

GeoAI avec Python

*Guide pratique de l'intelligence
artificielle géospatiale open source*



Qiusheng Wu

GeoAI avec Python

Un guide pratique de l'IA géospatiale open source

Qiusheng Wu
2026

Contents

Préface	1
Introduction	3
À qui s'adresse ce livre	4
Ce que couvre ce livre	5
Tirer le meilleur parti de ce livre	8
Conventions utilisées dans ce livre	9
Téléchargement des exemples de code	10
Tutoriels vidéo	10
Communauté et retours	11
À propos de l'auteur	11
Licence et droits d'auteur	12
I: Fondements	13
1. Introduction à la GeoAI	15
1.1. Introduction	15
1.2. Objectifs d'apprentissage	16
1.3. Qu'est-ce que la GeoAI ?	16
1.4. Applications clés de la GeoAI	18
1.5. L'écosystème Python pour la GeoAI	22
1.6. Tâches fondamentales de l'IA en analyse géospatiale	25
1.7. Des méthodes traditionnelles aux modèles fondation	32
1.8. Points clés à retenir	33
1.9. Exercices	34
2. Configuration de Votre Environnement	37
2.1. Introduction	37
2.2. Objectifs d'apprentissage	37
2.3. Configuration matérielle requise	37
2.4. Installation des pilotes NVIDIA	38
2.5. Installation de Python avec Miniconda	41
2.6. Création d'un environnement conda	42
2.7. Installation de GeoAI et PyTorch avec support GPU	43
2.8. Installation de uv comme gestionnaire de paquets alternatif	45
2.9. Configuration de Jupyter	46
2.10. Installation de Visual Studio Code	47
2.11. Vérification de votre installation	48
2.12. Exercices	50
3. Fondamentaux des Données Géospatiales	51
3.1. Introduction	51
3.2. Objectifs d'apprentissage	51
3.3. Données Raster	51
3.4. Données Vectorielles	55
3.5. Systèmes de Référence de Coordonnées	58
3.6. Formats d'Annotation pour l'Apprentissage Profond	59
3.7. Découpage en Tuiles et Imagettes	61
3.8. Points Clés à Retenir	62
3.9. Exercices	62

II: Acquisition et preparation des donnees	65
4. Téléchargement de Données de Télédétection	67
4.1. Introduction	67
4.2. Objectifs d'apprentissage	67
4.3. Sources d'imagerie satellite	68
4.4. Recherche avec STAC	69
4.5. Téléchargement d'imagerie NAIP	75
4.6. Téléchargement de données Sentinel-2	76
4.7. Téléchargement de données Landsat	78
4.8. Téléchargement de données ouvertes Vantor	79
4.9. Accès aux données vectorielles	80
4.10. Organisation de vos données	82
4.11. Points clés à retenir	83
4.12. Exercices	84
5. Cartographie Interactive et Visualisation	87
5.1. Introduction	87
5.2. Objectifs d'apprentissage	87
5.3. Création de cartes interactives avec Leafmap	88
5.4. Travail avec les données raster sur les cartes	89
5.5. Visualisation des données du Planetary Computer	92
5.6. Travail avec les données vectorielles sur les cartes	96
5.7. Cartes à panneaux divisés pour la comparaison	98
5.8. Visualisation des résultats de modèle	99
5.9. Bonnes pratiques pour la visualisation en GéoIA	101
5.10. Points clés à retenir	102
5.11. Exercices	103
6. Création de Données d'Entraînement	105
6.1. Introduction	105
6.2. Objectifs d'apprentissage	105
6.3. Le pipeline de données d'entraînement	105
6.4. Génération d'images à partir d'une image unique	106
6.5. Traitement par lots de plusieurs images	110
6.6. Traitement par lots avec des masques raster	115
6.7. Considérations sur la qualité des étiquettes	115
6.8. Organisation du jeu de données	116
6.9. Résumé	117
6.10. Points clés à retenir	118
6.11. Exercices	119
III: Taches principales d'IA	121
7. Reconnaissance d'Images	123
7.1. Introduction	123
7.2. Objectifs d'apprentissage	123
7.3. Comprendre la classification d'images	124
7.4. Architectures de classification	125
7.5. Préparer les données pour la classification	126
7.6. Importer les bibliothèques	127
7.7. Télécharger le jeu de données EuroSAT RGB	128
7.8. Explorer le jeu de données	128

7.9.	Entraîner un classifieur ResNet-50	130
7.10.	Tracer l'historique d'entraînement	131
7.11.	Évaluer sur l'ensemble de test	132
7.12.	Tracer la matrice de confusion	132
7.13.	Visualiser les prédictions	134
7.14.	Entraîner un classifieur EfficientNet-B0	135
7.15.	Comparer les résultats	137
7.16.	Publier et réutiliser des modèles	137
7.17.	Points clés à retenir	139
7.18.	Exercices	139
8.	Détection d'Objets	141
8.1.	Introduction	141
8.2.	Objectifs d'apprentissage	141
8.3.	Comprendre la détection d'objets	142
8.4.	Architectures de détection	143
8.5.	Préparer les jeux de données de détection	146
8.6.	Évaluer les résultats de détection	146
8.7.	Importer les bibliothèques	148
8.8.	Télécharger le jeu de données NWPU-VHR-10	148
8.9.	Explorer le jeu de données	148
8.10.	Préparer le jeu de données	149
8.11.	Visualiser des exemples d'annotations	149
8.12.	Entraîner un modèle de détection multi-classes	150
8.13.	Tracer les métriques d'entraînement	151
8.14.	Évaluer avec les métriques COCO	152
8.15.	Effectuer l'inférence sur des images d'exemple	152
8.16.	Visualiser les détections	153
8.17.	Inférence par lots sur plusieurs images	154
8.18.	Publier et réutiliser les modèles	155
8.19.	Points clés à retenir	158
8.20.	Exercices	158
9.	Segmentation Sémantique	161
9.1.	Introduction	161
9.2.	Objectifs d'apprentissage	161
9.3.	Fondements de la segmentation sémantique	162
9.4.	Importation des bibliothèques	164
9.5.	Détection de bâtiments à partir d'imagerie aérienne	164
9.6.	Cartographie des eaux de surface	170
9.7.	Détection des nuages et des ombres de nuages	193
9.8.	Classification de l'occupation du sol	200
9.9.	Publication et réutilisation des modèles	205
9.10.	Points clés à retenir	206
9.11.	Exercices	207
10.	Segmentation d'Instances	209
10.1.	Introduction	209
10.2.	Objectifs d'apprentissage	209
10.3.	Segmentation d'instances vs. segmentation sémantique	210
10.4.	Architecture Mask R-CNN	211

