Nicolas BOULEAU, *Philosophies des mathématiques et de la modélisation : Du chercheur à l'ingénieur* (Paris : L'Harmattan, 1999), 11 × 19,5 cm, 364 p., ill., index.

Giorgio ISRAEL, *La Mathématisation du réel : Essai sur la modélisation mathématique* (Paris : Éd. du Seuil, 1996), 15 × 24 cm, 368 p., 43 fig., bibliogr., index, « Science ouverte ».

« Comme Monsieur Jourdain, les mathématiciens s'adonnent à la modélisation depuis des siècles, sans souvent y reconnaître leur prose. » En ouvrant ainsi le premier tome de la revue *Mathematical modelling*, en 1980, Rutherford Aris et Mischa Penn soulignent qu'à leur avis la nouveauté n'est pas tant l'émergence de pratiques originales qu'une prise de conscience : celle d'un groupe de scientifiques désireux d'encadrer institutionnellement l'explosion d'une certaine forme de mathématisation touchant à un grand nombre de domaines des sciences et des techniques.

Nicolas Bouleau et Giorgio Israel ne partagent pas cet avis. Certes, ils ne nient pas la popularité récente de la modélisation. Dans leurs ouvrages respectifs, ils montrent cependant avec justesse qu'il est utile de distinguer, parmi l'ensemble des processus de mathématisation possibles, les formes apparues et mises en œuvre au cours du siècle passé et qu'on appelle la modélisation mathématique. Selon Israel, cette dernière se distingue par deux aspects cruciaux : le renoncement au rêve d'une image unifiée de la science et la substitution de l' « analogie mathématique » à l'analogie mécanique comme procédé fondamental de construction des modèles. Selon Bouleau, la « révolution de la modélisation » conduit à réviser la conception même des mathématiques dans leur ensemble.

Depuis quelques dizaines d'années, c'est avec la régularité du pendule que la question des modèles revient hanter les scientifiques, les philosophes et, plus récemment, les historiens des sciences. Qu'est-ce qui caractérise cet ensemble de pratiques qu'on groupe sous le vocable de modélisation mathématique ? Et d'où viennent-elles ? Pour approcher ce problème, Bouleau et Israel nous convient tous deux à un genre de flânerie historique et philosophique dans les mathématiques et les mathématisations des trois ou quatre derniers siècles. Dans les deux cas, l'effort de vulgarisation est remarquable sans pour autant que soient dénaturés les travaux présentés.

Ce qui frappe, à la lecture parallèle de ces deux ouvrages, ce sont plutôt les vastes champs tant disciplinaires qu'historiques qu'il est, selon eux, nécessaire de parcourir avant de parvenir aux conclusions. Ainsi, Bouleau guide le lecteur au travers d'un long parcours jonché d'embûches : un survol de l'histoire des crises des fondements en mathématiques dans la première moitié du XX^{e} siècle, un retour sur les grands mouvements épistémologiques entre cette époque et aujourd'hui, des illustrations tirées des développements récents des mathématiques et de leur implication dans de nombreuses activités. On passe avec bonheur des problèmes de notation des chorégraphies à ceux liés à la modélisation des changements climatiques. Plus historien, Israel nous aura esquissé, à grands traits, l'histoire des mathématisations de Galilée à René Thom en s'arrêtant sur le moment charnière de son histoire, l'entre-deux-guerres, qui voit fleurir les modèles de populations de Vito Volterra et d'Alfred J. Lotka et le modèle du cœur de Balthazar Van der Pol. D'évidence, nous sommes en présence d'un objet dont l'histoire ne se serait pas encore sédimentée. Même chez un auteur donné, nulle approche particulière n'arrive véritablement à s'imposer en tant que version canonique.

Plutôt que de suivre Israel et Bouleau, tentons une autre approche : celle qui consiste à suivre l'évolution historique du mot « modèle ». Cet exercice a l'intérêt de faire apparaître deux partis pris qui, à mon avis, caractérisent la démarche de ces deux ouvrages : l'impérialisme mathématique et le désintérêt vis-à-vis du social. Dans l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, un modèle est simplement « tout ce qu'on regarde comme original, et dont on se propose d'exécuter la copie ». De la fin du XIX^{e} siècle à nos jours, la particularité principale du mot est d'être à la fois un mot du langage courant utilisé presque par inadvertance et un terme clé de la philosophie des sciences.

En physique, l'élaboration de modèles abstraits sensés illustrer les lois de l'électromagnétisme sur des bases mécaniques devient, à la suite de James C. Maxwell, une spécialité britannique. En adoptant ces pratiques, Ludwig Boltzmann s'oppose à la plupart de ses collègues allemands qui préfèrent les équations de Maxwell à ces modèles alambiqués. Se servant également de « modèles », en particulier les modèles atomiques, les physiciens quantiques chercheront avant tout à imiter les développements de l'électromagnétisme et à éliminer les modèles représentationnels par des théories dites fondamentales. Les mathématiciens, quant à eux, n'utilisent le mot de modèle que pour désigner les constructions de bois, de carton ou de plâtre qui leur servent à illustrer et à rendre plus intuitives les entités abstraites qu'ils manipulent. Les illustrations des géométries non euclidiennes proposées en 1868 par Eugenio

