



INDISCIPLINES

La modélisation critique

Nicolas Bouleau

éditions
Quæ

La modélisation critique



La modélisation critique

Nicolas Bouleau



INDISCIPLINES

La collection « Indisciplines » fondée par Jean-Marie Legay dans le cadre de l'association « Natures Sciences Sociétés-Dialogues » est aujourd'hui dirigée par Marie Roué. Dans la même orientation interdisciplinaire que la revue *NSS*, cette collection entend traiter des rapports que, consciemment ou non, les sociétés entretiennent avec leur environnement naturel et transformé à travers des relations directes, des représentations ou des usages. Elle mobilise les sciences de la terre, de la vie, de la société, des ingénieurs et toutes les démarches de recherche, éthique comprise. Elle s'intéresse tout particulièrement aux questions environnementales qui interpellent nos sociétés aujourd'hui, qu'elles soient abordées dans leur globalité ou analysées dans leurs dimensions les plus locales.

Le comité éditorial examinera avec attention toutes les propositions d'auteurs ou de collectifs qui ont adopté une démarche interdisciplinaire pour traiter de la complexité.

Sommaire

Présentation	7
Chapitre 1. La modélisation : une connaissance socialement située	15
Le trafic automobile	18
Le génie des matériaux	20
Un bassin versant	22
La production de connaissances	25
Questions de langage : les sciencettes	31
Références bibliographiques	35
Chapitre 2. Les mathématiques, ressource conceptuelle et syntaxique	37
Le calcul infinitésimal	38
Polysémie, localité de l'intuition	42
Le mathématicien décompilateur	47
Remarques pédagogiques	50
Références bibliographiques	55
Chapitre 3. Le métier de veille du chercheur	57
Popper : un critère devenu norme	58
Sociologie des sciences et excès du sociocentrisme	64
L'engagement critique du scientifique	65
La construction sociale de l'innocence du chercheur	67
Références bibliographiques	72
Chapitre 4. Modélisation de l'économie	75
Le programme de Georgescu-Roegen	75
La doctrine néoclassique	76
La décision décentralisée de Hayek et la modélisation	88
Le concept de modèle-commentaire	91
Références bibliographiques	98

Chapitre 5. Modèles et interprétation	101
Quine et la sous-détermination	101
Hans Jonas et Ulrich Beck : responsabilité et risque	104
Mill et la rationalité externe	107
Connaissance postnormale	112
Références bibliographiques	121
Chapitre 6. La contre-expertise : construction de co-vérités	123
Vers une linguistique des modèles	123
Analogies avec le projet d'architecture	132
Le modèle et ses ornières de pensée	138
La science et la culture	140
Construction de co-vérités	142
Références bibliographiques	154
Conclusion : il y a toujours plusieurs « presque vrais »	157
Références bibliographiques	161
Index thématique	163

Présentation

L'objet principal de ce livre est d'intéresser les jeunes scientifiques, universitaires et ingénieurs, à une activité récente, mais qui joue déjà un rôle déterminant dans la société de plus en plus risquée que la technique instaure : la critique des modèles. Ils seront les seuls – grâce à leur formation – à pouvoir la mener et l'enseigner. Pour ceux, nombreux, qui pratiquent déjà la modélisation, l'ouvrage approfondit les enjeux politiques, sociaux et environnementaux, et plaide pour une démarche imaginative et critique. En effet, devant l'échelle et l'inertie du processus d'élaboration de connaissances scientifiques et de dispositifs techniques, on doit certes se réjouir qu'une pensée critique se maintienne chez les philosophes et les essayistes pour déchiffrer le monde contemporain et proposer des utopies nouvelles, mais on peut sérieusement se demander si le langage ordinaire a encore véritablement prise sur ce qui se passe entre la science et la vie économique, dans cette région immense où se situent tous les enjeux véritables. Pour porter la critique à ce niveau, il est nécessaire de développer la modélisation libre, indépendante et concurrente, et de l'enseigner comme on enseigne aujourd'hui la dissertation.

