

Introduction

I.1 LA MODÉLISATION

La modélisation est l'activité qui consiste à construire des modèles (Thompson 1884). C'est l'une des deux principales composantes, avec l'expérimentation, de la démarche scientifique. Les chercheurs passent en effet une bonne part de leur temps à construire, tester, comparer et réviser des modèles, et un nombre important de publications sont dédiées à la présentation, à l'application et à l'interprétation de modèles. Mais qu'est-ce qu'un **modèle**, et, dans le cas qui nous intéresse, **un modèle scientifique** ? La possibilité de définir ce terme de façon précise reste sujette à discussion car, en dépit du fait que tous les scientifiques en manient une vision intuitive, il en existe un nombre considérable d'interprétations selon la discipline, les objectifs et le point de vue épistémologique invoqué (Frigg et Hartmann 2005).

Il convient tout d'abord de séparer modèles « physiques » et modèles « abstraits ». Les premiers, qui regroupent les maquettes, les modèles réduits ou les modèles animaux, sont des dispositifs du monde réel conçus pour être soumis à expérimentation. Ils ne rentrent pas, à proprement parler, dans les objectifs de l'ouvrage, qui traite de modèles conçus pour être simulés sur ordinateur, même si la définition que nous donnons du terme peut recouvrir certaines de leurs propriétés. Cette distinction étant faite, nous pouvons proposer, dans l'encadré qui suit, une définition consensuelle, au regard de la littérature existante, de la notion de modèle scientifique.

Modèle — C'est une construction abstraite qui permet de comprendre le fonctionnement d'un *système de référence* en répondant à une *question* qui le concerne. *Représentation simplifiée* de ce système, un modèle s'appuie sur une *théorie générale* et il est exprimé dans un langage spécifique appelé *langage de modélisation*.

Dans cette acception, le *système de référence* représente une partie de la réalité circonscrite par les scientifiques. Cette partie de la réalité est connue d'eux *via* des mécanismes de mesure, d'observation ou d'expérimentations qui produisent des données. Ces données peuvent être de différentes natures (quantitatives ou qualitatives) et provenir de différents niveaux d'organisation du système. C'est usuellement la nécessité de donner du sens à ces données, en fonction d'objectifs précis, qui va donner

naissance à la *question* de modélisation : Quel sens leur donner ? Comment expliquer leurs relations ? Comment prévoir leur évolution ? Quand le modèle sert de support à des simulations, la question abordée par le modèle et celle abordée par la simulation sont habituellement les mêmes.

Comme nous l'avons dit précédemment, les modèles, à l'exception des modèles concrets, sont des *représentations simplifiées* abstraites d'un système de référence. Un modèle n'est donc pas le système qu'il décrit, mais une simplification délibérée de ce dernier, plus aisée à manipuler que le système lui-même, fondée sur des hypothèses qui ressortent, soit du domaine scientifique concerné, soit d'un choix assumé de limiter le niveau de complexité à prendre en compte. Cette simplification est exprimée dans un *langage de modélisation* dont le choix dépend d'une part des traditions du domaine scientifique considéré, d'autre part de considérations sur les propriétés souhaitées pour le modèle (généralisation, démonstration analytique, traduction en programme informatique, communication à une audience spécifique). Ces propriétés n'étant pas exclusives, un même modèle — que nous nommerons dans ce cas *modèle de référence* — peut être traduit dans différents langages en fonction de l'objectif des scientifiques. Enfin, un langage de modélisation n'est pas obligatoirement formel. Sa sémantique et sa syntaxe s'appuient sur des abstractions et des relations entre ces abstractions que nous nommerons par la suite *concepts de modélisation*.

