Introduction

Cet ouvrage montre comment construire du savoir géographique, en reliant théories, modèles et techniques. Ce livre n'est pas un cours de géographie, mais un cours pour développer des connaissances d'ordre géographique. Nous nous sommes efforcés d'articuler toute la chaîne d'une approche scientifique en géographie.

I.1. La pratique scientifique du géographe

A l'origine de toute activité scientifique surgit une hypothèse. Le géographe ne déroge pas à cette règle. Dans les sciences expérimentales, une expérience est alors projetée, mais en géographie, l'expérimentation n'est guère possible, sauf cas exceptionnel. Un traitement statistique ou la réalisation d'un modèle de simulation remplace alors l'expérimentation. Quelle que soit la démarche retenue, une hypothèse vérifiée devient une loi. Cependant, la plupart des lois issues de la démarche statistique ne sont valables que pour le domaine couvert par les données traitées. Les lois statistiques sont donc locales. En revanche, les lois déduites d'une simulation sont souvent plus générales.

Une théorie scientifique est un ensemble de lois reliées entre elles par des principes internes. Les théories sont donc des constructions abstraites. Mais, par l'intermédiaire de ses principes externes, une théorie organise la réflexion déductive et livre une explication du monde. Comme les autres scientifiques, pour édifier une théorie, le géographe dispose de trois stratégies. Il peut emprunter une théorie à une discipline voisine et la transposer en géographie. Ainsi, E. Levasseur montrait que l'attraction des villes est proportionnelle à la masse de leur population. Il faisait donc appel à la théorie gravitationnelle pour expliquer un phénomène géographique. Deuxième stratégie : généraliser une théorie existante. Fort modestement, nous avons généralisé la théorie de la perturbation norvégienne en proposant une théorie de la perturbation fractale. Enfin, il est possible de rassembler des lois éparses pour ériger un seul ensemble théorique. En science physique, Maxwell élabora la théorie électromagnétique en assemblant les lois de Coulomb, de Faraday et la loi d'Ampère.

Dans un cadre théorique implicite ou explicite, le géographe construit des modèles. Ils sont censés représenter soit la réalité soit une loi ou une théorie. Les géographes classiques ne procédaient pas autrement en dessinant des blocs diagrammes d'une grande beauté des reliefs qu'ils étudiaient. La modélisation est devenue la principale activité de tout scientifique. Cependant, les modèles sont des représentations et nullement la réalité. Un modèle élimine de nombreux caractères bien réels, mais jugés *a priori* sans effets. Inversement, un modèle crée parfois de nouveaux caractères fictifs. Tout géographe, qui consulte une carte topographique observe ses courbes de niveau. Courbes de niveau bien visibles sur la carte, mais aucun géographe, descendant quatre étages, ne s'est pris les pieds dans une courbe de niveau.

Pour construire un modèle, le géographe procède par abstraction. Cette abstraction peut emprunter différentes voies, mais en science, le langage mathématique est au centre de la formalisation. Le refus de la mathématisation en sciences sociales repose sur plusieurs méprises, notamment celle qui assimile quantitatif et mathématique. Certes, tout n'est pas quantifiable en sciences humaines. Mais en revanche, tout est mathématisable. Il faut en effet éviter de confondre quantification et mathématisation. Depuis plus de 5 000 ans, il existe une mathématique de la qualité : la géométrie. Et l'approche qualitative des équations différentielles est de plus en plus performante et utile. Cependant, si le monde est entièrement mathématisable, la construction de modèles en langage « commun » demeure une forme d'abstraction nécessaire et utile. Darwin n'a jamais écrit la moindre équation pour présenter sa théorie de l'évolution. Mais, cette formalisation souffre de trois défauts. D'abord, ces chercheurs se privent d'une vérification formelle aisée. De plus, toute théorie, qui n'est pas formalisée en langage mathématique, ne possède aucune valeur prédictive. Personne n'est en mesure de prédire la disparition ou l'apparition d'une espèce à partir de la théorie de Darwin. Enfin, malgré sa souplesse, le langage littéraire est linéaire, qu'il s'agisse de paroles ou de textes écrits. Or, les mécanismes non linéaires, avec des boucles d'interactions, sont la règle dans la plupart des phénomènes géographiques.

