



Centre Universitaire Abdelhafid Boussof – Mila

المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف - ميلة

Institut des Sciences de la Nature et la Vie

معهد علوم الطبيعة والحياة

Département des sciences écologie et Environnement

قسم علم البيئة والمحيط



Initiation au système d'information géographique (SIG)

Dr. REBBAH Abderraouf Chouaib

Initiation au système d'information géographique (SIG)

Informations générales

- Intitulé du Master : Biodiversité et Environnement
- Matière : Initiation au système d'information géographique (SIG)
- Crédits : 4
- Coefficient : 2

Objectifs pédagogiques

- **Comprendre** les bases théoriques des SIG.
- **Découvrir** les applications du SIG en biodiversité et environnement.
- **Apprendre** les bases du traitement et de l'analyse des images satellitaires.
- **Initier** les étudiants à la manipulation de logiciels SIG (QGIS, ArcGIS, etc.).

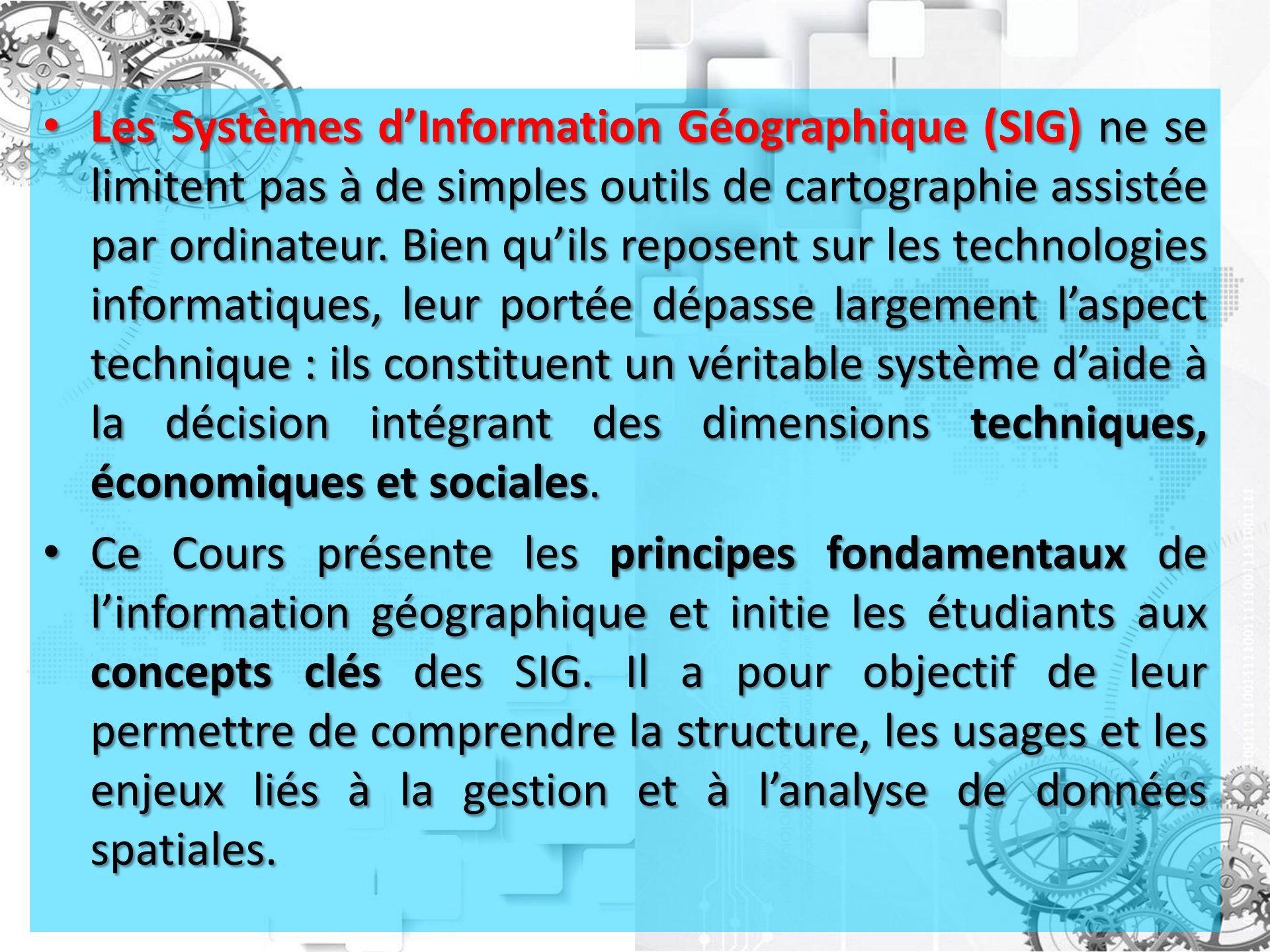


Initiation au système d'information géographique (SIG)

Plan du cours

- **Chapitre 1 :**
Introduction générale au SIG
- **Chapitre 2 :**
L'information spatiale
- **Chapitre 3 :**
Généralités sur la géomatique
- **Chapitre 4 :**
Architecture et aspects techniques des SIG
- **Chapitre 5 :**
Applications des SIG en biodiversité et environnement



- 
- **Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)** ne se limitent pas à de simples outils de cartographie assistée par ordinateur. Bien qu'ils reposent sur les technologies informatiques, leur portée dépasse largement l'aspect technique : ils constituent un véritable système d'aide à la décision intégrant des dimensions **techniques, économiques et sociales**.
 - Ce Cours présente les **principes fondamentaux** de l'information géographique et initie les étudiants aux **concepts clés** des SIG. Il a pour objectif de leur permettre de comprendre la structure, les usages et les enjeux liés à la gestion et à l'analyse de données spatiales.



Chapitre 1

Introduction générale au SIG

Chapitre 1 : Introduction générale au SIG

- Définitions et historique
- Objectifs et domaines d'application
- Importance en environnement et biodiversité
- Différence entre SIG, géomatique et télédétection



Qu'est-ce qu'un SIG ?

Un **S**ystème d'**I**nformation **G**éographique (**SIG**) est un ensemble d'outils informatiques permettant de **collecter**, **stocker**, **analyser** et **visualiser** des données géoréférencées (localisées sur la Terre)

À quoi sert un SIG ?

Un SIG sert à **comprendre et représenter l'espace**.

Il aide à répondre à des questions comme :

- Où se trouvent les zones polluées ?
- Quelle est la meilleure zone pour construire un barrage ?
- Comment évoluent les forêts ou les zones urbaines ?
- Où sont les espèces menacées dans une région ?

L'information géographique

- **L'information géographique** peut être définie comme une information relative à un objet ou à un phénomène du monde terrestre, décrit plus ou moins complètement :
 - - par sa nature, son aspect, ses caractéristiques diverses
 - - et par son positionnement sur la surface terrestre.

- ☐ nombre de voies,
- ☐ nom (ex. N20),
- ☐ sa longueur, etc...
- ☐ - sa localisation



Représentation de l'information géographique

La représentation de l'information géographique consiste à traduire des phénomènes du monde réel (objets, événements, processus) sous une **forme lisible et exploitable** à l'aide de **cartes, données ou modèles numériques**.

- La carte
- L'image enregistrée
- Le texte

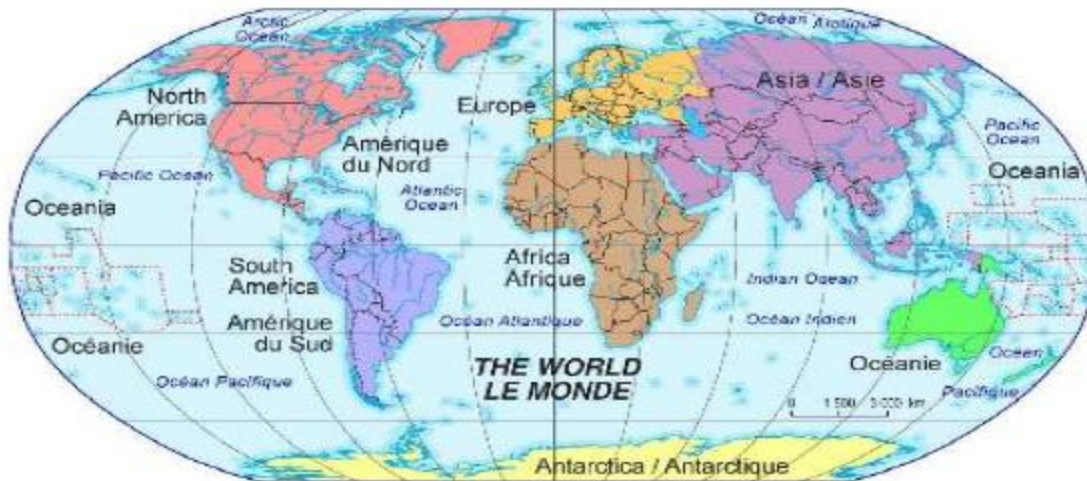


Exemples d'applications

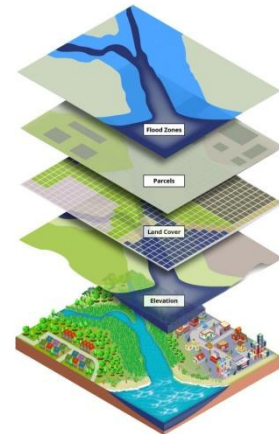
- **Environnement** : suivi de la déforestation, cartographie des sols, analyse de la qualité de l'eau.
- **Agriculture** : suivi des cultures, gestion des ressources hydriques.
- **Urbanisme** : planification des routes et des infrastructures.
- **Santé** : cartographie des maladies.
- **Biodiversité** : suivi de la distribution des espèces.

Définition

- Un **Système d'Information Géographique (SIG)** est un ensemble organisé de matériels, de logiciels, de données et de méthodes permettant de:
 - **Collecter, stocker, analyser, gérer et représenter des données spatialisées** (localisées dans l'espace géographique).
- Il relie **l'information spatiale** (localisation) à l'information descriptive (**attributs**).



- **Un Système d'Information Géographique (SIG)** est un outil informatique qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser et représenter des données référencées géographiquement.
- Il combine des bases de données, des logiciels et des méthodes d'analyse spatiale afin de modéliser des phénomènes naturels, gérer l'espace et aider à la prise de décision.
- En d'autres termes, le SIG transforme des données spatiales complexes en informations utiles pour la planification, la gestion environnementale et territoriale



Un **Système d'Information Géographique (SIG)** peut aussi être défini à travers les **questions fondamentales** auxquelles il répond :

- **Où ?** Identifier la **localisation** d'un objet ou d'un phénomène et analyser sa **répartition spatiale**.
- **Quoi ?** Déterminer les **objets ou phénomènes présents** à un endroit donné.
- **Comment ?** Étudier les **relations spatiales** entre différents éléments (corrélations, influences, interactions).
- **Quand ?** Analyser la **dynamique temporelle**, c'est-à-dire les **changements et évolutions** dans le temps.
- **Et si ?** Simuler des **scénarios futurs** pour évaluer leurs **impacts potentiels** sur le territoire ou l'environnement.

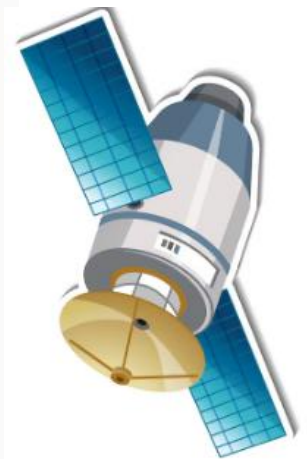
Ces questions traduisent les **cinq principales fonctionnalités** d'un SIG, souvent appelées les « **5 A** » :

- **Abstraction** : Modéliser et structurer l'information spatiale.
- **Acquisition** : Collecter et intégrer les données existantes.
- **Archivage** : Stocker et organiser les données pour un accès rapide.
- **Analyse** : Traiter les données pour en extraire des connaissances utiles.
- **Affichage** : Représenter les résultats sous forme cartographique ou graphique

un SIG est un environnement informatisé qui permet la gestion, l'analyse et la visualisation d'informations spatialisées, facilitant la compréhension, la modélisation et la prise de décision sur des phénomènes localisés dans l'espace et dans le temps.

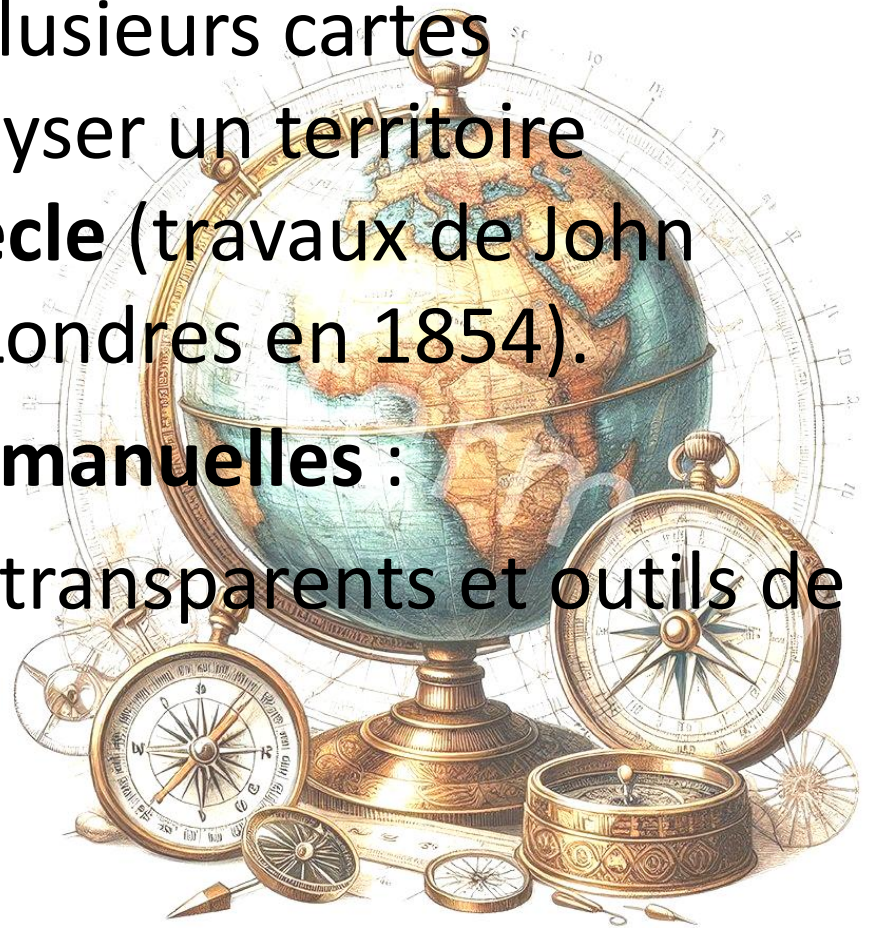
Historique des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

- Les origines (avant 1960)
- La naissance du SIG moderne (1960–1970)
- L'essor technologique (1980–1990)
- L'ère Internet et la démocratisation (2000–2010)
- Le SIG contemporain (2010 à aujourd'hui)



Les origines (avant 1960)

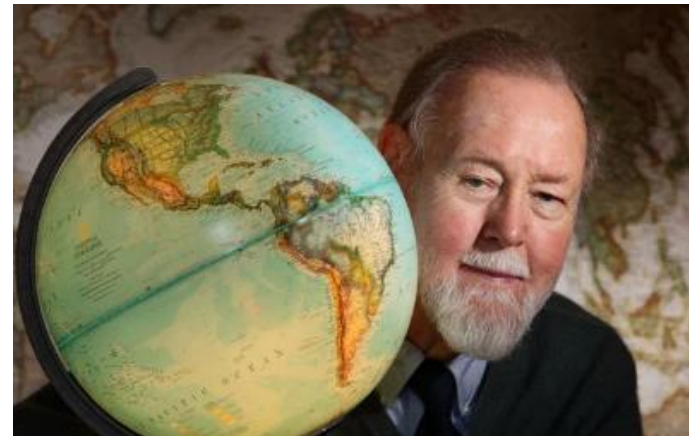
- Les **premiers fondements** du SIG viennent de la **cartographie classique** et de la **géodésie**.
- L'idée de superposer plusieurs cartes thématiques pour analyser un territoire apparaît dès le **XIX^e siècle** (travaux de John Snow sur le choléra à Londres en 1854).
- Ces approches étaient **manuelles** :
- cartes papier, calques transparents et outils de dessin.



