
Introduction

L'objectif de cet ouvrage est de présenter un ensemble construit de concepts, méthodes et démarches pour représenter et comprendre l'évolution des phénomènes sociaux et environnementaux inscrits dans l'espace. Il prend appui sur des applications touchant principalement la géographie humaine (champ dans lequel les auteurs ont le plus de pratique), mais aussi la géographie environnementale et l'archéologie afin de tester la généralité des démarches proposées. Ces trois champs disciplinaires sont effectivement différents sur le plan thématique mais ils partagent des enjeux épistémologiques et méthodologiques similaires : on s'intéresse à une problématique donnée (qu'il s'agisse du suivi des glaciers dans un contexte de changement climatique, de l'extension urbaine et des conséquences de la métropolisation ou encore des transformations du paysage) en portant l'attention sur son inscription dans l'espace et son évolution au cours du temps. Ce croisement thème, espace, temps, est un sujet de réflexion approfondie tant dans les sciences humaines et sociales que dans les sciences de la nature et il a donné lieu à de nombreuses formalisations. Dès les années 1960, Berry (pionnier de la « Nouvelle Géographie ») propose le concept de « matrice d'information géographique » pour appréhender ces trois dimensions en géographie [BER 64]. La « triade » (quoi, où, quand), d'inspiration géomatique, est développée par Peuquet dans les années 1980 avec le développement des systèmes d'information géographique¹ [PEU 84]. Ces approches ont ensuite été enrichies par le recours aux travaux des philosophes et Galton propose le concept de « hyperobjet » pour une approche totalement intégratrice de l'espace et du temps [GAL 04]. L'ensemble de ces approches seront croisées ici.

L'ouvrage relève clairement du champ nommé « analyse spatiale ». Les définitions en sont diverses, certaines mettant en avant les aspects plus techniques, d'autres

1. Système d'information géographique (SIG) désigne l'environnement informatique intégrant les méthodes et outils de gestion et traitement de l'information géographique, tandis que les sciences de l'information géographique désigne l'ensemble des concepts et procédés associés à l'information géographique.

insistant sur les aspects méthodologiques, et d'autres enfin proposant une vision scientifique plus englobante. Notre positionnement se situe à l'interface de deux définitions :

- pour la première, l'analyse spatiale est « l'étude formalisée de la configuration et des propriétés de l'espace produit et vécu par les sociétés humaines » [PUM 97] ;
- pour la seconde, l'analyse spatiale est un « ensemble de techniques et de modèles qui appliquent des structures formelles, généralement quantitatives, à des systèmes dans lesquels la principale variable évolue de façon significative à travers l'espace »² [LON 96].

Ces deux définitions mettent en avant le principe d'une approche *formelle*, que ce soit au niveau conceptuel, de l'observation ou de la mesure. Notre démarche repose sur un jeu de va-et-vient systématique entre ces deux définitions, chacune servant de support à l'autre. Nous multiplierons les points de vue sur chaque concept et chaque méthode, confrontant par exemple les points de vue du philosophe et de l'informaticien sur les questions d'ontologie, de la géomatique et de la philosophie sur les concepts spatio-temporels, celui des statistiques et de la simulation pour expliquer l'évolution des sociétés, de leurs espaces et de leurs environnements. L'objectif est ainsi d'articuler des concepts issus des sciences de l'information, des sciences de la complexité, et des champs thématiques, principalement la géographie mais aussi l'archéologie qui offre, de par les temporalités impliquées, des enjeux très stimulants pour réfléchir aux démarches spatio-temporelles.

Les modèles occupent une place centrale en analyse spatiale. Plutôt que d'approfondir les aspects techniques qui y sont liés, le choix a été fait d'explicitier et de discuter des démarches de modélisation et de souligner la multiplicité des points de vue. La polysémie du terme de « modèle » peut conduire à des malentendus lors de la collaboration entre spécialistes de différents domaines, notamment pour ce qui nous concerne ici, informaticiens, géomaticiens, géographes et archéologues. Deux définitions, ici encore, reflètent bien, dans leur complémentarité, le positionnement adopté dans ce livre :

– « Le modèle est une représentation schématique de la réalité, élaborée en vue de la comprendre et de la faire comprendre » (Haggett [HAG 65] et Durand-Dastès [DUR 92]) ;

– « To an observer B, an object A* is a model of an object A to the extent that B can use A* to answer questions that interest him about A » (Minsky, [MIN 65]).