I.2. Les trois projets de la géographie

Aucune science ne se définit par ses objets. La ville est questionnée par les économistes, les sociologues, les urbanistes, les écologues et bien d'autres disciplines. Une science se définit par un projet, c'est-à-dire les questions relatives à des objets, une ville ou une montagne. Or, le géographe envisage trois groupes de questions. Le premier projet fait de la géographie une science des relations entre l'homme vivant en société et la nature. L'image du géographe, homme de synthèse entre les sciences de la nature et les sciences sociales a une longue histoire. Cette histoire commence avec les travaux de G.P. Marsh, et les écrits des premiers géographes allemands. Par exemple, F. Ratzel distingue les peuples de nature, soumis aux conditions naturelles, et les peuples de culture qui se sont émancipés des contraintes naturelles. Sa géographie, traduite tardivement en français, s'apparente à une écologie humaine. L'école de géographie française classique accepte cette définition de la géographie.

Les géographes classiques et contemporains adhèrent à un deuxième projet : comprendre et expliquer la localisation d'objets dans l'espace, des dolines sur un karst ou des villes en bordure d'un littoral. Généralement, il s'agit de comprendre la répartition des hommes sur la surface terrestre. Le géographe essaie ainsi presque toujours de répondre aux questions *Où* et *Pourquoi où ?* Le géographe se penche sur toutes les formes et les logiques de localisation. Si la localisation absolue des phénomènes, si importante à l'époque de la Renaissance lors des grandes découvertes, est résolue grâce aux nouvelles technologies, les questions nées de l'étude des localisations relatives sont innombrables. Il s'agit non seulement d'expliquer la localisation de telle ou telle activité, comme l'industrie ou le tourisme, mais aussi d'examiner leurs interactions. Une ville ou une région est un assemblage de localisation des activités agricoles, industrielles et de services qui s'attirent ou se repoussent. Et les contraintes physiques et biologiques multiplient les combinaisons possibles. Plus récemment, les termes de délocalisation, relocalisation, géolocalisation sont invoqués dans un contexte dit de globalisation et d'innovations technologiques pour répondre à ces questions.

Enfin, les géographes contemporains ambitionnent un troisième projet : comprendre et expliquer les structures et dynamiques spatiales. Etymologiquement, la géographie est la description de la terre. Elle est devenue la science de l'organisation des espaces terrestres. Le géographe doit repérer les différences, les disparités, les différentes catégories de discontinuités, physiques et humaines, qui séparent des phases temporelles stables ou des espaces plus ou moins homogènes. Le géographe analyse donc des morphologies. Mais ces disparités et discontinuités ne sont pas statiques. Le géographe étudie alors la dynamique des formes, la morphogénie. Cette morphogénie caractérise aussi bien les phénomènes physiques, l'émergence d'une montagne, l'incision de réseaux fluviaux, que les formes humaines telles la ségrégation urbaine ou la densification du réseau Internet.

I.3. Plan de l'ouvrage

Cet ouvrage comprend trois parties. La première aborde la géographie classique, la science des relations homme-nature. La deuxième traite de la géographie science des localisations. Enfin, la troisième partie étudie les problèmes relatifs aux structures spatiales, à leur morphologie, et considère les dynamiques territoriales des espaces terrestres. Chaque partie est construite suivant la même approche. D'abord, dans un premier chapitre, nous présentons les concepts centraux et les théories mises en avant, soit par les géographes classiques, soit par des géographes contemporains. Puis, nous consacrons un ou plusieurs chapitres à la modélisation en tenant compte des questions que doit se poser le géographe, et en distinguant les modèles empiriques et les modèles de simulation plus théoriques. Ces modèles élémentaires sont formalisés en langage *Mathematica*, récemment rebaptisé *langage Wolfram* du nom de son inspirateur. Pédagogiques, ces modèles peuvent cependant être utilisés par les étudiants, les enseignants et les chercheurs pour traiter les données dont ils disposent et répondre aux questions qu'ils se posent. Après de brèves conclusions, un dossier expose une étude de cas ou un exercice plus général.