10.5.	Téléchargement du jeu de données FTW	212
10.6.	Préparation des données d'entraînement	214
10.7.	Entraînement d'un modèle Mask R-CNN	215
10.8.	Exécution de l'inférence	216
10.9.	Post-traitement des prédictions	218
10.10.	Extraction des propriétés géométriques	220
10.11.	Traitement par lots	223
10.12.	Points clés à retenir	223
10.13.	Exercices	224
11.	<i>Traduction d'Images</i>	227
11.1.	Introduction	227
11.2.	Objectifs d'apprentissage	227
11.3.	Fondements de la traduction d'images	228
11.4.	Importer les bibliothèques	230
11.5.	Télécharger les données d'exemple	230
11.6.	Visualiser le composite RVB d'entrée	231
11.7.	Super-résolution sur un patch unique	232
11.8.	Estimation de l'incertitude	234
11.9.	Inférence tuilée pour les régions plus grandes	235
11.10.	Limitations et précautions	237
11.11.	Points clés à retenir	238
11.12.	Exercices	239
12.	<i>Détection de Changements</i>	241
12.1.	Introduction	241
12.2.	Objectifs d'apprentissage	241
12.3.	Comprendre la détection de changements	242
12.4.	Méthodes traditionnelles de détection de changements	243
12.5.	Apprentissage profond pour la détection de changements	246
12.6.	Importation des bibliothèques	247
12.7.	Liste des modèles disponibles	247
12.8.	Configuration	247
12.9.	Téléchargement des données d'exemple	248
12.10.	Visualisation de l'imagerie d'entrée	248
12.11.	Initialisation du modèle ChangeStar	248
12.12.	Exécution de la détection de changements	249
12.13.	Visualisation des résultats	250
12.14.	Utilisation de la fonction utilitaire	251
12.15.	Comparaison des variantes de modèles	252
12.16.	Ajustement du seuil	253
12.17.	Consultation des sorties enregistrées	254
12.18.	Points clés à retenir	255
12.19.	Exercices	256
13.	<i>Régression au Niveau du Pixel</i>	259
13.1.	Introduction	259
13.2.	Objectifs d'apprentissage	259
13.3.	Comprendre la régression au niveau du pixel	260
13.4.	Architectures de régression	261
13.5.	Étude de cas : Prédiction du NDVI à partir d'imagerie Landsat	262

13.6. Métriques d'évaluation	268
13.7. Points clés à retenir	269
13.8. Exercices	269
IV: Modeles fondamentaux et embeddings satellitaires	271
14. Segment Anything pour le Géospatial	273
14.1. Introduction	273
14.2. Objectifs d'apprentissage	274
14.3. Fonctionnement de SAM 3	274
14.4. Configuration de l'environnement	275
14.5. Segmentation d'images	275
14.6. Invites par points pour la segmentation d'instances	280
14.7. Invites par boîtes pour l'extraction de bâtiments	287
14.8. Segmentation par lots	291
14.9. Segmentation par tuiles pour les grandes images	293
14.10. Segmentation interactive	296
14.11. Segmentation vidéo	298
14.12. Points clés	304
14.13. Exercices	305
15. Modèles Vision-Langage	307
15.1. Introduction	307
15.2. Objectifs d'apprentissage	308
15.3. Fonctionnement des modèles vision-langage	308
15.4. Configuration de l'environnement	309
15.5. Données d'exemple	309
15.6. Initialisation du processeur Moondream	310
15.7. Sous-titrage d'images	311
15.8. Réponse visuelle aux questions	312
15.9. Détection d'objets et localisation par points	313
15.10. Interface graphique interactive	315
15.11. Analyse par fenêtre glissante pour les grands rasters	317
15.12. Segmentation basée sur CLIP	323
15.13. Applications pratiques en observation de la Terre	326
15.14. Limites et considérations	326
15.15. Points clés à retenir	327
15.16. Exercices	328
16. Embeddings Satellitaires	329
16.1. Introduction	329
16.2. Objectifs d'apprentissage	329
16.3. Que sont les embeddings satellitaires ?	330
16.4. Configuration de l'environnement	330
16.5. Parcourir les jeux de données d'embeddings disponibles	331
16.6. Explorer les embeddings par patch	332
16.7. Visualisation des embeddings	334
16.8. Regroupement des embeddings	336
16.9. Recherche par similarité	338
16.10. Entraînement de classificateurs sur les embeddings	341
16.11. Comparaison des embeddings pour la détection de changements	345
16.12. Chargement des jeux de données avec TorchGeo	347

