Introduction

Jamais la géographie n'a été aussi présente dans nos sociétés. Pendant des siècles, stimulés par la curiosité des voyageurs, l'appétit des marchands et la convoitise des pouvoirs, les savoirs concernant la planète, ses ressources et les richesses de ses villes et de ses territoires n'ont cessé d'augmenter tout en restant cependant le privilège des puissants. La connaissance précise du terrain était un prérequis indispensable pour le grand stratège Sun Tzu, dans son célèbre ouvrage sur « l'Art de la guerre » publié dans la Chine des royaumes combattants, pendant la période du Printemps et des Automnes au V^e siècle avant notre ère. Le géographe français Yves Lacoste confirme, en 1976, les capacités stratégiques de la discipline, en montrant dans son livre au titre provocateur, *La Géographie, ça sert, d'abord, à faire la guerre*, qu'elle a été soutenue en France par un pouvoir d'État, nationaliste et impérialiste.

L'apprentissage de la géographie a été imposé à tous les élèves dans les programmes d'enseignement scolaire depuis 1870. Mais c'est surtout depuis l'irruption des téléphones portables au début des années 2000 que la géographie intervient dans tous les gestes quotidiens. Même dans les pays les plus pauvres, une très large majorité de personnes peut se connecter à Internet, voir des images et des cartes du monde entier, utiliser les services de positionnement par satellite, GPS, Galileo, Glonass ou Baidu, pour baliser des itinéraires, naviguer dans le monde, géolocaliser ou se rendre visible aux « services » et « amis » à proximité. Cette révolution dépasse, par le nombre des applications qu'elle suscite et l'ampleur de leur diffusion, celle intervenue plus discrètement depuis les années 1970 par la généralisation de l'emploi des systèmes d'information géographique (SIG en français, GIS en anglais), dans les administrations, pour l'aménagement du territoire, et dans les entreprises, pour la gestion logistique. Les capacités limitées des ordinateurs de l'époque et l'insuffisante compétence des services dans l'analyse et la modélisation des données spatiales ont

longtemps ralenti l'intégration efficace de ces outils dans nombre d'activités (Goodchild 2016).

Un des enjeux actuels de la pleine valorisation des nouvelles grandes capacités informatiques et de la démocratisation des informations géographiques est d'employer judicieusement et à bon escient les connaissances et les savoirs accumulés au sujet des villes et des territoires, non seulement par la géographie, mais par toutes les disciplines qui ont intégré tôt ou tard le « tournant spatial » dans leurs démarches de recherche, de l'agronomie à l'archéologie, de l'histoire à l'épidémiologie.

Ces disciplines ont en partage la construction de modèles, qui sont avant tout des résumés de savoirs, certes simplifiés par rapport à la diversité et la complexité des cas individuels, mais communicables et améliorables parce que codifiés, à un moment donné de l'état des connaissances, par des formalisations mathématiques ou informatiques. Les savoirs intégrés dans un modèle représentent des ensembles de faits récurrents dans des observations empiriques, qui ont été sélectionnés d'après la hiérarchie de leurs effets sur le problème étudié, avec plus ou moins de parcimonie selon que l'on s'attache à la généralité ou à la précision des résultats. Le calcul ou la simulation permettent de proposer des prévisions, ou d'explorer des scénarios possibles, dans le cadre des hypothèses du modèle. Selon des granularités et des niveaux de résolution adaptés, toutes les formes de modélisation peuvent être employées avec des objectifs extrêmement variables : tests d'hypothèse en laboratoire pour des modèles théoriques, jeux sérieux à fonction didactique, modèles d'accompagnement destinés à résoudre des situations difficiles incluant des enjeux contradictoires voire conflictuels, modèles insérés dans des applications interactives destinées à l'information ou à l'aide à la décision, modèles banalisés employés de façon courante pour des choix de localisation ou de gabarit d'infrastructure, etc.

Souvent, les détracteurs des modèles dénoncent une simplification excessive, ou des biais de sélection, et mettent en doute la qualité des données employées pour les valider. Certes, chaque modèle a ses défauts et ses insuffisances, mais le grand avantage de la modélisation, par rapport aux subtilités des rhétoriques écrites ou parlées, est qu'elle oblige à expliciter très en détail les présupposés du discours et des intentions pour mieux les partager. Les modélisateurs sont informés des défauts et des insuffisances de leurs modèles ; ils sont les premiers à les déplorer et à constamment tenter de les dépasser.