I.4. Comment lire cet ouvrage ?

Le lecteur, qui découvre le langage *Mathematica*, doit d'abord se plonger dans l'annexe dossier 1. Cette annexe est une simple initiation à ce langage de modélisation, mais elle est construite à partir d'un exemple concret. Puis, le lecteur se plongera dans la partie qui correspond le mieux à ses questionnements, à sa propre conception de la géographie.

I.5. Annexe, dossier 1 : un langage généraliste de modélisation, *Mathematica*

Pour construire leurs modèles et analyser les données, les scientifiques disposent de trois logiciels généraux : *R*, *MATLAB* et *Mathematica*. Contrairement à ce que laisse croire son nom, *Mathematica* est un langage complet de formalisation, y compris graphique et cartographique. Il présente plusieurs avantages. D'abord, c'est un langage très complet. Il dispose de plus de cinq mille fonctions qui permettent une approche de tous les domaines de modélisation que fréquente un géographe : statistiques, probabilités, traitements de chroniques et processus stochastiques, macro-simulation par des équations différentielles ordinaires ou partielles, micro-simulation par des automates cellulaires et des systèmes multi-agents, théorie des graphes, traitements d'images, représentations graphiques et cartographiques. Le géographe peut puiser dans un puits sans fond pour construire ses modèles. Par ailleurs, les diverses aides sont d'une richesse pratiquement infinie. Chaque fonction est détaillée à l'aide de multiples exemples. Il n'est pas rare que la définition d'une seule fonction s'étende sur plusieurs pages, avec de nombreuses études de cas qui peuvent faire l'objet d'un simple copier-coller. De plus, il existe des communautés sur Internet qui permettent de poser des questions et d'obtenir très rapidement des réponses. Pour des problèmes plus compliqués, les *Wolfram Demonstrations Project* sont de véritables programmes prêts à l'emploi, où il suffit souvent d'introduire ses propres données pour obtenir immédiatement des résultats. Autre richesse, l'ouverture vers l'extérieur. Les options de la fonction Import[ ] assurent un lien direct avec d'innombrables fichiers. De plus, *Mathematica* possède ses propres bases de données, dont certaines intéressent directement le géographe (CityData, CountryData, WeatherData...). En fait, le géographe peut importer n'importe quelle donnée (voir annexe 2). Et, cette ouverture ne se limite pas aux données. *Mathematica* peut converser avec d'autres outils de programmation, par exemple *R* ou *NetLogo*.

Pour une brève initiation à *Mathematica*, partons d'un exemple concret. Soit une série de données, des températures mensuelles, la population des Etats européens, ou une série que nous créons. Nous souhaitons calculer divers paramètres et produire des représentations graphiques. Après avoir lancé le programme *Mathematica*, dans le menu Fichier on choisit new, puis notebook, cahier en français. Une page blanche apparaît. C'est dans ce cahier que l'on entre les instructions et que les résultats s'affichent. Pour créer une série de 20 données, nous plaçons le curseur dans le cahier, nous cliquons, et nous écrivons :

```
data=RandomInteger[10,20]
```

Puis nous tapons Shift + Enter. En sortie, on obtient une liste de 20 nombres entiers qui varient entre 0 et 10. Le lecteur remarque que le résultat suit une forme out. Toute fonction ou instruction commence par une lettre majuscule, et pour éviter toute erreur, les fonctions écrites par l'utilisateur doivent donc commencer par une lettre minuscule. Souvent la fonction est décrite par deux ou trois mots. A chacun correspond une majuscule dans la fonction. Par exemple ListLinePlot trace un graphique sous forme d'une ligne continue. Si un point-virgule est placé à la fin de l'instruction, l'opération est bien réalisée mais le résultat n'est pas affiché. C'est pratique lorsque l'on traite de grandes masses de données ou des graphiques complexes que l'ordinateur affiche avec du retard. Toute fonction est suivie de crochets à l'intérieur desquels sont fournies diverses informations, les données à traiter, des options et parfois même d'autres instructions. Dans l'exemple ci-dessus, l'instruction RandomInteger a deux options. Le nombre 10 qui signifie que les nombres aléatoires doivent varier entre 0 et 10, et le nombre 20 qui impose un tirage de 20 nombres.

