

Les systèmes d'information géographique

Dans la même collection

- BAUDELLÉ Guy, *Géographie du peuplement*, 2022, 4^e édition.
- BÉGUIN Michèle et PUMAIN Denise, *La représentation des données géographiques. Statistique et cartographie*, 2023, 4^e édition.
- BLANCHARD Sophie, ESTEBANEZ Jean et RIPOLI Fabrice, *Géographie sociale. Approches, concepts, exemples*, 2021.
- BOULAY Guilhem et GRANDCLÉMENT Antoine, *Introduction à la géographie économique*, 2019.
- CIATTONI Annette et VEYRET Yvette, *Les fondamentaux de la géographie*, 2018, 4^e édition.
- DAVID Olivier, *La population mondiale. Répartition, dynamique et mobilité*, 2020, 4^e édition.
- DESJARDINS Xavier, *L'aménagement du territoire*, 2021, 2^e édition.
- FEUILLET Thierry, COSSART Étienne et COMMENGES Hadrien, *Manuel de géographie quantitative. Concepts, outils, méthodes*, 2019.
- GIBAND David, DELAGE Aurélie, MARY Kevin, NAFAA Nora, *Géographie de l'éducation*, 2023.
- GODARD Alain et TABEAUD Martine, *Les climats*, 2009.
- GRATALOUP Christian, *Introduction à la géohistoire*, 2023.
- GUINARD Pauline, *Géographies culturelles. Objets, concepts, méthodes*, 2019.
- HUMAIN-LAMOURE Anne-Lise et LAPORTE Antoine, *Introduction à la géographie urbaine*, 2022, 2^e édition.
- LOUCHET André, *Les océans. Bilan et perspectives*, 2015.
- LOUISET Odette, *Introduction à la ville*, 2011.
- MORANGE Marianne et SCHMOLL Camille, *Les outils qualitatifs en géographie. Méthodes et applications*, 2016.
- PUMAIN Denise et SAINT-JULIEN Thérèse, *Analyse spatiale. Les interactions*, 2010, 2^e édition.
- PUMAIN Denise et SAINT-JULIEN Thérèse, *Analyse spatiale. Les localisations*, 2010, 2^e édition.
- REGHEZZA-ZITT MAGALI, *La France dans ses territoires*, 2017, 2^e édition.
- TIANO Camille et LOIZZO Clara, *Le commentaire de carte topographique. Méthodes et applications*, 2022, 2^e édition.
- TIANO Camille et LOIZZO Clara, *Croquis et schéma de géographie. Réussir les épreuves aux concours et examens*, 2022, 2^e édition.
- VEYRET Yvette, LAGANIER Richard et SCARWELL Helga-Jane, *L'environnement. Concepts, enjeux et territoires*, 2017.
- ZANIN Christine et LAMBERT Nicolas, *Manuel de cartographie. Principes, méthodes, applications*, 2016.

CHRISTINA ASCHAN-LEYGONIE
CLAIRE CUNTY
PAULE-ANNICK DAVOINE

Les systèmes d'information géographique

Principes, concepts
et méthodes

2^e édition

ARMAND COLIN

Conception de couverture : Hokus Pokus créations
Image de couverture : Christina Aschan-Leygonie, Claire Cuntz,
Paule-Annick Davoine; Source : BD Alti®/IGN et *Open Data* de la
Métropole de Lyon
Maquette intérieure : Raphaël Lefeuvre
Mise en pages : Belle Page
Réalisation des figures : Cyrille Suss et Claire Cuntz

© Armand Colin, 2019, 2023
Armand Colin est une marque de Dunod Éditeur, 11 rue Paul
Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN : 978-2-200-63798-9

