres et objectifs, alors que ceux qui sont plus critiques, qui posent des questions, sont perçus comme "vendus" ?)

Cette recherche pour le CNB conclut que les recherches faites depuis plusieurs décennies sur les nuisances causées par le bruit ont manqué leur cible et examine les raisons de ce constat. Elle a été menée en termes de sciences politiques, la science politique visant à redonner leur véritable place aux valeurs, à côté des intérêts, dans l'analyse de l'action collective. On se place dans le cadre de l'*advocacy coalition framework* (ACF, Sabatier), qui postule qu'il y a un lien fort entre l'argumentaire technique sur un sujet et la coalition dominante (et qu'il faut une dizaine d'années pour renverser une coalition dominante, à partir de la prise de conscience de l'impasse d'un argumentaire technique). L'approche de l'ACF s'oppose au modèle linéaire en quatre étapes de genèse de l'action publique (prise de conscience des problèmes, expertise, porte-parole, mise en œuvre).

L'argumentaire technique s'est forgé aux Etats-Unis dans les années 1950-60 à propos de la gêne subie par les riverains des aérodromes militaires américains, avec une approche très scientifique-empiriste, dans un contexte d'adhésion forte au progrès technique/économique ; cela a conduit à un indicateur liant pression acoustique, bruit et gêne. Sur cette base, on a élaboré (en France du moins) une politique basée sur le zonage (zones exposées et zones non exposées) et le principe d'antériorité (seules sont indemnisés les populations installées avant la décision créant la source de bruit considérée).

Le travail de recherche a consisté à déplacer l'argumentaire transversalement aux coalitions antagoniques. Il a apporté trois résultats forts :

- la gêne n'est que pour une petite partie (un tiers) expliquée par la pression acoustique, mais dépend aussi et surtout du nombre de passages, de l'incertitude sur l'avenir des trajectoires et comporte une forte dimension collective ;
- les riverains ne sont pas venus "après" ;
- une négociation partielle est possible (comme le montrent les observations relatives à d'autres aéroports et/ou à d'autres conflits) ; mais elle suppose une nouvelle médiation et des engagements clairs de la DGAC en termes de nombre de mouvements, et non de dB. (Ce point est à relier à la décision de 1984 du Conseil d'Etat qui désigne clairement les aéroports, et non les compagnies aériennes, sont responsables de la nuisance.)

Débat. Un auditeur rebondit sur une remarque de ce matin pour s'inscrire en faux contre la conception que les scientifiques baigneraient dans une culture du consensus. Au fil de la discussion qui s'engage, BB note que le rôle de l'expertise scientifique dans le contentieux juridique est très différent en France (monopole de l'expertise par l'expert choisi par l'Etat démocratique) et aux Etats-Unis (principe fort de l'expertise contradictoire). BB note que cette discussion sur la gestion de la gêne liée au bruit se replace dans le contexte plus général de nos sociétés capitalistes avancées marquées par une séparation forte entre le monde des valeurs et le monde des intérêts. Sur la question de la négociation partielle, BB note que bien des marges de manœuvre ne sont pas utilisées (notamment les compensations économiques à toutes les communes touchées). A une question de N. Bouleau suggérant que l'opposition au troisième aéroport ne s'analyse pas en termes de jeux d'acteurs autour du bruit, BB répond qu'il est plutôt d'accord. Il explique l'échec de la DUCSAI par des erreurs de son président (Pierre Zémor) dans l'organisation de la concertation, mais aussi par des contraintes plus larges et notamment la dynamique aujourd'hui irrépressible de la libéralisation du transport aérien (associée à la représentation dominante, chez les responsables d'aéroports, que les relations entre aéroports sont strictement des relations de concurrence). G. Faburel reproche à BB d'avoir une vision trop binaire des coalitions à la Sabatier et de négliger les contradictions au sein même de chaque coalition. BB est d'accord pour dire que la coalition dominante est en crise, mais cette crise résulte de la remise en cause des arguments qu'elle a défendu, en France par divers acteurs et ailleurs (Cf. décision

juridique en GB qui impose à l'aéroport de Heathrow d'indemniser les riverains pour tous les vols de nuit, à un niveau tel qu'il va contraindre l'aéroport à interrompre les vols de nuit).

Jean-Pierre Galland. Diverses conceptions du risque

Commentaires sur six ouvrages "linéairement indépendants".

Peter Bernstein, *La remarquable histoire du risque*. Fresque historique à partir du triptyque : risque, assurance, calcul des probabilités. Bernstein décrit le tournant, à partir des grandes expéditions maritimes à partir de la Renaissance, caractérisé par une transformation de la vision de l'avenir.

François Ewald, *L'Etat providence*. Si Ewald serait d'accord avec la généalogie de Bernstein, ce qui l'intéresse, c'est la socialisation du risque, la transformation d'une notion individuelle en une notion collective. La société du XIXème siècle, dit Ewald, est une société de prévoyance, dont il analyse les transformations successives à partir de la gestion collective des accidents du travail. L'introduction dans la loi de la notion de risque professionnel et l'obligation pour les employeurs d'indemniser les employés pour les accidents du travail signe la transformation de la société de prévoyance en une société assurantielle. Récemment, la société assurantielle s'est transformée en une société de précaution.

Ulrich Beck. *La société du risque*. Beck ne fait aucune mention à la question de l'assurance. Son propos est de caractériser la transformation récente (selon lui) de la société industrielle, dont l'enjeu central était le partage de la richesse produite, en une société du risque. Cette société du risque est caractérisée par l'individualisation des inégalités sociales. L'avènement de la société du risque est une conséquence de l'Etat providence, qui a contribué à rendre les individus de plus en plus autonomes. Par exemple, l'essor du travail féminin est corrélé à l'accroissement des divorces. La société du risque est aussi une société dans laquelle les formes sociales traditionnelles de maîtrise de la peur ne remplissent plus leur fonction et dans laquelle beaucoup de question qui n'étaient pas politiques le deviennent (y compris la question des liens entre science et société).

Mary Douglas et Harold Wildavsky. *Risque et Culture*. Cet ouvrage défend l'idée que, dans toutes les sociétés, les risques sont socialement construits, et s'intéresse à ce processus de construction/sélection/.

Philippe Le Breton. *Passion du risque*. Le Breton s'intéresse aux "conquérants de l'inutile" qui s'exposent volontairement au risque, dans nos sociétés désormais largement sécurisées. Il relie ce comportement à l'ordalie antique.

René Amalberti. *La conduite des systèmes à risques*. Ce qui intéresse Amalberti, c'est l'erreur humaine dans des systèmes industriels à risque, très fiables mais dont le dysfonctionnement a des conséquences potentiellement catastrophiques. L'erreur humaine est considérée depuis déjà longtemps comme le maillon faible de la fiabilité de ces systèmes. Mais Amalberti note que, malgré l'essor des automatismes censés se substituer à l'intervention humaine, on n'a pas fait de progrès depuis trente ans en matière de fiabilité. Son argument est que l'erreur est un élément du pilotage des systèmes, mais que la plupart des erreurs de pilotage sont corrigées avant d'avoir des effets catastrophiques. Et ce processus renvoie à un compromis cognitif des opérateurs entre l'ensemble des contraintes auxquelles ils sont soumis. La fiabilisation des systèmes doit donc tenir compte de ce compromis cognitif.

Trois conclusions issues de ces lectures :

- l'importance du risque dans la société est sensiblement plus complexe que la partition de la société entre risquophiles et risquophobes proposée par E.-A. Sellière ;
- ayant observé que le risque était une notion fort complexe, faut-il la jeter aux orties ? Non, car les auteurs dont nous venons de parler montrent que la notion a une pertinence heuristique dans des domaines de la réflexion et de l'analyse sociales ;
- les modèles de risque se rattachent généralement à une et une seule des dimensions du risque qui ont été passées en revue à travers ces quelques ouvrages ; il faut dépasser ces modélisations partielles.

Débat. Selon un participant, il y a un risque propre à la théorisation, au fait de penser à un problème "en physicien" ou "en économiste". Ce risque ne doit pas être négligé. (Mais il faut bien vivre.) Selon un autre participant, le risque, la catastrophe ne devraient-ils pas être intégrés dans des formes étendues de régulation sociale ? Un autre participant souhaite rappeler que le passage d'une société à une autre ne se produit pas par magie. Ainsi, la disparition de l'Etat-providence a été voulue et systématiquement recherchée par des réseaux de pouvoir. Autre point : peut-on expliquer la disparité de tolérance aux risques selon les domaines (cf. insécurité routière vs. risque alimentaire) ? J.-P. Galland évoque la distinction entre risque (co)produit par les usagers et risque subi, souvent avancée, mais souligne que M. Douglas, dans son ouvrage, soutient que ce partage-même est socialement construit !

Pierre Veltz. Commentaire de l'ouvrage de Callon, Lascoumes, Barthe, Agir dans un monde incertain, Seuil 2001.