Le terme de modèle, arrivé dans notre langue à la Renaissance en provenance d'Italie quand celle-ci régnait sur les arts, désignait à cette époque (et désigne encore) la personne qui pose dans l'atelier du peintre ou la maquette d'un élément architectural à réaliser. Originellement, le modèle est ce à quoi il faut se référer pendant la réalisation de l'œuvre. D'où l'idée d'exemplarité qui lui est attachée dans le langage ordinaire : « un modèle du genre », « les petites filles modèles ».

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

Par exemple, la mécanique statistique ayant interprété la pression des gaz, la température et les autres grandeurs thermodynamiques par des propriétés liées au mouvement des particules de matière, leurs chocs, leur énergie, etc., il y avait contradiction apparente entre le caractère réversible des lois de la mécanique et les faits macroscopiques observés. Si on place des gaz différents dans deux compartiments d'un récipient qui communiquent, au bout d'un certain temps les deux gaz se mélangent. Ils ne se séparent plus spontanément pour revenir chacun

dans son compartiment. Le *modèle d'Ehrenfest* est une représentation simple, grossière, d'une situation analogue qui fait apparaître pourquoi il n'y a là aucun paradoxe. Il omet les mouvements et les chocs et se borne à tirer au hasard une particule à chaque unité de temps et à la changer de compartiment. Les calculs sont aisés à mener et montrent que l'irréversibilité macroscopique n'est qu'apparente, le système revient à son état initial, mais après une durée si vertigineusement longue que cela ne se produit pas en pratique. Le modèle montre un monde simplifié, analogue à la situation étudiée, qui donc fait sens par cette ressemblance et éclaire le praticien par l'aisance qu'il a à l'appréhender.

Il s'agit là de l'acception « scientifique » du terme de modèle, l'objet de notre investigation dans cet ouvrage étant beaucoup plus large. Le développement de l'informatique personnelle et de réseaux de forte puissance a fait naître une activité nouvelle, extrêmement importante économiquement et socialement, pratiquée par un grand nombre d'individus et dans des circonstances très variées, qu'on peut appeler *la modélisation*. Il s'agit de modèles évidemment, mais sans qu'on soit nécessairement dans les conditions d'élaboration de connaissances scientifiques. Ces représentations opèrent dans des contextes spécifiques, pour les décisions d'une entreprise ou d'un service ou en tant que moyen de communication sur des sujets précis, à la fois sociaux et techniques, entre intervenants concernés.

Les mathématiques sont toujours présentes dans ces modélisations et leur donnent des insignes de sérieux ainsi qu'un certain hermétisme qui méritent examen. Mais ces mathématiques sont pratiquées par des chimistes, des électroniciens ou des économistes dans le cadre de problèmes où elles sont servantes de savoirs plus signifiants et aux enjeux plus forts. Ce couplage des mathématiques et de l'informatique dans les domaines les plus divers de la technique est un phénomène d'une telle ampleur qu'il modifie les fonctions de la science dans la société. Le métier d'ingénieur – au sens large qu'a ce terme en français – s'en trouve profondément transformé. Dans ces nouvelles pratiques, la notion de modèle prend sa dimension philosophique la plus intéressante car, si le scientifique se sert volontiers de modèles pour faire comprendre ses constructions théoriques, l'ingénieur ne dispose pas, le plus souvent, de théorie de référence qui soit le cadre de son action. Les modèles qu'il élabore l'engagent comme ses propos et ses actes, sans qu'il puisse prendre une distance, comme le scientifique classique qui tente un partage entre immanence sociale et connaissance.

C'est la modélisation, en ce sens, que nous nous proposons d'étudier, tant dans sa nature cognitive que dans ses enjeux sociaux.

Depuis les modèles climatiques jusqu'aux modèles financiers en passant par les modèles d'organisation de la production, certains prennent la posture de tout rejeter en bloc, sous prétexte que cela ne ressemble pas à la méthode enseignée par Auguste Comte. Au contraire, si l'on veille à ne pas les confondre avec la démarche d'objectivation scientifique lente, complexe et collective, il se dégage de ces *outils d'expression* une rationalité différente, plus ouverte, qui peut ouvrir la voie d'une certaine sagesse, tout à fait utile en ces temps perturbés.