16.13.	Travail avec les embeddings temporels TESSERA	347
16.14.	Explorer les embeddings satellitaires AlphaEarth	353
16.15.	Points clés à retenir	356
16.16.	Exercices	357
V:	Plugins QGIS	359
17.	<i>Configuration du Plugin GeoAI pour QGIS</i>	361
17.1.	Introduction	361
17.2.	Objectifs d'apprentissage	361
17.3.	Vue d'ensemble de l'architecture du plugin	361
17.4.	Installation du plugin QGIS	362
17.5.	Configuration des dépendances	365
17.6.	Configuration de l'accès à SAM 3	369
17.7.	Gestion de la mémoire GPU	370
17.8.	Vérification des mises à jour du plugin	371
17.9.	Points clés à retenir	372
17.10.	Exercices	373
18.	<i>Segmentation d'Arbres dans QGIS</i>	375
18.1.	Introduction	375
18.2.	Objectifs d'apprentissage	375
18.3.	Aperçu du panneau Segmentation d'Arbres	376
18.4.	Chargement des modèles pré-entraînés	376
18.5.	Exécution des prédictions	378
18.6.	Exportation des résultats	381
18.7.	Considérations pratiques	383
18.8.	Points clés à retenir	384
18.9.	Exercices	384
19.	<i>Segmentation de l'Eau dans QGIS</i>	387
19.1.	Introduction	387
19.2.	Objectifs d'apprentissage	387
19.3.	Aperçu du panneau de segmentation de l'eau	388
19.4.	Configuration des données d'entrée	388
19.5.	Exécution de la segmentation de l'eau	390
19.6.	Options de sortie	391
19.7.	Considérations pratiques	392
19.8.	Points clés à retenir	393
19.9.	Exercices	394
20.	<i>Modèles Vision-Langage dans QGIS</i>	395
20.1.	Introduction	395
20.2.	Objectifs d'apprentissage	396
20.3.	Chargement du modèle Moondream	396
20.4.	Légendage d'images	398
20.5.	Réponse visuelle aux questions	400
20.6.	Détection d'objets	401
20.7.	Localisation ponctuelle	402
20.8.	Conseils et limitations	403
20.9.	Points clés à retenir	405
20.10.	Exercices	405
21.	<i>Segment Anything dans QGIS</i>	407

21.1.	Introduction	407
21.2.	Objectifs d'apprentissage	407
21.3.	Données d'exemple	407
21.4.	Chargement d'un modèle SAM	408
21.5.	Segmentation par prompt textuel	410
21.6.	Segmentation interactive	411
21.7.	Traitement par lots	413
21.8.	Exportation des résultats	414
21.9.	Points clés	416
21.10.	Exercices	417
22.	<i>Segmentation Sémantique dans QGIS</i>	419
22.1.	Introduction	419
22.2.	Objectifs d'apprentissage	419
22.3.	Création des données d'entraînement	420
22.4.	Entraînement d'un modèle	422
22.5.	Exécution de l'inférence	426
22.6.	Résolution des problèmes courants	427
22.7.	Points clés à retenir	428
22.8.	Exercices	428
23.	<i>Segmentation d'Instances dans QGIS</i>	431
23.1.	Introduction	431
23.2.	Objectifs d'Apprentissage	431
23.3.	Architecture de Mask R-CNN	432
23.4.	Création des Données d'Entraînement	432
23.5.	Entraînement de Mask R-CNN	434
23.6.	Exécution de l'Inférence	436
23.7.	Points Clés à Retenir	438
23.8.	Exercices	438
Bibliographie		441

Préface

Introduction

Nous sommes au cœur d'une révolution dans l'observation de la Terre. Chaque jour, les satellites capturent un volume massif de données, comprenant des images multispectrales, du radar, du LiDAR et bien plus encore. Bien que ces informations détiennent les clés pour comprendre la vulnérabilité climatique et l'urbanisation, l'écart entre la collecte de données et les applications concrètes est resté un obstacle majeur. C'est là que la GéoIA entre en jeu.

À l'intersection des sciences géospatiales et de l'IA, la GéoIA comble cet écart à un rythme incroyable. Les modèles d'apprentissage profond peuvent désormais identifier chaque bâtiment à grande échelle ou localiser des véhicules individuels sur de vastes zones. De nouveaux modèles de fondation permettent à ces outils de fonctionner dans des environnements inconnus avec un minimum d'intervention humaine. De plus, les modèles vision-langage et les agents autonomes permettent aux analystes d'interroger l'imagerie et de gérer les flux de travail à l'aide de simples commandes. Les tâches de numérisation manuelle qui prenaient autrefois des mois sont désormais réalisées en quelques minutes.

Ce livre, « *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI* », est votre guide pratique pour cette révolution. Il repose sur un principe simple : la meilleure façon d'apprendre la GéoIA est de la pratiquer. Plutôt que de s'attarder sur la théorie abstraite, chaque chapitre met de vrais outils entre vos mains, de la préparation des jeux de données d'entraînement à l'exécution de modèles d'apprentissage profond, en passant par la visualisation et l'interprétation interactive de vos résultats. Le code est réel, les jeux de données sont réels, et les problèmes reflètent ce que les praticiens rencontrent au quotidien.

L'écosystème Python pour la GéoIA a considérablement mûri. Des bibliothèques comme PyTorch, torchgeo et segment-geospatial mettent l'apprentissage profond de pointe à la portée des praticiens géospatiaux, tandis que des packages tels que [leafmap](#) et [geoai](#) fournissent des interfaces de haut niveau qui rendent les flux de travail complexes accessibles. Les plateformes de cloud computing et l'accélération GPU ont abaissé la barrière pour l'entraînement et le déploiement de modèles à grande échelle. Ensemble, ces avancées signifient qu'un chercheur avec un ordinateur portable peut désormais accomplir ce qui nécessitait autrefois une équipe de spécialistes et une salle entière de serveurs.