P. Veltz souligne les qualités du livre : une ambition théorique mais un ouvrage concret, un livre amical et accueillant, partant d'un postulat sympathique qui est qu'il convient de ne pas disqualifier a priori ceux qui s'invitent dans des controverses scientifiques ou techniques sans y avoir été invités.

L'ouvrage, après avoir souligné que la démocratie est davantage affaire de procédures que de principes, commence par signaler le caractère contingent de la forme délégative de la démocratie, qui repose sur deux partages, le partage des rôles entre le citoyen et son représentant et le partage xxx. L'ouvrage s'intéresse donc au passage d'une démocratie délégative à une démocratie dialogique, via notamment des "forums hybrides" dans lesquels des profanes apprennent des choses à des experts. Ce que les auteurs démontrent, notamment, à partir de l'analyse de l'Association française contre les myopathies.

D'accord sur chacun des détails de l'ouvrage, P. Veltz n'est pas sûr d'adhérer au propos d'ensemble. Et il reste avec un certain nombre d'interrogations.

- Quel est l'objet de l'ouvrage ? S'agit-il vraiment d'étudier l'agir dans l'incertain ? Qu'est-ce qui fait l'unité des problèmes dont on parle, qui apparaissent comme une liste d'exemple dont on n'interroge ni l'hétérogénéité, ni le principe de cohérence ?

- Selon P. Veltz, les auteurs ne se distancient pas suffisamment de la notion beckienne de société du risque, que pour sa part Veltz rejette largement. La vision beckienne est très contingente aux vieux pays industriels, alors que nombre de risques majeurs (agricoles, financiers, etc.) trouvent leur origine et/ou leur plein effet dans les sociétés en développement ?

- Il faudrait donc se positionner au sein d'un ensemble général de risques : risques scientifico-techniques, dynamiques non maîtrisées des grands systèmes techniques, risques non scientifico-techniques...

- Il manque dans l'ouvrage une interrogation sur les causes du développement des controverses sur certains risques ? Et une sociologie de ce phénomène (qui porte les controverses ?).

(- Il faudrait aussi s'interroger sur le modèle de la recherche qui sous-tend l'ouvrage. Mais laissons cette question.)

- Sur les acteurs de cette démocratie dialogique, l'ouvrage souligne l'importance de groupes émergents. Mais cela amène au constat que certains problèmes de masse sont privés d'acteurs porte-parole. Ainsi de l'inégalité devant le système de soins, majeure en France, qui provient de la faiblesse des mécanismes de prévention. Que faire de ces enjeux forts peu susceptibles d'être pris en charge par un groupe émergent d'aucune sorte ?

- Qui intervient dans ces instances de la démocratie dialogiques ? Pour s'engager dans une controverse, il faut des ressources et un moteur (affectif ou autre). Les forums hybrides ne seraient-ils pas la démocratie des classes moyennes supérieures cultivées.

- La discussion économique est insatisfaisante. L'ouvrage ne contient rien sur l'internalisation des externalités et propose une vision du marché surprenante (le marché n'est pas interprété comme se nourrissant de risque et produisant du risque.

- Votre vision du principe de précaution est : "dans le doute, calcule, agis, ne t'abstiens pas", alors que, socialement et pour la plupart des gens, le principe de précaution signifie : "dans le doute, abstiens toi". Ceci doit être discuté. L'acception dominante du principe de précaution est dangereuse dans son absurdité logique ("démontrer l'absence de risque", "prouver l'inocuité du vaccin contre l'hépatite B").

- La solution d'une "action mesurée", que vous proposez, est sympathique mais un peu molle. Je serais plutôt à cet égard du côté de Jonas et de son principe responsabilité, sans nécessairement le suivre jusqu'à sa défense du despotisme éclairé.

Michel Callon. Réponse.

Les "groupes concernés" auxquels nous nous intéressons sont des groupes qui se sont constitués parce qu'ils se sont sentis touchés, à un moment donné, par quelque chose qu'ils associent aux sciences et/ou aux techniques. Ces groupes n'ont de place ni dans les institutions scientifiques, ni dans les institutions politiques. Nous les analysons non pas dans une opposition romantique entre savoir savant et savoir local/traditionnel, mais comme coproducteurs d'une dynamique de recherche. L'exemple de l'AFM démontre la *possibilité* de cette participation des groupes concernées à la production scientifique. Elle ne démontre pas et ne vise pas à démontrer la *généralité* de cette participation.

Cette participation se produit sur trois plans : la problématisation (quels sont les problèmes ?) ; l'organisation, la participation, l'orientation de la construction de la connaissance scientifique (pour que le travail scientifique sur ces problèmes soit effectué) ; l'adaptation, l'enrichissement des résultats de la recherche. Dans le cas de l'AFM, ces trois rôles sont tenus. Les malades et leurs familles ont joué un rôle essentiel d'abord dans l'accumulation primitive des connaissances ; ensuite dans l'organisation de la communauté scientifique appropriée ; enfin dans la diffusion et l'affinement des résultats de la recherche.

Evidemment, cette possibilité de recherche collaborative suppose que sont remplies diverses conditions (économiques, institutionnelles, organisationnelles) et a un coût (ces conditions engendrent des processus d'exclusion). Mais les groupes concernés auxquels nous nous sommes intéressés sont présents sur un nombre élevé et croissant de dossiers très divers, même s'ils sont à l'évidence -- et pour l'heure -- minoritaires. Et le fonctionnement des marchés est un mécanisme central de foisonnement du social et de production de ces groupes concernés, de trois manières : par un mécanisme général des marchés de faire s'exprimer les consommateurs ; par les effets externes de certains marchés ; par la production de groupes orphelins, laissés à l'écart des mécanismes de marché.

Débat. P. Veltz souhaite préciser que son argument contre les analyses de Beck ne s'appliquaient pas à l'ouvrage, mais à cette conception en expansion selon laquelle nous vivrions dans une société de risques croissants. En fait, la société industrielle marque la sortie d'une époque caractérisée par des risques sans commune mesure. Le phénomène nouveau est plutôt l'inégalité croissante des individus devant le risque.

Sur la dimension économique (manquante ?) de l'ouvrage, M. Callon répond que, précisément, les problèmes sur lesquels se mobilisent des groupes concernés se caractérisent tous, au départ, par une absence de mesure (de métrologie). Un auditeur regrette l'absence totale dans la discussion de ces macro-acteurs qui font le monde ? M. Callon répond très fermement que la seule question qui vaille, c'est la question de l'organisation de règles de délibération qui permettent l'expression des groupes concernés.

Claire Weill souligne le caractère très particulier de la recherche médicale par rapport à cette discussion.

N. Bouleau interpelle M. Callon sur l'absence de développements dans son ouvrage sur les langages scientifiques et les modèles. M. Callon rétorque que les langages scientifiques offrent des prises aux groupes qui recourent à d'autres formes de langages. Le problème pratique de la traduction trouve, dans toutes les circonstances, une solution. Un auditeur s'inscrit en faux contre cette assertion, sur la base de son expérience personnelle dans une association de lutte contre le sida. Pour I. Stengers, les groupes concernés ont pour fonction principale d'aviver des enjeux minoritaires en tirant profit de

divergences de conceptions entre spécialistes. N. Bouleau poursuit en précisant que, pour lui, il n'y a pas tant de richesse créative du côté des groupes concernés que de manque d'imagination, d'ornières intellectuelles du côté des chercheurs, de barrières que l'interaction conduit à lever. M. Callon ne partage pas la vision qu'il y aurait, en quelque sorte, de faits préexistants que l'interaction chercheurs-groupes concernés permettrait de révéler. Pour lui, cette interaction est authentiquement créatrice. M. Callon conclut : "Soyons sérieux, ce n'est pas le langage qui permet la communication, surtout en sciences !"