La naissance du SIG moderne (1960–1970)

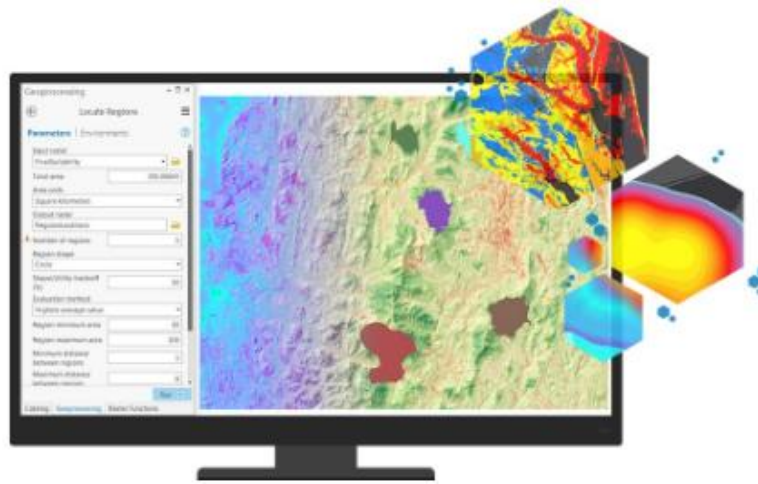
- **1963** : création du **Canada Geographic Information System (CGIS)** par Roger Tomlinson — considéré comme **le premier SIG opérationnel** au monde.
→ Objectif : inventorier et gérer les ressources naturelles du Canada.
- Début de l'utilisation des **ordinateurs** pour stocker, analyser et représenter les données géographiques.
- Apparition du concept de **géocodage** et de **bases de données spatiales**.

Roger Tomlinson



L'essor technologique (1980–1990)

- L'arrivée des **ordinateurs personnels (PC)** et des **interfaces graphiques** rend les SIG plus accessibles.
- Naissance de **logiciels commerciaux** :
 - Arc/INFO (ESRI, 1982)
 - IDRISI, MapInfo, GRASS GIS, etc.
- Intégration des **données satellitaires** et du **GPS**.
- Développement du concept de **géomatique**, combinant SIG, télédétection et cartographie



ArcGIS

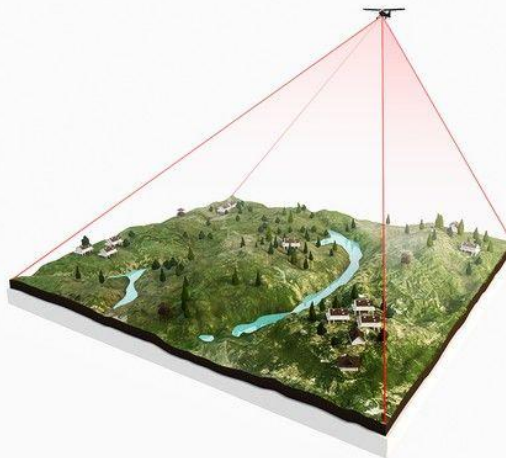
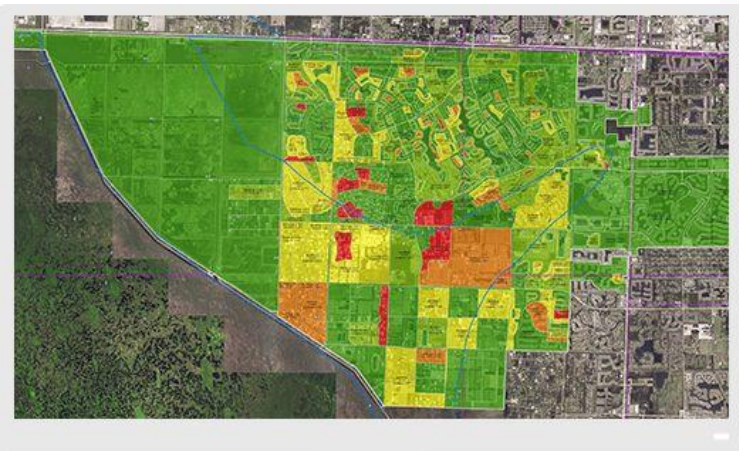
L'ère Internet et la démocratisation (2000–2010)

- Le SIG devient **interactif et en ligne** : apparition des **WebSIG**.
- Outils emblématiques : **Google Earth (2005)**, **OpenStreetMap (2004)**.
- Intégration des SIG dans la **gestion urbaine**, **l'environnement**, la **planification territoriale**, etc



Le SIG contemporain (2010 à aujourd'hui)

- Émergence du **SIG 3D**, du **SIG mobile** et du **SIG collaboratif**.
- Intégration avec le **Big Data**, les **drones**, l'**intelligence artificielle (IA)** et l'**Internet des objets (IoT)**.
- Les logiciels libres comme **QGIS** prennent une place importante dans la recherche et l'enseignement



Les éléments d'un SIG

- **Les données spatiales :**
cartes, images satellites, coordonnées GPS...
- **Les données attributaires :**
informations descriptives (nom, type, population, etc.).
- **Le logiciel SIG :**
comme **QGIS (gratuit)** ou **ArcGIS (payant)**.
- **Les utilisateurs :**
chercheurs, techniciens, étudiants

Les éléments d'un SIG

Les données spatiales



cartes, images satellites,
coordonnées GPS...

Les données attributaires



informations descriptives
(nom, type, population, etc.)

Le logiciel SIG



comme QGIS (gratuit)
ou ArcGIS (payant)

Les utilisateurs

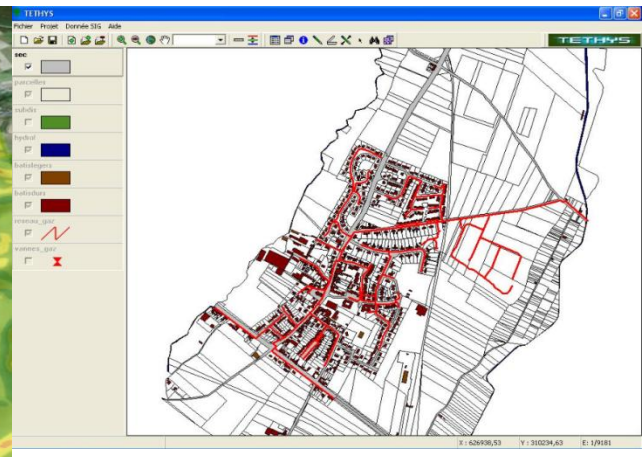
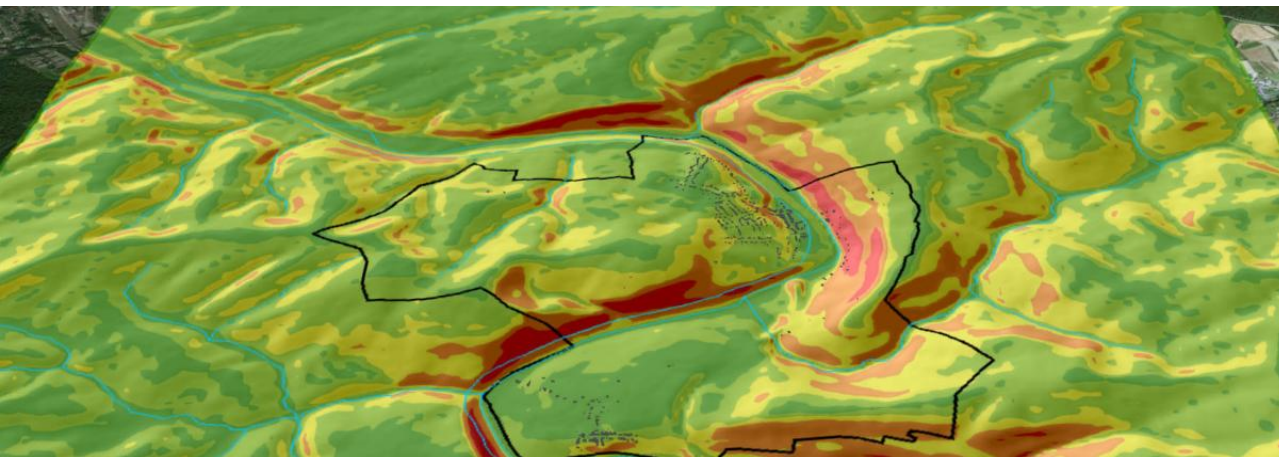


chercheurs, techniciens,
étudiants



Les composantes d'un SIG

- Un **Système d'Information Géographique (SIG)** repose sur **cinq composantes fondamentales**, qui interagissent entre elles pour permettre la collecte, le stockage, l'analyse et la représentation de l'information géographique. Voici une explication claire et pédagogique de chacune :





1- Les Données



- Les données sont le **cœur du SIG**. Elles représentent les phénomènes du monde réel sous forme :
- **Données spatiales** (localisation géographique : coordonnées, cartes, couches SIG)
- **Données attributaires** (informations descriptives : population, type de sol, usage du terrain...)
- Exemple : une couche représentant les rivières avec, pour chaque segment, son nom, sa longueur, son débit.

couche détaillée → couche regroupée



ID	Type
1	bleu
2	vert
3	bleu
4	bleu
5	vert
6	orange
7	orange
8	orange

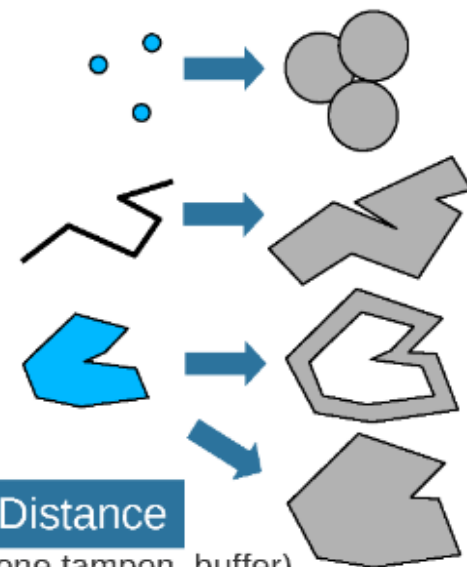
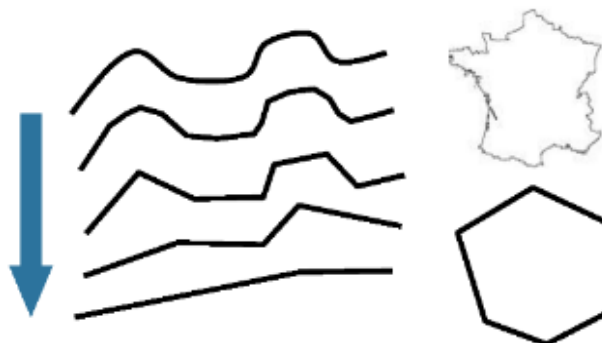
couche regroupée



ID	Type
1	bleu
2	vert
6	orange

Agrégation
(= regroupement, dissolve)

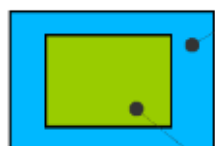
Généralisation



Distance
(= zone tampon, buffer)

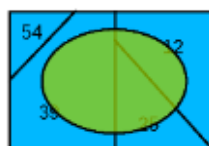
Découpage (= clip)

couche A
(à découper)



ID	Type
37	Bleu

couche B
(de découpage)



ID	Type
12	Bleu
25	Bleu
54	Bleu
39	Bleu

couche C (découpée)

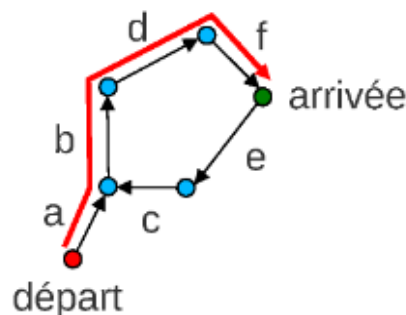


ID	Type
37	Bleu



ID	Type
12	Bleu
25	Bleu
39	Bleu

Distance sur un réseau



ID	Longueur
a	4
b	5
c	2
d	7
e	6
f	3
	19

- Connexité
- Direction des arcs
- Incrémentation des valeurs

2- Le Logiciel

- Le logiciel permet de **traiter et d'analyser les données**.