Notre parcours commence par les fondations : comprendre les formats de données géospatiales, configurer un environnement d'apprentissage profond et maîtriser la visualisation interactive. Nous abordons ensuite le travail essentiel d'acquisition d'images satellitaires et de préparation des jeux de données d'entraînement. À partir de là, nous progressons à travers les tâches fondamentales de l'IA qui définissent la télédétection moderne : reconnaissance d'images, détection d'objets, segmentation sémantique, segmentation d'instances, traduction d'images, détection de changements et régression au niveau du pixel. Nous explorons ensuite la frontière des modèles de fondation, notamment le Segment Anything Model (SAM), les modèles vision-langage et les embeddings satellitaires. Enfin, une section dédiée aux plugins QGIS intègre ces capacités d'IA dans un environnement SIG de bureau familier, permettant des flux de travail sophistiqués sans écrire de code.

Que vous soyez un professionnel des SIG cherchant à intégrer l'IA dans vos flux de travail, un data scientist curieux des applications géospatiales, un chercheur repoussant les limites de l'observation de la Terre, ou un étudiant se lançant dans une carrière à l'intersection de la géographie et de l'apprentissage automatique, ce livre vous fournira les connaissances et les compétences nécessaires pour transformer l'imagerie satellitaire en information exploitable.

L'avenir de l'analyse géospatiale est intelligent, automatisé et accessible. Construisons-le ensemble.

À qui s'adresse ce livre

Ce livre est conçu pour toute personne souhaitant appliquer l'intelligence artificielle aux données géospatiales. Si vous avez déjà scruté une image satellitaire en vous demandant comment extraire automatiquement des bâtiments, des routes ou l'occupation du sol, ou si vous avez entraîné des modèles d'apprentissage profond mais avez eu du mal à les appliquer à des données géographiques avec leurs projections, coordonnées et fichiers de grande taille, ce livre est fait pour vous.

Vous tirerez le meilleur parti de ce livre si vous êtes

Un professionnel des SIG prêt à dépasser la numérisation manuelle et l'interprétation visuelle. Vous maîtrisez QGIS ou ArcGIS et comprenez les concepts d'analyse spatiale, mais vous souhaitez exploiter l'apprentissage profond pour automatiser l'extraction d'entités, classifier l'occupation du sol à grande échelle ou détecter des changements dans des séries temporelles d'images.

Un scientifique ou chercheur en télédétection travaillant avec des images satellitaires ou aériennes. Vous comprenez les bandes spectrales, la résolution spatiale et le prétraitement d'images, mais vous avez besoin d'un pont pratique vers les techniques modernes d'IA, de l'entraînement de modèles de segmentation à l'application de modèles de fondation comme SAM à vos zones d'étude.

Un data scientist ou ingénieur en apprentissage automatique ayant de l'expérience en apprentissage profond et souhaitant appliquer vos compétences aux problèmes géospatiaux. Vous êtes à l'aise avec PyTorch ou TensorFlow et comprenez les CNN et les transformers, mais vous avez besoin de conseils sur les défis spécifiques des données géographiques : systèmes de référence de coordonnées, découpage de grands rasters en tuiles, gestion d'imagerie multibande et géoréférencement des sorties de modèles.

Un étudiant en master/doctorat ou un jeune chercheur en géographie, sciences de l'environnement, urbanisme, écologie ou dans un domaine connexe. Votre recherche implique des données spatiales, et vous souhaitez intégrer des méthodes d'IA de pointe dans votre thèse ou vos publications tout en développant des compétences de plus en plus demandées.

Un développeur logiciel construisant des applications géospatiales nécessitant une analyse intelligente. Vous devez intégrer l'extraction d'entités, la classification ou la détection de changements alimentées par l'IA dans des applications web, des API ou des pipelines automatisés, et vous souhaitez comprendre l'ensemble du flux de travail, de l'entraînement du modèle au déploiement.

Prérequis essentiels

Vous devriez être à l'aise avec :

- **La programmation Python** : variables, fonctions, classes et importation de bibliothèques (une expertise avancée en Python n'est pas requise)
- **L'analyse de données de base** : travail avec des données tabulaires, filtrage, agrégation et création de graphiques
- **Les concepts géospatiaux fondamentaux** : comprendre que les données ont une localisation, ce que sont les données raster et vectorielles, et une familiarité de base avec les systèmes de coordonnées
- **Les bases de la ligne de commande** : navigation dans les répertoires, exécution de scripts et installation de packages

Connaissances utiles (mais non requises)

- Expérience avec des frameworks d'apprentissage profond (PyTorch, TensorFlow)

- Familiarité avec les concepts de télédétection (bandes spectrales, résolution spatiale, classification d'images)
- Exposition préalable aux bibliothèques Python géospatiales (rasterio, geopandas, leafmap)
- Compréhension des fondamentaux de l'apprentissage automatique (entraînement vs. inférence, surapprentissage, métriques d'évaluation)

Si vous débutez en programmation Python géospatiale

Si vous débutez en programmation Python géospatiale, le livre suivant offre une excellente introduction aux concepts fondamentaux des SIG et à la programmation Python :

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

Pour ceux qui s'intéressent à la gestion des données spatiales et à l'analyse géospatiale basée sur SQL, le livre complémentaire offre un guide complet :

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

Ce que couvre ce livre

Ce livre propose un parcours structuré allant des fondamentaux géospatiaux aux applications GéoIA prêtes pour la production, vous dotant de compétences pratiques grâce à des exemples concrets à chaque étape. Chaque chapitre s'appuie sur le précédent, élargissant progressivement votre capacité à appliquer l'IA à des problèmes géospatiaux réels.

