



Avant-propos

DE MANIÈRE SPECTACULAIRE, l'actuel tournant computationnel des sciences et des techniques conduit à l'essor, à la diversification et à la multiplication des pratiques de modélisation et de simulation. Le recours traditionnel aux modèles expérimentaux, en particulier aux expériences sur organismes modèles ou sur modèles physiques analogiques n'est bien sûr pas abandonné. La pratique des expériences de pensée, elle aussi traditionnelle, ne disparaît pas non plus. Elle est souvent secondée par des pratiques de simulation, pratiques que l'on a d'ailleurs souvent comparées depuis à des expériences de pensée. Mais il est un fait que tous ces types traditionnels de modélisation sont aujourd'hui doublés ou redoublés vigoureusement par des techniques de modélisation et de simulation systématiques fondées sur des modèles de nature aussi bien mathématique, logique qu'informatique. Le recours croissant à l'ordinateur, d'abord pour la résolution numérique de modèles mathématiques puis pour la modélisation computationnelle proprement dite, a rendu accessibles au calcul des pans entiers de formalismes mathématiques et logiques souvent déjà connus mais jusque-là peu utilisables. Par ailleurs, le degré de prise en compte des détails des systèmes modélisés ou des contraintes imposées par les équations théoriques a pu être modulé. À cet égard, il n'est pas rare de voir des domaines entiers de la physique disposer de batteries de différents types de modèles et de simulations plus ou moins idéalisés, ou encore plus ou moins paramétrisés de manière *ad hoc* et dont les apports épistémiques sont différents mais complémentaires. Dans ces conditions, la modélisation devient souvent une pratique qui enchaîne, voire articule, une variété de modèles. Ces modèles mettent chacun en relief des propriétés, des échelles ou des niveaux d'appréhension différents du système modélisé, ou bien encore certains rapports entre différentes échelles ou différents niveaux de ce même système.

Progressivement, dans les années 1990, et de plus en plus hors de la physique, les langages informatiques sont eux-mêmes directement et nouvellement intervenus dans cette tendance à l'assouplissement des contraintes formelles qui pesaient sur les premières formes de modélisation mathématique assistée par ordinateur. À partir de l'essor des approches individus-centrées et des approches orientées-objets ou encore fondées sur des agents informatiques (voir les défi-

ditions dans la section 1 de l'introduction), les simulations n'ont plus toujours été conçues comme des calculs approchés de modèle mathématique mais aussi comme des représentations à visée réaliste car reposant sur des formalismes plus proches des langages des disciplines chaque fois concernées, en particulier en biologie et en sciences sociales. Dans ce cadre-là, le statut épistémologique des simulations a de nouveau été activement interrogé. Parallèlement, on ne pouvait plus considérer que tout modèle devait rester simple : à tout le moins, la supposée contrainte de simplicité devait être réévaluée dans la mesure où l'infrastructure de programmation permettait d'implémenter des systèmes de modèles de plus en plus riches et dont la synthèse ne pouvait faire l'objet d'une formulation simple ni même homogène à un seul type de formalisme. Les scientifiques furent les premiers à comprendre qu'ils devaient en conséquence réévaluer leurs épistémologies appliquées, c'est-à-dire les modes de légitimation usuels et partagés de leur méthodologie. On ne compte plus les colloques de scientifiques de type directement méthodologique et portant sur la question même de la fonction, de la nature ou de la valeur de preuve des modèles et des simulations.

L'objectif de cet ouvrage est de se faire l'écho de ces bouleversements et de ces interrogations multiples de manière à donner au lecteur – tant scientifique ou philosophe que curieux des nouveaux agencements de ces pratiques scientifiques – certaines des pistes qui paraissent les plus représentatives ou les plus prometteuses en ce domaine. C'est pourquoi cet ouvrage en deux tomes (le second à paraître fin 2013) se présente comme un panorama qui a l'ambition d'être le plus vaste possible sur les techniques et pratiques actuelles de modélisation et simulation. La diversité la plus large et une certaine représentativité ont donc été recherchées. Même si le tome 2 présentera aussi des cas de modélisation physique et analogique, cet ouvrage met délibérément l'accent sur les modèles formels et sur les simulations effectuées par ordinateur. En effet, nous croyons que c'est là l'innovation méthodologique principale de la fin du XX^e et du début XXI^e siècle, même si l'on peut tout à fait contester l'idée qu'il s'agirait, à proprement parler, d'un changement de nature des modèles. Certains auteurs n'y voient qu'un changement de degré. Il n'en demeure pas moins que l'accélération et l'expansion hors de la seule physique des pratiques systématiques de modélisation, ainsi que la diversification corrélative des formalismes mobilisés, justifient à elles seules qu'on y décèle un événement méthodologique important.