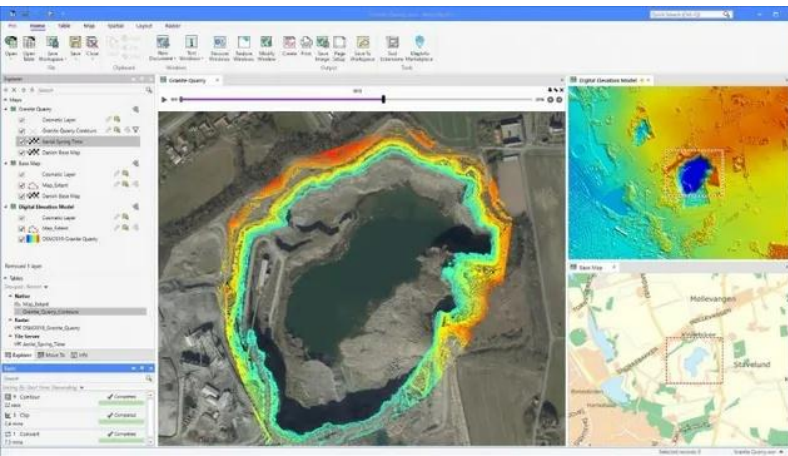
Il offre des outils pour :

- Saisir, stocker, gérer et visualiser les données
- Réaliser des analyses spatiales et cartographiques
- Exemples : **QGIS, ArcGIS, MapInfo, GRASS GIS**



3- Le Matériel

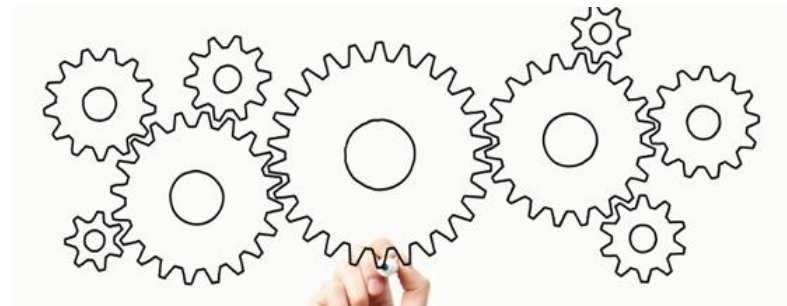
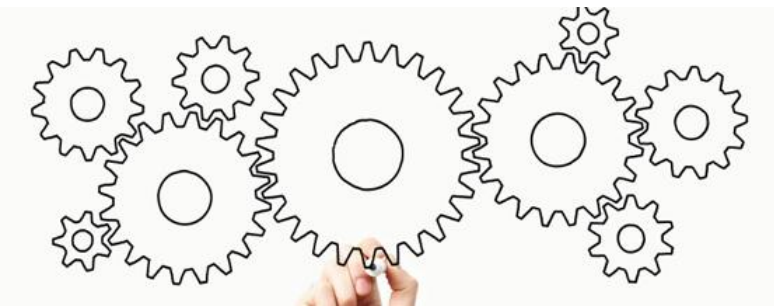
- Ce sont les **équipements physiques** nécessaires au fonctionnement du SIG :
- Ordinateurs, serveurs, GPS, drones, scanners, traceurs, etc.
- Le matériel influence la performance et la précision des traitements spatiaux





4- Les Méthodes

- Elles regroupent les **procédures, modèles et protocoles** utilisés pour garantir la cohérence et la qualité du travail :
- Méthodes de collecte et de traitement des données
- Normes de métadonnées et de représentation cartographique
- Exemple : méthode d'interpolation pour créer une carte des températures.



5- Les Utilisateurs

- Les utilisateurs sont les **acteurs humains** du système :
- Techniciens, ingénieurs, chercheurs, décideurs, étudiants, etc.

Leur compétence et leur interprétation influencent la qualité de l'analyse et la pertinence des résultats.

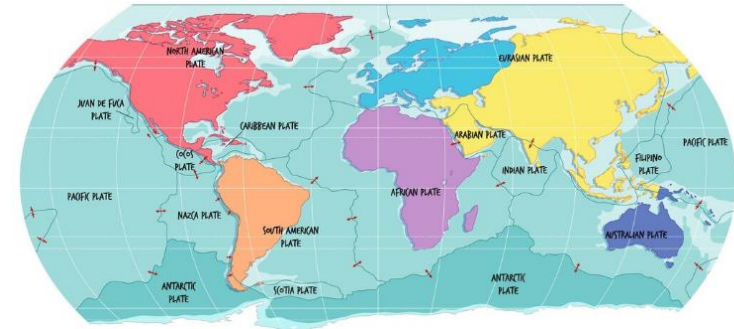


Les 5 composantes d'un SIG



Différence entre SIG et cartographie

- **La cartographie traditionnelle**
 - **Définition**



La cartographie est la science et l'art de représenter l'espace géographique sur un support (papier ou numérique) à l'aide de symboles, de couleurs et d'échelles.

Objectif :

Représenter une réalité géographique (relief, hydrographie, routes, population, etc.) de manière visuelle et statique.





Caractéristiques

- Outil **de représentation** et de **communication**.
- Données souvent **fixes**, issues d'enquêtes ou de levés topographiques.
- Nécessite des **compétences graphiques et géographiques**.
- Exemple : Carte topographique, carte géologique, carte administrative, etc

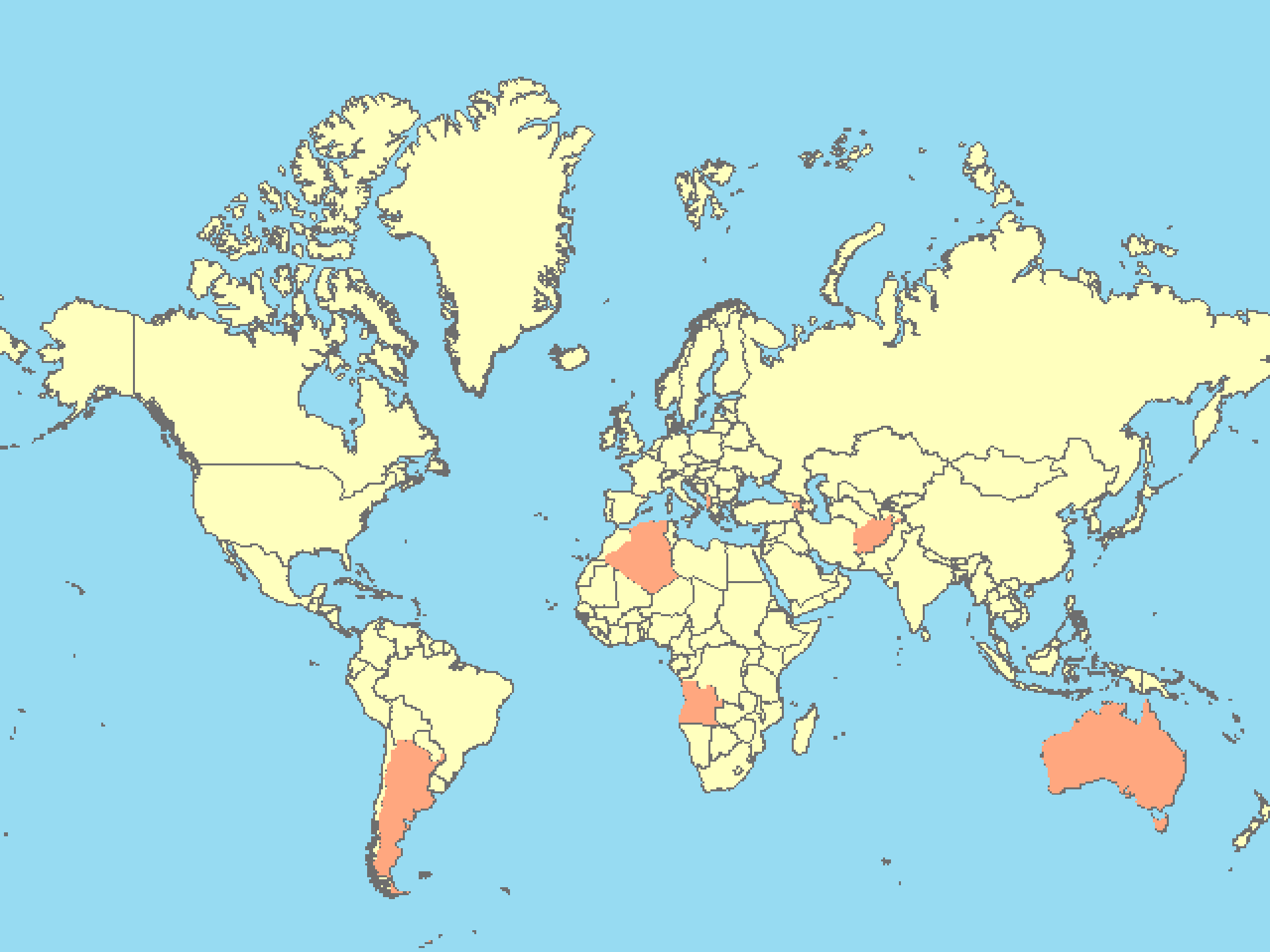
Le Système d'Information Géographique (SIG)

- **Définition :**

Un SIG est un **ensemble d'outils informatiques** permettant **de collecter, stocker, analyser, gérer et représenter** des données géographiques **dynamiques et géoréférencées**.

- **Objectif :**

Fournir une **analyse spatiale**, une **modélisation** et une **aide à la décision** pour divers domaines (environnement, urbanisme, agriculture, etc.).



Caractéristiques :

- Outil **informatique et analytique**.
- Gère de grandes **bases de données spatiales** (cartes, images satellitaires, relevés GPS).
- Permet une **mise à jour et une superposition** de couches d'informations.
- Exemple : QGIS, ArcGIS, MapInfo

Différences principales

Aspect	Cartographie traditionnelle	Système d'Information Géographique (SIG)
Nature	Statique, visuelle	Dynamique, analytique
Support	Papier ou image numérique	Base de données spatiale
Objectif	Représenter l'espace	Analyser, modéliser et gérer l'espace
Mise à jour	Difficile, manuelle	Facile, automatique
Outils	Crayons, logiciels de dessin, etc.	Logiciels SIG (QGIS, ArcGIS)
Interaction	Observation passive	Manipulation interactive
Exemple d'usage	Carte routière	Analyse de la qualité de l'eau, zonage écologique

Relations entre la cartographie et le SIG

- La **cartographie** est à la base du **SIG** : elle fournit la **représentation spatiale**.
- Le **SIG** utilise la **cartographie** comme **outil de visualisation** des résultats d'analyse.
- En résumé :
« La cartographie décrit le monde, le SIG l'analyse. »
Les deux sont **complémentaires** : le SIG **modernise et enrichit** la cartographie traditionnelle

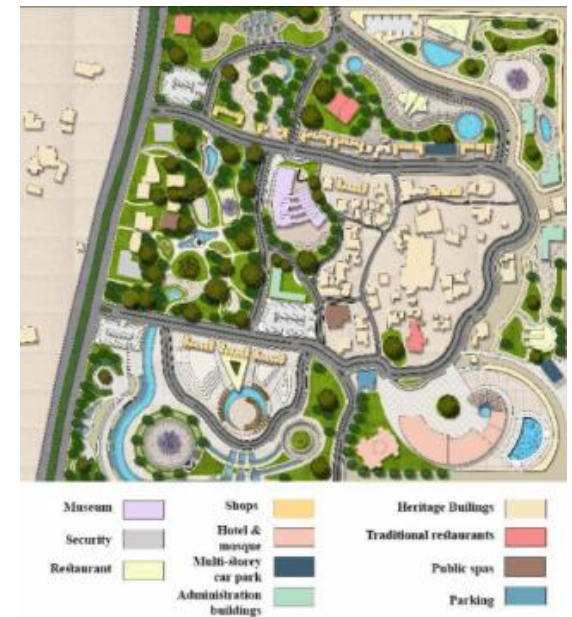
Domaines d'application des SIG

- Les **SIG** sont des outils puissants utilisés dans de nombreux domaines pour **collecter, analyser et représenter spatialement** des données géographiques:
1. **Urbanisme et aménagement du territoire**
 2. **Agriculture et gestion des sols**
 3. **Hydrologie et gestion de l'eau**
 4. **Biodiversité et écologie**
 5. **Santé publique**
 6. **Environnement et changement climatique**
 7. **Transports et mobilité**



Urbanisme et aménagement du territoire

- Cartographie des infrastructures urbaines
- Planification urbaine et gestion foncière
- Suivi de l'expansion urbaine et analyse de la densité de population



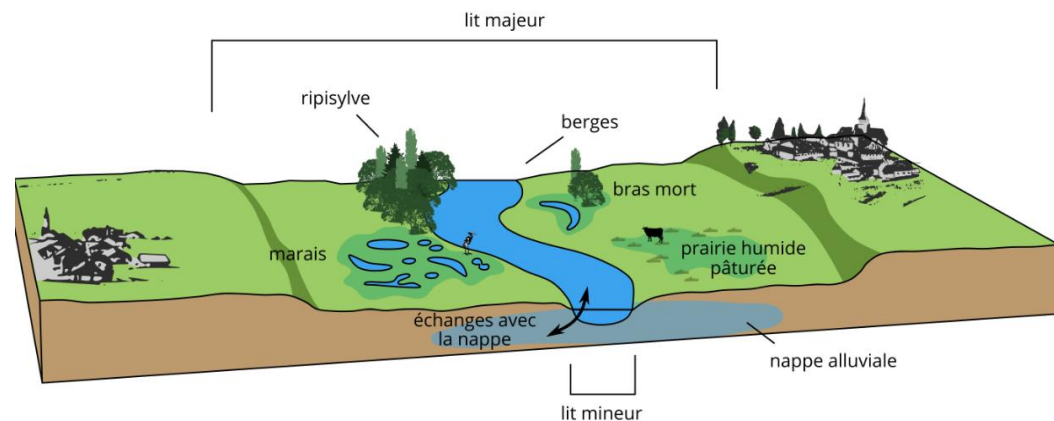
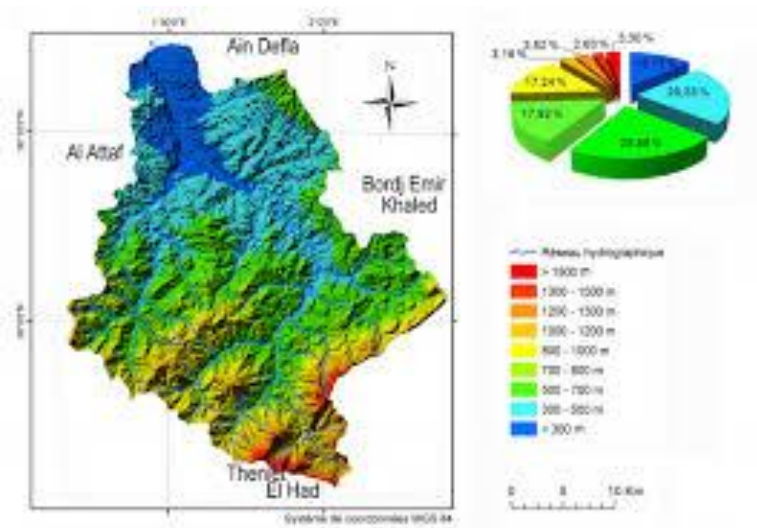
Agriculture et gestion des sols

- Cartographie des sols et des cultures
- Agriculture de précision (rendement, fertilisation, irrigation)
- Suivi de l'érosion et de la dégradation des terres



