

Mathématiques et sciences de la nature : la singularité physique du vivant

Francis Bailly, Giuseppe Longo
Hermann, 2006, IX + 284 p.

Francis Bailly et Giuseppe Longo sont tous deux chercheurs au CNRS ; le premier est physicien, le second, logicien et mathématicien. Leur ouvrage se compose d'un avant-propos, de sept chapitres, d'un appendice et d'une bibliographie. L'avant-propos ainsi qu'une grande partie des chapitres ont été écrits à deux. Certains chapitres du début de l'ouvrage, posant le problème et justifiant la rencontre des deux chercheurs autour de problématiques communes, ont été signés soit par l'un, soit par l'autre. Quelques chapitres, enfin, sont des reprises remaniées d'articles parus dans des revues ou des actes de colloques.

Disons-le tout net : ce livre nous propose un grand bol d'air et des perspectives inédites ! À celui qui le feuillette rapidement, il peut apparaître comme un ouvrage de biologie théorique. En réalité, les thèmes abordés concernent tout aussi directement les modélisateurs en sciences de la vie, en sciences de l'environnement ou des anthroposystèmes. Et on aurait tort de laisser passer cet ouvrage à côté des débats qui animent les colonnes de *Natures Sciences Sociétés*. Sa densité et parfois sa technicité mathématique pourraient cependant rebuter. Sans prétendre épuiser sa richesse, ce compte rendu s'organisera en quatre points qui ne suivront pas exactement le cours des chapitres.

Premier point : la question centrale. Les auteurs se situent dans le cadre d'une réflexion technique et épistémologique sur le rapport entre biologie et mathématiques. La question est celle-ci : Comment se fait-il que le rapport entre mathématiques et physique soit organique, alors que la biologie mathématisée reste encore balbutiante et prend seulement la forme de modélisations ou même de simulations informatiques plus que de constructions inséparablement conceptuelles et mathématiques ? Tout en plaidant pour une innovation mathématique en direction de la biologie, cet ouvrage donne des outils précis pour comprendre tout l'apport, mais aussi certaines des limites, des modèles assistés par ordinateur, plus précisément par l'ordinateur tel qu'il est conçu, construit et utilisé aujourd'hui.

Deuxième point : la méthode. Les concepts de temps et d'espace pris en compte par nos mathématiques ont été conçus à partir d'un enracinement dans des problèmes propres aux sciences physiques. Il n'est pas étonnant qu'il faille les réviser : l'approche méthodologique des auteurs consiste en une révision critique à la fois historique et généalogique des concepts mathématiques. Ainsi, d'un point de vue pris à la racine, l'informatique devient une manière de voir (et de contraindre) les mathématiques,

dont l'origine est dans les philosophies logicistes du début du XX^e siècle.

Troisième point : quelques étapes de raisonnements et quelques résultats. L'approche logiciste postule en effet, dès le départ, que les mathématiques n'ont pas de genèse psychologico-historique. Mais les auteurs soutiennent qu'elles sont une construction à trois dimensions conceptuelles : (1) elles mettent en scène l'implication logique « si... alors » ; (2) elles mettent en œuvre des calculs formels mécanisables ; (3) mais aussi elles déploient des « constructions (dans et) de l'espace et du temps à partir de certaines *Gestalt* minimales », (p. 23). Les auteurs se rapprochent des thèses du mathématicien Gilles Châtelet, pour lequel une grande partie des mathématiques ressortit à une genèse par « gestes ». C'est un sujet cognitif organiquement et culturellement situé qui opère ces gestes et, par ces gestes, dessine les structures qui résultent de l'interaction située entre ce sujet et le monde. D'où se comprend bien mieux l'entrelacs originaire entre concepts physiques et concepts mathématiques, et la persistante prévalence des mathématiques pour la physique. Par exemple, l'axiomatique d'Euclide résume les gestes minimaux indispensables au géomètre, avec sa règle et son compas. Aujourd'hui, ce sont les notions de symétrie ou de brisures de symétrie qui jouent le rôle analogue à ces gestes fondateurs érigés ensuite, mais ensuite seulement, en principes formels. Il se confirme par là l'opposition forte proposée dès le début entre principes de construction et principes de preuve. Pour Longo, les théorèmes d'incomplétude en mathématiques ne montrent rien d'autre que l'impossibilité de réduire les premiers aux seconds.

Il nous paraît instructif de voir quand les auteurs ressentent alors le besoin d'introduire l'expression « modélisation mathématique ». C'est le cas, par exemple, lorsqu'intervient une décision de passage à un infini actuel dans une représentation mathématique d'un phénomène physique qui s'est révélé avoir un comportement qualitativement différent de ceux qu'une approche mathématique discrétisée, finitaire et approximée pouvait jusque-là représenter. Ainsi en est-il de la modélisation mathématique des phénomènes critiques en physique (changement de phases...) : ce n'est qu'au passage à l'infini actuel que la fonction classiquement analytique devient non-analytique et permet de représenter les comportements critiques. Il y a donc modélisation quand il y a ce type de saut conjoint et de décision. C'est une décision pour une rupture axiomatique, en l'occurrence ici en faveur de l'infini actuel et du continu. On peut, selon nous, apparenter cette décision mathématique à la décision pour la complexité chez Le-gay : dans cette succession des formalismes, est assumée une rupture de continuité entre les types formels et, par là, entre les analogies qui inspirent le modélisateur. L'assomption de telles ruptures de continuité est en un sens constitutive de l'approche modélisante. Mais les concepts

mathématiques sont bien souvent eux-mêmes les fruits de telles décisions audacieuses de passage à la limite.

