

Forum

Commentaire

La modélisation et la simulation des objets et processus complexes. Questions scientifiques, méthodologiques et éthiques

Alain Pavé

Biométricien, CNRS, programme Amazonie, Analyse, modélisation et ingénierie des systèmes amazoniens, 16 avenue André Aron, 97300 Cayenne, Guyane

L'article d'Étienne *et al.* sur la « modélisation d'accompagnement »¹ pose un intéressant problème sous l'angle d'une « charte », qu'on pourrait qualifier de « bonne conduite » en matière de modélisation. Certains peuvent s'étonner de ce type de position. En effet, modèles et modélisation sont entrés depuis bien longtemps dans la pratique scientifique et technique. Alors pourquoi se poser une telle question ? En fait, la réponse se trouve d'une part dans la nature des objets modélisés, et d'autre part dans l'évolution du statut de la modélisation et du modélisateur.

La nature des objets et des processus modélisés

Il est communément admis que physique et mathématiques ont coévolué jusqu'au début du XX^e siècle et, même si les mathématiques ont pris une large autonomie, les ponts sont encore solides entre les deux disciplines. Si bien que la plupart des modèles pour la physique sont des objets mathématiques sur lesquels on sait dire beaucoup de choses et qui peuvent donner lieu à des calculs numériques.

Mais la situation a progressivement changé lorsque l'on s'est intéressé à des objets et processus qu'on qualifie maintenant de « complexes » au sens premier du terme. Il s'agit d'objets composites, constitués d'entités nombreuses reliées entre elles, et qui évoluent sous l'influence de processus internes à ces entités, attachés aux relations

Auteur correspondant : alain.pave@cnrs-dir.fr

¹ Voir dans ce numéro l'article collectif « La modélisation comme outil d'accompagnement ».

entre ces entités ou gouvernant les échanges avec l'extérieur. Ce qui justifie que l'on parle à leur propos de « système ». Les processus sont généralement non-linéaires, c'est-à-dire que les effets ne sont pas proportionnels aux causes.

Les premiers objets modélisés dans leur complexité sont technologiques et biologiques. D'ailleurs, le paradigme biologique est à l'origine du concept de système largement repris ensuite par les sciences de l'ingénieur. Par exemple, la cybernétique créée par N. Wiener², fin des années 1940, en constitue la principale origine. À la même période, la première formulation réellement scientifique de la complexité est énoncée par W. Weaver³. Et, fin des années 1960, von Bertalanffy propose une théorie générale des systèmes⁴.

Les problèmes méthodologiques : le statut de la modélisation

Mais tout au long de cette histoire, le champ social est peu exploré, hormis l'économie et la démographie, et encore à une échelle macroscopique, tout simplement parce qu'on éprouvait des difficultés à représenter de façon un peu élaborée les comportements des individus constituant un « système social ».

² Wiener, N., 1947. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge (Mass.), The MIT Press (nombreuses rééditions).

³ Weaver, W., 1948. Science and Complexity, *American Scientist*, 36, 536-544.

⁴ Von Bertalanffy, L., 1968. *General System Theory*, New York, George Braziller Inc.

Pendant toute cette période, les modèles restent encore largement mathématiques, et l'on utilise le calcul numérique pour obtenir des valeurs qui peuvent être comparées à des données expérimentales. C'est l'impressionnant développement de la simulation qui permet en même temps d'obtenir des solutions numériques d'équations dont on ne connaît pas de forme explicite. Le nombre règne. Les comparaisons sont quantifiées. Cette quantification permet de juger de la validité du modèle et des simulations. C'est lors de ces travaux qu'apparaît la nécessité de bien distinguer les phases de modélisation et de simulation. Un bon modèle, mal simulé, peut donner des résultats faux. Cependant, l'analyse numérique, déjà bien développée, permet de concevoir des algorithmes efficaces et de poser des garde-fous.

Enfin, dans les années 1980 et 1990, on commence à envisager d'autres formalismes de modélisation que mathématiques. L'informatique sort de son rôle de calculateur numérique pour jouer une nouvelle pièce dans le théâtre de la modélisation, avec l'émergence de l'intelligence artificielle qui va introduire ces nouvelles approches. Certes, l'objectif des machines « intelligentes » de cinquième génération n'a pas été atteint, mais le projet a eu des effets collatéraux importants et... positifs. Notamment, celui de fournir des outils nouveaux avec lesquels on peut aborder des problèmes laissés dans les coulisses. C'est particulièrement vrai pour ceux dans lesquels le comportement des individus joue un rôle essentiel ou lorsque les logiques sont nombreuses et plurielles, ou encore lorsqu'on doit associer des modèles différents d'objets de diverses natures. C'est un progrès dans les modes de représentation. C'est une révolution dans les méthodes de programmation et donc dans l'architecture des logiciels.