Ted Porter. Modeling and Politics: American Engineers and the Rise of Cost-Benefit Analysis

Le calcul coûts-avantages ne doit être considéré ni comme une méthode purement rationnelle d'évaluation des politiques publiques, ni comme un rideau de fumée masquant le jeu effréné des pouvoirs et des intérêts. Il prend naissance au milieu des années 1930, aux Etats-Unis, à l'époque des premiers grands programmes d'équipement hydrauliques du New Deal. Une loi de 1936 impose de faire la démonstration, pour un projet d'équipement public, que les avantages induits sont supérieurs au coût. Progressivement, le champ d'application du calcul économique s'est étendu à de très nombreux domaines de l'action publique, avec de grandes variations dans les manières de l'appliquer et dans le degré d'incertitude associé. Il a été instrumentalisé dans les controverses entre agences gouvernementales. A la fin des années 1940, le "livre vert" produit par un sous-comité ad hoc s'est efforcé de transformer un ensemble très hétérogène de pratiques administratives en une méthode rationnelle d'évaluation d'une grande variété de politiques publiques. Le développement considérable du calcul économique a été favorisé dans le contexte démocratique, car ce contexte favorise la tyrannie des nombres et des calculs, perçus comme rigoureux et neutres. Plus largement, il est intéressant de noter que le calcul économique s'est développé dans des sociétés démocratiques déjà technocratiques et

Débat. B. Walliser fait plusieurs remarques. Premièrement, les ingénieurs et les économistes qui se sont occupés de calcul économiques sont les mêmes personnes ; les économistes universitaires n'ont pas participé à cette aventure. Deuxièmement, le calcul économique en France est né d'abord dans deux secteurs (transports, énergie) à des fins de gestion interne ; ce n'est que dans un deuxième temps que le ministère des Finances s'est saisi de l'outil pour reprendre le pouvoir. Troisièmement, sur les manipulations : celles-ci ont été manifestes dès le début et ont donné naissance à une pratique de contre-expertise donnant l'occasion de revenir, dans chaque cas, sur les hypothèses qui avaient présidé à l'étude initiale ; plus généralement, cela a conduit à recourir au calcul économique comme langage commun entre les acteurs. Quatrièmement, le calcul économique n'a pas survécu à la décentralisation des décisions en matière de transports, ce que dénoncent les ingénieurs des Ponts en évoquant la suprématie nouvelle des féodalités locales. B. Barraqué suggère que l'utilisation du terme "avantages" plutôt que "bénéfices" en France s'explique par le fait qu'avantages est un terme plus large, qui permet d'inclure des éléments non monétaires, voire non monétarisables. B. Walliser répond que le terme d'avantages a été retenu pour désigner tous les effets monétarisables, et qu'en présence d'effets quantifiables mais non monétarisables, on a utilisé l'expression "coût-efficacité".

T. Porter donne quelques éléments de réponse. Aux Etats-Unis, ce sont aussi des ingénieurs économistes qui ont été les premiers à développer l'analyse coûts-avantages. Mais leur statut est moins éminent qu'en France, et lorsque les choses se sont compliquées, elles sont sorties des compétences des ingénieurs (américains) et ont été reprises en main par les économistes universitaires. A la question de BB, T. Porter répond que cet instrument technocratique qu'est l'analyse coûts-avantages nécessite des nombres. Desrosières indique que, dans son ouvrage, T. Porter défend l'idée que les méthodes quantitatives sont devenues un instrument à la disposition des groupes dominés (a tool of weakness), ce qui va à l'encontre de la conception générale selon laquelle la statistique est un outil de pouvoir. En fait, c'est les deux à la fois.

I. Stengers fait remarquer qu'il convient peut-être d'inclure certains courants de la philosophie morale américaine (Rawls) dans cette discussion. Elle pose une question sur la pertinence de l'approche coûts-avantages pour le problème de l'effet de serre, marqué

par de très grandes incertitudes. L'analyse coûts-avantages en cas de haute incertitude peut-elle être utilisée par les groupes dominés ?

A une question de Denise Pumain sur le degré de diffusion de cette méthode au niveau infra-fédéral, T. Porter répond qu'elle n'a guère été institutionnalisée en-deçà du niveau fédéral.

Alain Desrosières

L'exposé se placera du point de vue de la statistique au sens premier du terme (recueil et analyse des données, renvoyant comme l'atteste l'étymologie du terme à l'exercice du pouvoir d'Etat) et non au sens second (ensemble de méthodes mathématiques). Mais la coexistence des deux acceptions du sens renvoie à la tension entre Etat et science, dont nous parlerons. Une deuxième tension de la quantification est qu'on ne peut pas séparer les deux faces du nombre, à savoir la prétention du nombre à la vérité et le caractère négocié du nombre. On a beaucoup parlé déjà dans ce colloque de métrologie : ce terme suppose qu'il y a quelque chose à mesurer, qui préexiste à la tentative de mesure. Le terme de quantification n'a pas cette connotation et laisse la possibilité de réfléchir dans quelle mesure la mesure crée le phénomène mesuré. Autre élément : on a voté l'an dernier une loi modifiant l'organisation des lois de finances (LOLF), dans un sens qui rapproche de la philosophie de l'approche coûts-avantages. Mais aucun parlementaire n'a pressenti la difficulté centrale de la lolf, à savoir la quantification sur laquelle elle repose.

Dans l'histoire de la statistique, on a connu trois phases : (i) la statistique reflète/mesure la réalité ; (ii) années 1970, apparition de l'idée que "c'est pas neutre", que la mesure est influencée par les classes sociales, les pouvoirs, etc. ; mais cela ne fait qu'introduire un biais dans la mesure de phénomènes qui ont leur réalité propre ; (iii) depuis une vingtaine d'années, idée que la statistique crée la réalité, idée qui, et cela doit nous interroger, est inadmissible dans certains cercles alors qu'elle apparaît comme une banalité dans d'autres, comme celui qui est réuni ici.

Introduisons deux notions essentielles à la discussion :

- conventions d'équivalence (masse, charge électrique, etc.)
- espaces d'équivalence (espace à l'intérieur duquel on suppose qu'on peut comparer les choses)

On peut distinguer quatre postures :

- la posture métrologique, issue des sciences de la nature, vise à mesurer le plus précisément possible des phénomènes ayant leur mesure propre ; c'est là que naît la théorie des erreurs ;
- la posture comptable, dont la référence principale est la monnaie [qui définit un espace d'équivalence entre tous les phénomènes monétaires ou monétarisables] ; on pourrait dissenter à ce stade sur la comptabilité nationale, ensemble d'instruments réunis à des fins de politique macro-économique ; cela renvoie à une réflexion sur l'Etat dont une des fonctions est de rendre légitime la statistiques, de garantir la monnaie ;
- la posture statistique, qui conduit à accepter les données statistiques produites par une boîte noire dont on (principe de réalité : cohérence des résultats)
- la posture conventionnaliste ou constructiviste, qui est une posture non réaliste à la différence des trois précédentes, et qui conduit à remettre en cause la boîte noire de production des statistiques ; elle n'émerge qu'à l'occasion de controverses sur les résultats produits par la boîte noire.

Un exemple du rôle social de ces différentes postures peut être observé dans la construction de la statistique européenne (Eurostat). Eurostat, au lieu de préconiser l'instauration d'une équivalence entre les produits mesurés, préconise une équivalence entre les méthodes. En passant, Eurostat reconnaît implicitement que ce sont les méthodes qui créent les objets et abandonne donc une posture réaliste pour adopter une posture conventionnaliste, ce qui évidemment peut s'expliquer sociologiquement.

Cela nous conduit à réfléchir aux méthodes de quantification dans une perspective conventionnelle, comme des fictions bien fondées.

Débat. F. Vatin est réticent à abandonner le terme de métrologie qui rappelle qu'avant de mesurer, il faut réfléchir à ce qu'on veut mesurer. Il observe que c'est sans doute moins la monnaie qu'une certaine logique (équivalence de ce qui entre et de ce qui sort) qui

caractérise la posture comptable, une vision très "science physique". I. Stengers objecte qu'à pousser trop loin ce principe d'équivalence, on s'expose à rallumer une guerre des sciences, et que cette guerre des sciences serait justifiée. M. Armatte répond que la séparation entre sciences de la nature et sciences de la société n'est peut-être pas si essentielle quand on s'intéresse à la métrologie. Par ailleurs, il note qu'il faut étudier avec attention la manière dont est administrée l'épreuve de réalité. Un auditeur se demande si l'INSEE pourrait aider à la (re)définition de conventions communes entre l'Etat et les collectivités locales.

Desrosières répond que, pour tenir ensemble un principe de réalité et une vision conventionnelle des catégories, il faut développer une sociologie approfondie de la quantification *et* de l'action (on ne quantifie pas pour le plaisir).

P. Veltz s'interroge sur la place donnée par Desrosières dans ses analyses aux statistiques privées. B. Barraqué indique que le conseil scientifique de l'IFEN est un pseudo-forum hybride, mais qu'il n'a aucune distance critique par rapport aux statistiques qu'il produit et dont il propose des interprétations "sauvages". F. Vatin précise sa position, qui est une certaine réserve par rapport à la vision dominante, et qui est celle de Desrosières aussi, selon laquelle les transferts se feraient toujours des sciences de la nature vers les sciences de l'homme. En matière de métrologie, certains transferts se font en sens inverse. B. Walliser pose une question sur les critères permettant d'estimer la crédibilité ou la non crédibilité de la monnaie ou des statistiques. K. Chatzis prolonge l'interrogation : comment les constructivistes font-ils le tri entre une bonne statistique et une mauvaise statistique ? Qu'est-ce qui fait que tout chiffre n'est pas acceptable ?