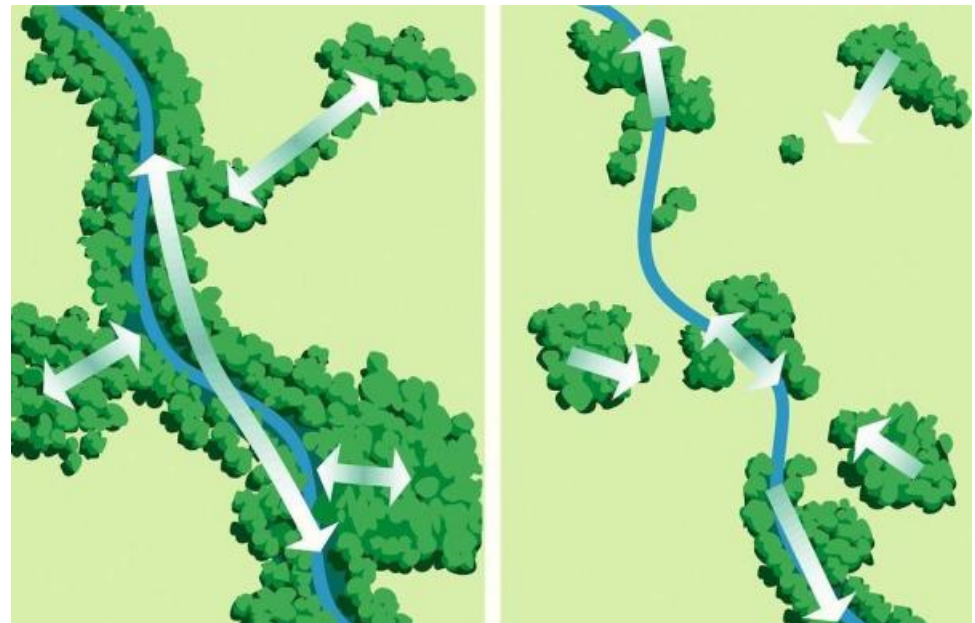
Hydrologie et gestion de l'eau

- Modélisation du ruissellement et des bassins versants
- Surveillance de la qualité et quantité des eaux
- Gestion des ressources hydriques et des barrages



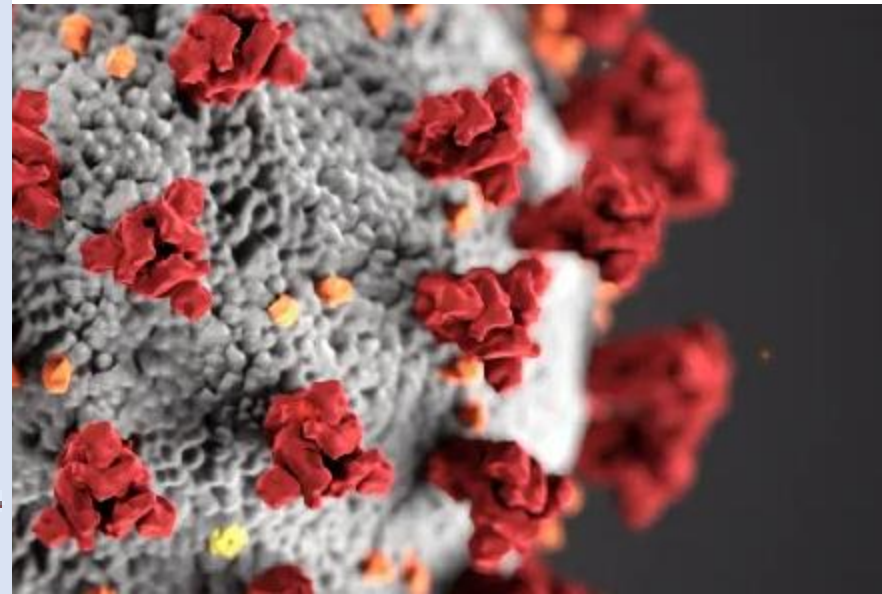
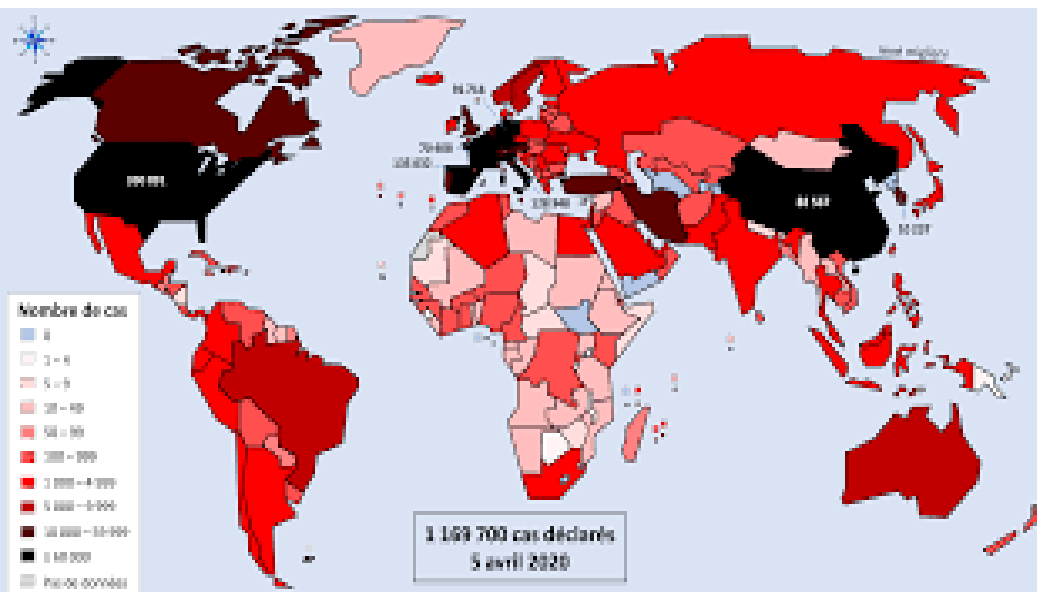
Biodiversité et écologie

- Suivi des habitats naturels et des espèces
- Évaluation des écosystèmes et des corridors écologiques
- Gestion des aires protégées et conservation de la faune



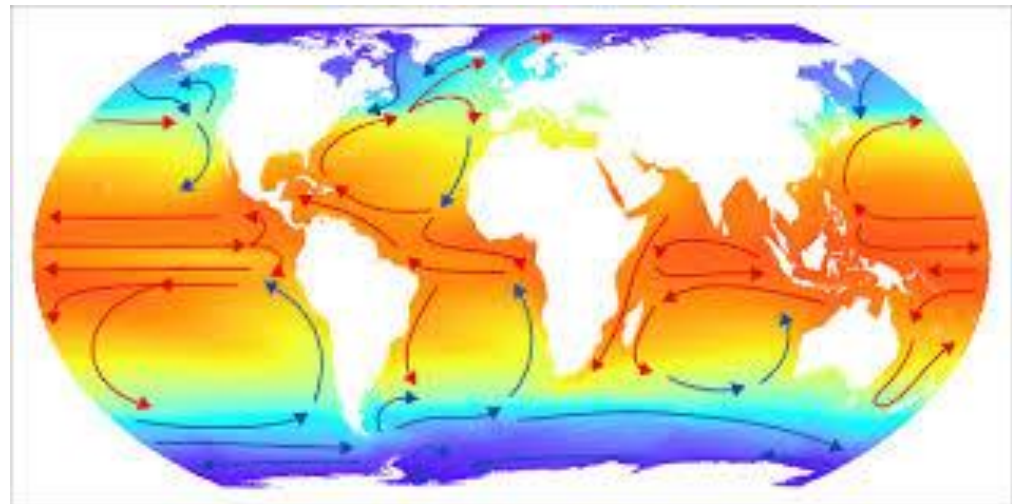
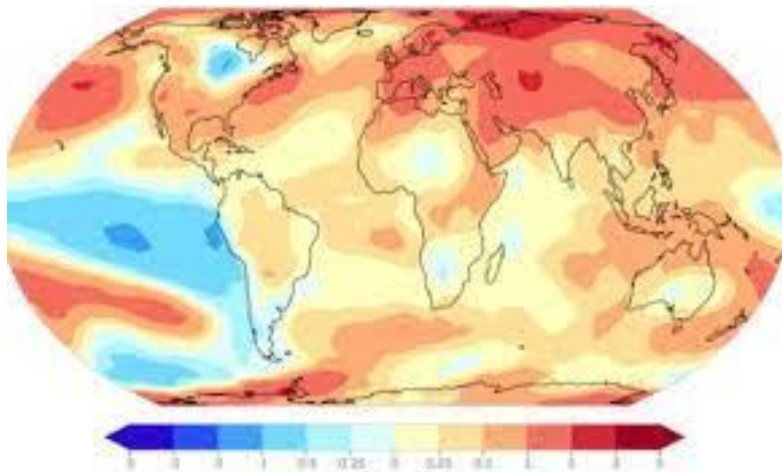
Santé publique

- Cartographie des maladies et des zones à risque
- Gestion des urgences et épidémies
- Analyse spatiale des facteurs environnementaux de santé



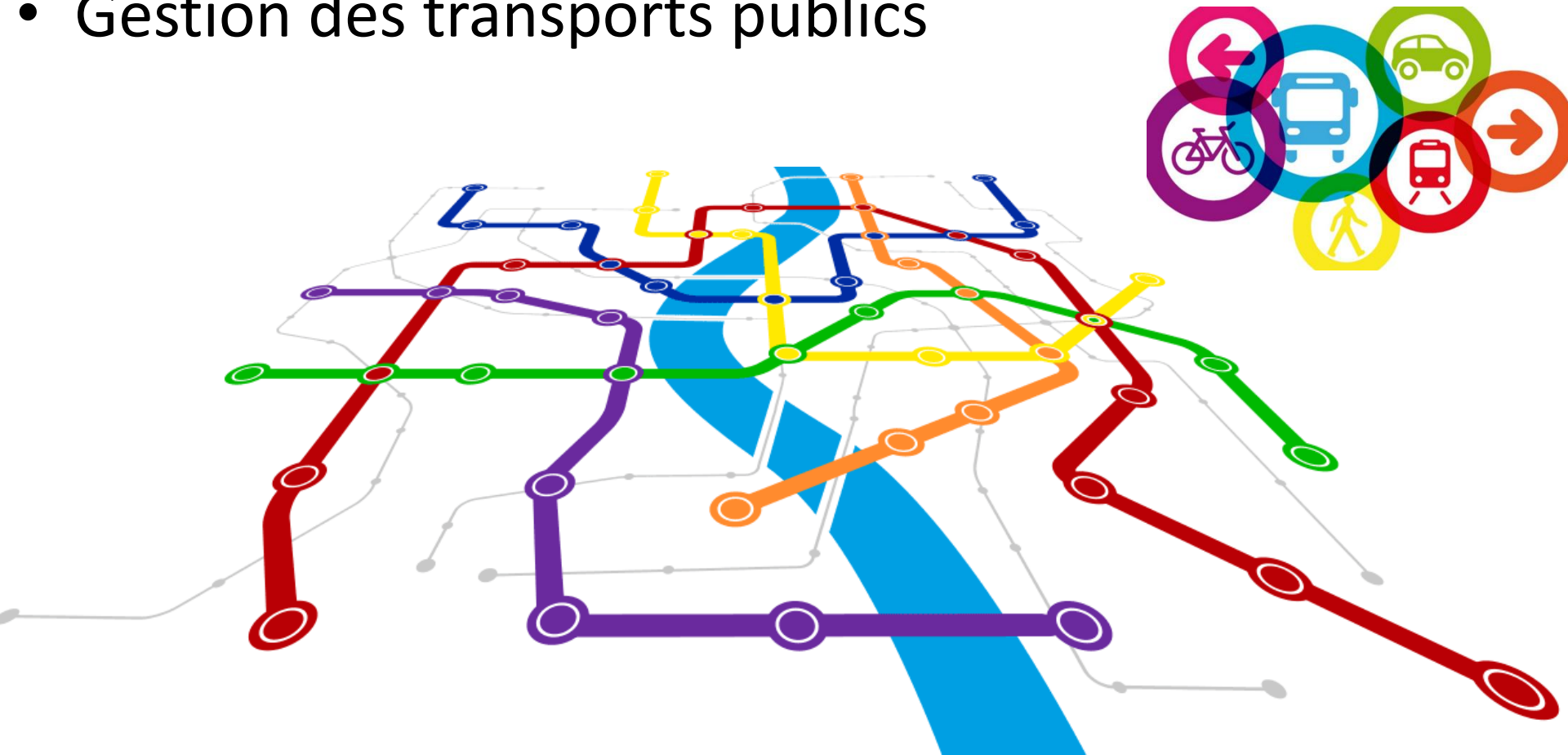
Environnement et changement climatique

- Étude de la pollution de l'air, de l'eau et des sols
- Analyse de l'occupation des sols et du couvert végétal
- Suivi des impacts du changement climatique

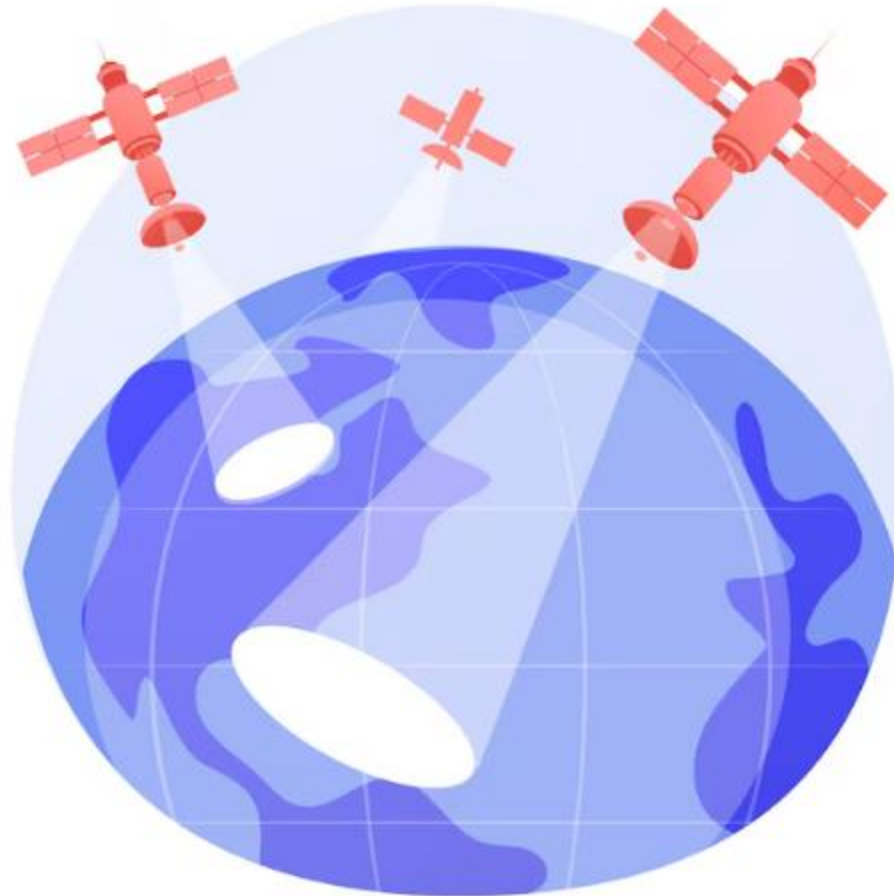


Transports et mobilité

- Planification des réseaux routiers et ferroviaires
- Analyse du trafic et optimisation des itinéraires
- Gestion des transports publics



Chapitre 2 : L'information spatiale



Chapitre 2 : L'information spatiale

- Notion d'information géographique :
composantes (spatiale, attributaire,
temporelle)
- Représentation de l'espace :
 - Modèles raster et vectoriel
 - Échelles et projections cartographiques
- Métadonnées et qualité des données spatiales

Définition

- **L'information géographique (ou information spatiale)** est toute donnée **localisée sur la surface terrestre** et décrivant un **objet**, un **phénomène** ou un **processus** lié à un lieu précis

Elle combine :

- **Une position dans l'espace** (où ?)
- **Une description** (quoi ?)
- **Un moment ou une période** (quand ?)