Tout en assumant un ancrage solide dans le réel, aspect souligné dans la première définition, il nous paraît fondamental d'adopter la distanciation bien maîtrisée avec

2. « Whole cluster of techniques and models which apply formal, usually quantitative, structures to systems in which the prime variables of interest vary significantly across space » (Longley, Batty, 1996).

la réalité qu'implique la deuxième définition. Cette distanciation permet en effet de raisonner non seulement sur ce qui a pu exister, mais aussi sur ce qui *aurait pu* se passer ou *pourrait* éventuellement se passer dans le futur. Dans les deux cas, le modèle est un outil scientifique d'aide à la réflexion.

Le risque de malentendu face au terme « modèle » est accentué par le fait que, face à une problématique donnée, les modèles qui sont mobilisés à différents moments d'une recherche sont de différente nature : modèle conceptuel, modèle de données, modèle statistique, modèle de simulation informatique. Plutôt que de nous cloisonner à un point de vue, notre objectif est justement d'aborder la notion de modèles aux différentes étapes de la recherche : modèles pour construire des objets, pour produire, gérer et décrire de l'information, modèles pour expliquer et comprendre les phénomènes spatiaux et leurs évolutions. L'accent sera mis sur le cadre conceptuel plutôt que sur les aspects techniques et opérationnels qui pourront facilement être approfondis par ailleurs. Pour explorer et analyser les relations dans l'espace et dans le temps, nous privilégierons l'application de méthodes statistiques simples, classiques, robustes, d'usage et d'accessibilité courants en sciences sociales, en montrant comment certains couplages ou enchaînements permettent de traiter de questions complexes. Quand cela est nécessaire relativement à la problématique, notamment lorsqu'il s'agit de comprendre comment des structures émergent des interactions entre entités élémentaires, les méthodes émanant des sciences de la complexité seront mobilisées. Les méthodes de modélisation privilégiées de ce domaine, comme les automates cellulaires et les systèmes multi-agents, permettent en effet de simuler l'émergence de structures spatiales à partir des interactions entre des entités considérées comme élémentaires.

L'espace sera appréhendé de manière multi-échelle, avec une réflexion approfondie sur le sens des entités qui le composent, et sous un angle systémique, avec une attention particulière portée aux interactions opérant dans l'espace, suivant différentes temporalités. La manière dont le concept de système est mobilisé en analyse spatiale s'est enrichie au cours des dernières décennies. Dans sa définition la plus simple, le système est un ensemble d'entités qui interagissent et forment, de ce fait, un tout, qui a des limites, et qui est distinguable de son environnement. L'expression « the whole is more than the sum of the parts » est classiquement associée à cette vision. Un système spatial est ainsi un système composé d'un ensemble d'entités spatiales en interaction, système de villes, système d'habitat, système d'utilisation du sol, système paysager par exemple. Depuis maintenant plus d'une décennie, les sciences humaines et sociales se sont intéressées au champ des systèmes complexes qui offre l'avantage de prendre en compte plusieurs niveaux d'entités : « complex systems consist of qualitatively different organisational strata, in particular, a microlevel and a macro level. Between them there exists a bottom up and top down interaction, i.e., a quasi-cyclical causal relation » [WEI 06]. L'analyse spatiale s'intéresse en plus à tout un ensemble de niveaux intermédiaires qualifiés de

méso-géographiques. La diversité de ces niveaux et des entités qui leur sont associées est aujourd'hui renouvelée grâce à la multiplication des données de résolution fine permettant une grande variété d'agrégations. Aux côtés des effets de l'emboîtement de différents niveaux, Dauphiné et Provitolo [DAU 13] identifient deux autres sources de complexité. D'une part, certains systèmes simples sur le plan formel ont des comportements irréguliers et imprévisibles (propriétés qui ont beaucoup mobilisé mathématiciens et physiciens des sciences de la complexité). D'autre part, dans un contexte multidimensionnel, le nombre important de domaines en interaction représente une source supplémentaire de complexité, surtout lorsque systèmes environnementaux et humains interagissent.

Cette conception systémique implique d'identifier et d'explicitier les multiples interactions entre les entités d'un même niveau (interactions horizontales) et entre les niveaux qui constituent le système (interactions verticales). Pour reprendre l'expression de Irwin et Geoghegan [IRW 01], nous nous situons plus dans l'usage « créatif » des données spatio-temporelles et moins dans la question de leur usage « correct ». Ce dernier a donné lieu à un grand nombre de développements spécifiques, notamment en statistiques, pour corriger par exemple les effets de la dépendance spatiale ou de l'hétérogénéité d'un processus dans l'espace [GRI 91, ANS 95, DUB 14, etc.]. Les géographes, historiens, archéologues ont des hypothèses fortes sur le rôle que joue ou peut jouer l'espace dans les phénomènes observés. Nous avons mis l'accent sur la manière dont on peut en rendre compte en formalisant l'espace, comme le temps, et en les intégrant dans les analyses. L'hypothèse la plus commune concerne sans doute le rôle de la distance à un élément structurant, mais un usage « créatif » consiste à dépasser une seule formalisation linéaire de l'espace et à introduire soit des effets multiscalaires (avec une imbrication des « portées » de divers centres de différents niveaux), soit d'autres effets comme ceux des voisinages, des contextes territoriaux, en allant même jusqu'à intégrer des formalisations d'appartenance « floue ». Dans cette même tendance, les développements récents s'attachent à introduire la notion de « local », conduisant à considérer autant les spécificités et les différences dans l'espace que les ressemblances [FOT 00]. Ainsi on s'attache à construire une information intégrant des modèles fondés sur des hypothèses afin de donner un éclairage original et utile.