Les usages et les fonctions des modèles sont multiples. Ils sont souvent conçus pour la prédiction (modèles météorologiques, financiers, plus largement modèles de fouille de données (*datamining*)), pour la validation d'une théorie analytique (modèles économiques) ou encore, en géographie, pour la planification et la discussion des

enjeux territoriaux (modèles d'aide à la décision, modèles d'accompagnement). Mais la modélisation en sciences sociales développe des pratiques bien plus larges et riches que celles ancrées dans l'imaginaire scientifique classique. Les modèles servent aussi à approfondir et tester des explications, dans une démarche abductive (Besse 2000) qui les fait interagir avec les constructions conceptuelles et les données empiriques, comme il sera montré dans plusieurs chapitres de cet ouvrage.

Plusieurs publications ont déjà proposé des synthèses plus ou moins ambitieuses de la modélisation en géographie. Pour cette expression en français, l'algorithme de Google Scholar propose quelque 40 000 références, qui sont surtout des articles de revue. Les ouvrages collectifs ou les manuels sont plus rares. L'ouvrage publié par Lena Sanders en 2001 est pionnier en la matière. Celui dirigé par Yves Guermond (2005) compile les productions et les pratiques du laboratoire de l'université de Rouen. D'autres se sont centrés sur les importants processus du changement spatio-temporel (Mathian et Sanders 2014), ou traitent seulement de certains modèles urbains (Antoni *et al.* 2011 ; Bonhomme *et al.* 2017). Tout récemment, deux ouvrages d'Arnaud Banos (2013, 2016) et un de Frank Varenne (2017) ont posé les fondements d'une réflexion épistémologique et philosophique sur les modèles de la géographie.

L'ouvrage que nous proposons ici s'intègre dans une collection pluridisciplinaire. Il est construit pour informer didactiquement sur la démarche de modélisation, dans ses particularités justifiées par le maniement des concepts et de l'information géographiques, et illustré d'exemples représentatifs des grandes innovations intervenues au cours de la dernière décennie. Le premier chapitre rappelle sur quelles bases de la discipline géographique les modélisations peuvent s'appuyer pour tenir compte de la complexité dans l'organisation et l'évolution des villes et des territoires. Le deuxième chapitre décrypte les choix cruciaux pour la modélisation qui sont à l'origine de la diversité des modèles et de leurs utilisations : jusqu'à quel point peut-on simplifier le complexe ou au contraire comment peut-on essayer de l'intégrer dans les modèles. Le troisième chapitre décrit des modèles établissant des relations explicites entre des morphologies spatiales contrastées, qui présentent des inégalités à différentes échelles, et les processus sociaux qui les engendrent, selon des dynamiques « micromacro ». Le chapitre 4 explore l'étape de construction des modèles de villes et de territoires et propose une nouvelle méthode incrémentale de multimodélisation. Le chapitre 5 introduit différentes utilisations possibles d'une plateforme de simulation, OpenMOLE, qui emploie des algorithmes évolutionnaires et permet d'accéder aux équipements de calcul intensif. Enfin, le chapitre 6 est consacré aux nouveaux outils de visualisation qui sont si importants pour l'exploration et la validation des modèles, tout comme pour la communication de leurs résultats.

Un index regroupe en fin d'ouvrage les principaux concepts caractérisant la modélisation en géographie. Même si chacun de ces termes est défini avec précision dans le chapitre qui lui est plus précisément consacré, les multiples numéros de page qui témoignent de leur apparition tout au long du livre permettent de comprendre comment ils s'insèrent dans des approches largement partagées, tant chez les scientifiques que chez les praticiens. De plus, des concepts essentiels tels que « espace », « simulation », « territoire », « ville » et « visualisation » n'apparaissent pas dans l'index, car ils ont été utilisés et enrichis à de nombreuses reprises par tous les auteurs. C'est également en raison de la grande cohérence de ces textes que les références bibliographiques des chapitres, souvent citées plusieurs fois, ont été regroupées dans une liste finale.

Cette longue liste donne un bon aperçu de la diversité des références théoriques, des outils méthodologiques et des champs d'application de la modélisation en géographie. Sans prétendre à une impossible exhaustivité, elle offre au lecteur une vision actualisée des publications disponibles pour s'engager dans un grand nombre de formes de modélisation. La bibliographie recouvre la plupart des directions empruntées par les chercheurs et les praticiens pour rendre compte des grandes structures et de l'évolution des villes et des territoires, à toutes les échelles et dans différentes régions du monde. La maîtrise de ces démarches de modélisation constitue un levier très important pour préparer les aménagements de nos façons d'habiter la terre, réaliser les adaptations nécessaires à la transition écologique suscitée par l'observation des changements climatiques et prendre conscience de la construction des processus inscrits dans l'espace géographique.