C'est, par exemple, le cas dans les problèmes de gestion de ressources naturelles renouvelables où jouent des dynamiques biologiques, comme des dynamiques de populations végétales et animales, des processus géophysicochimiques, comme des précipitations, et des acteurs utilisant ces ressources. Simultanément, le développement du graphisme permet d'appréhender l'espace géographique et de plonger ces dynamiques dans cet espace. Pendant longtemps, les ressources ont été représentées par des compartiments, maintenant il devient possible de les spatialiser ainsi que les processus qui les font évoluer.

Ces nouvelles approches permettent donc d'envisager des classes de problèmes nouveaux; mais, inversement, on perd dans la précision et la fiabilité des résultats. La validation est plus difficile, voire impossible, par des comparaisons numériques classiques. La simulation elle-même est plus délicate; les performances des simulateurs deviennent difficiles à tester. On est obligé de recourir à des faisceaux de « preuves » où la notion de preuve est elle-même affaiblie. Ainsi, pour évaluer un simulateur,

on peut simuler la dynamique d'un système dont on connaît par ailleurs les propriétés. Par exemple, en utilisant une technique multi-agents, on peut modéliser un système prédateur-proie formel, décrit par un système différentiel, dont on connaît précisément les hypothèses et les propriétés, et par là même tester le simulateur.

Le modèle est un objet précieux pour l'acquisition des connaissances, mais aussi pour le dialogue entre scientifiques. Il peut même être un trait d'union entre disciplines⁵. Dans l'activité de recherche, pouvoir le mettre en défaut, pouvoir le réfuter, soit par l'expérience, soit pas les observations est son intérêt premier. C'est lorsqu'il « ne marche pas » qu'on acquiert de la connaissance. Alors, il est loisible de le modifier et de vérifier que la modification est à nouveau en adéquation avec les données. Ainsi se met en place la boucle vertueuse, maintenant bien connue, associant expérimentation ou observation, modélisation et simulation qui permet d'avancer dans le processus d'acquisition des connaissances.

Le modèle est aussi un instrument opérationnel de conception, de contrôle, de prévision et maintenant d'aide à la gestion et à la décision. D'où un certain risque dans son emploi sur le plan éthique. « C'est mathématique », dit le profane, aussi une confiance exagérée lui est-elle quelquefois accordée. Il y a donc lieu, lorsque les procédures de validation n'existent pas, d'être très prudent dans l'interprétation des résultats des simulations. Dans les applications, qu'on peut qualifier de « classiques », on tente de stabiliser le modèle dans un état stable opérationnel. Par exemple, lorsqu'on construit simultanément un modèle de contrôle d'un procédé technologique et le procédé lui-même, on peut espérer, pour assurer une marche normale, que le modèle soit stabilisé.

Dans des champs de connaissance où la modélisation est moins avancée ou si la situation est trop complexe, le modèle est moins sûr. On peut même être conduit à le modifier au cours de l'utilisation opérationnelle. C'est le cas de la « modélisation d'accompagnement », dont il est question ici, qui intervient notamment dans les processus de négociation sociale. Alors, comme le proposent les signataires de la charte, il ne faut pas hésiter à faire évoluer le modèle constamment quand la situation l'exige. Le modèle n'est donc jamais à proprement parler dans un état stable. Il n'est donc jamais validé, mais ce n'est pas la question : son rôle n'est plus normatif. C'est un médiateur dans le dialogue social qui permet d'explorer un champ de possibles. Par exemple, de voir comment

⁵ Schmidt-Lainé, C., Pavé, A., 11 janvier 1999. La modélisation comme trait d'union, *Le Figaro*, actualité scientifique. On pourra aussi consulter l'article que nous avons écrit pour *Natures Sciences Sociétés* : Schmidt-Lainé, C., Pavé, A., 2002. Environnement : modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire, *Sciences pour l'ingénierie de l'environnement*, *Natures Sciences Sociétés*, 10, suppl. 1, 5-25.

des modifications de règles techniques, économiques et sociales de gestion de l'eau peuvent jouer sur l'accès à cette ressource pour certains agriculteurs. Ce peut être un instrument de démocratie en montrant à tous ce que certains initiés ont pu pressentir avant.

Ainsi, le statut du modèle évolue. Cependant, on ne peut nier que certains problèmes peuvent se poser en cas de mauvaise utilisation. Comme tout professionnel et en particulier en tant que scientifique, le modélisateur doit respecter des règles déontologiques en précisant notamment le champ et les limites d'utilisation, en précisant aussi les hypothèses qui ont présidé à l'élaboration

de son modèle. Il ne faut pas se cacher que ce peut être un outil de pouvoir, et certains peuvent être tentés d'en abuser. C'est aussi un objet qui peut devenir commercial ; la tendance mercantiliste peut conduire à trop vouloir lui demander. Il existe au moins des soupçons de tels dérapages, par exemple pour des calculs d'indicateurs de « performances environnementales » à destination des entreprises.

Il est donc rassurant de voir les précautions prises par des groupes de chercheurs, élaborant et utilisant des modèles, notamment dans le domaine social, qui soient soucieux d'une bonne pratique.