Cela suggère aussi un regard différent sur la science. La grande science nous fascine. Beauté de la gravitation newtonienne venant épouser les lois de Kepler, splendeur géniale de la relativité qui, de l'égalité de la masse pesante et de la masse d'inertie, engendre des prédictions vérifiables, harmonie secrète entre la matière et les mathématiques en cette mystérieuse mécanique quantique, voilà des marques d'honneur de l'esprit humain dont nous héritons une légitime fierté. Devant tant de lumière répandue, ne sommes-nous pas quelque peu aveuglés ? Nous avons à revenir aujourd'hui sur des questions moins nobles et plus ordinaires : celle de l'utilité et celle de la nuisance. Deux notions difficiles à définir mais de plus en plus préoccupantes. Il n'y a là aucune évidence aujourd'hui : ni que les connaissances utiles, susceptibles de rendre service à des agents économiques, coïncident avec les connaissances scientifiques, ni que la technique répande les produits de la science en toute innocuité. Le physicien souhaite un anneau de collision encore plus grand pour briser par des énergies jamais atteintes des particules élémentaires en miettes plus ultimes encore. Est-ce utile ? Par leurs conséquences largement inconnues, certaines recherches accroissent davantage les risques et l'ignorance qu'elles ne font progresser le savoir. Comment faire plus de clarté sur cette production permanente ? Le temps n'est plus où les espèces animales étaient classées en nuisibles et utiles : c'était enseigné dans les premiers manuels de l'école publique, les mêmes qui célébraient la science comme évidemment bienfaisante. L'honnêteté aujourd'hui est de reconnaître que les liens entre la production de connaissance et le social sont devenus si complexes que les grilles classiques sont obsolètes. La modélisation, elle, en tant que pratiquée par des acteurs souvent en situation décisionnelle, ne risque pas de tomber sous la critique d'inutilité, c'est la grande force de cette pratique. Or, non seulement la question de la nuisance subsiste, mais le statut de ces connaissances, locales, souvent habillées de symboles de la science, est mal éclairci, ambigu et source de confusion.

DES CONNAISSANCES D'UN TYPE NOUVEAU ?

Si nous portons notre attention sur les connaissances effectivement en usage, on voit se développer de nouvelles pratiques qui ne cèdent en rien à la grande science quant à l'intelligence, la finesse et l'efficacité. Elles sont de nature différente, équivoques parce qu'éventuellement utiles, et peut-être aussi utiles parce qu'ambivalentes.

Des sociologues américains ont tenté de les étudier sous le vocable de *new production of knowledge*¹. Une de leurs caractéristiques serait la présence permanente de la négociation, par l'implication de l'intérêt des divers acteurs et par la transdisciplinarité. On peut aller plus loin et engager, grâce à l'analyse de cas, l'étude sémantique et pragmatique du véhicule langagier de ces connaissances. Il est semi-artificiel : mélange de langue ordinaire et de cette notion clé de *modèle* qui elle-même utilise les sciences comme gisement de matériaux symboliques.

Prenons le trafic automobile, cette question touche directement la vie économique. Pourtant les scientifiques ne s'y intéressent pas. L'observation des

1. Cf. ci-dessous chapitre 1 : « La production de connaissances ».

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

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

Il ne s'agit pas de science parce que le but n'est pas de progresser vers une connaissance plus objective et plus universelle. Au demeurant, les modèles de trafic sont utiles et même indispensables : sans eux, si on se bornait à compter les voitures, on ne pourrait prendre que des décisions banales et grossières. Pour l'acteur, il y a un intérêt à essayer de comprendre, à interpréter, même si la réalité interdit que ceci puisse se faire dans le cadre de procédures hypothético-déductives propres à dégager des vérités objectives.