Exemple : « Zone humide du lac Tonga (Algérie), riche en biodiversité, observée en 2023 ».

Les composantes de l'information géographique

- Spatiale
- Attributaire
- Temporelle

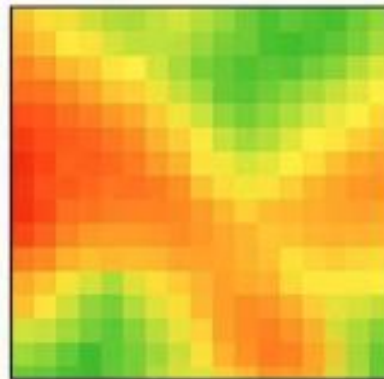
Composante	Description	Exemples
● Spatiale ➡	Indique la localisation de l'objet sur la Terre (coordonnées, géométrie).	Latitude/longitude d'un lac, contour d'une forêt, tracé d'une rivière.
● Attributaire ➡	Donne des informations descriptives sur cet objet.	Nom, superficie, type de végétation, taux de pollution, profondeur, etc.
● Temporelle ➡	Situe l'objet ou le phénomène dans le temps.	Date d'acquisition d'une image satellite, période de mesure, évolution saisonnière.

Représentation de l'espace

- Les objets géographiques peuvent être **modélisés** dans un SIG sous deux formes principales :
- **A. Le modèle vectoriel**
- **B. Le modèle raster**



A



B

Le modèle vectoriel

- Représente les entités **discrètes** (ayant des limites précises).
- Utilise :
 - **Points** → objets ponctuels (ex. : puits, capteur, arbre).
 - **Lignes** → objets linéaires (ex. : routes, rivières).
 - **Polygones** → zones (ex. : forêts, lacs, parcelles).

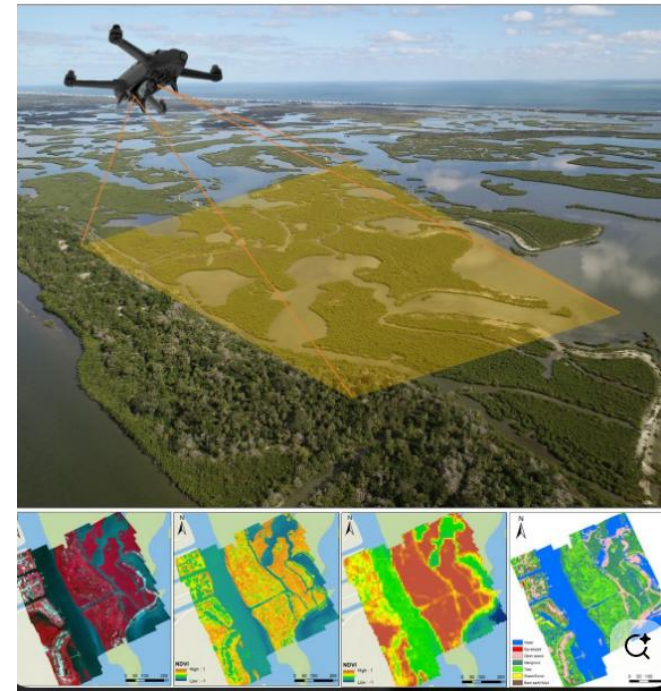
- **Avantages :**
- Grande précision géométrique.
- Taille de fichier plus faible.
- Analyse topologique facile.
- **Inconvénients :**
- Moins adapté aux phénomènes continus (température, altitude).

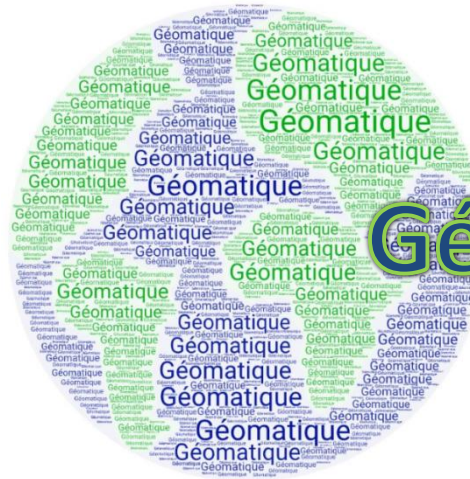
Chapitre 3 : Généralités sur la géomatique



Chapitre 3 : Généralités sur la géomatique

- Définition et concepts de base
- Relation avec SIG, cartographie, télédétection, GPS
- Utilisation des graphes en SIG :
 - Réseaux hydrographiques, routiers
 - Analyse de connectivité





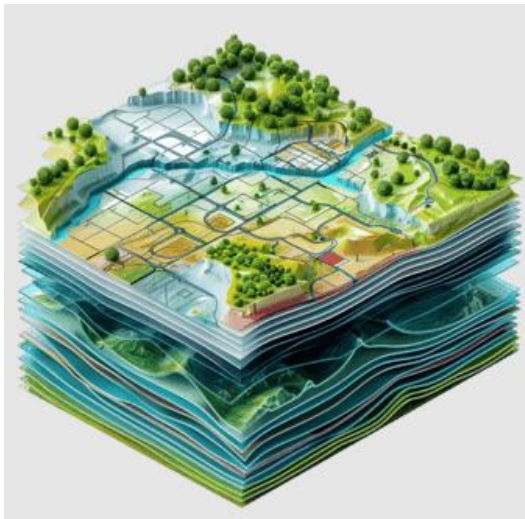
Généralités sur la géomatique

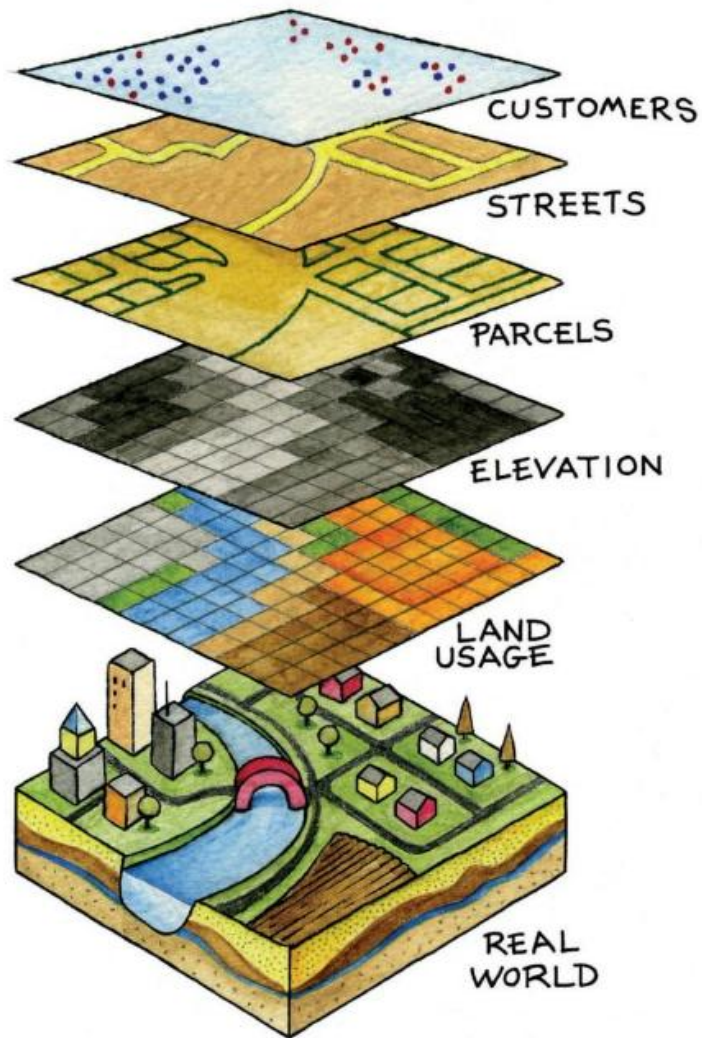
- Donner une définition claire et opérationnelle de la géomatique et des concepts de base.
- Expliquer les liens entre géomatique, SIG, cartographie, télédétection et GPS.
- Présenter l'utilisation des graphes en SIG : représentation, modélisation et analyses.
- Décrire les spécificités des réseaux hydrographiques et routiers et les méthodes d'analyse.
- Introduire l'analyse de connectivité et ses applications en environnement et écologie.

Introduction à la Géomatique

La **géomatique** = *géographie* + *informatique*

- C'est l'ensemble des **techniques et outils** utilisés pour **acquérir, stocker, traiter, analyser et représenter** des données géographiques.
- Elle permet de **comprendre et gérer l'espace** (naturel, urbain, agricole, environnemental...).





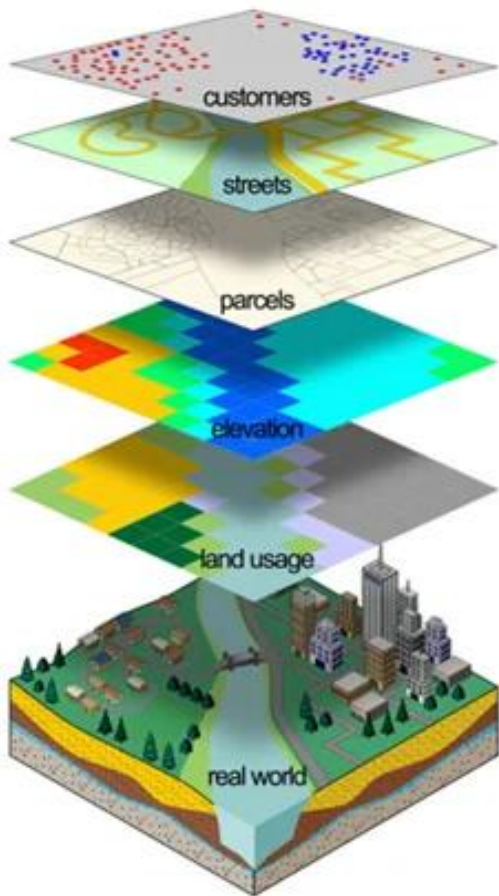
« La géomatique transforme des données spatiales en connaissances utiles pour la décision. »

Les grands domaines de la géomatique

- **SIG** (Systèmes d'Information Géographique) : pour *gérer et analyser* les données spatiales.
- **Cartographie** : pour *représenter visuellement* l'espace.
- **Télédétection** : pour *observer la Terre* depuis les satellites ou drones.
- **GPS / GNSS** : pour *localiser précisément* des points sur le terrain



SIG



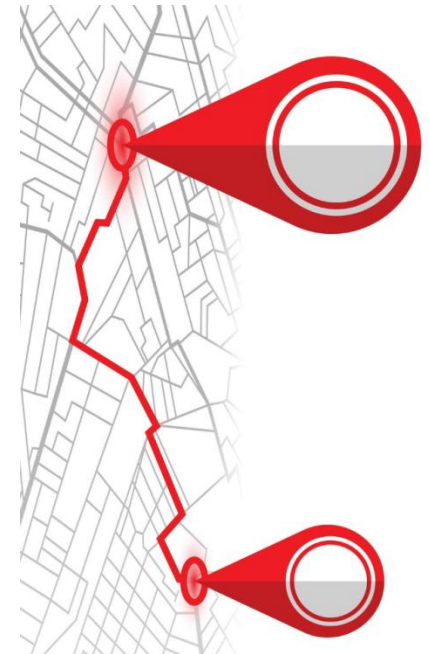
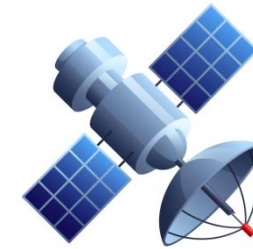
Cartographie



Télédétection



GPS / GNSS



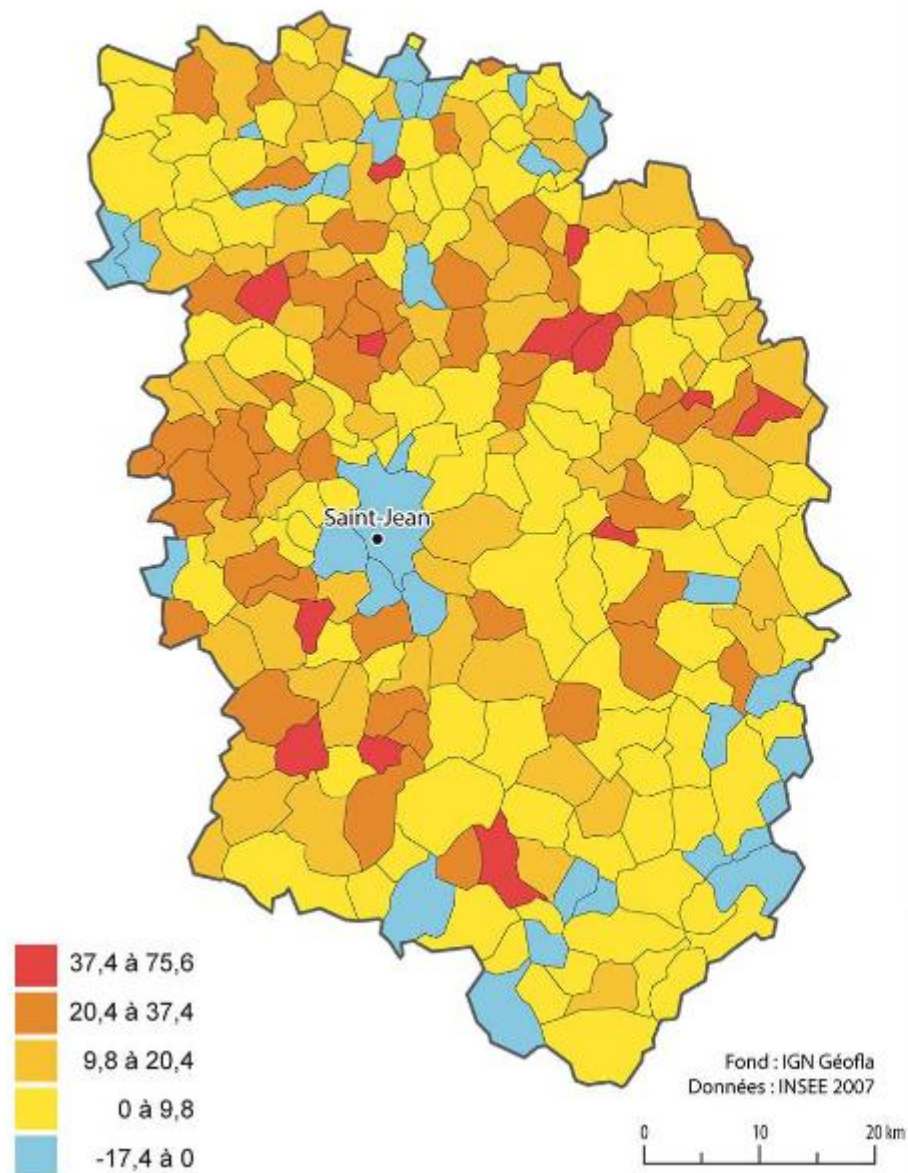
« Ces outils travaillent ensemble pour observer, comprendre et modéliser notre environnement. »