Selon les auteurs, la tendance actuelle à l'informatisation des modèles pourrait bien être un enfermement dans un type particulier de mathématiques (celui où l'on décide de confondre principe de construction et principe de preuve), celui des machines de Turing, où la déterminabilité des systèmes modélisés est liée à leur reproductibilité mécanique à l'identique et pas à pas. Ils rappellent qu'on ne peut se contenter de simuler par ordinateur, la machine de Turing n'étant qu'une machine laplacienne (déterministe-mécaniste) incapable de modéliser, par exemple, le véritable aléa à l'œuvre dans le vivant, et servant seulement à simuler des performances, non à tester des scénarios véritablement causaux et explicatifs.

Là-dessus, nous avons eu l'occasion d'émettre des réserves auprès des auteurs : on risque de confondre la critique de l'ordinateur au niveau des principes avec une critique qui pourrait s'étendre au niveau des usages. Il nous semble que les usages actuels des ordinateurs vont au-delà d'une généralisation d'un type de formalisation à la Turing. Sans être une panacée, puisque restant des outils, les ordinateurs font beaucoup (1) pour libérer la créativité mathématique et (2) pour élargir le vivier des mathématiques applicables aux systèmes complexes. L'informatisation des modèles ne peut donc être uniquement attribuée à un gréganisme ou un utilitarisme étroit de la communauté des modélisateurs. Il y a même un risque d'en rester précisément à une lecture logiciste (faisant fi des niveaux sémantiques et de l'apport des différents langages informatiques) si l'on dit que toute simulation ou tout traitement informatique de modèle ressortit nécessairement à une conception laplacienne des modèles. Le choix de discrétiser peut être ainsi une stratégie de calcul de modèle mathématique infinitaire où une décision d'interprétation d'un type de mathématique par un autre est considérée comme recevable pour des raisons elles-mêmes mathématiques (théorème de convergence, etc.), raisons qui échappent certes à l'ordinateur, mais dont les conséquences ne peuvent être tirées que par l'ordinateur. Ici, il y a donc probablement des allers et retours plus riches entre informatique et modèles mathématiques. Des éléments pragmatiques mais aussi de croisement à un niveau sémantique (cocalculabilité de modèles) sont à prendre en compte.

Quatrième point : perspectives ouvertes. Cette réserve ponctuelle mise à part, l'ouvrage reste décisif et passionnant en ce que les auteurs y ouvrent le vaste chantier d'une reprise des concepts de temps, d'espace, de dynamique causale, de localité (versus globalité), de manière à les adapter à des problématiques propres au vivant. Il s'agit de promouvoir, in fine, l'idée que le vivant n'échappe pas aux lois physiques, mais peut être considéré comme un type particulier de système critique : une « situation critique étendue », c'est-à-dire un système en devenir, loin

de l'équilibre, où se maintient une tension permanente entre le local et le global, avec constitution de niveaux d'organisation correspondant à des contraintes de dissipation (structures dissipatives) et ne cessant pourtant de se former et de se reformer comme un tout à la fois dans l'espace et le temps. Faisant écho aux recherches théoriques des modélisateurs de systèmes complexes, il s'agit donc de travailler, dès leur genèse, les méthodes de théorisation physico-mathématique pour y déceler les décisions conceptuelles qui pourraient être prises pour adapter les mathématiques au vivant. Avant d'espérer construire un réductionnisme qu'on pourrait dire « élargi », les auteurs – plus prudents – aspirent d'abord à élaborer des passerelles solides entre concepts biologiques et concepts mathématiquement constructibles. Par là, le lecteur découvre une biologie théorique plus consciente de ses propres limites, mais aussi des possibilités à venir des mathématiques, une biologie théorique qui se renouvelle et dialogue à un autre niveau avec les modélisateurs.

Franck Varenne

(Université de Rouen, GEMAS, France)

Franck.Varenne@univ-rouen.fr

La Médecine et les sciences, XIX-XX^e siècles

Jean-Paul Gaudillière

La Découverte, 2006, 128 p.

Le vieillissement de la population atteste, dans les pays développés, des progrès de la prévention, du diagnostic précoce et de l'efficacité des thérapies médicales et chirurgicales. Pourtant, jamais la santé n'a été autant mise en question : privatisation des systèmes de soins, ajustement de la prévention aux populations à risque, responsabilisation des patients, bataille des brevets, rapport bénéfice/risque, biomédicalisation de la société, autant de sujets qui alimentent des débats souvent violents et conflictuels. Mais, dans notre civilisation du zapping, l'intensité de la violence de ceux qui s'affrontent se mesure plus à l'aune de leur volonté de pouvoir ou de leur ignorance que de leur compétence.

Pour comprendre pourquoi la médecine subit aujourd'hui cette mutation profonde et pourquoi l'utilisation actuelle et future des biotechnologies paraît si inquiétante, il convient d'abord d'analyser le chemin parcouru. L'évolution de la médecine et des sciences aux XIX^e et XX^e siècles peut fournir aux acteurs de demain le discernement nécessaire pour construire une politique de santé financièrement raisonnable et néanmoins équitable pour l'ensemble de la population.

Le livre de Jean-Paul Gaudillière répond à cette exigence. Avec une extrême lucidité, l'auteur analyse l'histoire de la médecine au cours des deux derniers siècles en dénouant les fils qui lient le savoir à la santé des populations, l'épidémiologie à la biopolitique, les métamorphoses de la santé publique à l'industrialisation du