Desrosières répond sur certains points : son propos n'était pas une étude historique, mais portait sur les effets des transferts réels ou supposés des sciences naturelles vers les sciences humaine sur les discours actuels, qui révèlent souvent des raisonnements basés sur des références aux sciences de la nature. Sur la justification de la posture constructiviste, Aymard Duvernay et Thévenod apportent des éléments de réponse avec la notion d'investissements de forme ; on peut analyser en ces termes une méthode ou un instrument statistique dont l'utilisation donne satisfaction et qui est donc validée. De plus, telle définition statistique est validée ou non par les usages sociaux qu'elle permet. Enfin, les controverses sociales conduisent à une évolution des catégories statistiques.

Michel Armatte. Le temps de l'économétrie

L'exposé traite de l'histoire de la modélisation (et non de l'histoire des modèles). Il concerne l'économétrie, qui n'est pas la même chose que l'économie ou que l'économie mathématique. L'apparition du terme d'économétrie peut être reliée à la création de la société d'économétrie (1930). Elle s'alimente à deux sources historiques : formalisation analytique et quantification numérique. De nombreux auteurs avaient travaillé dans ces deux directions. Le programme de la société d'économétrie était de réunir ces deux approches.

Dans la modélisation, qu'est-ce qu'on gagne, qu'est-ce qu'on perd ? A quelle condition est-ce que cette modélisation économétrique peut fournir la base d'un débat ne rejetant pas les non spécialistes ? L'économétrie rencontre trois types de problèmes : de distribution ; de liaisons et d'équilibre ; de prise en compte du temps.

Un premier exemple examiné concerne la loi de Pareto (loi donnant la proportion d'une population nationale au dessus d'un niveau de richesse donné en fonction de ce niveau). Ce modèle permet à Pareto d'établir une équivalence entre la question des inégalités de revenus et un paramètre (pente de la courbe logarithmique de cette loi) et de donner une forme déterminée à un débat complexe. Cette loi fait l'objet d'interprétations par différents auteurs ayant différentes perspectives et différents intérêts. L'étude de cette loi et de ses usages a trois avantages : elle constitue un langage commun entre les acteurs de l'époque ; on peut étudier les diverses interprétations (y compris les dérapages) de cette loi ;

Un deuxième exemple concerne la loi de demande de la fonte établie par Moore. Le problème est qu'en l'occurrence la demande est croissante avec le prix : la discussion sur ce problème montre les écarts et divergences d'interprétation entre spécialistes autour d'un modèle.

Un troisième exemple concerne les analyses de de Foville (évolution d'un ensemble de variables au cours du temps). De Foville démontre que la plupart des indicateurs sont bons ou mauvais plus ou moins en même temps, mais que certains varient en avance des autres et permettent donc d'anticiper les variations des autres. Il a ainsi conçu le premier baromètre. Cet outil est-il un modèle ? Si c'en est un, c'est un modèle sans théorie. Il repose sur des outils graphiques, des indices et des corrélations. La notion de corrélation est de nature différente selon qu'on étudie des corrélations dans l'espace et dans le temps. Par exemple, certains cycles sont corrélés positivement en tendance mais négativement en tant que cycles.

La faillite des baromètres (incapacité à prévoir la crise de 1929) marque la naissance de l'économétrie et de deux grands courants de recherche : théorisation des modèles dynamiques via une formalisme différentiel et via des différences finies. Les débuts de l'économétrie sont marqués par :

- les premiers usages des mots modèle et modélisation en économie, qui renvoie alors à l'idée de structure fondée en théorie,
- l'introduction d'une dimension aléatoire,
- la pratique de la validation des modèles par des séries statistiques

La démarche de modélisation impose aux économistes d'adopter un langage commun sur les notions étudiées (à la même époque, Divisia note qu'il y a chez les économistes 63 définitions de la notion de modèle).

Cette approche économétrique a dominé des années 1930 aux années 1970. Elle a été remise en cause par : l'abandon des politiques keynesiennes, la bonne performance des modèles "var" qui prévoient la valeur future des variables en fonction de leurs valeurs passées. S'ajoute aussi la prise de conscience de l'importance des anticipations. La discussion devrait aussi inclure les effets des modèles sur les décisions des agents et donc sur la réalité.

Débat. F. Vatin fait observer que, dans nos débats à ce colloque, nous avons systématiquement placé la sociologie du côté du constructivisme. La discussion sur Pareto nous rappelle la force et la durée du fantasme positiviste qui a accompagné la naissance et le premier développement de la sociologie. B Barraqué pose une question sur l'intégration des acteurs dans les modèles économétriques. M Armatte répond que ce n'a pas été le cas dans cette branche de l'économie dans la période qu'il a étudiée. S'agissant de l'usage des modèles en France, la période gaulienne est caractérisée par le Plan, qui repose sur la comptabilité nationale, qui est un autre genre de modèle. Les commissions du Plan étaient des forums hybrides réunissant les partenaires sociaux et travaillant à partir de tableaux de Leontieff. Cela a fini par capoter car cette approche permettait de faire des projections en valeur et non des projections en volume. On a alors eu recours aux modèles macro-économétriques (de type Fifi ou DMS) qui caractérisent davantage la période Pompidou que la période gaulienne.

François Vatin.

On partira des deux sources de l'économie identifiées par Sen : une source éthique et une source mécaniciste, portée par les ingénieurs. Or, la posture des ingénieurs qui est postulée dans cette partition est erronée pour deux raisons. D'une part, la pensée des mécaniciens est une pensée engagée dans l'action. D'autre part, les ingénieurs économistes distinguent clairement le calcul et le sens dans l'analyse économique.

Sur le premier point, il y a double opposition entre mécanique rationnelle et mécanique industrielle : d'une part, science contemplative vs science engagée dans l'action ; d'autre part, la notion de frottement, évacuée de la mécanique rationnelle et centrale dans la mécanique industrielle, et qui impose de donner une importance centrale à la mesure.

Sur le second point, il est intéressant de prendre l'exemple des ingénieurs forestiers. Libéralisée en 1791, la forêt fait l'objet très vite d'une remise en cause de cette gestion libérale (réglementation, corps d'ingénieurs forestiers). La question centrale dans l'exploitation des forêts est l'âge auquel il faut couper les arbres. Il y a une formulation initiale en terme d'âge optimal de coupe des bois. Très vite, on constate que les choses sont très compliquées et qu'il existe en fait de nombreuses façons de maximiser. Et surtout : cherche-t-on un maximum simple ou un maximum composé, tenant compte de

l'usage alternatif que l'on pourrait faire du profit tiré de la coupe du bois (et donc du taux d'intérêt). Or le débat montre que selon le critère choisi, la forêt doit être coupée dès la première année ou, au contraire, doit être préservée jusqu'à son dépérissement. C'est donc in fine des valeurs (psycho-)sociales qui vont expliquer l'arbitrage entre ces deux considérations.

Cette histoire nous permet de contester la thèse habermassienne selon laquelle le calcul évacuerait toute réflexion sur les valeurs pour devenir une fin en soi.

Débat. O. Favereau trouve que l'exposé n'est pas éclairant sur la manière dont les théoriciens de la micro-économie mathématique définissent leur objet d'étude, en faisant une séparation nette, précisément, entre calculs et valeurs. F. Vatin répond à partir des travaux de Dupuit sur l'utilité comme mesure d'un profit non marchand, qui conduisent bien à créer des valeurs.

G. Raveaud voudrait revenir sur la grande différence entre calcul économique des ingénieurs et théorie économique. Est-ce que cela peut s'interpréter sociologiquement par la constitution d'une sphère d'économistes universitaires déconnectés de toute nécessité de validation de leurs modèles. Cournot répond par un exemple : la question de savoir que s'il est préférable pour l'humanité de vivre plus longtemps d'un feu moins intense ou moins longtemps d'un feu plus intense n'est pas, pour Cournot, une question d'ordre économique. [Mais quand est créée cette frontière ?]

A Dahan note deux étapes importantes de bifurcation : années 1870 où est posée la question d'une discipline qui se développe pour elle-même ; années 1950, où la mathématisation de la discipline fait un saut qualitatif. F. Vatin répond que là git le paradoxe de la position de Walras : si l'économie pure, c'est la mécanique rationnelle, l'économiste n'a rien à produire.

M. Boiteux note que, lorsque l'on fait du calcul économique, on doit certes donner des valeurs à des coûts ou des avantages non marchands, mais aussi admettre la valeur sociale des prix donnés par le marché, qui entrent aussi dans le calcul économique. Il y a donc un paradoxe à rechercher une valeur sociale lorsqu'elle n'est pas donnée par le marché et à admettre sans débat la valeur sociale des prix de marché. L. Baumstark va dans le même sens en soulignant que ce que l'on cherche en valorisant des coûts ou des avantages non marchands à *se substituer* au marché.

O. Coutard demande si la validation de ces prix de marché par un forum suffisamment hybride n'atteste pas de leur valeur sociale. L. Baumstark répond que, s'agissant du Plan, les forums ne sont sans doute pas suffisamment hybrides. Mais que le marché, lorsqu'il existe, intègre dans la formation du prix un grand nombre de contraintes sociales qui sont gages de la valeur sociale du prix auquel on aboutit. I. Stengers objecte que la notion de forum hybride est plus radicale qu'une simple instance de négociation autour du niveau des prix, et que la propriété fondamentale d'un forum hybride est sa capacité imaginative.