Afin de rendre compte de la diversité des diagnostics que l'on peut formuler au regard de cet événement majeur et structurant, le choix éditorial volontariste

des directeurs du livre a consisté à publier, dans un même ouvrage de synthèse, aussi bien des analyses de philosophes que des analyses de scientifiques modélisateurs. La variété des approches philosophiques et des pratiques scientifiques nous a paru justifier l'emploi du pluriel dans les deux cas : il s'agit bien ici d'exposer et de mettre en regard à la fois des épistémologies et des pratiques, bien que ces deux diversités ne s'expliquent pas par les mêmes raisons. Il est à noter que le tome 2 fera aussi la place aux approches épistémologiques de type plus sociologiques et inspirées des *Science Studies*. L'épistémologie est donc ici comprise en un sens large. La demande que nous avons formulée en direction des uns ou des autres était toutefois différente : nous ne pouvions supposer que les scientifiques se muent en épistémologues, ni inversement. Aux philosophes de métier ou à certains scientifiques devenus aussi des épistémologues actifs, il était demandé une analyse des concepts et des pratiques avec une sensibilité particulière au tournant computationnel et aux changements conceptuels afférents des dernières décennies. Aux scientifiques modélisateurs, en revanche, il était demandé de fournir un travail de méthodologie comparative dans leur domaine, c'est-à-dire un travail de mise en perspective critique des différents types de modèle et de simulation qu'ils pratiquent, ainsi que des types de justification qui chaque fois les accompagnent dans la littérature scientifique consacrée. Ils avaient la possibilité pour cela de focaliser leur chapitre sur la variété et sur l'évolution des types de modélisation et de simulation d'un cas de système cible (exemples : protoplanète, plante, etc.) ou, au moins, d'un domaine cible (exemples : trafic routier, circulations d'opinion, etc.).

Ce tome 1 de *Modéliser & simuler* est divisé en deux grandes parties. La première rassemble onze contributions épistémologiques, émanant de philosophes des sciences ou de scientifiques modélisateurs. Ces chapitres concernent directement les modèles, les simulations, leurs différents types et leurs évolutions récentes, ou bien encore certains concepts techniques qui leur sont aujourd'hui systématiquement associés, comme ceux de lois mathématiques, de codage, de complexité, de calculabilité et d'émergence. La seconde partie présente les chapitres de scientifiques modélisateurs. Elle est délibérément la plus fournie car nous avons privilégié la parole et les analyses des praticiens. Pour un certain nombre d'entre eux, le défi était nouveau : le passage à la langue française, au discours comparativiste et de mise en perspective le plus à jour possible sur des domaines si avancés était une réelle nouveauté ! Aujourd'hui que cet ouvrage paraît, nous ne craignons pas de dire que le résultat a dépassé nos espérances. Tous les auteurs que nous avons sollicités ont fourni un travail

d'une grande rigueur et d'une grande richesse : bien des idées fortes et, pour certaines réellement inédites, y ont été exprimées. Cette seconde partie, celle donc qui présente les pratiques, est elle-même subdivisée en trois sous-parties dont la justification est, quant à elle, plus classique puisque résolument disciplinaire par défaut, et cela même si la modélisation a justement parfois (mais pas toujours) pour effet de brouiller les frontières disciplinaires : [2.1] Physique, sciences de la Terre et de l'Univers, [2.2] Sciences du vivant, [2.3] Sciences sociales. Ces parties sont assez équilibrées entre elles. Elles contiennent chacune entre sept et neuf chapitres. Elles sont autant que possible elles-mêmes ordonnées en fonction de l'échelle ou du niveau d'intégration supposé croissant ou décroissant des domaines ou des systèmes cibles. Nous avons conscience que ces chapitres, même nombreux, ne justifient pas que l'on parle ici d'exhaustivité, mais au moins peut-être d'une certaine représentativité. Le recours aux modèles et aux simulations en informatique et en algorithmique proprement dites, ainsi qu'en modélisation des systèmes industriels et d'ingénierie de conception, par exemple, se verra donner davantage de place dans le tome 2¹.

Avril 2013

[1] *Nota bene*. Les chapitres 2, 3, 4, 9, 10, 18, 19, 21, 27 du tome 1 sont repris d'un numéro de revue codirigé par Jean-Jacques Kupiec, Guillaume Lecointre, Marc Silberstein & Franck Varenne, *Matière première*, n° 3, *Modèles, simulations, systèmes* (Syllepse, 2008), ouvrage épuisé. Cet ouvrage était lui-même composé de contributions en partie issues à la fois du colloque «À quoi sert la modélisation?», organisé par Jean-Jacques Kupiec et Michel Morange (Centre Cavailles-École normale supérieure Ulm), le mardi 23 janvier 2007 à l'ENS, et d'un séminaire de recherche dont le thème était «Explication, modélisation et simulation», organisé en 2006-2007 par Guillaume Lecointre (Muséum national d'histoire naturelle, Paris) et Marc Silberstein, dans le cadre de l'école doctorale du MNHN). Nous tenons à remercier Jean-Jacques Kupiec et Guillaume Lecointre de ce travail initial sur lequel nous sommes appuyés pour développer le présent ouvrage.