Sommaire

Introduction	9
1. De la « réalité » du terrain à l'information géographique dans les SIG	13
1. Construire un modèle spatial de la « réalité » du terrain	14
1.1 Des données à l'information géographique	15
1.2 Phénomènes géographiques continus, discrets, en réseau	16
1.3 La traduction du monde réel par une sélection de l'information géographique	18
1.4 La notion de couche d'information géographique thématique	20
1.5 La modélisation numérique de l'information géographique	21
2. Deux modes de représentation en deux dimensions	22
2.1 Le mode raster	24
2.2 Le mode vecteur	26
3. La structuration de l'information géographique	33
3.1 Le modèle vecteur non topologique	35
3.2 Le modèle vecteur topologique	37
3.3 Le réseau, un modèle vecteur particulier intégrant la topologie	39
2. Fondamentaux de l'information géographique	45
1. Les systèmes de coordonnées	46
1.1 Les systèmes de coordonnées géographiques	47
1.2 Les systèmes de coordonnées projetées	52
1.3 Les systèmes de coordonnées dans les SIG	59
2. La troisième dimension de l'information géographique	63
2.1 La troisième dimension dans les jeux de données géographiques	63
2.2 La modélisation de surfaces de terrain	65
2.3 La modélisation d'objets discrets avec une géométrie tridimensionnelle	70

3. Les relations des objets dans l'espace : la topologie	72
3.1 Les relations topologiques	73
3.2 Les opérateurs topologiques	74
4. La distance entre les objets géographiques : une notion fondamentale	81
4.1 Les types de distances dans les SIG	82
4.2 La prise en compte des relations de distances dans les analyses	94
3. Intégration de données géographiques dans les SIG	101
1. Mobiliser des jeux de données géographiques existants	103
1.1 Les sources et fournisseurs d'information géographique	103
1.2 Les données ouvertes ou l' <i>Open Data</i>	105
1.3 Les services Web géographiques pour accéder à l'information géographique	108
1.4 Les métadonnées pour caractériser, comprendre et échanger l'information géographique	110
2. Intégrer et créer des jeux de données géographiques dans un SIG	113
2.1 Intégrer l'information géographique en mode vecteur	114
2.2 Intégrer l'information géographique en mode raster	124
3. Convertir des jeux de données	130
3.1 La rasterisation	130
3.2 La vectorisation	132
4. Stocker des jeux de données géographiques : les formats informatiques	133
4.1 Stocker des jeux de données raster	133
4.2 Stocker des jeux de données vecteur	140
4.3 Stocker des jeux de données vecteur et raster : le format Geopackage	145
5. SIG et bases de données	146
5.1 Les systèmes de gestion de bases de données relationnels (SGBDR)	146
5.2 Les systèmes de gestion de bases de données géographiques	150
5.3 Connexions entre SIG et systèmes de gestion de bases de données	152

4. Visualisation, interrogation et enrichissement de l'information géographique	155
1. Visualiser l'information géographique	156
1.1 Organiser les données dans un document cartographique	156
1.2 Naviguer à travers les données géographiques – les jeux de données à l'écran	158
1.3 Personnaliser l'affichage	159
2. Enrichir sémantiquement l'information géographique	162
2.1 Enrichir des jeux de données vecteur	162
2.2 Enrichir des jeux de données raster	170
3. Interroger et sélectionner l'information géographique	172
3.1 Les principes généraux d'interrogation des données	172
3.2 Les critères d'interrogation des données	174
4. Communiquer l'information géographique	180
4.1 La sélection de l'information à représenter	181
4.2 La généralisation des tracés	182
4.3 La cartographie de l'information thématique	183
4.4 La cartographie lissée	187
4.5 Les affichages graphiques et les résumés statistiques	188
4.6 La construction d'un document cartographique	189
4.7 La gestion des étiquettes	190
5. Traitements spatiaux de l'information géographique	193
1. Agréger des entités ou des cellules d'un même jeu de données géographiques	194
1.1 Pourquoi agréger des entités ou des cellules?	195
1.2 Agréger spatialement des entités d'un jeu de données vecteur	196
1.3 Agréger spatialement des cellules d'un jeu de données raster	199
2. Délimiter une partie d'un jeu de données géographiques	200
2.1 Extraire/découper	201
2.2 Créer des zones tampons	203
2.3 Créer une enveloppe convexe ou concave autour d'entités vecteur	207