A. Desrosières suggère une piste de recherche qui consisterait à comprendre pourquoi la planification a réussi en France et échoué en URSS.

Luc Baumstark

Réflexion personnelle basée sur l'expérience d'un groupe du Plan. A quoi sert l'économiste ? Le rôle des économistes semble en général mal compris. Le Plan a produit deux rapports sur l'évaluation économique des projets de transports (1994, 2000). On remarque notamment, de l'un à l'autre, le poids croissant des externalités.

L'exposé porte sur le processus de production des valeurs tutélaires relatives à diverses externalités. L'enjeu initial formulé par M. Boiteux est que, si l'on ne parvient pas à donner une valeur à des effets externes jugés importants, cela revient à leur donner un coût nul. Il y a eu de véritables délibérations collectives sur ces valeurs ; le groupe a fonctionné comme un creuset. Cela n'est pas allé sans conflit, comme en atteste la consternation de tel chercheur par rapport à la valeur finalement retenue pour la tonne de carbone émise dans l'atmosphère qu'il a perçue comme une négation de son travail.

Plus complexe est l'objection d'un représentant de la RATP disant : avec vos nouvelles valeurs, de nombreux projets qui ont été réalisés et sont unanimement appréciés n'auraient pas passé la barre. Mais de deux choses l'une : soit le calcul économique est inutile, et il faut l'abandonner ; soit il est utile et il faut le faire sérieusement. Or le calcul

économique semble conserver une utilité comme élément au débat dans l'élaboration des décisions collectives. Et la procédure du Plan a été sérieuse : élaboration des valeurs en concertation ; lien avec comportements observés.

En conclusion, on peut regretter le manque de procédures politiques d'institutionnalisation des valeurs auxquelles on a abouti (comme c'est le cas en Suède, où les valeurs sont discutées et, le cas échéant, entérinées par le Parlement).

Débat. M. Boiteux débute en précisant que la notion de valeur tutélaire a changé de sens au cours du temps : valeur arbitrairement imposée par l'Etat initialement ; désormais (et en tout cas dans le rapport dont nous discutons ici, valeur normée issue de la prise en considération d'études diverses. En outre, il est important de garder à l'esprit qu'il y a de grandes variations inter-individuelles pour ces valeurs (par exemple, pour la valeur du temps).

B. Walliser pose deux questions, l'une relative à la variabilité des valeurs du temps selon la population concernée par le projet étudié, l'autre relative au recours à des comparaisons internationales d'études sur telle ou telle question. L. Baumstark répond sur la première que l'on en est resté à des valeurs moyennes pour des raisons politiques, et que la seule différence introduite (entre Ile de France et province) a posé des problèmes.

B. Barraqué redéveloppe son argumentation selon laquelle les économistes ne peuvent pas sérieusement faire leur travail dans une situation d'anomie ; le calcul économique n'a de sens que s'il existe un consensus social minimal a priori. En outre, les experts (par exemple ceux qui travaillent sur les effets du bruit) sont conduits, par un mécanisme d'ordre psycho-sociologique, à tenir devant les décideurs le langage que ceux-ci veulent entendre, même si les études disponibles ne sont absolument pas concluantes.

L. Baumstark répond qu'il ne faut pas confondre le fait de fixer des valeurs et le processus de décision relatif à tel ou tel projet. Ce ne sont pas des valeurs visant à défendre tel ou tel projet. A. Desrosières objecte qu'il n'y a pas indépendance totale entre les deux. B. Barraqué note que le troisième aéroport ne se fera pas alors que le calcul économique en démontre l'intérêt, et que cela pose un problème. Il faut comprendre

F. Vatin souligne deux points importants de l'exposé de L. Baumstark, qui renseignent sur la construction des valeurs sociales : mieux vaut une mauvaise mesure que pas de mesure du tout ; il faut prendre la même valeur pour tous les individus. Question : qu'en est-il du diktat par rapport au taux d'actualisation ?

L. Baumstark répond que la bonne réponse, pour les ressources épuisables, n'est pas de baisser le taux d'actualisation mais de prévoir que le coût de ces ressources augmentera dans le futur [éventuellement plus rapidement que le taux d'actualisation].

B. Walliser. L'idéalité des modèles économiques

L'exposé concerne la validation des modèles économiques, conçue par les économistes eux-mêmes comme un processus intermédiaire, n'occasionnant la remise en cause ni des principes théoriques ni des données élémentaires prises en considération. L'activité de modélisation, alimentée d'une part par des principes théoriques et d'autre part par des faits stylisés, conduit, plutôt à long terme, à l'affaiblissement de certains principes et à la mise en évidence de faits nouveaux.

Le processus de validation usuel repose sur des hypothèses idéales, dont on déduit des conséquences "approchées" que l'on confronte à des faits stylisés. L'écart entre conséquences des hypothèses et faits observés est nécessaire compte tenu du caractère idéal des hypothèses. Cet écart doit être interprété à la lumière de trois types de paradoxes : paradoxes logiques, théoriques, empiriques.

La non concordance des faits observés avec les conséquences déduites des hypothèses peut être résolue de diverses manières : en remettant en cause la valeur du test (application, spécification) ; en mettant en œuvre des stratégies immunisatrices (hypothèses ad hoc, généralisation entraînant une moindre réfutabilité des modèles).

Il convient d'intégrer dans l'analyse l'interaction entre les modèles et les comportements modélisés. Les économistes prennent souvent l'exemple de l'influence des tâches solaires sur les prix (si les agents y croient, elle se produit). La version limite de ce phénomène est que la théorie économique standard elle-même opère comme une prophétie auto-réalisatrice.

La pratique de modélisation s'inscrit dans un double contexte : contexte de la preuve (bien formalisé), contexte de la découverte (mal formalisé, avec un problème central qui est celui de la révision des croyances). Un élément important de la caractérisation du contexte de la découverte est le raisonnement contrefactuel : s'il ne s'était pas produit tel événement, que se serait-il passé ?

Enfin est posé le problème de l'interprétation des modèles : qu'est-ce qu'interpréter ? On peut interpréter les modèles à partir des faits ou à partir des modèles eux-mêmes, en lisant le modèle comme champ d'application sémantique (modèle/empirie), comme mode d'action des relations internes au modèle (modèle/modèle), comme mécanisme sous-jacent à une relation (modèle/théorie).

En conclusion, BW considère que l'opposition souvent évoquée entre orthodoxie et hétérodoxie ne porte pas sur les méthodes, mais sur les contenus des modèles.

Débat. O. Favereau pose plusieurs questions : pourquoi y a-t-il désormais systématiquement des modèles plutôt que "rien" dans les articles des revues économiques ? Pourquoi les gros modèles (macroéconomiques) ont-ils plus ou moins disparu ? Y a-t-il un lien entre les deux questions ? Sur la deuxième question, selon BW, on s'est aperçu que leur grosseur et leur lourdeur n'étaient pas nécessaires et que l'on obtenait des résultats aussi bons avec des modèles plus petits ; de plus, les modalités de la politique économique ont évolué. Sur la première question, s'agissant des modèles microéconomiques, BW répond qu'il s'agit surtout d'un mécanisme de mimétisme des sciences dures, stratégie des économistes pour renforcer la crédibilité/légitimité de leurs travaux. M. Boiteux estime que les modèles ont tout de même l'avantage de permettre de remonter des relations, peu partageables, aux hypothèses, qui le sont davantage.

G. Raveaud se demande les mécanismes par lesquels un modèle devient célèbre ou pas. BW répond qu'il faut que le modèle capture un nouveau phénomène et donne des conséquences originales. Le modèle d'Akerlof répond aux deux critères : il introduit, l'un des premiers, la notion d'asymétries d'information ; et il en tire la conséquence de l'absence d'équilibre dans certains cas (ce qui était une connaissance nouvelle).

G. Raveaud.

L'exposé porte sur l'enseignement de l'économie et le contenu de la discipline économique. Malgré l'extrême fragilité (ou le caractère éminemment contestable) des hypothèses du modèle dominant, celui-ci voyage hors des laboratoires d'économie. Certes, on peut argumenter comme BW qu'à force de diffuser le modèle, il a vocation à s'autoréaliser. Mais il faut reconnaître que le modèle d'équilibre général ne répond pas au cahier des charges de l'économie politique (donner un fondement rationnel aux choix collectifs).

Il reste que le modèle d'équilibre général formate très fortement le programme scientifique de la discipline et dans la conception des politiques économiques. C'est le cas par exemple le cas de l'économie du travail. La notion de marché du travail, avec une offre et une demande qui s'équilibrent à un niveau approprié du salaire, est de plus en plus dominante dans les politiques de l'emploi en Europe. (Cf. l'article de Laroque et Salanié, qui redéfinissent les situations individuelles au nom des gens concernés, qui pensent être au chômage et à la recherche d'un emploi alors qu'ils seraient dans une situation de "non emploi volontaire").

