

Systemes d'information géographique

Avec les logiciels libres GRASS et QGIS

3^e ÉDITION

Yves Auda

Ingénieur CNRS

Géosciences Environnement Toulouse

Observatoire Midi-Pyrénées

Centre national de la recherche scientifique

DUNOD

Graphisme de couverture : Elizabeth Riba
Illustration de couverture : © M. Svetlana - Shutterstock.com

© Dunod, 2018, 2022, 2025
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-089039-2

Table des matières

Introduction	VII
--------------	-----

Partie 1

Partie théorique	1
------------------	---

1	Qu'est-ce qu'un SIG ?	2
	1. Définition	2
	2. Brève histoire	2
	3. Besoins et utilité	4
	4. Objet géographique	4
	5. Vecteur versus Raster	5
	6. Structure en couches	7
	7. Système de coordonnées de référence	8
	8. Briques du SIG	8
2	Modèles de données	10
	1. Modèle Vecteur	10
	2. Géométrie des vecteurs	10
	3. Topologie des vecteurs	11
	4. Opérations topologiques	14
	5. Requêtes spatiales Vecteur	17
	6. Modèle Raster	21
	7. Internet et SIG	23
3	Localisation sur Terre	27
	1. Représentation du globe terrestre	27
	2. Système géodésique	28
	3. Changement de système géodésique	31
	4. Coordonnées géographiques	32
	5. Coordonnées cartographiques	34

6. Exemples de projection	35
7. Changement de système de coordonnées de référence	40
8. Calcul d'une distance ou d'une surface	43
4 Conception de cartes	45
1. Spécificité d'une carte géographique	45
2. Couleur	48
3. Niveaux de gris	50
4. Sémiologie graphique des objets	50
5. Standardisation des symbologies	55
6. Représentation des rasters	56
5 Modèles hydrologiques et MNE	58
1. Le relief	58
2. MNT versus MNS	59
3. Formes de MNE	59
4. Construction des MNE	60
5. Pente et orientation des MNE	63
6. Flux hydriques	67
7. Bassin versant	68
6 Modèles de paysage	70
1. Concept de paysage	70
2. Métriques paysagères	71
3. Distributions statistiques de métriques	74
4. Protocoles d'échantillonnage	75
5. Implémentations	77
7 Traitement des données	78
1. Typologie des variables	78
2. Emporte-pièce	80
3. Précautions d'usage	80
4. Exemples types	81

Partie 2

Partie pratique	85
Exercice 1 Prise en main de GRASS et QGIS	86
Exercice 2 Repères cartographiques	93
Exercice 3 Géoréférencement d'une carte scannée	99
Exercice 4 Organisation des données	105
Exercice 5 Base de données et SQL	115
Exercice 6 SQL spatial, requêtes géométriques	124
Exercice 7 SQL spatial, requêtes topologiques	133
Exercice 8 Modèle numérique de terrain	141
Exercice 9 Les interfaces R du CRAN et Python	146
Exercice 10 Modèle hydrologique	156
Exercice 11 Traitement des données	162
Exercice 12 Modèle de paysage	175
Exercice 13 Composition de carte	183
Exercice 14 SIG Nomade	191
Conclusion	197
Bibliographie	199
Sigles et acronymes	205
Remerciements	207
Index	209

À la découverte de votre livre

1 Ouverture de chapitre

Elle donne :

- une **introduction** aux sujets et aux problématiques abordés dans le chapitre
- un rappel des **objectifs** pédagogiques
- le **plan** du chapitre

2 Le cours

Le cours, concis et structuré, est structuré en deux parties :

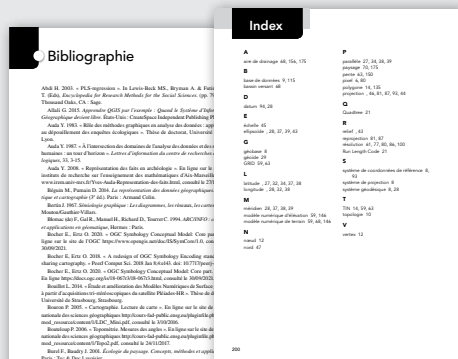
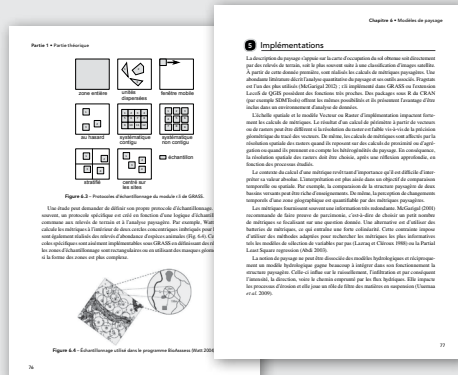
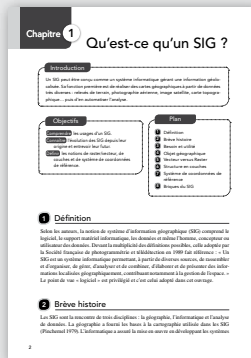
- une **partie théorique** exposant les notions indispensables à l'utilisation des SIG.
- une **partie pratique** regroupant des exercices reprenant chaque notion théorique.