Les aspects pédagogiques ne seront pas négligés mais il nous est paru essentiel de présenter des applications en « grandeur nature » et non excessivement simplifiées. Le choix a donc été fait de privilégier des exemples issus de la pratique de recherche, saisis dans toute leur complexité et leur richesse. Dans la pratique, les problématiques spatio-temporelles contiennent en général deux sources de complexité :

- les objets d'intérêt eux-mêmes qui sont souvent de caractère multi-échelle et évolutifs, qu'il s'agit de construire pour les suivre (identité et changement) ;
- les démarches adoptées qui peuvent être hybrides, comporter des couplages, des enchaînements de méthodes.

Un croisement de ces deux aspects est nécessaire pour décrire des phénomènes complexes et comprendre le fonctionnement de systèmes spatiaux tels les systèmes de peuplement, le système éducatif, les relations société/environnement, le système fluvial, etc. L'objectif est de proposer un cadre générique pour mener une telle démarche dans un contexte de sciences sociales où chaque analyse n'est pas un aboutissement en soi, mais une avancée utile, une brique dans la construction de la connaissance du phénomène analysé [FOT 00].

Le livre est organisé en quatre chapitres (figure 1).

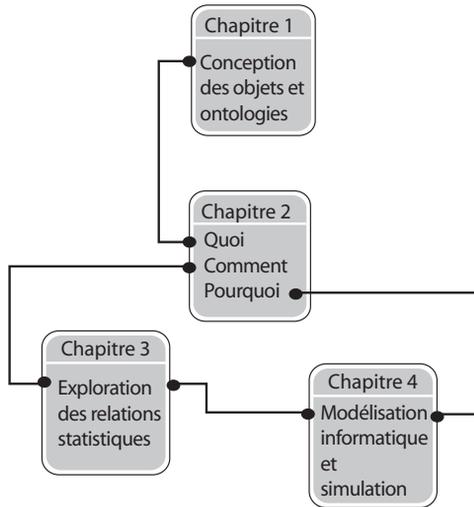


Figure 1. Structure du livre et relations entre les chapitres

Le chapitre 1 est consacré à la conception et la construction des objets, attributs, relations et processus qui sont associés à la problématique posée. La qualité de la formalisation en amont, quel que soit le degré de sophistication des traitements appliqués ensuite, nous semble une condition nécessaire pour assurer la pertinence des résultats. La réflexion sur le sens des entités d'intérêt gagne à être intensifiée de conserve avec l'élargissement des champs d'observation (finesse des granularités temporelle et spatiale, multiplication des moyens d'observation).

Le chapitre 2, intitulé « Du questionnement empirique à la modélisation spatio-temporelle », est consacré au passage, plus délicat qu'on ne le pense *a priori*, entre les questions thématiques formulées par le chercheur ou le praticien, les méthodes adéquates pour y répondre et les entités observables à disposition. Dans ce chapitre nous explicitons les décalages potentiels entre ces trois ensembles et exemplifierons l'enchaînement des méthodes relié à des questions bien précises. Ce chapitre constitue

une articulation entre le chapitre 1, dont il vient éclairer les catégories discutées d'un point de vue théorique, et les chapitres 3 et 4 dont il vient introduire les problématiques sur des exemples concrets.

Les chapitres 3 et 4 abordent les pratiques pour donner à voir et comprendre le changement des systèmes spatiaux, tant au niveau des entités élémentaires les composant qu'à celui des entités-systèmes eux-mêmes. Le chapitre 3 est consacré à la description et à l'explication statistique, aux manières d'étudier *comment* évoluent les interrelations entre différents phénomènes inscrits dans l'espace. Le chapitre 4 traite directement des processus en jeu dans le changement, de l'explication par les mécanismes, en privilégiant les méthodes de simulation informatique. La figure 1 illustre la position de ces deux chapitres en filiation avec les deux premiers chapitres et en complémentarité l'un de l'autre.