Pour sortir de ce cercle vicieux logique, deux pistes peuvent être poursuivies : s'attacher à identifier des mécanismes causaux (et ne pas s'arrêter à la mise en évidence de corrélations) ; abandonner l'individualisme méthodologique et partir du fait que les individus sont toujours en situation). Ce programme est réalisable et se rapproche du projet scientifique de Weber, "malheureusement souvent très mal lu". Deux traditions hétérodoxes françaises se rapprochent de ce programme : l'école de la régulation et l'école des conventions.

Enfin, pour un bon usage social de l'analyse économique, il faut insister sur deux choses : l'explicitation de mécanismes, la pluralité de l'expertise économique.

Débat. Cl. Lobry indique que la vision proposée de la physique est erronée. En physique, les lois macroscopiques générales ont précédé les lois microscopiques et les unes ne se déduisent pas des autres. On ne peut pas expliquer les grandeurs macroscopiques par les

analyses microscopiques. Et ce qu'on recherche, c'est l'explication des phénomènes, pas la réalisation de calculs. Par quel mécanisme social le primat de l'individualisme méthodologique s'est-il maintenu, alors qu'il s'agit d'une erreur logique fondamentale ?

BW répond que l'on part de l'individu en économie parce que l'individu est ce qui est le plus facilement observable. (Rire d'I. Stengers.)

F. Vatin remarque que ce que préconise G. Raveaud ressemble fort au programme de la sociologie. Ce qui fait que la question doit être formulée de manière plus générale : en sciences sociales, quelle est l'approche la plus adaptée pour comprendre tel phénomène ? La formulation de G. Raveaud en termes de divergences internes au sein de la communauté économique n'a pas d'intérêt au-delà de cette communauté. G. Raveaud répond par une considération : l'œuvre de Keynes est unanimement considérée comme une œuvre économique, mais aucun thésard aujourd'hui n'a lu Keynes, ce qui fait que, dans ce sens, l'œuvre de Keynes ne fait plus partie de la discipline économique. Il préconise une entrée par les objets.

Une auditrice s'interroge sur le besoin des économistes de se référer à la physique. G. Raveaud répond que les économistes sont terrorisés d'être traités de sociologues. BW pose deux questions, l'une sur Friedmann et la limite de sa théorie de l'instrumentalisme, l'autre sur le fait que les économistes prétendent pratiquer un individualisme méthodologique sophistiqué : bouclage entre micro et macro, postulat de l'existence des institutions, postulat que les préférences des acteurs ne sont pas socialement déterminées et qu'elles sont stables à court terme (c'est là, selon BW, la ligne de clivage historique entre économie et sociologie, mais elle est peut-être en voie de disparition). G. Raveaud répond qu'il ne peut pas prouver l'importance du "comme si" dans le raisonnement économique, mais qu'il y croit. Sur le second point, il dit ne pas comprendre pourquoi les économistes s'arc-boutent sur le refus d'accepter que les individus se comportent de manière différente dans des situations différentes. C'est évidemment la faiblesse de l'économie critique, car cela conduit sans doute à changer de boîte à outils pour analyser la formation des prix financiers et la formation des salaires. Mais la non validation du modèle standard dans différents champs d'application pourrait le remettre en cause.

M. Boiteux demande quelle référence G. Raveaud substitue-t-il au modèle d'équilibre général ? G. Raveaud répond que le problème concret soumis par M. Boiteux (déterminer le prix de l'électricité dans une situation initiale où prévaut une variété importante et infondée des prix et des modalités de fixation des prix) entre dans le domaine de validité du modèle d'équilibre général. M. Boiteux préfère l'interpréter comme un modèle limite.

Olivier Favereau. Langages scientifiques et pensée critique. Le cas de la théorie économique. De la quête d'un monde parfait à la recherche d'un monde commun

L'exposé voudrait traiter dans le cadre offert par le langage économique de deux critiques fondamentales adressées à l'économie : ça ne marche pas ; c'est dégueulasse.

Quête d'un monde parfait. La structure mentale des économistes est structurée fondamentalement autour de trois ensemble de notions : les valeurs, la coordination, la rationalité. A partir des années 1930 (Robbins, Hicks), les économistes s'accordent à dire qu'ils n'ont rien à dire sur les objectifs sociaux, mais qu'ils sont très forts sur les moyens. Mais deux séries de considérations relatives aux moyens se développent (coordination après Arrow-Debreu, rationalité après Savage), chacune supposant résolu le problème traité par l'autre. Depuis une trentaine d'années, la théorie des jeux et la théorie des contrats essaient de reformuler les problèmes de coordination en termes d'actions rationnelles des agents, à partir de l'introduction de la notion fondamentale d'asymétrie d'information.

Un mouvement analogue à ce rabattement des problèmes de coordination sur des problèmes de rationalité se produit dans le champ de l'analyse sociologique en termes de reproduction (Bourdieu), avec un rabattement de la question de la reproduction sur la question de la rationalité des agents (via l'habitus).

Difficulté de cette grammaire critique. Les deux langages fonctionnent selon la même grammaire de profondeur. Le couple habitus/reproduction fonctionne comme le couple individu rationnel/coordination. Ces deux courants sont confrontés à la même difficulté qui est de nous faire apercevoir des problèmes qu'ils ne peuvent pas traiter. D'abord, elles

révèlent l'existence de défauts de coordination et de défauts de reproduction. Mais alors il n'est pas soutenable que la rationalité individuelle demeure inchangée si les individus sont confrontés à des événements non conformes à leurs anticipations. Idem pour l'habitus vis-à-vis de défauts de reproduction. Or, les théories considérées ne sont pas en mesure de traiter ces problèmes.

Il en résulte des paradoxes intéressants, notamment sur la dimension éthique refoulée de l'économie.

On peut alors décider de partir à l'inverse du constat (de l'évidence) qu'il y a dans le fonctionnement social des défauts de coordination et des défauts de reproduction.

Il y a en définitive deux conceptions de la pensée critique en économie : la première postule la possibilité de la réduction de la différence entre monde idéal et monde réel ; la deuxième propose de tenter de construire un monde commun à partir des imperfections du monde réel.

Débat. A une question sur les régimes évolutionnairement stables, O. Favereau répond que cette approche (théorie des jeux en économie) souffre de deux lacunes importantes par rapport à l'économie des conventions : l'individu doit être pourvu de capacités d'interprétation et non seulement de calcul ; ses préférences portent non seulement sur des choix individuels, mais aussi sur des choix d'institutions. Sur les liens entre économie et sociologie, O. Favereau recourt à une image qui est la suivante : si l'on s'efforce de développer toutes les conséquences et les conséquences des conséquences... de l'hypothèse de rationalité limitée, on rencontrera en creusant ce tunnel des sociologues, issus de la tradition herméneutique/compréhensive, engagés dans un effort analogue.

I. Stengers note que, si on dote les acteurs de mémoire, tous les théorèmes de stabilité des évolutions. O. Favereau approuve. Puis elle pose une question sur le lien éventuel entre le renouveau de l'économie standard et les travaux récents de philosophie politique et de philosophie du droit (Dworkin, etc.). OF répond qu'il y a en tout cas dialogue fructueux.

G. Raveaud demande s'il n'y aurait pas une affinité plus grande des hétérodoxes à rester à l'université, laissant le champ libre aux orthodoxes pour balader dans le monde leur caisse à outils. OF est d'accord et attribue, pour une part, la puissance des modèles au côté "manuel" des économistes (qui ne sont pas des intellectuels et) qui ont besoin de "manipuler".

F. Vatin interroge OF sur la part descriptive et la part normative de son analyse. Quel est le problème du modèle standard ? Ne rend-il pas compte de la réalité ou est-il pervers ?

OF répond qu'il peut y avoir un bon usage de la théorie standard :

- un usage plus pragmatique (qui conduit de grands économistes à ne pas se fier aveuglément à ce que suggère leur théorie lorsqu'ils débattent de grandes questions sociales) ;

- un usage très précieux qui est que la théorie permet d'identifier des choses qui manquent dans la réalité par rapport à ce que la théorie postule (cette conception a des vertus, mais aussi des limites évidentes : elle dissimule d'autres choses importantes ou "manquantes" dans le monde).

Martine Rémond-Gouilloux.

La précaution consiste, en présence d'un risque grave ou irréversible pour l'environnement, à prendre, dans l'attente d'avoir une certitude scientifique sur ce risque, des dispositions particulières de protection contre ce risque. Le terme prend naissance dans le mouvement de prise en compte de "l'environnement" dans les années 1970. Au début des années 1990, l'intérêt s'est déplacé des *conséquences* des décisions sur l'environnement aux *causes* des dégradations observées, et pour l'essentiel au rapport de l'homme à la technique. Posons nous la question du champ d'application du principe, de sa valeur (la violation du principe est elle sanctionnable ?), de son contenu ?