Applications et importance de la géomatique

- **Gestion de l'environnement et des ressources naturelles**
- **Aménagement du territoire et urbanisme**
- **Suivi des changements climatiques et des écosystèmes**
- **Agriculture de précision**
- **Sécurité alimentaire et surveillance des risques**

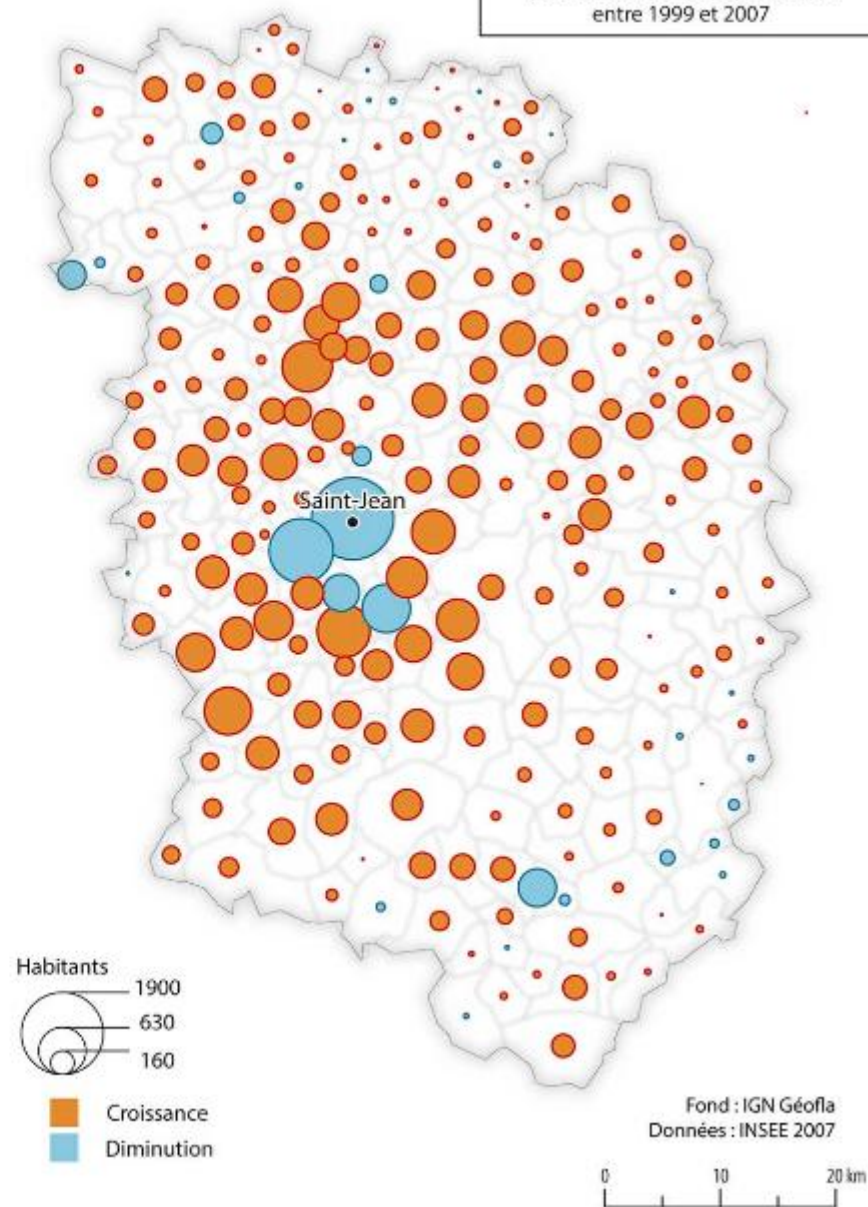
Évolution de la population

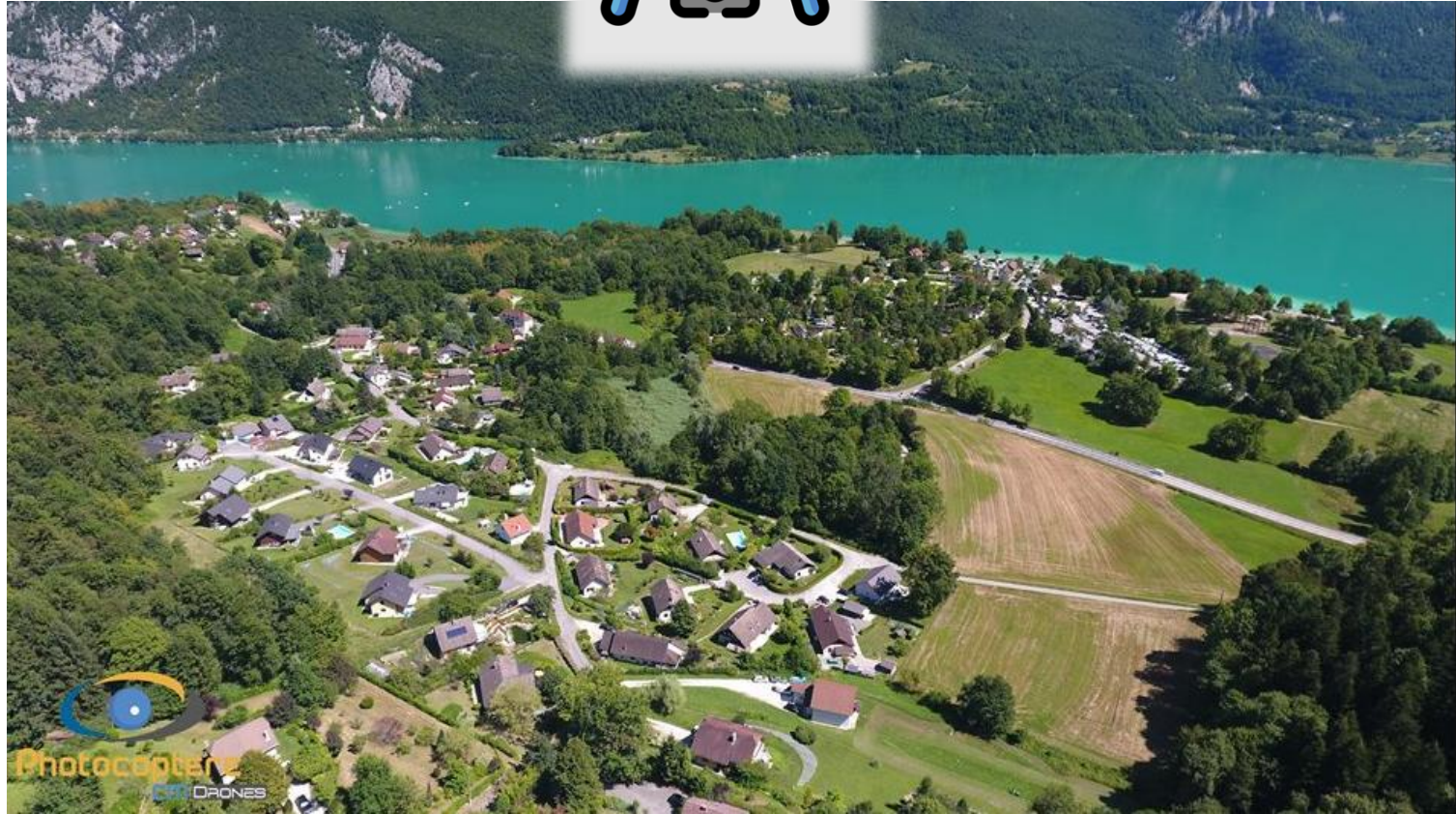
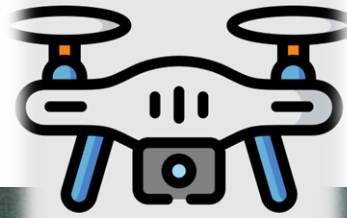
% de variation entre 1999 et 2007



Évolution de la population

Variation du nombre d'habitants
entre 1999 et 2007





« La géomatique est au cœur de la recherche et de la prise de décision pour un développement durable. »

Définition et concepts de base

- **Définition**
- **La géomatique** est la discipline qui regroupe les méthodes et outils pour acquérir, stocker, traiter, analyser et diffuser des données géoréférencées. Elle combine les techniques d'acquisition (télédétection, GPS), les systèmes d'information géographique (SIG), la cartographie, la photogrammétrie, la télédétection et l'analyse spatiale.



Concepts fondamentaux

- **Donnée spatiale** : information associée à une position géographique (coordonnées).
- **Référence spatiale / système de coordonnées** : façon de localiser les objets sur la surface terrestre (ex. WGS84, Lambert).
- **Modèles de données** :
 - ❖ **Vectoriel** : points, lignes, polygones (topologie, attributs).
 - ❖ **Raster** : grille de cellules (pixels) avec valeurs (ex. images satellite, DEM).
- **Topologie** : relations spatiales entre objets (adjacence, contiguïté, inclusion).
- **Attributs** : informations non spatiales associées aux entités (ex. type de route, débit d'un cours d'eau).
- **Métadonnées** : données sur les données (source, date, résolution, qualité).

Relations entre géomatique, SIG, cartographie, télédétection et GPS

- **SIG (Systèmes d'Information Géographique):**
 - Les SIG sont l'environnement logiciel et méthodologique central de la géomatique pour :
 - Stocker et gérer des couches géographiques.
 - Réaliser des analyses spatiales (buffers, intersections, jointures spatiales).
 - Produire des cartes et visualisations.
- Exemples d'opérations SIG : requêtes spatiales, géotraitement, géostatistique

- **Cartographie:**

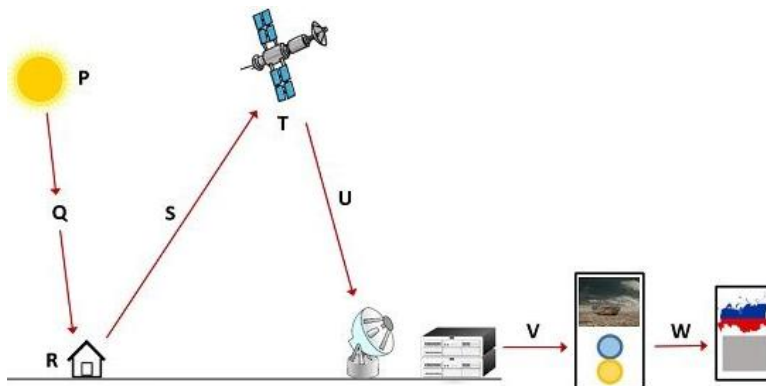
La cartographie est la discipline de création et de lecture des cartes. En géomatique, la cartographie utilise les sorties SIG pour :

- Choisir une représentation adaptée (symboles, échelles, projections).
- Concevoir la mise en page (légende, échelle, orientation).
- Communiquer des résultats spatiaux de manière lisible et scientifique.

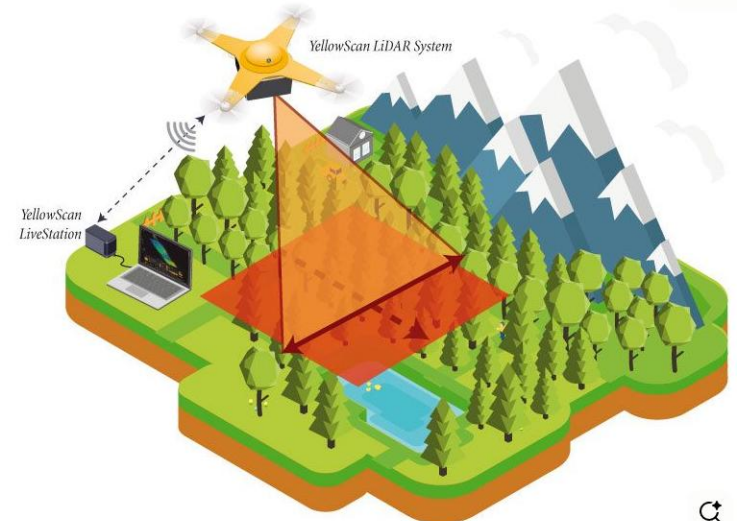


Télédétection:

- La télédétection permet d'obtenir des informations sur la surface terrestre depuis des capteurs embarqués (satellites, drones, avions). Rôle en géomatique :
- Fournir des données raster (images multispectrales, LIDAR, RADAR).
- Extraire des informations thématiques (usage du sol, végétation, altimétrie).
- Produire des variables d'entrée pour SIG (ex. classification, NDVI, DEM).



Stages in Remote Sensing



- **GPS (GNSS)**

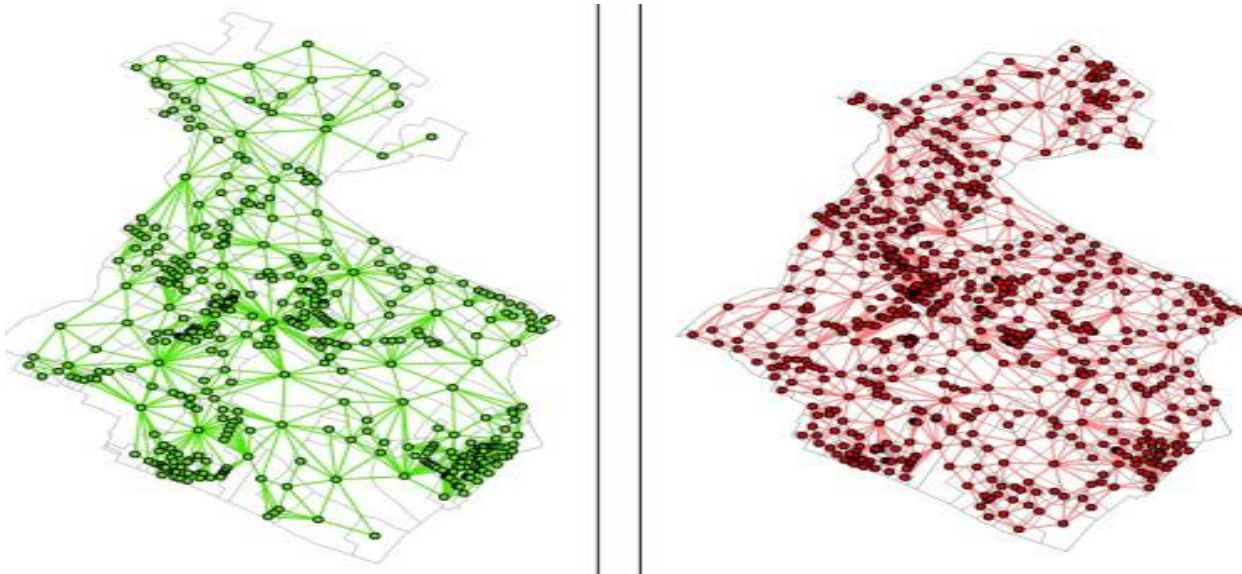
Le GPS/GNSS fournit la localisation précise des points (terrain, contrôles). Utilisations :

- Acquisition de points de contrôle au sol (GCP).
- Suivi de trajectoires (véhicules, animaux équipés).
- Géoréférencement d'images et validation de données SIG.