Partie I : Fondations (*Chapitres 1–3*)

Établissez les connaissances et outils essentiels qui sous-tendent tout le contenu suivant :

- **Chapitre 1 : Introduction à la GéoIA** fournit une vue d'ensemble complète du paysage de la GéoIA : ce que c'est, pourquoi c'est important, et comment l'apprentissage profond a transformé l'analyse géospatiale. Vous explorerez les tâches clés de l'IA en télédétection, passerez en revue l'écosystème Python pour la GéoIA, et comprendrez où les modèles de fondation et les agents IA emmènent le domaine.
- **Chapitre 2 : Configuration de l'environnement** vous guide dans la configuration d'un environnement de développement GéoIA complet. De l'installation de Python et la gestion des packages avec conda à la configuration de l'accélération GPU avec CUDA et PyTorch, ce chapitre garantit que vous disposez d'une base solide et reproductible pour tout le travail pratique qui suit.
- **Chapitre 3 : Formats de données géospatiales** couvre les formats de données que vous rencontrerez tout au long du livre, y compris les formats raster comme GeoTIFF et Cloud Optimized GeoTIFF (COG), les formats vectoriels comme GeoJSON et GeoParquet, et les formats spécialisés pour l'apprentissage profond tels que les annotations COCO et Pascal VOC. Vous apprendrez à lire, écrire et convertir entre les formats à l'aide de Python.

À la fin de la Partie I, vous disposerez d'un environnement d'apprentissage profond entièrement configuré et d'une solide compréhension des formats de données et des concepts nécessaires pour travailler avec la GéoIA.

Partie II : Acquisition et préparation des données (*Chapitres 4–6*)

Maîtrisez le travail critique mais souvent sous-estimé d’obtention et de préparation des données géospatiales pour l’IA :

- **Chapitre 4 : Téléchargement de données de télédétection** vous apprend à accéder de manière programmatique aux images satellitaires, aux données d’élévation et à d’autres jeux de données géospatiales à partir de sources comme Google Earth Engine, Microsoft Planetary Computer et divers portails de données ouvertes. Vous apprendrez à rechercher, filtrer et télécharger efficacement des données pour vos zones d’étude.
- **Chapitre 5 : Cartographie et visualisation interactives** présente des outils de visualisation puissants pour explorer les données géospatiales de manière interactive. En utilisant leafmap et d’autres bibliothèques, vous créez des cartes interactives, superposez des images satellitaires, visualiserez les prédictions de modèles et construirez des récits visuels convaincants. Ces compétences sont essentielles tant pour l’analyse exploratoire que pour la communication des résultats.
- **Chapitre 6 : Création de données d’entraînement** aborde l’une des étapes les plus importantes de tout pipeline d’IA : la préparation de jeux de données d’entraînement de haute qualité. Vous apprendrez à créer des jeux de données étiquetés pour les tâches de segmentation, de détection et de classification, y compris les stratégies d’annotation et comment découper de grandes images satellitaires en tuiles d’entraînement.

À la fin de la Partie II, vous serez capable d’acquérir des images satellitaires à partir de multiples sources, de les visualiser de manière interactive et de préparer des jeux de données d’entraînement bien structurés, prêts pour les modèles d’apprentissage profond.

Partie III : Tâches fondamentales de l’IA (*Chapitres 7–13*)

Plongez dans les tâches fondamentales de l’IA qui définissent l’analyse géospatiale moderne :

- **Chapitre 7 : Reconnaissance d’images** introduit l’apprentissage profond pour la classification d’images entières. Vous apprendrez à construire des modèles de classification d’images qui identifient les types de scènes, les catégories d’occupation du sol et les caractéristiques géographiques à partir d’images satellitaires et aériennes.
- **Chapitre 8 : Détection d’objets** vous apprend à localiser et classer des objets individuels dans l’imagerie géospatiale. De la détection de bâtiments et de véhicules à l’identification d’arbres et de panneaux solaires, vous travaillerez avec des architectures comme Faster R-CNN et YOLO adaptées à la télédétection.
- **Chapitre 9 : Segmentation sémantique** couvre la classification au niveau du pixel, attribuant une étiquette de classe à chaque pixel d’une image. Vous entraînerez des modèles pour délimiter des entités comme les plans d’eau, la végétation et les zones bâties à partir d’images satellitaires, en apprenant des architectures comme U-Net et DeepLabV3+ au passage.
- **Chapitre 10 : Segmentation d’instances** combine détection et segmentation, produisant des contours précis pour chaque objet individuel. Vous apprendrez à distinguer des entités superposées, comme les empreintes de bâtiments individuels dans des zones urbaines denses, en utilisant des modèles comme Mask R-CNN.
- **Chapitre 11 : Traduction d’images** applique l’IA pour transformer des images entre domaines, incluant la super-résolution, la traduction entre capteurs et la suppression de nuages. Vous entraînerez des modèles sur de l’imagerie satellitaire multispectrale et apprendrez à générer des sorties à plus haute résolution à partir d’entrées à plus basse résolution.

- **Chapitre 12 : Détection de changements** aborde le défi d'identifier ce qui a changé entre des images capturées à différents moments. De l'expansion urbaine et la déforestation à l'évaluation des dommages post-catastrophe, vous apprendrez des approches traditionnelles et d'apprentissage profond pour l'analyse temporelle.
- **Chapitre 13 : Régression au niveau du pixel** va au-delà de la classification pour prédire des valeurs continues pour chaque pixel, telles que la hauteur de la canopée, la biomasse, l'humidité du sol ou la densité de population. Vous entraînerez des modèles de régression sur de l'imagerie satellitaire et apprendrez des stratégies d'évaluation spécifiques aux prédictions continues.

À la fin de la *Partie III*, vous aurez une expérience pratique de toutes les principales tâches de GéoIA, comprendrez quand appliquer chaque approche et serez capable d'entraîner et d'évaluer des modèles pour vos propres applications géospatiales.