La précaution est une sous-catégorie de la prévention en situation d'incertitude, et non une affaire de responsabilité. La question de la responsabilité juridique en situation d'incertitude existe depuis toujours, par le biais d'obligations de moyens. Il est intéressant de noter que, pour toute technique, on passe d'une situation juridique initiale d'obligation de moyens (lorsque la technique considérée est porteuse d'une grande incertitude) à une obligation de résultat (lorsque la technique s'affine et que l'incertitude diminue). Il

importe de ne pas banaliser l'usage de la notion, qui n'est pas seulement une attitude prudente face au risque. D'ailleurs, les assureurs, notamment, sont soucieux de ne pas laisse adopter une définition extensive de la notion, car la précaution, en tant qu'elle est au sens propre la "rançon du progrès", est vouée à coûter cher.

Plusieurs éléments permettent de préciser le sens de la notion : il doit y avoir atteinte à l'environnement, au sens de contexte dans lequel nous vivons et qui affecte notre qualité de vie [maintenant ou dans le futur] ; cette atteinte doit être grave ou irréversible ; il doit y avoir soupçon (dans un contexte d'incertitude scientifique).

La valeur du principe s'aperçoit dans le fait que, dans chaque cas d'atteinte grave ou irréversible à l'environnement, quelqu'un, quelque part, savait. L'attention aux informations [alertes] engage la société dans son ensemble. On observe que les citoyens souhaitent avoir leur part dans cette attention particulière aux risques. La démocratie (technique ?) trouve là un nouveau domaine majeur d'exercice. Du point de vue de la décision juridique, la précaution peut être considérée comme un nouveau domaine d'application du droit relatif à la sécurité.

Débat. La précaution n'est un principe que chez nous et n'est inscrite dans la loi qu'en France. En anglais, on parle de *precautionary approach*. J.-P. Galland pense que la pratique de la précaution est en pratique perpendiculaire à la démocratie technique à la Callon, parce que la prise de conscience du risque impose une action rapide peu compatible avec un large débat public. D. Pumain revient sur la remarque de l'intervenante selon laquelle, dans chaque cas de dommage grave ou irréversible, "quelqu'un savait quelque part", remarque qui lui paraît inopérante en situation d'incertitude. MRG répond qu'elle faisait référence à des manques manifestes d'informations importantes. I. Stengers interroge MRG sur la pertinence, dans le débat démocratique, de la frontière entre approche en termes de précaution et approche en termes de développement [durable ?]. Un auditeur s'interroge sur les institutions qui permettraient de débattre des questions scientifiques. A une question sur la pertinence

Jean-Pierre Gaudin

JP Gaudin propose sa lecture de l'ouvrage de Callon, Lascoumes, Barthe, *Agir dans un monde incertain*, ouvrage dans lequel l'accent est mis exclusivement sur l'incertitude scientifique et technique. Le propos de JPG visera à réintroduire la dimension des institutions et du politique dans le débat, et des incertitudes qui caractérisent, aussi, l'exercice du pouvoir. Ces incertitudes sont de quatre ordres principaux :

- incertitude attachée à la perte de confiance politique
- incertitude liée aux dysfonctionnements des machines administratives et politiques (cf. controverse sur le fonctionnement du FBI)
- incertitude résultant des fluctuations financières et économiques
- incertitude liée à l'apparition ou à la disparition d'acteurs politiques (notamment : montée en puissance des villes et pouvoirs locaux par rapport aux Etats, montée en puissance des ONG par rapport aux Etats et aux organisations internationales traditionnelles)

Gérer des incertitudes est le métier politique par excellence. Ce n'est évidemment pas nouveau. Mais cela se pose en termes nouveaux, symbolisés par le vocable de gouvernance (notamment introduit par la Banque mondiale), qui constitue une offre nouvelle de négociation, mais qui s'accompagne d'un contrôle étroit des forums dans lesquels cette gouvernance s'opère.

(i) Offre nouvelle de négociation. La réduction des risques dans l'action politique est une tendance très ancienne. Dans la période moderne (depuis le XVI^{ème} siècle), cette question est traitée dans le cadre des science de gouvernement. L'essor récent de la notion de gouvernance s'alimente à deux sources : l'économie institutionnelle des coûts de transaction et la science administrative (?). Il s'agit de trouver des modalités de coordination plus performantes entre acteurs (question rattachée à la fragmentation croissante des sociétés).

A partir du milieu des années 1990, la Banque mondiale va promouvoir la notion de "bonne gouvernance", désignant par là l'ouverture du système politique à des acteurs nouveaux (ONG représentant des minorités sociales ou culturelles, villes et pouvoirs

locaux en tant que porteurs de projets de développement localisé). L'objectif est de garantir un bon usage de l'aide internationale. Le tout est "monitoré" par divers dispositifs d'évaluation de la gestion effective des projets.

(ii) Contrôle des forums. Les négociations autour de ces projets se tiennent dans des forums, qui soulèvent deux questions :

- comment et par qui est déterminée la composition de ces forums ? quelles sont, notamment, les modalités de "recrutement" des profanes ? Soit on tire au sort, soit on prend les représentants des intérêts organisés. C'est usuel, mais cela pose problème par rapport à la définition habermassienne des groupes concernés par la discussion, à savoir "tous ceux qui sont susceptibles d'être affectés par la décision mise en discussion". En pratique, cela pose deux problèmes dans le cas de l'action de la Banque mondiale : cela contribue à disqualifier ou à affaiblir les acteurs traditionnellement partenaires de la Banque (les Etats) ; cela favorise le clientélisme.

- comment sont construits les protocoles de discussion dans ces forums ? par un processus d'apprentissage socialement déterminé. Prenons l'exemple de la conférence de Monterey, qui a été précédée d'une pré-conférence avec les pays les plus favorables à l'approche *market-oriented* que la Banque souhaite développer. Un autre exemple est fourni par le World Bank Institute, qui diffuse une manière de traiter les problèmes de développement.

On voit qu'il faut réintroduire le politique et le jeu institutionnel dans le traitement de la question des forums hybrides et de la "démocratie technique", en prêtant une attention particulière aux deux questions évoquées ci-dessus et aux médiateurs désignés pour accompagner ces processus (et à leurs intérêts sociaux).

Débat. JP Gaudin souligne l'importance de s'intéresser aux processus de (dé)légitimation associés à la "bonne gouvernance". Par ailleurs, il est d'accord pour reconnaître que les intérêts nationaux des USA et les intérêts des grandes compagnies multinationales doivent être intégrés dans l'analyse. Enfin, il est d'accord avec N Bouleau pour souligner l'importance des mots, des langues, des langages et des référentiels (provenant tous du moule central que constitue la langue anglaise : les notions sont anglophones, les ouvrages de référence sont des ouvrages en anglais...).

Nicolas Bouleau. La modélisation critique

La question est de savoir si, dans une situation de non-savoir, on peut faire confiance à des argumentations au seul motif de leur rationalité/cohérence interne ou si, dans une telle situation, il ne faut pas au contraire rechercher une certaine bio-diversité des idées pour mettre la diversité au service de l'imagination des possibles.

Un premier thème de cette intervention sera de se demander si la linguistique peut aider à la compréhension des modèles. Une première différence notable doit être notée : un principe fondamental de la langue est sa linéarité, alors que les modèles n'ont pas cette caractéristique. Mais une similarité aussi : dans la langue, les sons et le sens n'ont pas de valeur en soi mais seulement par différence avec d'autres sons, d'autres sens. Il en va de même pour les grandeurs mathématiques, physiques, et pour les modèles (?).

Un deuxième thème concerne les termes d'ingénieur qui ont l'apparence de grandeurs scientifiques mais qui n'en ont pas les propriétés d'universalité, n'ont pas été produites par le procédé de purification qui caractérise la démarche scientifique. Une version plus sophistiquée des savoirs d'ingénieurs peut être désignée sous le terme de "sciencettes" : il s'agit d'ensemble de lois approchées dotées d'une cohérence interne. C'est le cas de la résistance des matériaux, de l'optique, de l'économie pure et parfaite, etc. Toutes les lois de ces sciencettes sont fausses, à la fois parce que les phénomènes réels ne s'y conforment pas et parce que l'on ne sait pas comment/dans quel sens on s'en écarte.

Un troisième thème concerne les ornières de pensée. A l'image des projets urbains, les modèles, lorsqu'ils représentent un investissement préalable important, sont très difficiles à remettre en cause dans leurs principes/hypothèses principales. La pensée critique n'est souvent en mesure de modifier qu'à la marge les partis-pris de modélisation. Une question importante porte sur les conditions qui permettent l'émergence de co-vérités, c'est à dire la prise en compte, à propos d'un phénomène donné, de registres alternatifs d'analyse. Cette activité imaginative peut être facilitée si l'on a en tête un ensemble de

dualités caractérisant l'outillage intellectuel : quantitatif/qualitatif ; imagé/symbolique ; etc.