3 En fin d'ouvrage

- Une **bibliographie**
- Une liste des **sigles et acronymes**
- Un **index**

4 Ressources numériques

Retrouvez sur www.dunod.com
l'ensemble des données liées aux
exercices.



Introduction

Cet ouvrage est un recueil de cours et de travaux pratiques dispensés dans le cadre du Master 2 EEA, spécialité « Signal Imagerie, et Applications » de l'université Paul Sabatier de Toulouse. Plusieurs formations données auprès des chercheurs de l'Observatoire Midi-Pyrénées dans le cadre de l'atelier permanent : « Méthodes numériques, données, traitement du signal » ont également permis d'améliorer les supports pédagogiques dans un autre contexte, celui de la formation continue.

Il est composé de deux parties. La partie théorique expose de manière simplifiée les fondements théoriques indispensables à l'utilisation des systèmes d'information géographique. La partie pratique met en œuvre les notions abordées précédemment à partir de données recueillies dans le cadre du Service national d'observation M-TROPICS dans le bassin versant Houay Xon situé au nord du Laos. Ce choix donne une cohérence thématique aux exemples traités et facilite la compréhension globale des questions environnementales abordées.

Le contenu de cet ouvrage reste valide quel que soit le logiciel utilisé. L'expérience de l'auteur, en particulier dans le monde du logiciel libre, conduit à utiliser principalement GRASS et QGIS pour les exercices. D'autres programmes (R du CRAN, sqlite3...) sont également exploités. Pour faire partie de notre logithèque, un programme doit être diffusé sous une licence « open source » et il doit exister une version pour chacun des trois systèmes d'exploitation Linux, Windows et MacOS. Ce choix de privilégier dans l'enseignement l'usage des logiciels libres est préconisé par l'article L. 123-4-1 de la loi ESR du 9 juillet 2013 du parlement français.

Partie 1

Partie théorique

Le premier chapitre présente les principes du SIG et donne une vue d'ensemble de chacun de ses composants. Il explique les étapes qui ont conduit à la construction des SIG sous leur forme actuelle puis il introduit les notions d'objet géographique, de type de données raster et vecteur, de couches et de projection qui sont approfondies dans les chapitres suivants. Le chapitre 2 décrit l'organisation des données dans un SIG en s'appuyant sur les standards établis par l'OGC. La topologie des vecteurs et la structure des rasters sont décrites en attachant une attention particulière à la performance du stockage et des traitements. Le chapitre 3 résume les principes de localisation sur la Terre par une description simplifiée des systèmes géodésiques et des projections, ces deux éléments étant regroupés sous le terme de système de coordonnées de référence. Il insiste sur les erreurs à ne pas commettre lors d'un changement de SCR. Le chapitre 4 expose les notions utiles à la réalisation d'une carte géographique. Il allie concepts cartographiques et sémiologie graphique qui ne peuvent être dissociés dans la réalisation d'une carte. Le chapitre 5 est dédié aux modèles numériques de terrain et leur implication dans les processus hydrologiques. Le chapitre 6 aborde les modèles de paysage. Les métriques paysagères sont présentées en insistant sur l'influence de la précision géométrique des données. Le chapitre 7 rend compte d'une expérience de l'auteur dans l'analyse des données rasters. Il propose un mode d'organisation des données qui sera utilisée dans la partie pratique. L'objectif de cette partie théorique n'est pas de réaliser un état de l'art complet de ces sujets mais plutôt de fournir les fondements utiles à la compréhension des exercices.

Qu'est-ce qu'un SIG ?

Introduction

Un SIG peut être conçu comme un système informatique gérant une information géolocalisée. Sa fonction première est de réaliser des cartes géographiques à partir de données très diverses : relevés de terrain, photographie aérienne, image satellite, carte topographique... puis d'en automatiser l'analyse.

Objectifs

Comprendre les usages d'un SIG.