Mais ne s'agit-il pas tout simplement, sous couvert d'utilité de la connaissance, de se référer davantage sinon exclusivement à l'utilité commerciale ? On sait ce que cela signifie : dans les laboratoires de mécanique, travailler sur les raquettes de tennis, dans ceux d'informatique, concevoir des jeux vidéo, etc. Si tel était le cas, les scientifiques de haut niveau qui sont souvent, encore, des esprits désintéressés, ne se sentiraient jamais concernés par ce mode nouveau de production de connaissances. L'apparente proximité de la modélisation et des enjeux économiques ne doit pas faire croire qu'elle en dépend intrinsèquement plus que la science qui reste en fait toujours conditionnée par les moyens techniques et les crédits privés et publics. Aussi bien le phénomène ambigu de « l'économie de la connaissance » qui introduit des méta-outils économiques comme le *bench marking* et l'analyse coût-bénéfice dans des domaines nouveaux tels que la recherche académique et se traduit par un *classement* (*ranking*) généralisé et la mise en concurrence financière des chercheurs, des enseignants et des étudiants, ainsi que des laboratoires et des établissements

d'enseignement supérieur, sur la base de critères comptables, ce phénomène, donc, ne semble pas corrélé avec le développement de la modélisation².

La modélisation concerne l'utilité pour des décisions collectives. Cela dépasse largement le commercial et touche tous les problèmes d'environnement et de cadre de vie. Prenons le cas important de l'aménagement urbain. Les intervenants suivent des logiques différentes, irréductibles. Il ne s'agit certainement pas de les départager par la science. Elle n'est pas faite pour ça. D'ailleurs le but n'est pas de les départager, aucune vérité ne s'impose ici. Ce qu'il faut, c'est sortir des guerres idéologiques, dépasser les slogans électoraux, prendre en compte des faits mesurés, tenter d'éviter les grosses maladresses. Il y a des modèles à faire, nombreux : ce sont les objets communicants de ces situations complexes ; on n'arrivera pas forcément à une décision, mais on aura pris en compte des éléments plus cachés et plus subtils que si on avait laissé opérer des porte-parole de connaissances scientifiques soi-disant irrévocables.

LA NÉCESSITÉ D'UNE PENSÉE CRITIQUE

Un problème majeur autour de ces nouvelles pratiques est, à notre époque, que la modélisation se fait passer pour science et opère socialement trop souvent ainsi. Beaucoup de mathématiques, de données, de calculs, donc c'est scientifique. Ce piège, d'une efficacité redoutable, fonctionne si remarquablement que cela devient dangereux.

La modélisation brise le partage entre langage scientifique et langage ordinaire, on peut dire son point de vue avec des chiffres, des symboles, des relations, des covariances... En plus des mots, on a des équations pour le dire ! Cela change la force des discours et les voies de la critique.

Au cours des pages qui suivent, nous découvrirons que ce piège a des racines très profondes et il ne sera pas inutile de revenir sur l'épistémologie classique et sur la nature des mathématiques pour en prendre toute la mesure. Nous déboucherons finalement sur le constat que le problème se situe au niveau du langage lui-même. C'est dire s'il est difficile : le langage ordinaire, celui des mots et de la grammaire, est insuffisant pour porter une critique véritable des démarches de modélisation. Seul le langage hybride de la modélisation lui-même peut contrecarrer ces représentations, faire sortir des ornières et aller au-delà des corrections mineures suggérées par les méthodes de validation.

La critique des modèles est possible, essentiellement fondée sur la contre-modélisation ; elle suppose des intellectuels de formation scientifique qui lui attachent la valeur qu'elle mérite.

Dans un monde de plus en plus dominé par la science et la technique, *la modélisation est un langage indispensable pour mettre la critique au niveau des problèmes d'aujourd'hui, ce qui suppose évidemment qu'elle soit pratiquée sous forme de critiques croisées permanentes*. Ce métier n'est pas encore vraiment enseigné. Du moins

2. Veltz P. et Paris Th. (dir.), 2010, *L'économie de la connaissance et ses territoires*, Hermann.

rarement avec cet esprit critique. Dans aucune des quelque deux cents formations d'ingénieur en France, la modélisation concurrente ne s'affiche officiellement en tant que telle à ce jour dans les cursus. Or c'est l'étape clé, psychologiquement indispensable. On n'imaginerait pas que l'enseignement des lettres soit limité à l'étude du style et de la pensée des grands auteurs, les devoirs de composition française et les dissertations consistant exclusivement à faire des pastiches de Victor Hugo, de Madame de Sévigné ou de Platon. Or c'est ce qui se passe dans l'enseignement scientifique. La modélisation est pour les sciences l'équivalent de la dissertation, il n'y a pas de corrigé unique. Faut-il continuer à former exclusivement des spécialistes empreints de certitudes ? Comment enseigner la critique des sciences appliquées et des applications de la science ?