La liste de nombres, comme toute autre liste, de mots, de cartes ou d'images, est à l'intérieur d'accolades. Les listes sont une composante essentielle de *Mathematica*. De nombreuses fonctions permettent de construire et travailler sur ces listes. Par exemple, il est facile d'enlever les deux premières données d'une liste avec l'instruction :

```
Drop[data,2]
```

Mais bien d'autres instructions sont couramment utilisées, notamment pour traduire un tableau, qui est une liste de listes, en une seule liste, ou l'inverse. Pour partitionner les 20 nombres en deux listes de 10 nombres, on écrira :

```
Partition[data,2]
```

Ce qui donne en sortie un tableau de 10 lignes et deux colonnes. Inversement pour passer de ce tableau de 10 lignes et 2 colonne à une seule liste, il suffit d'écrire :

```
Flatten[tab],,,,
```

Outre, les crochets et les accolades, Mathematica utilise les parenthèses pour fixer l'ordre des calculs, et les doubles crochets. Ces doubles crochets servent à désigner la position d'un élément d'une liste. Je vais pouvoir sur la série data, calculer les paramètres de tendance centrale et de dispersion que je souhaite. Par exemple, pour obtenir la moyenne, il suffit d'écrire :

```
Mean[data]//N
```

Mais, il est possible de programmer la sortie de plusieurs résultats en utilisant l'instruction Manipulate[ ]. Soit la ligne d'instruction suivante :

```
Manipulate[ moments[data], {moments, {Mean, Median, StandardDeviation, Skewness,
Kurtosis}}, SaveDefinitions -> True]
```

La fonction moments, appliquée aux données, peut correspondre à l'instruction Mean[ ] ou à l'une des autres instructions incluses dans la liste. Le résultat s'affiche sous la forme d'une image dynamique. En cliquant sur l'instruction choisie, on obtient le résultat. La figure 1annexe donne le résultat pour la médiane. Attention, lorsqu'une ligne comprend plusieurs instructions, les crochets et les accolades vont par deux, pour ouvrir et fermer une instruction ou insérer une liste.

Après avoir calculé différents paramètres, nous pouvons illustrer la série par un graphique. Comme les données sont sous forme d'une liste, il est recommandé d'utiliser l'instruction ListPlot qui compte de très nombreuses options. L'instruction ci-dessous :

```
ListPlot[data, Filling -> Axis, FillingStyle -> {Red}]
```

trace un graphique figurant les points, reliés à l'axe des abscisses par un trait de couleur rouge. Mais bien d'autres options sont disponibles. Pour toute instruction, ces options sont détaillées dans les aides. Pour obtenir les informations relatives à une instruction, la solution la plus rapide consiste à taper l'instruction, la sélectionner, puis dans le menu

Aide, choisir *Find Selected Function*. Chaque aide se décline sous une même forme : la présentation de la fonction, ses détails et ses aides, des exemples, Scope, des generalisations et extensions, la description de chaque option, des études de cas, quelques propriétés et la liste des fonctions similaires. Tous les nombreux exemples traités dans ces aides sont directement utilisables par un simple copier-coller. Une autre instruction, Histogram[ ], représente l'histogramme des données. Et, comme la précédente, cette instruction offre de nombreuses options. Ainsi, l'instruction :

```
Histogram[data, Automatic, "Probability"]
```

donne l'histogramme des fréquences relatives ou probabilités de la série.