Connaître l'évolution des SIG depuis leur origine et entrevoir leur futur.

Définir les notions de raster/vecteur, de couches et de système de coordonnées de référence.

Plan

- 1 Définition
- 2 Brève histoire
- 3 Besoin et utilité
- 4 Objet géographique
- 5 Vecteur versus Raster
- 6 Structure en couches
- 7 Système de coordonnées de référence
- 8 Briques du SIG

1 Définition

Selon les auteurs, la notion de système d'information géographique (SIG) comprend le logiciel, le support matériel informatique, les données et même l'homme, concepteur ou utilisateur des données. Devant la multiplicité des définitions possibles, celle adoptée par la Société française de photogrammétrie et télédétection en 1989 fait référence : « Un SIG est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. » Le point de vue « logiciel » est privilégié et c'est celui adopté dans cet ouvrage.

2 Brève histoire

Les SIG sont la rencontre de trois disciplines : la géographie, l'informatique et l'analyse de données. La géographie a fourni les bases à la cartographie utilisée dans les SIG (Pinchemel 1979). L'informatique a assuré la mise en œuvre en développant les systèmes

de base de données pour stocker les données, les interfaces homme machine (IHM) pour le dialogue et toutes les procédures de traitements relevant de l'analyse de données. Dans ce domaine, Bertin (1967) a initié les premiers traitements graphiques de données spatialisées. Ils ont constitué les prémices à une automatisation rendue faisable par l'évolution technologique des ordinateurs. Rimbert (1990) a décrit ces possibilités offertes par l'alliance de la géographie et des traitements automatisés que permet l'informatique.

Les SIG sont nés de l'association de la cartographie et de l'informatique. Il est cependant difficile de tracer l'origine des SIG, d'identifier le moment où ces trois mondes de la géographie, de l'informatique et de l'analyse de données se sont rejoints. Le premier exemple cité date de 1854 quand le docteur John Snow a représenté la localisation des malades atteints par le choléra dans le quartier de Soho à Londres, en Angleterre. Mais ce n'est qu'à partir des années 1960 que l'informatique a permis l'essor des SIG. Le premier SIG aurait été développé par Roger Tomlinson pour inventorier les terres du Canada dans les années 1960. L'objectif était de réhabiliter les terres agricoles. D'autres initiatives reposant sur des développements spécifiques apparurent à la même époque aux États-Unis. Le département de l'eau et de contrôle de la pollution créa un système d'acquisition et d'extraction de la qualité des eaux. Le service forestier conçut un système de gestion des parcelles qui conduisit à la production de cartes à partir de couches d'information (de Blomac *et al.* 1994). Puis de 1960 à 1970, virent le jour des produits non spécifiques à un jeu de données : SYMAP, CALFORM, SYMVU, GRID, POLYVRT, ODYSSEY développés dans le Harvard Lab for Computer Graphics (Malczewski 2004).

Mais les SIG ont vraiment pris leur essor avec le développement des systèmes de base de données. Le plus populaire, ARCINFO, reposant sur la base de données PRIME, est commercialisé en 1982 par la société ESRI (Environmental Systems Research Institute). À la même époque, les ingénieurs de l'armée américaine et les chercheurs de l'université de l'Illinois commencèrent à développer un SIG qui devint, quelques années plus tard, GRASS (Westervelt 2004). Dès le début, sa philosophie de développement a été axée sur l'ouverture du code offrant la possibilité à tout programmeur de participer à son écriture. L'interface était minimaliste et ce n'est que dans les années 1990 que GRASS a constitué une alternative aux SIG commerciaux. L'avènement de la micro-informatique a ensuite conduit à la création de nombreux produits dont il est difficile d'établir une liste exhaustive : IDRISI, MapInfo, ENVI, SAVANE, ILWIS, APIC, GeoConcept, SPRING, GvSIG, QGIS... L'adoption de standard pour la définition des systèmes de projection (proj.4) et pour le format de fichiers géographiques (GDAL) supportés par la fondation OSGeo ont assuré l'échange de données entre ces SIG.

Le développement des services Internet dans les années 1990 a donné accès à de nouvelles sources de données. Sous l'égide de l'Open Geospatial Consortium (OGC), différents standards de formats ouverts de données, de protocoles... garantissent l'interopérabilité et favorisent l'accès à des bases de données spatiales souvent libres d'accès. Citons Web Map Service (WMS), Web Map Tile Service (WMTS), Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS), Catalogue Service for the Web (CS-W), Web Processing Service (WPS), Simple Feature Access (SFS), Geography Markup Language