12

Nous formons des petits soldats de la connaissance. Ce sont là sans doute des archétypes masculins très anciens qui restent dominants. N'a-t-on pas plutôt besoin de traducteurs, d'interprètes, de grammairiens des symboles scientifiques, d'artistes concepteurs de représentations, non pour faire prévaloir la vérité, mais pour que les situations collectives complexes se desserrent et enfantent des solutions³ ?

Pour éviter tout effet de système par une recomposition *a posteriori*, notre plan débutera au cœur de la pratique de modélisation par des exemples simples qui déjà posent beaucoup de questions et ouvrent les interrogations qui seront approfondies par la suite. Ainsi sensibilisés, nous reprendrons avec un œil plus attentif les deux extrêmes du processus, à savoir d'une part, les mathématiques qui sont toujours présentes et sur lesquelles un regard approfondi est nécessaire et d'autre part, le rôle social du modélisateur dans sa contribution à la décision collective, ce qui nous amènera à replacer la tendance à mettre la science objective et universelle « de son côté » dans le contexte général d'une survivance tenace de positivisme.

Après ces trois chapitres qui développent des thèmes, disons, assez universitaires en ce sens que les vues qu'ils présentent sont facilement accessibles aux étudiants, il faut faire une place particulière à l'économie qui est tout de suite porteuse d'enjeux beaucoup plus politiques. Un ouvrage ne suffirait pas à aborder, sous l'angle de la modélisation, cette science, sociale, historique, mathématisée, largement installée aujourd'hui comme justification de règles collectives et de relations de pouvoir. Nous donnerons seulement trois coups de projecteurs : l'étude à peine entamée et encore balbutiante des « économies possibles », le dogme néoclassique et son actualité néolibérale et enfin la place épistémologique curieuse, quasi paradoxale, que l'économie réserve aux modèles qui proposent une description du futur.

La modélisation est évidemment concernée par la plupart des thèmes de la philosophie de la connaissance. Au chapitre 5, nous extrayons de ce vaste domaine quelques idées maîtresses formulées aux XIX^e et XX^e siècles autour de penseurs tels que

3. Comme la collection dans laquelle paraît cet ouvrage plaide pour une interdisciplinarité active, ajoutons que la modélisation apporte une ouverture à ce qu'on peut appeler « le problème de l'interdisciplinarité », à savoir que l'interdisciplinarité est le plus souvent pensée à la fois comme fécondité accrue grâce aux relations entre les disciplines et aussi comme réaction à la trop grande fécondité monochromatique du développement interne des disciplines qui, de fait, perdure. La meilleure preuve de ce renouvellement étant que la modélisation a d'ores et déjà un effet en retour considérable sur les disciplines, la plupart se transformant pour y contribuer efficacement.

John Stuart Mill, Willard Van Orman Quine, Hans Jonas, Ulrich Beck et plus récemment Jerome Ravetz et Silvio Funtowicz. Ces thèses, qui firent débat, prennent un relief nouveau par les interrogations que suggère la modélisation.

Le chapitre 6 est la clef de voûte de l'ouvrage. Il entend donner des outils opérationnels de la contre-modélisation, c'est-à-dire installer la critique, comme contribution à la connaissance, au sein même des techniques langagières de la modélisation. Partant du constat très important qu'un modèle élaboré avec soin est très difficile à « défaire », que ses hypothèses implicites, ses non-dits, le sens des mots auxquels il fait appel sans le remettre en cause, représentent une tâche encore plus lourde que la construction du modèle lui-même, la démarche critique réellement féconde est de concevoir un ou plusieurs contre-modèles complètement *ex nihilo*. On débouche alors sur le concept fondamental de co-vérité qui s'éclaire fort bien par des exemples.

Nous concluons par une analyse des fondements et des conséquences de la philosophie pluraliste que sous-tend cette démarche critique.