3. Combiner des jeux de données géographiques	209
3.1 Combiner la géométrie de jeux de données vecteur	209
3.2 Combiner des jeux de données raster	220
3.3 Combiner des jeux de données raster et vecteur	221
4. Le schéma de traitements	223
6. Aperçu de l'analyse spatiale avec les SIG	229
1. Analyses intégrant la distance	231
1.1 Aires d'attraction	232
1.2 Autocorrélation spatiale, analyses de concentration et interpolation spatiale	240
2. Analyses de surface	248
2.1 Les analyses de pente, de profil, d'exposition et de volume	248
2.2 Les analyses de visibilité	250
2.3 Les analyses hydrologiques	252
3. Analyse spatiale multicritère	253
3.1 Démarche d'analyse spatiale multicritère dans un SIG	255
3.2 Analyse multicritère et types de critères : « contraintes » ou « facteurs »	258
Bibliographie	263
Table des figures	265
Table des sigles	271
Index	273
Remerciements	281

Introduction

L'information géographique prend aujourd'hui une ampleur croissante, aussi bien en termes de volume que de disponibilité. Elle est au cœur de la géographie, l'aménagement, l'environnement, l'urbanisme, mais s'étend à de nombreux autres domaines ou activités économiques. La production de données géographiques s'est largement démocratisée en raison notamment des dispositifs mobiles dotés de systèmes de géolocalisation. La dimension spatiale s'invite donc dans la description et l'analyse de nombreux phénomènes, qu'ils soient environnementaux, territoriaux, économiques, sociétaux, historiques, etc. Elle se concrétise à travers des représentations cartographiques, comme en témoignent les nombreuses productions du Web. Les finalités de la carte sont aujourd'hui largement reconnues : localisation d'objets, de phénomènes, voire d'information ; mise en évidence des phénomènes spatialisés et révélation du fonctionnement de systèmes spatiaux ; contribution à la prise de décision territoriale... Cependant, la construction cartographique passe au préalable par des étapes de modélisation, d'acquisition, de transformation, de combinaison, de traitements statistiques et d'analyse de l'information géographique, qui peuvent être plus ou moins complexes selon les objectifs fixés. C'est notamment pour faciliter toutes ces étapes, et plus largement pour aider à la gestion des territoires, qu'ont été développés à partir des années 1960 les SIG (systèmes d'information géographique).

D'un point de vue fonctionnel, les SIG permettent l'acquisition, le stockage, l'interrogation, le traitement, l'analyse et la visualisation de données géographiques. Ils se distinguent des autres systèmes d'information par leur capacité à gérer des informations relatives à des objets ou des phénomènes localisés à la surface de la Terre. Ils permettent de traiter une série de questions liées à la localisation (Que trouve-t-on à tel endroit ? Où se situe tel phénomène ?), à la répartition spatiale des phénomènes et aux liens et interactions spatiales qui peuvent exister entre eux (À quelle distance est situé le lieu le plus proche ?), à leur

évolution dans l'espace en fonction du temps (Où se situent les changements? À quels moments se sont-ils produits?), etc.

Au fil des années, les SIG se sont imposés comme des outils indispensables à la compréhension et la gestion des territoires. Ils sont devenus plus facilement accessibles avec le développement de logiciels SIG bureautiques commerciaux et la montée en puissance de logiciels et librairies informatiques libres de gestion et de traitement de l'information géographique. Souvent simplement vus comme des outils logiciels, ils doivent être envisagés dans une dimension plus large de projet, dans lequel l'information géographique est mobilisée, produite, traitée et analysée avec des méthodes spécifiques pour répondre à un questionnaire ayant une dimension spatiale. Ces projets peuvent concerner aussi bien des productions cartographiques (atlas cartographiques, cartes de synthèse et analytiques, documents d'urbanisme ou de planification territoriale, etc.), que la gestion et le partage de données dans des contextes variés (gestion des risques, urbanisme opérationnel, suivis environnementaux, etc.). Dans ces projets se pose toujours la question des caractéristiques de l'information géographique, de son traitement et de son analyse pour répondre aux objectifs définis.