Beltrami et plus tard par Félix Klein et Henri Poincaré ne sont appelées « modèles » que lorsqu'elles sont réalisées physiquement. Après la première guerre mondiale, cependant, cette pratique est moins à la mode et la compréhension axiomatique et structurale des théories mathématiques devient autosuffisante. Les géomètres algébristes italiens commencent à parler de modèles non concrets. Puis, en 1925, John von Neumann construit plusieurs « modèles » arithmétiques d'une théorie des ensembles dont il vient d'énumérer les axiomes. Comme dans le cas de Beltrami, le modèle est la réalisation d'une théorie dans le cadre d'une autre théorie. C'est la première fois que le mot est employé dans ce sens formalisé plus tard par Alfred Tarski (dans le cadre de la théorie des modèles) et adopté par Rudolf Carnap et le Cercle de Vienne comme base de la théorie syntactique des sciences.

La notion de modèle en mathématiques n'étant pas étrangère aux crises des fondements, le long détour que fait Bouleau aux frontières de la logique, s'il n'est guère original, reste pertinent. Dans les années 1920 et 1930, nous dit Israel, apparaît une nouvelle forme de modélisation. Son paradigme est le modèle de Van der Pol. On a du mal à comprendre, chez ce grand historien de l'économétrie, l'oubli dans lequel il semble confiner les travaux de Jan Tinbergen, concitoyen de Van der Pol, sur les modèles économiques. D'autant que l'approche de Van der Pol suscite des émules en économie, notamment Philippe Le Corbeiller et les frères Georges et Édouard Guillaume. À la lecture de l'ouvrage de ces derniers, *Sur les fondements de l'économique rationnelle,* von Neumann exprime son scepticisme :

> « *I think that the basic intention of the authors, to analyze the economic world, by constructing an analogical fictitious « model », which is sufficiently simplified so as to allow an absolutely mathematical treatment, is—although not new—sound, and in the spirit of exact science. I do not think, however, that the authors have a sufficient amount of mathematical routine and technique to carry this program out* (1). »

Douze ans plus tard, il pense avoir les mathématiques nécessaires et publie son ouvrage sur la théorie des jeux avec Oskar Morgenstern. Dans ce livre célèbre, les diverses acceptions de l'expression « modèle mathématique » se rejoignent pour la première fois. Si l'histoire de la modélisation doit bien sûr donner une large place aux mathématiques, celle du mot « modèle » donne donc à voir une situation plus mitigée où chaque utilisation se fait dans un contexte disciplinaire. En considérant chacune d'elles comme une conquête supplémentaire, l'impérialisme mathématique gomme les apports spécifiques de ces diverses sciences. C'est une histoire des modèles franchement interdisciplinaire qui reste à inventer.

Plus sérieux est, à mon avis, le second parti pris qui émerge de ces discussions, le désintérêt vis-à-vis du social. Si, dans les années 1930, l'apparition du mot « modèle » dans un domaine scientifique se faisait avec force guillemets et précautions oratoires, et souvent dans le cadre de controverses, après guerre il apparaît souvent naturellement, au détour d'une phrase. L'expérience

(1) Lettre à Abraham Flexner, citée par Robert Leonard, in *Journal of economic literature,* 33 (1995), 737.

de la mobilisation militaire pendant la seconde guerre mondiale et la guerre froide, la recherche opérationnelle et la cybernétique, de même que l'apparition de l'ordinateur, généralisent des changements d'attitude face à la prévision, au contrôle et à la conceptualisation des problèmes complexes.

Pourtant, Bouleau et Israel ont peu à dire sur ces sujets. Porté vers les questions philosophiques, ce dernier ne s'intéresse pas aux mouvements de masse et se contente de repérer les innovations conceptuelles. Son ouvrage reste tiraillé par la « contradiction fondamentale de la science actuelle » sur laquelle il le clôt. Il n'y a que deux issues possibles, explique-t-il : soit on continue à croire en la science objective et réductionniste, soit on accepte « la dispersion, la multiplicité » et la notion selon laquelle la science ne serait qu'un des langages pour décrire le monde. « Cette seconde voie peut-elle être vraiment empruntée ? » Alors qu'Israel s'abstient de répondre à la question qu'il soulève, Bouleau, lui, s'engage sur cette deuxième voie. La modélisation, écrit-il, est « un récit fait de matériaux plus élaborés que les mots, soumis aux mêmes risques de tricherie, de contagion, de conclusions partisanes que tout discours utile au sujet qui l'énonce ». Alors que Bouleau insiste sur l'insertion sociale du modélisateur, son propre récit laisse peu de place au social. C'est en cela qu'il est, en fin de compte, l'exact opposé de celui d'Aris et Penn.

En dépit de ces réserves, somme toute mineures, Bouleau et Israel ont réussi l'exploit de donner une vision vivante des pratiques de modélisation passées et contemporaines. Ils soulèvent les questions que chacun, qu'il soit modélisateur lui-même ou pas, aura à se poser. En insistant sur la polysémie des mathématiques « post-modernes » et ses conséquences sur la pratique de la modélisation et l'enseignement, Bouleau montre à quel point une nouvelle philosophie des mathématiques est aujourd'hui nécessaire.