Chapitre 1

La modélisation : une connaissance socialement située

Nous aborderons la modélisation par des exemples plutôt que de tenter de la définir abstraitement *a priori*. Ces cas particuliers mettront en évidence qu'elle produit des connaissances différentes de celles élaborées par la science¹. Dans ce chapitre 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 préalable indispensable à une réflexion sur les modèles, non pas que les scientifiques fassent cette confusion, ils sont généralement trop sensibles aux précautions méthodologiques, mais l'opinion est encore aujourd'hui marquée par une image ancienne et positiviste de la science qui la rend sensible à des critères de pure forme, notamment par la présence des mathématiques. L'évolution de la physique, reine des sciences au XX^e siècle, le mouvement structuraliste après la seconde guerre mondiale, et aussi une réaction aux idéologies vagues et envahissantes, ont eu tendance à caractériser le « sérieux » par les mathématiques et à surestimer le rôle des sciences mathématisées, y compris dans les problèmes techniques.

Durant la période de l'après-guerre jusqu'à la chute du mur de Berlin, les mathématiques étaient dominées par des références théoriques fortes, soucieuses de l'unité de la discipline. Dans tous les pays avancés, y compris l'URSS et les États-Unis, on accordait le plus grand prestige aux mathématiques pures et à une conception très purifiée des mathématiques appliquées. Le climat qui régnait dans les sociétés savantes et les organismes scientifiques internationaux plaçait, comme une évidence, les travaux abstraits au plus haut degré d'excellence. Il était hors de doute que les constructions théoriques étaient les plus importantes et les plus intéressantes, quel que soit le contexte économique et culturel. Parmi les épisodes révélateurs de cette période hautaine, l'affaire de la « bibliothèque de mathématiques pour le Tiers Monde » est tout à fait typique. En 1982, l'Union mathématique internationale (IMU) annonça un programme, sous l'égide de l'Unesco, « pour aider les pays en développement à démarrer la constitution de bibliothèques en mathématiques pures et appliquées et en informatique, gardant à l'esprit les

1. Nous ne nous lançons pas ici dans une définition *a priori* de ce que le lecteur doit entendre par le terme de *science*. Ce serait illusoire à ce niveau. Disons que le mot est pris ici en son sens « naïf » (comme on dit en logique mathématique), c'est-à-dire tel que les étudiants le comprennent sans qu'ils aient eu à valider un enseignement d'épistémologie.

difficultés financières et le manque de spécialistes de ces disciplines dans ces pays ». Pour ce faire, on demanda à Jean Dieudonné d'élaborer une liste d'ouvrages destinée à être améliorée ensuite par d'autres mathématiciens de renom. Le choix de Jean Dieudonné ne surprendra pas, sa vaste culture était mondialement connue. Il avait été la cheville ouvrière du traité de Bourbaki, dont la gloire n'avait pas encore décliné. Les réactions vives qui se faisaient entendre contre les dégâts des « maths modernes » dans les lycées et collèges n'entamaient pas la renommée de ce groupe de mathématiciens anonymes : les erreurs pédagogiques étaient considérées dans le milieu de la recherche comme le fait d'imitateurs maladroits. La liste proposée par Jean Dieudonné, une centaine de titres en première urgence et trois cents en deuxième urgence, reflète son *Panorama des mathématiques pures* (1977) et n'aborde pas les probabilités, l'analyse numérique ni l'informatique. Elle fut amendée et complétée sur ces points par une vingtaine de mathématiciens européens, américains, russes et japonais. Le résultat² est tout à fait impressionnant par la place prépondérante, quasi exclusive, faite à la haute théorie et aux ouvrages les plus abstraits d'accès difficile. L'esquisse de bibliothèque obtenue est totalement inadaptée aux moyens et aux besoins des pays en développement. Chaque livre cité nécessite une bonne dizaine de manuels plus élémentaires et concrets pour que les étudiants puissent se familiariser avec le domaine. En fait de bibliothèque pour le Tiers Monde, il s'agissait plutôt de ce qu'aurait pu être le fonds initial d'un centre pour les congrès internationaux de mathématiques.

L'erreur est semblable à celle des « maths modernes » qui avait fait des ravages, le mot n'est pas excessif, dans les années 1960 et 1970 : même démarche qui descend de la théorie vers les savoirs opérationnels sans les atteindre, privant les élèves de formation professionnelle sérieuse.