Un modèle s'appuie généralement sur une *théorie*, mais n'en est pas une à proprement parler, même si la communauté scientifique est un peu inconsistante sur ce point (dans la pratique, les deux termes sont parfois utilisés de façon interchangeable). Le plus sûr est d'adopter ce que propose (Glennan 2005), qui est de comprendre la relation entre théories et modèles comme une relation entre le général et le particulier : là où une théorie a pour ambition de décrire le fonctionnement et l'évolution d'un ensemble de systèmes de référence, le modèle est une instanciation de cette théorie pour un système en particulier³. La notion de théorie est à prendre ici au sens large, couvrant tout l'éventail depuis le simple point de vue jusqu'à de véritables ensembles de lois scientifiques caractérisant les propriétés de et les relations d'entités physiques. La théorie exprime l'*a priori* du scientifique sur l'évolution ou l'état du système, et fournit les abstractions sous-jacentes au langage de modélisation ; elle peut aussi intervenir dans le choix des données à considérer ou à rechercher. À ce titre, nous considérerons qu'elle fournit l'ossature (ou l'une des ossatures) qui permettra la construction du modèle.

Dans la famille des modèles abstraits que nous considérons dans cet ouvrage, il est important d'opérer une distinction, qui nous intéressera particulièrement pour la suite, entre les *modèles statiques et dynamiques*.

3. Ce qui rend la distinction malaisée à effectuer est qu'il existe, dans la littérature, des modèles génériques applicables à de nombreux systèmes de référence, comme par exemple les modèles de population, dont l'ambition n'est pas loin d'en faire de véritables théories.

Modèles statiques et dynamiques — Un modèle est appelé *statique* quand il a pour propos la représentation de la *structure* d'un système de référence photographié à un instant donné, sans allusion à son évolution dans le temps. Inversement, un modèle sera appelé *dynamique* quand il inclura dans sa représentation des hypothèses ou des règles concernant l'évolution dans le temps du système de référence.

Outre le vocabulaire employé, ce qu'il faut retenir de ces définitions est qu'il n'existe pas de « modèle générique » d'un système de référence. Un même système peut générer plusieurs questions différentes et chacune de ces questions pourra ensuite donner lieu, selon la théorie choisie et les données disponibles, à différentes modélisations exprimées dans différents langages. Il n'existe donc pas, et il est important de le souligner, de « modèle générique » du trafic automobile, d'un écosystème, ou d'une colonie de fourmis. Il existe dans chacun des cas des modèles spécifiques permettant de répondre à une question posée : quelles sont les conditions pour qu'un ralentissement se forme, quelle est l'influence d'une exploitation forestière sur le devenir de la faune, comment se génère la division du travail entre les ouvrières d'une colonie ?

Inversement, il est également possible de concevoir une multiplicité de modèles, tous basés sur des théories différentes, exprimés dans des langages différents, afin de répondre à la même question posée au même système de référence. Ainsi, la prévision du trafic routier pourra, selon les données disponibles, être aussi bien traitée par des modèles microscopiques, où chaque véhicule est représenté explicitement, que par des modèles macroscopiques, où l'ensemble des véhicules est considéré comme un flux. Le choix du type de modèle à utiliser dépendra pour une large part, donc, de la facilité avec laquelle ce dernier permet de retranscrire la question posée au système de référence par le scientifique.

1.2 LA SIMULATION

Une expérimentation sur le modèle

Bien que la notion de « simulation » ait été utilisée en sciences avant que les premiers ordinateurs n'apparaissent (dans l'acception d'« imitation d'un processus par un autre »⁴), c'est avec la disponibilité de systèmes informatiques de plus en plus puissants que cette pratique est devenue partie intégrante de la panoplie de nombreuses disciplines scientifiques, à tel point que le terme même de *simulation* ne désigne plus maintenant que des simulations *informatiques*. Ce sera d'ailleurs le cas dans la suite de notre propos.

4. Citons par exemple l'illustration des théories électromagnétiques de James Maxwell grâce à des analogies physiques ou mécaniques, les modèles mécaniques du comportement animal de Konrad Lorenz, le modèle électrique des fonctions homéostatiques de William Ross Ashby, etc.