Au terme de ce "petit propos", NB souligne l'importance des laboratoires universitaires dans l'action critique vis-à-vis de la modélisation et dans la construction de contre-modèles.

Débat. I. Stengers pose deux questions, la première "méchante, mais je ne peux pas m'en empêcher", qui est qu'il faudrait une définition des sciencettes qui exclut la théorie de la concurrence parfaite (parce que, note Vatin, la préoccupation de la théorie de la concurrence parfaite n'est pas une plus ou moins bonne adéquation au réel, mais sa cohérence interne) ; et la seconde, que le risque de l'appel à la contre-modélisation réside dans deux au moins de ses implicites : "mettez-vous à notre place" ; "tant que vous n'avez pas de contre-modélisation, taisez-vous !". N. Bouleau objecte qu'il est très frappé que les modèles ne sont jamais contestés au sein de l'université (par exemple, 9500 thèses sur les 10000 soutenues chaque année en France visent à construire des modèles qui ne sont jamais contestés). Plus largement, NB dénonce le conformisme "extrêmement choquant" de la communauté scientifique dont les règles de fonctionnement conduisent à un consensus généralisé. A une question sur la distinction entre grande science et sciencette, NB répond qu'il fait partie des gens qui pensent que la grande science n'est pas menacée : elle est puissante, bien structurée, et met en œuvre une imagination formidable au service de la critique. Elle ne pose pas problème du point de vue de ce qui nous intéresse ici.

. Isabelle Stengers : au delà de l'esprit critique, l'appétit ?

Notre préoccupation commune est d'élaborer de la connaissance véritablement scientifique, au-delà des opinions. L'exposé vise à relativiser cette vision, moderne, au profit d'une vision selon laquelle c'est l'appétit que l'on éprouve pour un problème qui est susceptible d'engendrer de la pensée critique.

Ce qui caractérise l'activité scientifique, c'est que, à la différence des artistes, des humanistes, etc., les scientifiques considèrent qu'ils n'ont pas besoin des autres. Mais si l'on se place dans une perspective galiléenne, le fait que les oiseaux volent nécessite une explication spécifique. S'il n'y avait pas eu d'oiseaux en Europe, on aurait rejeté comme superstitieuse toute affirmation que, quelque part dans le monde, existent des créatures qui volent. En d'autres termes, certains problèmes venant de l'extérieur de la science s'imposent aux scientifiques comme devant être traités. L'exposé porte sur les conditions qui pourraient favoriser ce dialogue entre les scientifiques et "les autres".

Whitehead a réfléchi aux conséquences absurdes de la séparation entre ce qui est scientifique et "le reste". Les sciences modernes sont réputées avoir fondé leur succès sur leur capacité à limiter leurs travaux au "comment" et à exclure le "pourquoi" ; c'est la posture adoptée par Galilée. Mais cette séparation est absurde, car le pourquoi est toujours le pourquoi du comment ; en d'autres termes, quand on a défini le comment auquel on s'intéresse, on a défini, secondairement, le pourquoi associé. Pour Whitehead, la question première qui doit guider la recherche est de savoir (identifier) *ce qui importe*.

Débat. A une question de Kostas, IS répond que la lecture de Whitehead donne la volonté pour, et la confiance dans la possibilité de, dépasser la séparation entre la science et le reste.

N. Bouleau rebondit sur la phrase d'IS sur "l'éducation comme une réflexion sur ce qui est digne d'être transmis" et en dénonce les éventuels travers élitistes. IS répond que ce qui importe surtout, c'est de transmettre de la connaissance vivante.

A l'occasion du débat, IS indique que la fonction actuelle de l'école est de soumettre les esprits à la séparation du pourquoi et du comment, et de les placer dans l'attente de la réponse de la science.

Séance conclusive.

N. Bouleau a réalisé que la question était beaucoup plus complexe et en même temps beaucoup plus intéressante que ce que les organisateurs ne l'avaient pensé au départ. Il serait intéressant de réfléchir à ce qui a manqué.

P. Verneuil souligne la cohérence d'ensemble de la manifestation, au-delà de toutes les divisions possibles. Il trouve qu'ont manqué les thèmes suivants : le rôle des

représentations scientifiques dans la représentation des objets ; la place et l'influence des enjeux et intérêts sur les représentations ; le rôle auto-justificateur de certaines vulgates scientifiques ; la discontinuité entre la problématique de diagnostic et la problématique d'effets.

F. Lehobey aurait aimé et aimerait que l'on torde le cou au principe de précaution et revendique un droit au risque, "le risque des uns s'arrêtant là où commence le risque des autres".

I. Stengers regrette que ce dont Bouleau a plaidé la nécessité, l'importance de la contre-modélisation, n'ait pas été illustré par quelques cas concrets de modélisation/contre-modélisation.

J. Scott-Railton renchérit sur ce point de vue.

F. Vatin regrette que la séance économique ait eu lieu si tard et en cercle restreint, car la question économique a traversé l'ensemble du colloque.

Cl. Lobry indique qu'il y a deux niveaux de questionnement, la question générale des relations entre sciences et société, et la question plus circonscrite de savoir ce que la modélisation et les modèles changent à ces relations entre sciences et société.

J.-P. Galland regrette que l'approche historique n'ait pas été plus présente, et qu'on n'ait pas approfondi davantage la question du passage de modèles implicites à des modèles explicites.

J. Desautels pense, quant à lui, qu'on aurait dû passer davantage de temps à réfléchir entre science et société.

M.X. aurait préféré qu'on ait eu une exposition plus approfondie de démarches critiques, de leurs tenants et aboutissants.

Jean-Claude Pagès déplore, a fortiori compte tenu du thème du colloque, la difficulté d'ordre communicationnel qu'on a eue dans ce colloque à tirer le plus grand parti des compétences de chacun.

T. Porter note que le sous-titre du colloque, "modélisation, décision publique, risque, environnement", aurait dû nous inciter à réfléchir davantage à la nature des liens entre ces différents champs. Recherchait-on des liens substantiels, des liens épistémologiques ?

F. Jovanovic s'est retrouvé en situation de non-expert, ce qui était positif, mais du fait d'une problématisation insuffisamment fine du colloque, il ne retire que des éléments épars de connaissances, mais n'a pas avancé sur l'analyse d'ensemble.

M. Le Guen relie ce colloque à son expérience personnelle, qui est que le boubakisme a exclus des maths tous ceux qui n'avaient pas le niveau d'élite requis. Elle a l'impression que les économistes aujourd'hui enseignent l'économie comme Bourbaki enseignait les maths. Elle aurait aimé qu'on ouvre des pistes pour que l'économie soit enseignée et développée de manière plus ouverte.

J. Hinault n'a pas de critiques à formuler ; il pense avoir ramassé les "miettes d'un festin".

Ch. Bissel veut faire une remarque sur les limites de l'efficacité de la modélisation. On fait des modèles pour changer les choses. xxx

A. Ismail regrette qu'on n'ait pas pu approfondir la critique des modèles économiques et notamment leur contingence des modèles au type de société.

OC répond sur les modèles économique et leur lien avec le fonctionnement social, et sur les pistes de réflexion ouvertes sur ce plan par les discussions lors du colloque.

Mme X. regrette qu'on n'ait pas suffisamment creusé la question de la normativité spécifique du langage scientifique. Elle regrette la trop grande cohérence interne des interventions qui n'a permis d'aborder ni la question du "droit au risque", ni la question spécifique du langage, notamment son caractère ludique.

C. Lobry préfère les utopies qu'il comprend, comme l'utopie de l'économie standard, à celles qu'il ne comprend pas, comme bon nombre d'utopies purement rhétoriques.

K. Chatzis indique qu'il a appris que la modélisation n'est pas seulement difficile pour les profanes, elle l'est aussi pour les experts.

L. Baumstark évoque un problème : il ne comprend pas les critiques qui sont adressées à sa discipline ; il trouve que c'est un dialogue de sourds. Il faudra donc approfondir

M. Larochelle regrette, d'une part, un certain déséquilibre thématique (notamment peu de développements sur l'éducation) et l'improvisation de certaines interventions et, d'autre

part, le fait que les discussions sont restées superficielles et truffées de boîtes noires conceptuelles.

I Stengers constate qu'on n'a pas avancé sur ce qui était peut-être au cœur du colloque, à savoir les réseaux qui se forment pour soutenir tel modèle et qui font que la pensée critique est conduite à se positionner par rapport à ce modèle.

F. Lehouéq mentionne la question de la transparence. La discussion porte alors sur le rôle social des médiateurs et l'institutionnalisation de cette fonction. I. Stengers s'interroge sur la différence entre médiateur, passeur et formateur, dont on aurait dû discuter.