Partie IV : Modèles de fondation et embeddings satellitaires (*Chapitres 14–16*)

Explorez la pointe de la GéoIA, où les modèles de fondation pré-entraînés redéfinissent le champ des possibles :

- **Chapitre 14 : Segment Anything pour le géospatial** présente le Segment Anything Model (SAM) et son application à l'imagerie géospatiale. En utilisant le package [segment-geospatial](#), vous apprendrez à segmenter des images satellitaires avec un minimum de prompts, en extrayant des bâtiments, des champs agricoles, des plans d'eau et bien plus, sans entraînement spécifique à la tâche.
- **Chapitre 15 : Modèles vision-langage** explore les modèles qui font le pont entre la compréhension visuelle et textuelle. Vous apprendrez à interroger l'imagerie satellitaire en langage naturel, à générer des légendes pour des scènes géospatiales et à exploiter des modèles multimodaux pour des tâches comme la réponse visuelle aux questions sur des données de télédétection.
- **Chapitre 16 : Embeddings satellitaires** explore l'écosystème en pleine expansion des jeux de données d'embeddings satellitaires pré-calculés à partir de modèles de fondation. Vous apprendrez à parcourir, charger et visualiser des embeddings provenant de neuf jeux de données, dont Clay, TESSERA et AlphaEarth de Google, à effectuer des recherches par similarité et du clustering, et à entraîner des classifieurs légers sur des vecteurs d'embeddings.

À la fin de la *Partie IV*, vous comprendrez comment les modèles de fondation transforment la GéoIA, et vous serez équipé pour appliquer ces techniques avancées à vos propres recherches et projets.

Partie V : Plugins QGIS (*Chapitres 17–23*)

Intégrez les capacités de GéoIA dans l'environnement SIG de bureau familier de QGIS grâce au plugin GeoAI :

- **Chapitre 17 : Installation du plugin GeoAI pour QGIS** guide l'installation et la configuration du plugin GeoAI pour QGIS. Vous utiliserez l'installateur de dépendances intégré ou configurerez un environnement Pixi avec PyTorch et le support CUDA, installerez le plugin et apprendrez à gérer la mémoire GPU pour exécuter de grands modèles d'IA dans QGIS.
- **Chapitre 18 : Segmentation d'arbres dans QGIS** présente le panneau de segmentation d'arbres pour la détection de couronnes d'arbres et la détection d'objets écologiques. Vous chargerez des modèles pré-entraînés pour les arbres, oiseaux, bétail, nids et arbres morts, configurerez les paramètres de prédiction pour des images individuelles et de grandes tuiles, et exporterez les résultats aux formats vectoriel, raster et données d'entraînement.
- **Chapitre 19 : Segmentation de l'eau dans QGIS** couvre le panneau de segmentation de l'eau pour la détection automatisée des plans d'eau à l'aide d'OmniWaterMask. Vous configurerez l'ordre des

bandes pour différents capteurs, ajustez les paramètres d'inférence par patches, intégrez les données OpenStreetMap pour l'affinement et exportez les masques d'eau sous forme de données raster et vectorielles.

- **Chapitre 20 : Modèles vision-langage dans QGIS** présente le panneau Moondream VLM pour l'interaction en langage naturel avec l'imagerie géospatiale. Vous générerez des légendes d'images, poserez des questions sur les entités visibles, détecterez des objets avec des boîtes englobantes et localiserez des entités avec des marqueurs ponctuels.
- **Chapitre 21 : Segment Anything dans QGIS** présente le panneau Segment Anything pour la segmentation interactive et automatisée. Vous chargerez SAM 3, segmenterez des objets à l'aide de prompts textuels, effectuerez une segmentation interactive avec des prompts de points et de boîtes, traiterez des lots d'entités et exporterez des résultats géoréférencés.
- **Chapitre 22 : Segmentation sémantique dans QGIS** couvre le flux de travail complet de l'entraînement à l'inférence pour la classification au niveau du pixel sans écrire de code. Vous créerez des jeux de données d'entraînement, choisirez parmi des architectures comme U-Net, DeepLabV3+ et SegFormer, entraînerez des modèles personnalisés et exécuterez l'inférence avec vectorisation et lissage.
- **Chapitre 23 : Segmentation d'instances dans QGIS** présente la détection d'objets au niveau de l'instance à l'aide de Mask R-CNN. Vous créerez des données d'entraînement d'instances au format PASCAL_VOC, entraînerez des modèles pour détecter et délimiter des objets individuels, et utiliserez la sortie par objet pour le comptage, la mesure et l'analyse spatiale.

À la fin de la Partie V, vous serez capable d'exécuter des flux de travail GéoIA sophistiqués directement dans QGIS, rendant l'analyse alimentée par l'IA accessible aux praticiens des SIG sans nécessiter d'expertise en programmation Python.

Thèmes transversaux

- **Pratique concrète** : Chaque concept est accompagné d'exemples de code exécutables utilisant des données géospatiales réelles.
- **Outils open source** : Tous les logiciels utilisés dans le livre sont gratuits et open source, garantissant l'accessibilité et la reproductibilité.
- **Flux de travail évolutifs** : Des techniques qui fonctionnent sur un ordinateur portable et s'adaptent à l'infrastructure cloud.
- **Applications réelles** : Des exemples tirés de la surveillance environnementale, de l'analyse urbaine, de l'agriculture et de la réponse aux catastrophes.
- **Reproductibilité** : Tout le code et les données sont disponibles sur GitHub, vous permettant de reproduire chaque résultat du livre.

Tirer le meilleur parti de ce livre

Pour maximiser votre expérience d'apprentissage avec ce livre, prenez en compte les recommandations suivantes :

Configurez votre environnement tôt : Suivez attentivement le chapitre 2 pour configurer votre environnement Python avec le support GPU. De nombreuses tâches de GéoIA bénéficient significativement de l'accélération GPU, et un environnement correctement configuré vous fera gagner un temps considérable tout au long du livre. Si vous ne disposez pas d'un GPU local, le livre fournit des conseils pour utiliser des plateformes GPU basées sur le cloud comme Google Colab.