Utilisation des graphes en SIG

- **Pourquoi des graphes ?**
- Les graphes offrent une représentation naturelle des réseaux (routes, rivières, canalisations, corridors écologiques) : ils modélisent les relations entre entités (nœuds) et les connexions (arêtes)

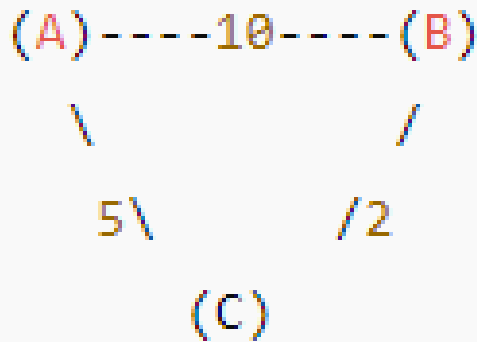


Notions de base en théorie des graphes

- **Graphe** $G=(V,E)$: ensemble de sommets V et d'arêtes E .
- **Sommet (nœud)** : point représentant un objet (carrefour, confluence).
- **Arête (arc)** : lien entre deux nœuds (segment de route, tronçon de cours d'eau).
- **Poids** : coût associé à une arête (distance, temps, résistance).
- **Orienté vs non orienté** : sens de déplacement (ex. sens unique).
- **Multigraphe** : plusieurs arêtes entre mêmes nœuds.
- **Topologie** : connexions et propriétés (connexe, composantes)

- **Représentations**

- **Liste d'adjacence** : pour chaque nœud, liste des voisins (efficace pour grands graphes creux).
- **Matrice d'adjacence** : matrice A où $A_{ij}=1$ si arête entre i et j (utile pour algèbre linéaire).
- **Réseau pondéré** : arêtes avec coûts (distance, temps de parcours, résistance écologique).



- **Sommets** : A, B, C

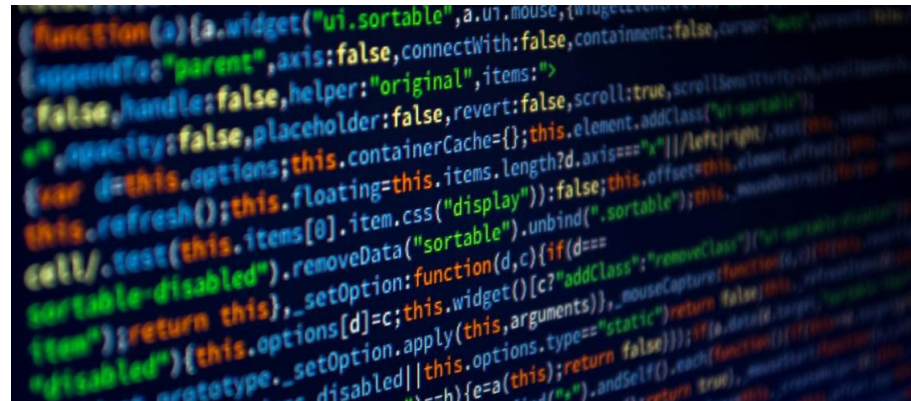
- **Arêtes** : AB (10), AC (5), BC (2)

- **Poids** : distances

→ **Chemin le plus court entre A et B : A–C–B (coût total = 7)**

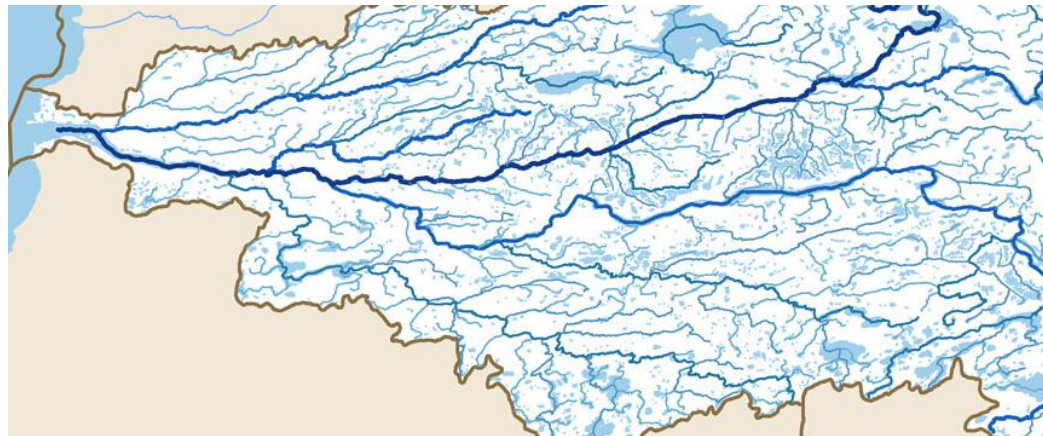
Algorithmes importants

- **Plus court chemin (Dijkstra, A*)** : pour navigation et calculs de distances minimales.
- **Algorithmes de composantes connexes** : détecter îlots isolés.
- **Betweenness, closeness, degree centrality** : mesurer l'importance des nœuds.
- **Algorithmes de flux (max-flow)** : modéliser capacités et goulots d'étranglement.
- **Algorithmes de couplage / partition** : fragmentation du réseau



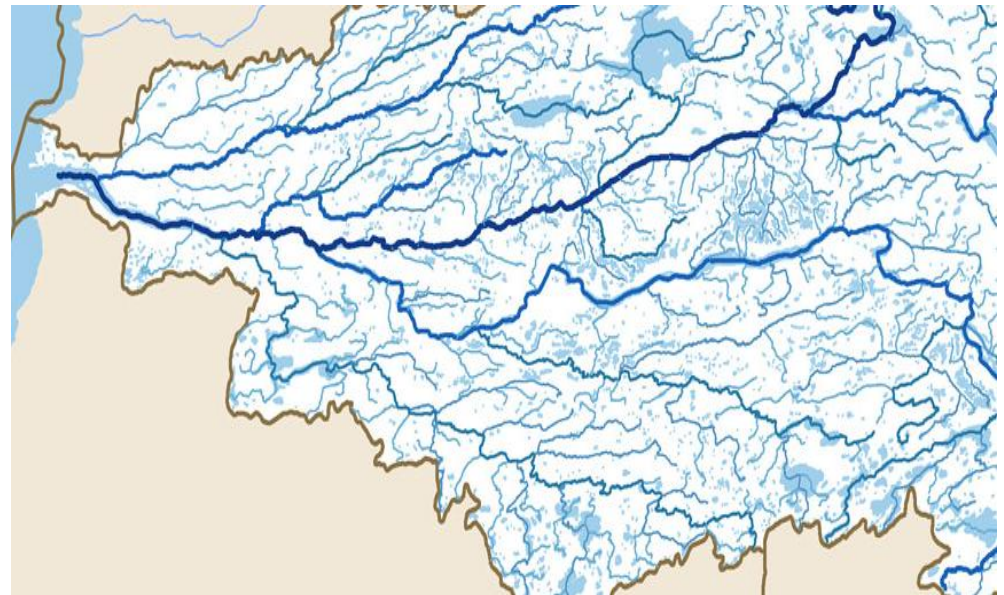
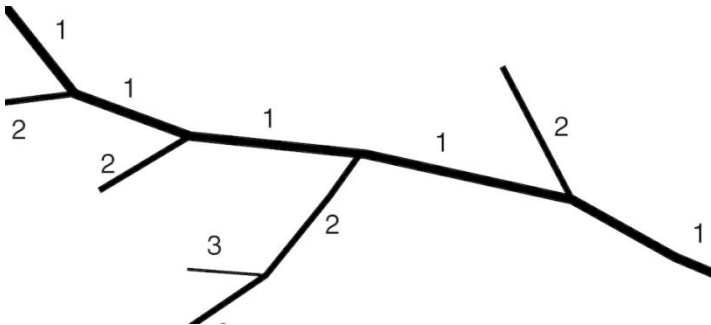
Réseaux hydrographiques

- Particularités
- **Directionnalité** : flux d'amont vers l'aval.
- **Hiérarchie** : ordres de Strahler, Horton (classification des tronçons).
- **Relations spatiales fortes avec le relief (DEM)** : extraction à partir de modèles numériques d'élévation.



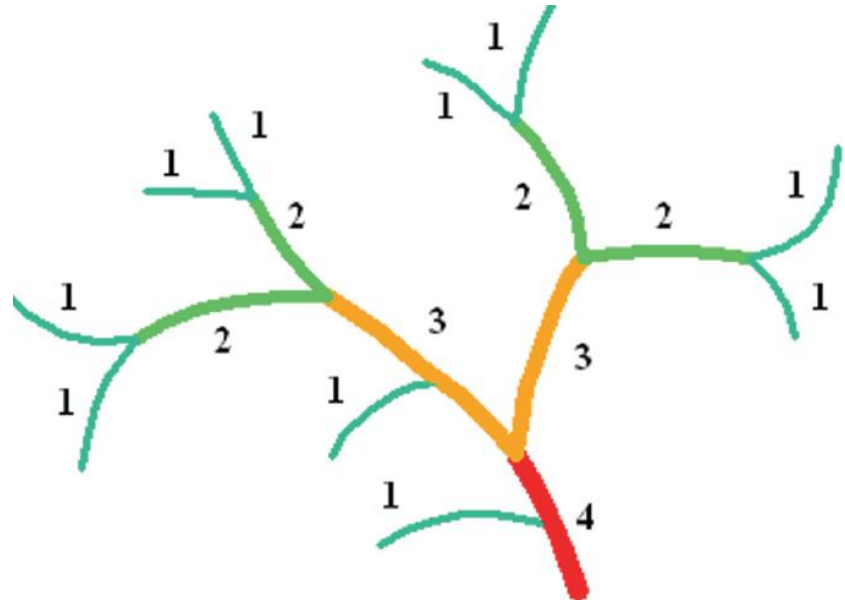
- **Construction**

- À partir d'un DEM : calcul du flot d'écoulement, direction d'écoulement, accumulation, extraction des lignes de cours d'eau (seuil d'accumulation).
- À partir de données vectorielles : réseau de polygones avec attributs (débit, largeur).

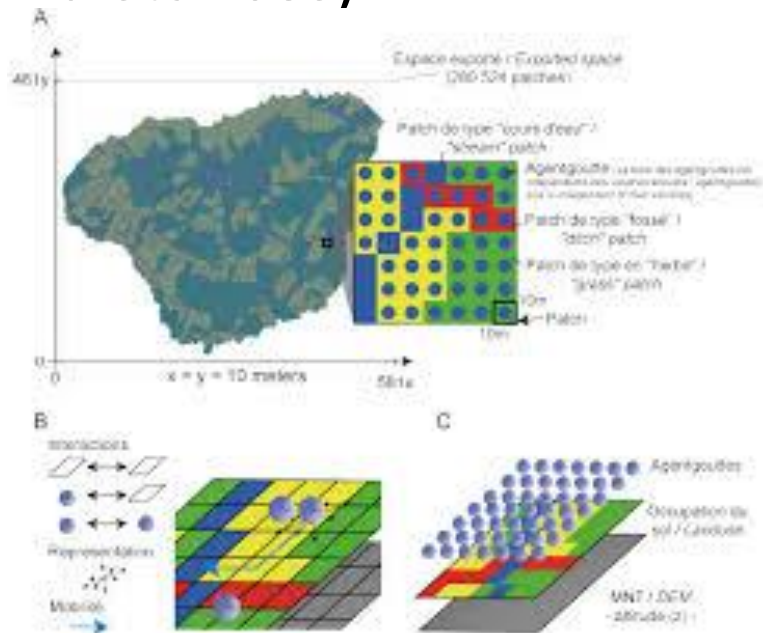


• Analyses typiques

- Délimitation de bassins versants et sous-bassins.
- Calcul des ordres de Strahler/Horton.
- Connectivité hydrologique : continuité pour migration aquatique, fragmentation par barrages.
- Modélisation de l'impact des obstacles (barrages, retenues) sur le transport de sédiments et de la faune.



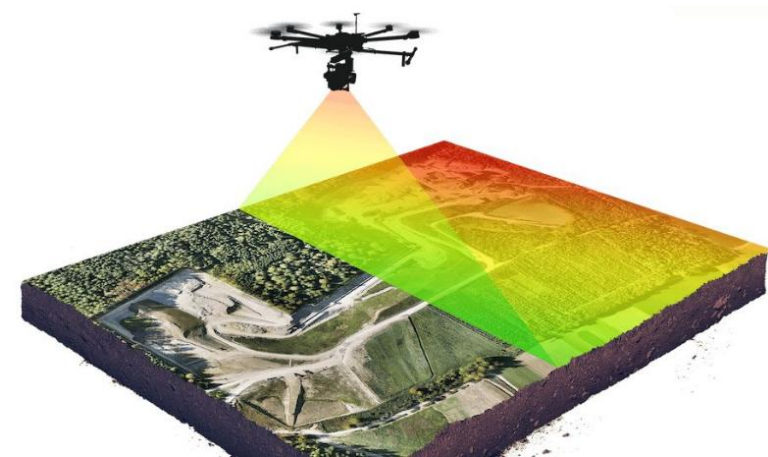
- **Mesures et indices**
- **Indice de connectivité hydrologique** (ex. proportion de segments accessibles).
- **Degree de fragmentation** (nombre d'obstacles - longueur totale).
- **Temps de parcours** (en combinant vitesse d'écoulement et distances).