Cet ouvrage pédagogique porte sur les principes, concepts et méthodes communs à différents contextes (institutionnels, logiciels, disciplinaires...) de mise en œuvre de projets SIG. Il est le fruit de nombreuses années d'enseignement sur l'information géographique numérique, les SIG, les systèmes de gestion de bases de données, l'analyse spatiale, la cartographie et les statistiques, essentiellement pour des étudiants en géographie et aménagement et en école d'ingénieurs. Nous avons la conviction que la connaissance et la maîtrise des SIG ne doivent pas être subordonnées à l'apprentissage d'un logiciel, qui n'est qu'un aspect des SIG. Les logiciels SIG sont aujourd'hui très performants, mais parfois sous-exploités, notamment par manque de formation théorique et méthodologique. La formation sur les SIG s'effectue généralement au travers de l'apprentissage d'un logiciel spécifique, comme en témoigne par exemple la diversité des ressources pédagogiques disponibles sur le Web qui leur sont dédiées. Ce type d'apprentissage permet aux étudiants certes de produire des résultats, mais sans toujours connaître les tenants et les aboutissants des méthodes mobilisées pour les obtenir. Cette approche est peu propice à un usage efficace de l'information géographique, à une bonne connaissance des potentialités des SIG ou encore à l'adaptation de l'utilisateur aux évolutions technologiques offertes par la géomatique.

L'objectif de l'ouvrage n'est donc pas de former le lecteur à l'utilisation d'un logiciel dédié, mais de lui permettre de s'approprier les principes des SIG, d'acquérir une connaissance et une compréhension des notions et des méthodes clés. Nous pensons donc que le déploiement informatique d'un projet SIG est relativement aisé à partir du moment où l'utilisateur a une solide connaissance des phénomènes géographiques (natures, structures, interactions), de la façon de les formaliser numériquement, et de la démarche à mettre en œuvre pour résoudre un problème géographique. Par ailleurs, le développement des projets SIG s'appuie sur des concepts, des principes et des méthodes issus des systèmes de bases de données, de l'analyse statistique, de l'analyse spatiale, de la cartographie. Pour utiliser de manière correcte et efficace les SIG, il est nécessaire d'avoir des connaissances dans ces domaines qui ne sont pas présentés de manière approfondie dans cet ouvrage, mais pour lequel le lecteur trouvera au cours du texte des références utiles.

Ce manuel s'adresse à un public non spécialisé en science de l'information géographique (ou géomatique). Il est avant tout écrit pour des étudiants de licence ou master de géographie et aménagement, discipline académique qui a les plus forts liens avec les SIG. Cependant, l'ouvrage s'adresse aussi à d'autres publics : étudiants d'autres disciplines; enseignants, chercheurs, techniciens, ingénieurs ou tout autre professionnel souhaitant se former aux SIG ou approfondir ses connaissances dans ce domaine. Il est organisé en six chapitres et a été structuré pour former un tout unifié, mais chaque chapitre peut être lu séparément.

Le **premier chapitre** porte sur la numérisation de l'information géographique : comment l'information géographique modélise-t-elle la réalité du terrain? Quelles sont ses composantes et comment sont-elles structurées au sein des SIG?

Le **deuxième chapitre** traite des caractéristiques fondamentales de l'information géographique. Il aborde les systèmes de coordonnées et la troisième dimension, ainsi que les relations topologiques et de distances liées à la position relative des objets géographiques.

Le **troisième chapitre** approfondit les méthodes d'intégration de données dans les SIG. Celles-ci sont variées : importation; géocodage; création et transformation de jeux de données géographiques. Il présente aussi les modalités d'échanges de données dans le contexte de l'*Open Data* et les différents formats informatiques utilisés pour stocker et gérer les jeux de données géographiques.

Le **quatrième chapitre** présente les fonctionnalités premières et fondamentales des SIG, qui sont systématiquement les plus mobilisées lors de la réalisation d'un projet, quelles que soient sa finalité et son ampleur : visualisation, enrichissement sémantique, interrogation des données, réalisation d'un document cartographique.

Le **cinquième chapitre** décrit les principaux traitements spatiaux, appelés aussi géotraitements, proposés dans les SIG. Ces traitements sont très variés et permettent notamment de transformer des jeux de données ou d'en extraire des sous-ensembles en mobilisant des méthodes variées. L'enchaînement de différents traitements dans un projet SIG se traduit par un schéma de traitements.