Suivez le code pas à pas : Ce livre est conçu pour être interactif. Ne vous contentez pas de lire le code. Tapez-le, exécutez-le et observez les résultats. Modifiez les paramètres, essayez différents jeux de données

et expérimentez. La compréhension vient par la pratique, et les exemples pratiques sont le cœur de ce livre. Quand quelque chose ne fonctionne pas comme prévu, résistez à l'envie de passer à la suite. Le débogage est l'une des expériences d'apprentissage les plus précieuses, et les compétences de résolution de problèmes que vous développerez vous serviront tout au long de votre carrière en GéoIA.

Parcourez les chapitres dans l'ordre : Bien que les praticiens expérimentés puissent passer directement à des sujets spécifiques, les chapitres s'appuient les uns sur les autres. Les concepts introduits dans les chapitres précédents (configuration de l'environnement, formats de données, techniques de visualisation) sont utilisés tout au long du livre. Si vous sautez des chapitres, revenez en arrière si nécessaire.

Utilisez vos propres données : Bien que le livre fournisse des jeux de données pour chaque exemple, le véritable apprentissage se produit lorsque vous appliquez ces techniques à des données qui vous tiennent à cœur. Essayez d'exécuter les modèles de segmentation sur l'imagerie de votre zone d'étude, ou entraînez un modèle de détection d'objets sur des entités pertinentes pour votre recherche.

Acceptez les erreurs : L'entraînement de modèles d'apprentissage profond implique de l'itération. Les modèles ne convergeront pas toujours du premier coup, les prédictions ne seront pas toujours parfaites, et les GPU manqueront parfois de mémoire. Ce sont des opportunités d'apprentissage. Le livre aborde les pièges courants et les stratégies de débogage, mais développer l'instinct pour diagnostiquer les problèmes vient avec l'expérience.

Construisez un projet de portfolio : Au fur et à mesure de votre progression dans le livre, identifiez un problème géospatial qui vous intéresse et appliquez les techniques que vous apprenez. Un projet complet, de l'acquisition des données à l'entraînement du modèle en passant par la visualisation, démontre vos compétences bien plus efficacement que toute certification.

Restez à jour : La GéoIA est un domaine en évolution rapide. De nouveaux modèles de fondation, architectures et outils émergent régulièrement. Le dépôt GitHub du livre est mis à jour périodiquement avec de nouveaux contenus et exemples pour poursuivre votre parcours d'apprentissage.

Conventions utilisées dans ce livre

Ce livre utilise plusieurs conventions pour vous aider à naviguer dans le contenu et comprendre les exemples de code :

Formatage du code : Tout le code Python apparaît en police à espacement fixe dans des blocs de code. Lorsque du code apparaît dans le texte courant, il est formaté comme ceci . Les noms de fichiers et de répertoires, les noms de packages et les noms de fonctions sont également formatés en police à espacement fixe.

Exemples de code : La plupart des exemples de code sont complets et exécutables. Ils incluent des commentaires expliquant les concepts et techniques clés démontrés. Voici un exemple typique utilisant la bibliothèque `leafmap` :

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

Importation de packages : Au début de chaque chapitre, toutes les importations nécessaires sont listées. Les packages clés que vous rencontrerez tout au long du livre incluent :

- `geoai` - flux de travail GéoIA de haut niveau (opengeoai.org)
- `leafmap` - visualisation géospatiale interactive (leafmap.org)
- `samgeo` - SAM pour les données géospatiales (samgeo.gishub.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` - apprentissage profond avec PyTorch
- `rasterio` / `geopandas` - lecture et écriture de données géospatiales

Figures et cartes : Les cartes interactives sont rendues directement dans les notebooks Jupyter. Dans l'édition imprimée, des captures d'écran statiques sont présentées avec des légendes décrivant les fonctionnalités interactives disponibles dans la version en ligne.

Téléchargement des exemples de code

Tous les exemples de code et les matériaux supplémentaires de ce livre sont librement disponibles sur GitHub : <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

Tous les jeux de données d'exemple sont disponibles sur Source Cooperative : <https://source.coop/opengeos/geoai>

Pour télécharger les matériaux, vous pouvez utiliser l'une des méthodes suivantes :

- **Cloner le dépôt** (recommandé si Git est installé) :

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **Télécharger en ZIP** (si vous préférez ne pas utiliser Git) :
 - Visitez la page du dépôt GitHub
 - Cliquez sur le bouton vert **Code**
 - Sélectionnez **Download ZIP**
 - Extrayez les fichiers à l'emplacement de votre choix
- **Parcourir les fichiers individuels** en ligne via l'interface GitHub ou le site web du livre à book.opengeoai.org

Le dépôt est régulièrement mis à jour avec des corrections, des améliorations et des exemples supplémentaires. Revenez périodiquement pour les mises à jour, ou ajoutez une **étoile** et **surveillez** le dépôt sur GitHub pour être notifié des changements.

Si vous trouvez des erreurs dans le code ou avez des suggestions d'amélioration, veuillez ouvrir une issue ou soumettre une pull request sur GitHub. Les contributions de la communauté contribuent à améliorer cette ressource pour tous.

Tutoriels vidéo

En complément du contenu écrit, ce livre est accompagné de tutoriels vidéo qui parcourent les concepts clés et fournissent des démonstrations supplémentaires :

<https://youtube.com/@giswqs>

Les vidéos sont conçues pour compléter, et non remplacer, le contenu écrit. Elles sont particulièrement utiles pour :

- Les apprenants visuels qui bénéficient de voir le code écrit et exécuté en temps réel

- La compréhension de flux de travail complexes comme l'entraînement et l'inférence de modèles à travers des guides pas à pas
- Observer comment aborder les problèmes géospatiaux et déboguer les problèmes courants
- Apprendre des astuces et bonnes pratiques pour travailler avec de grands jeux de données satellitaires

Des tutoriels vidéo supplémentaires seront ajoutés au fur et à mesure de l'évolution du livre. Abonnez-vous à la chaîne pour rester informé des nouveaux contenus.