Ces intellectuels, alors que la décolonisation s'achevait, n'ont pas pris la peine d'envisager concrètement ce qui pouvait être utile aux étudiants d'Afrique, d'Amérique latine, du Moyen ou de l'Extrême-Orient. Leur travail, soigneux, est un regard de la communauté mathématique sur sa propre production ; elle propose ce qu'elle considère comme exemplaire.

On peut se demander, néanmoins, si la confusion n'est pas plus profonde. Les mathématiciens qui ont procédé à ces choix ont, en toute conscience, cru bien faire, car le discours scientifique, dans cette période d'après-guerre, était considéré par tous les décideurs comme le seul langage de l'efficacité. Cette ambiguïté, ancienne et tenace, tire son origine des philosophes des Lumières : Diderot, d'Alembert et Condorcet, en réaction aux connaissances révélées et aux croyances surnaturelles, voyaient la science à la fois comme élaboration de connaissances objectives et comme langage de la vérité. Dans ce sillage, Auguste Comte verra la science comme un terrain neutre de description des faits et de leurs enchaînements, qui :

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

2. Publié dans la revue *Mathematics and Development* (ICPAM), 1985, 1986.

combiné du raisonnement et de l'observation leurs lois effectives, c'est-à-dire leur relation invariable de succession et de similitude. (Comte, 1830.)

Mais nous devons noter que, 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 plus généralement un trait de la modernité de considérer que les exigences méthodologiques de la science sont non seulement compatibles avec l'avancée des connaissances, mais sont la condition de leur progrès véritable à l'exclusion de toute 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 à leurs causes efficientes. Ainsi, au cours du XIX^e 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 la vérité et de l'efficacité. C'est encore plus évident pour la branche anglo-saxonne du positivisme impulsée par John Stuart Mill. Au début des années 1980, ce dogme n'est pas vraiment remis en cause, particulièrement en mathématiques, la théorie générale et unifiée est hégémonique et on laisse régner l'opinion qu'il n'y a rien de fécond en dehors d'elle.

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'un langage entre acteurs, partenaires ou adversaires à la recherche de solutions efficaces dans la complexité du jeu social ? C'est cette question, à mon sens, qui nous sépare de la période 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 culture moderne. Pourtant rien ne fait obstacle, d'un point de vue logique, à ce que des connaissances subjectives et locales soient plus utiles et plus efficientes dans certaines conditions que les seules vérités objectives et universelles. Jamais il n'a été avancé, ni par l'économie ni par la sociologie, que les actions les plus pertinentes d'un groupe étaient celles dans lesquelles chacun ne faisait usage que de connaissances scientifiques. Et dès lors que de telles connaissances subjectives, ou disons de portée limitée, peuvent utiliser des mathématiques, celles-ci ne sont plus intrinsèquement modernes, mais participent aux enjeux qu'il faut bien appeler post-modernes, tout simplement en tant qu'éléments linguistiques de représentations sociales vécues et utiles. Pour le montrer, nous prendrons des exemples concrets 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 relèvent pas d'une lecture du monde appréhendée par la grille d'une théorie objective. 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 passionne peu les scientifiques, on laisse en général ce genre d'affaire aux ingénieurs. Pourtant, 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 une activité de première importance et mériterait *a priori* au moins autant de considération que la philologie indo-européenne ou la tectonique des plaques. De quelque façon qu'on le prenne, 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 – que suscite cette question. Serait-ce que les problèmes théoriques sont résolus et que l'état des choses ne relève plus que de décisions politiques ? 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 ? Ces raisons n'ont pas été considérées comme des obstacles en d'autres domaines, comme l'économie par exemple.

18

Voyons les choses plus en détail. Le trafic peut être mesuré par divers capteurs, fils en travers des chaussées, boucles magnétiques, caméras, etc., placés sur certains points du réseau routier pour compter les véhicules ou en estimer la vitesse. Ces mesures sont les faits bruts. 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 irrégulier dont on espère, justement, mettre en avant certaines régularités. Il s'agit d'en trouver une représentation, constituée d'explications compréhensibles par les ingénieurs 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 quatre niveaux :

– *les modèles origine-destination* consistent à partager une agglomération en zones relativement homogènes quant à la 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 importants (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 s'écouler ;

– *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