

La carte n'est pas le territoire

Le contenu de ce numéro offre l'occasion de revenir sur la modélisation numérique, dont l'usage ne va pas de soi dans les sciences du monde naturel (par opposition au domaine de la mathématique pure).

Représentation intellectuelle simplifiée d'un système réel (généralement complexe), un modèle est plus spécifiquement dit « numérique » s'il consiste en un assemblage d'équations mathématiques, dont la résolution (généralement par ordinateur) permet de simuler, comprendre, prévoir, le comportement du système réel représenté.

Par exemple, l'assertion énoncée dès 1904 par Vilhelm Bjerknes, selon laquelle l'état futur de l'atmosphère est entièrement déterminé par son état initial et par les lois de la physique, est à la base de l'élaboration des « modèles météorologiques » ; c'est l'avènement de l'ordinateur, comme outil de calcul, qui a ensuite permis, au milieu du vingtième siècle, d'envisager la résolution numérique, par petits pas de temps successifs, des équations (différentielles, non-linéaires) constituant ces modèles.

Un modèle n'est pas destiné à reproduire exactement la réalité (ce qui est impossible... et serait probablement inutilisable !), dont il est une caricature plutôt qu'un véritable portrait : il est en fait adapté au problème que l'on souhaite résoudre, et un même système réel peut être modélisé différemment selon les objectifs (de même qu'une carte géographique donnée ne rassemble que les informations pertinentes pour une utilisation déterminée).

Il résulte donc d'une série d'options (sur les sous-systèmes et paramètres à traiter, la représentation de leurs interactions, etc.), prises en fonction des objectifs, et conditionnées par le niveau de connaissance – nécessairement incomplète – du système réel ; la vraie question dans son appréciation n'est donc pas tant celle de son exactitude dans le mimétisme – que celle de son utilité dans le cadre de questions retenues.

Concernant les aspects scientifiques amont, le modèle numérique ne se réduit cependant pas à un simple outil d'exécution du calcul des états successifs du système. À travers les résultats de ce calcul, l'ordinateur met en évidence des « vérités », intermédiaires entre des produits de la théorie et des faits d'observation *stricto sensu* : il aide à explorer des hypothèses, à comprendre des phénomènes, et même à faire émerger de nouveaux « faits d'observation », parfois déterminants ; ainsi, souvent, en turbulence géophysique, le laboratoire numérique se substitue efficacement à une impossible expérimentation réelle.

Pour autant, tout recours à l'expérimentation physique n'est pas rendu caduc, car l'expérimentation numérique ne peut intervenir qu'en présence de bases théoriques, et de modèles physiques déjà suffisamment assurés. L'ordinateur a donc déplacé le classique aller-retour entre théorie et expérience réelle vers une interaction triadique plus compliquée entre théorie, expérience réelle, et modélisation informatique (un terrain de jeu bien intéressant pour les philosophes...).

Dans un tel contexte, il peut parfois se révéler difficile de distinguer les propriétés du système naturel et celles des modèles : la sensibilité chaotique, traduite dans le célèbre paradigme de « l'effet papillon » (de petites causes peuvent avoir des effets considérables) et réputée limiter la prévisibilité déterministe de l'atmosphère, est-elle une propriété de l'atmosphère elle-même, ou seulement de certains de ses modèles à petit nombre de degrés de liberté ?

Dans la simulation du futur pour l'aide à la décision, cœur de l'activité météorologique opérationnelle, il s'agit de réaliser un monde virtuel, espéré suffisamment proche de la réalité pour être utile à la prévision du temps, ou du climat. Dans ce cadre, les questions de paramétrisation et de validation des modèles sont évidemment déterminantes. C'est la confrontation permanente entre les résultats des simulations et la réalité qui permet d'identifier l'effet des simplifications et artéfacts, d'évaluer les incertitudes, de réaliser en un retour correctif les ajustements nécessaires au sein du modèle retenu, et d'affiner les prévisions, dans un processus itératif qui fait progresser aussi la compréhension du système réel.

De fait, le processus de modélisation n'est jamais complètement achevé : l'ordinateur ne délivre qu'un scénario d'évolution cohérent avec les hypothèses du modèle, et les sorties du modèle ne sont pas, au moins à ce jour, utilisables telles quelles, ce qui ne manque pas de poser les questions de l'expertise humaine, et de la médiation entre les météorologistes, concepteurs de modélisation, et les utilisateurs, qui doivent avoir la claire conscience des limites du modèle.

Autant d'interrogations sur lesquelles *La Météorologie* ne manque pas de distiller des éléments de réflexion, explicitement ou de façon plus subliminale, au fil de ses articles portant sur la modélisation numérique... en particulier dans ce numéro.