Communauté et retours

Je suis ouvert aux retours, questions et suggestions des lecteurs. Vos contributions aident à améliorer le livre et le rendent plus utile pour la communauté GéoIA.

Pour les questions et discussions liées au livre :

- GitHub Issues : <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions : <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

Pour les questions spécifiques aux packages :

- geoai : <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- leafmap : <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial : <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

Types de retours particulièrement utiles :

- Erreurs ou explications peu claires dans le texte ou le code
- Suggestions d'exemples, de jeux de données ou de cas d'utilisation supplémentaires
- Signalements de problèmes de compatibilité avec différents systèmes d'exploitation, configurations GPU ou versions de bibliothèques
- Idées de nouveaux sujets ou de techniques émergentes de GéoIA à couvrir
- Témoignages de réussite sur la façon dont vous avez appliqué les techniques du livre à votre propre travail

À propos de l'auteur

Dr. Qiusheng Wu est professeur associé et directeur des études supérieures au département de géographie et de durabilité de l'Université du Tennessee à Knoxville. Il exerce également en tant qu'Amazon Scholar. Les recherches du Dr. Wu portent sur l'avancement de l'analyse géospatiale open source à travers le cloud computing et la GéoIA, avec un accent sur l'exploitation des grandes données géospatiales et de l'intelligence artificielle pour étudier les changements environnementaux, en particulier la dynamique des eaux de surface et de l'inondation des zones humides.

Il est le créateur et le mainteneur de plusieurs packages Python open source largement utilisés, dont [geemap](https://geemap.org)¹ pour la visualisation interactive de Google Earth Engine, [leafmap](https://leafmap.org)² pour la cartographie géospatiale polyvalente, [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³ pour l'application du Segment Anything Model aux données géospatiales, et [geoai](https://opengeoai.org)⁴ pour les flux de travail GéoIA de haut niveau. Ses projets open source, disponibles

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

via l'organisation [Open Geospatial Solutions](https://github.com/opengeos)⁵ sur GitHub, ont été largement adoptés par des chercheurs, des éducateurs et des praticiens dans le monde entier.

Les travaux du Dr. Wu font le pont entre la télédétection, l'observation de la Terre et l'intelligence artificielle pour rendre les données géospatiales à grande échelle plus accessibles, reproductibles et intelligentes. Il est passionné par la science ouverte et croit que les meilleurs outils pour comprendre notre planète devraient être librement accessibles à tous.

Licence et droits d'auteur

Ce livre adopte les principes de la science ouverte et de l'éducation ouverte. Pour favoriser la transparence, l'apprentissage et la réutilisation, les **exemples de code** de ce livre sont publiés sous licence [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Cela signifie que vous êtes libre de copier, modifier et distribuer le code, même à des fins commerciales, à condition de créditer l'auteur de manière appropriée.

Veuillez attribuer l'utilisation du code en citant le livre ou en faisant un lien vers le dépôt GitHub :

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

Bien que le code soit librement disponible, le **texte, les figures et les images** de ce livre sont **protégés par le droit d'auteur** © 2026 par l'auteur et ne peuvent être reproduits, redistribués ou modifiés sans autorisation explicite. Cela inclut tout le contenu écrit, les diagrammes personnalisés et les visualisations intégrées, sauf indication contraire.

Si vous souhaitez réutiliser ou adapter tout matériel non-code du livre (par exemple, pour l'enseignement, des présentations ou des publications), veuillez contacter l'auteur pour demander l'autorisation.

Cette approche de double licence aide à équilibrer l'accès ouvert aux matériaux d'apprentissage avec la protection du travail créatif original. Merci de respecter ces conditions et de soutenir la communauté géospatiale open source.

⁵<https://github.com/opengeos>

Guide pratique de l'intelligence artificielle géospatiale open source

L'intelligence artificielle transforme la façon dont nous analysons et comprenons notre planète. **GeoAI avec Python** est le guide pratique de référence pour appliquer des techniques d'IA aux données géospatiales, des images satellitaires et photographies aériennes aux jeux de données vectoriels et aux archives d'observation de la Terre.

Chaque chapitre comprend un notebook Jupyter associé utilisant des données réelles, afin que vous puissiez suivre pas à pas et reproduire tous les résultats. Que vous soyez un professionnel des SIG explorant l'IA ou un data scientist travaillant avec des données spatiales pour la première fois, ce livre fait le lien entre ces deux univers.

Qiusheng Wu est professeur associé à l'Université du Tennessee et Amazon Scholar. Il est le créateur de plusieurs bibliothèques Python géospatiales open source largement utilisées, notamment geemap, leafmap, segment-geospatial et geoai. Ses projets sont disponibles sur <https://github.com/opengeos>.

Ce que vous apprendrez

- Télécharger et préparer des données de télédétection issues de NAIP, Sentinel-2 et des catalogues STAC
- Entraîner des modèles d'apprentissage profond pour la segmentation, la détection d'objets et la classification de l'occupation des sols
- Appliquer des modèles fondamentaux comme SAM 3, Moondream et les embeddings satellitaires à des problèmes réels
- Créer des cartes interactives et des visualisations pour l'analyse géospatiale
- Utiliser des plugins QGIS pour la segmentation, l'entraînement, l'inférence et les modèles vision-langage



Scannez le code QR pour visiter
le site web du livre et
télécharger les exemples de
code depuis
<https://book.opengeoai.org>