Le **sixième chapitre** est dédié à une présentation des méthodes d'analyse spatiale les plus fréquemment mobilisées dans un projet SIG. Celles-ci préexistent aux SIG et s'appuient sur des fondements théoriques forts, qui font déjà l'objet d'ouvrages dont nous recommandons la lecture pour comprendre et maîtriser les enjeux géographiques et méthodologiques qui sous-tendent leurs mises en œuvre.

Il n'existe pas véritablement de consensus sur l'ensemble des termes associés aux SIG et nous avons fait des choix de termes qui sont toujours explicités dans le texte. Par ailleurs, les méthodes et fonctionnalités abordées sont systématiquement appliquées aux données en mode vecteur et en mode raster. Enfin, les illustrations sont des éléments fondamentaux de cet ouvrage, elles sont souvent accompagnées d'exemples pour faciliter la compréhension *via* des cas d'application.

Plusieurs éléments pédagogiques et rubriques communs à chaque chapitre sont proposés pour aider le lecteur à tirer le meilleur parti de cet ouvrage :

- Les objectifs d'apprentissage sont précisés au début de chaque chapitre.
- Les Focus permettent d'approfondir certaines questions.
- Les erreurs à éviter mettent en garde sur des éléments qui posent fréquemment des problèmes, comme nous avons pu le constater dans nos expériences d'enseignement.
- Un pas de côté est proposé dans la rubrique « Le saviez-vous ? ».
- Les définitions permettent de poser le vocabulaire utilisé.
- Les notions à maîtriser, classées par thématiques, qui concluent chaque chapitre, permettent de rassembler le vocabulaire spécifique au domaine.
- Des questions pour réviser sont proposées en fin de chapitre.

Chapitre 1

De la « réalité » du terrain à l'information géographique dans les SIG

Objectifs

- Comprendre la nécessité de conceptualiser le monde réel pour le numériser et le traduire en information géographique.
- Distinguer les phénomènes géographiques continus et discrets.
- Comprendre la différence entre donnée et information géographique.
- Connaître les principes de modélisation et de structuration de l'information géographique dans un SIG.
- Comprendre la structuration topologique des données en mode vecteur.

Trois étapes sont nécessaires pour passer du monde réel à sa représentation numérique. La première étape suit une démarche d'abstraction, au cours de laquelle sont identifiés les différents phénomènes géogra-

phiques observés sur le terrain que l'on souhaite représenter dans le SIG pour mener à bien les analyses. La deuxième étape consiste à choisir le modèle de données à travers lequel les données peuvent être stockées, affichées et analysées : c'est la modélisation numérique. Dans la troisième étape, il s'agit de voir comment les relations entre les unités d'observation du phénomène peuvent être structurées et formalisées.

1. Construire un modèle spatial de la « réalité » du terrain

Le terrain est vu par un observateur qui interprète ce qu'il voit et catégorise l'information, souvent de façon inconsciente. Le passage de la « réalité » (sans rentrer dans une controverse philosophique sur ce qu'est la réalité) à son observation, puis à son enregistrement sous forme numérique pour pouvoir être intégrée dans un SIG, dépend donc du filtre perceptif de l'observateur. Pour choisir l'information à prendre en compte et à traduire sous forme numérique, l'observateur trie les observations en fonction de ses objectifs, mais aussi en fonction de ses caractéristiques propres (sa culture, ses connaissances...). Aucune donnée ne doit donc être considérée comme totalement neutre et objective. Il est nécessaire d'en avoir conscience pour interpréter correctement et avec prudence les résultats issus des traitements réalisés par les SIG, sans pour autant s'interdire de les utiliser!

On appelle souvent modélisation¹ (voir Focus, p. 21) ce processus d'abstraction de la réalité qui permet de la simplifier pour aider à la comprendre. Ce dernier, pour rester cohérent avec la réalité, a pour objectif de décrire non seulement les objets, mais également les relations qui existent entre eux afin de prendre en compte la manière dont l'ensemble des objets s'organise dans l'espace. Ces relations sont liées à leurs positions relatives, décrivant ainsi des propriétés de voisinage, d'inclusion ou d'intersection (voir chapitre 2, p. 72).

1. Le terme de représentation est aussi souvent utilisé, mais nous préférons ne pas l'employer afin de ne pas créer de confusion avec la représentation cartographique au sens de la visualisation des données sur une carte.