Classe Indice	Critère de mesure	Valeur coefficient corrélation
IIC	te	-0.15
IIC-	te	-0.06
IGC	te	-0.12
IGC	tf	-0.12
IGC	td	-0.15
IGC	te x no	-0.08
ICS	te x no	-0.02

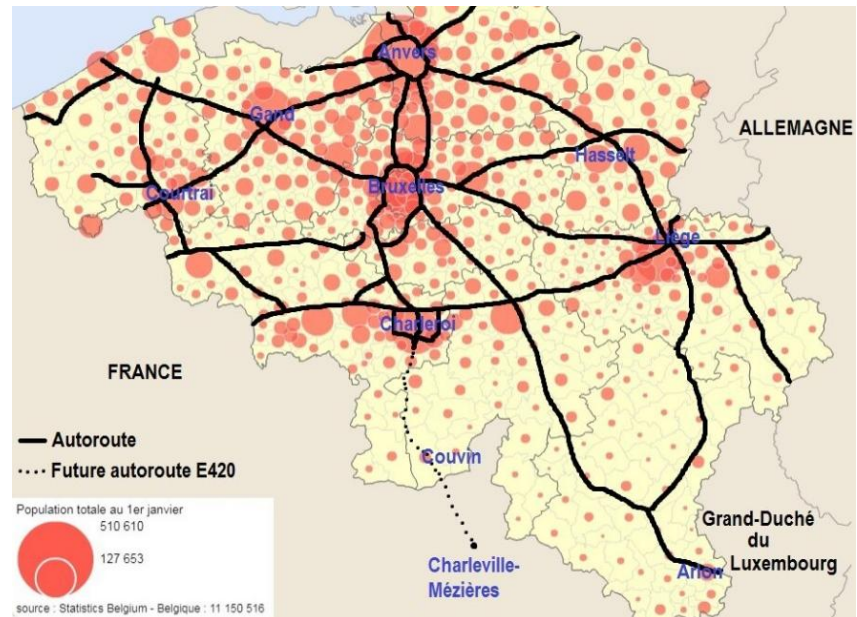
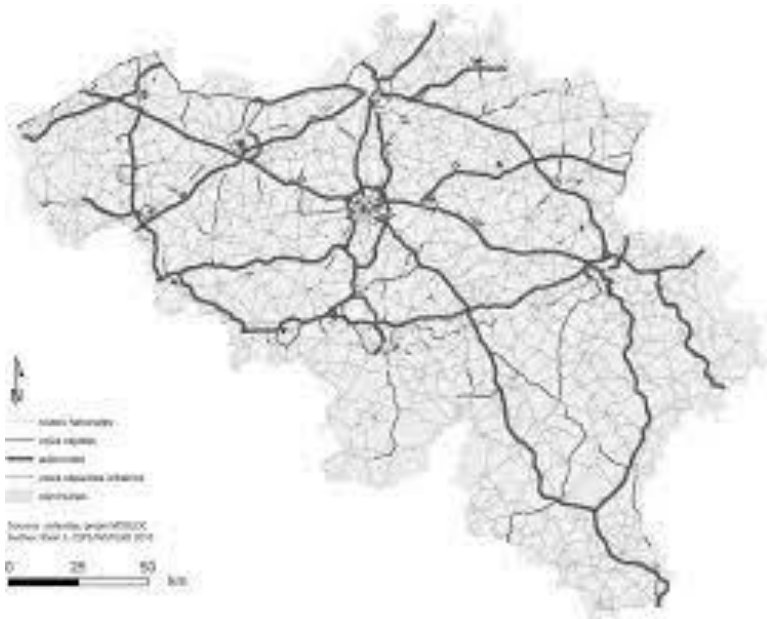
Réseaux routiers

- Particularités
- Souvent non orientés pour l'analyse de connectivité (sauf sens unique).
- Riches attributs : classe de route, largeur, vitesse autorisée, état.
- Données fréquentes depuis Open Street Map, bases nationales



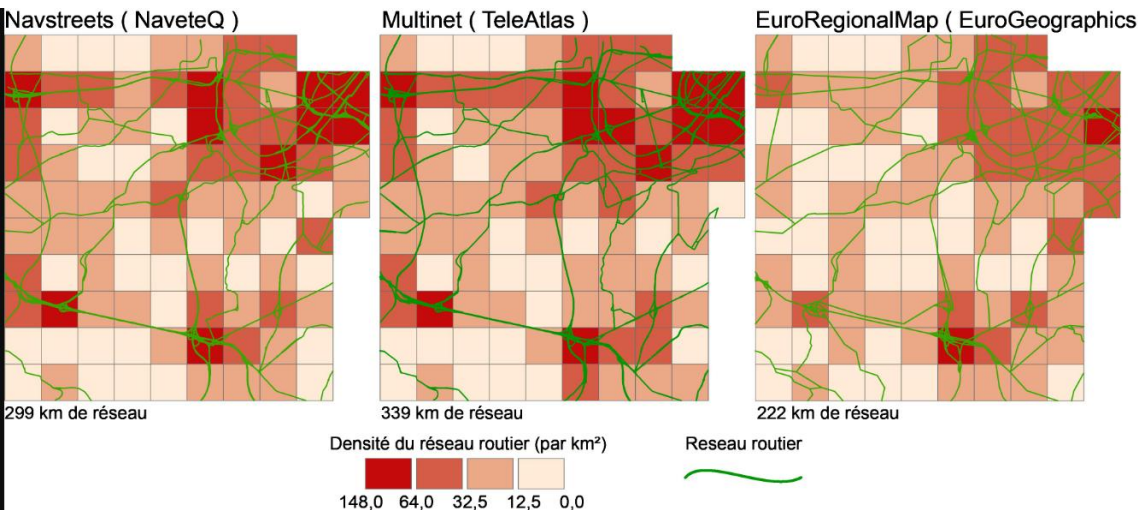
- **Construction et nettoyage**

- Topologie propre (nœuds partagés aux intersections), simplification des géométries, correction d'erreurs (dangling edges).
- Attribution des coûts (distance métrique, temps estimé, coût énergétique).



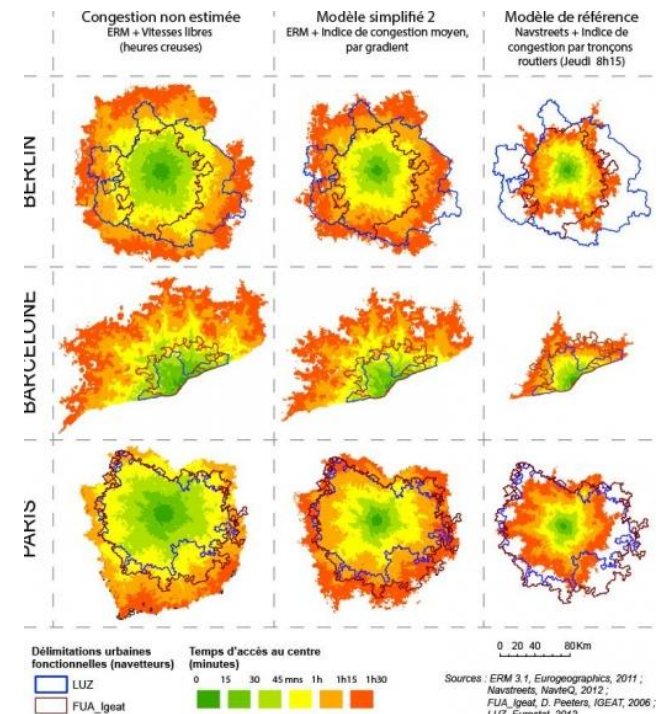
Analyses typiques

- Calcul d'itinéraires optimaux (distance, temps).
- Accessibilité (isochrones), zones desservies en X minutes.
- Identification des goulots d'étranglement (betweenness centrality).
- Analyse de la vulnérabilité (coupures critiques, redondance).



Sources : NavteQ : Echantillon Navstreets,
TeleAtlas : Echantillon Multinet,
EuroGeographics : EuroRegionalMap (ERM) 2009

Antonin Pavard, 2012



Analyse de connectivité

notions et méthodes

- **Types de connectivité**
- **Connectivité structurelle** : basée uniquement sur la topologie du réseau (présence et absence de liens).
- **Connectivité fonctionnelle** : prend en compte le comportement des organismes ou flux (capacité de déplacement, résistance du paysage).
- **Connectivité hydrologique** : continuité des flux d'eau et transport.
- **Connectivité écologique (paysagère)** : corridors, barrières, fragmentation des habitats.

Outils et approches

- **Graphe minimal / réseau de corridors** : simplifier le paysage en graphes de corridor entre noyaux d'habitat.
- **Least-cost path** : définir une surface de coût (résistance) puis calculer les chemins de moindre coût entre patches.
- **Circuit theory** (modèle électrique) : traite le paysage comme un réseau résistif; calcule des courants et identifie corridors multiples (outil : Circuitscape concept).
- **Indices de connectivité** :
 - **Probability of Connectivity (PC)**,
 - **Integral Index of Connectivity (IIC)**.
- **Mesures de fragmentation** : proportion d'habitat isolé, taille moyenne de patch, distance entre patches

Intégration SIG

méthodes pratiques

- Générer une **surface de résistance** à partir d'attributs (usage du sol, pente, présence de barrières).
- Convertir raster → graphe (cellules comme nœuds, voisinage 4- ou 8-connexité) ou travailler en vectoriel (patches comme nœuds, arcs entre patches).
- Calculer **chemin le plus probable** et **métriques de fragmentation** par scripts/algorithmes (NetworkX, igraph, QGIS Processing)

Relation avec l'environnement et l'écologie

Applications écologiques

- **Migrations et déplacements** : modélisation des corridors pour espèces (faune terrestre et aquatique).
- **Conservation** : identifier zones prioritaires pour restauration de corridors, suppression d'obstacles.
- **Gestion des risques** : modélisation d'inondations (réseaux hydrauliques), chemins d'évacuation (réseaux routiers).
- **Suivi des services écosystémiques** : connectivité pour pollinisation, dispersion des graines.

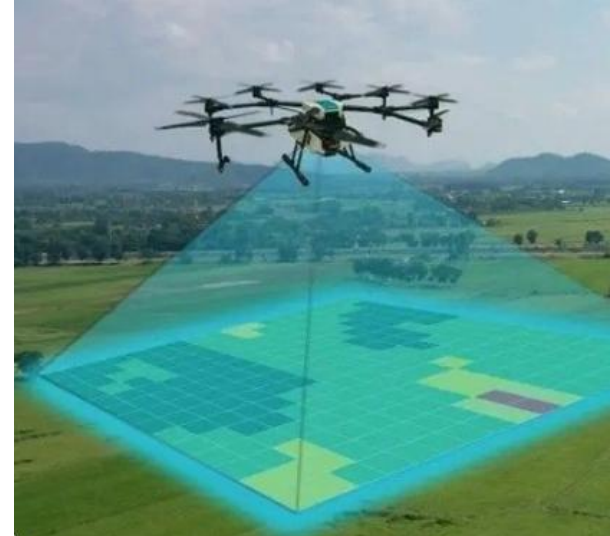
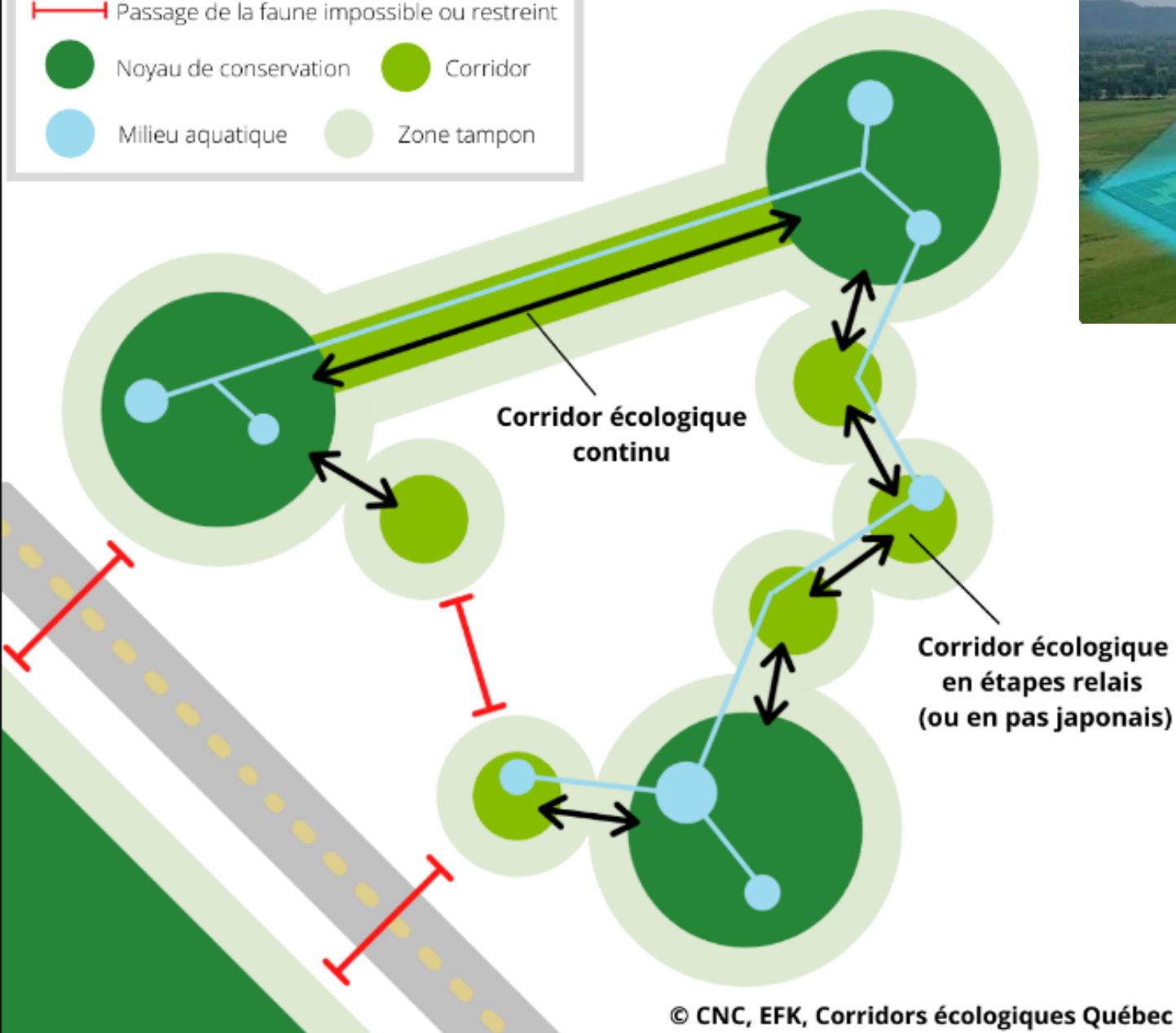
LÉGENDE

↔ Passage de la faune possible

— Passage de la faune impossible ou restreint

● Noyau de conservation ● Corridor

● Milieu aquatique ● Zone tampon



Exemples concrets

- Mesurer l'impact d'un barrage sur l'accès aux habitats de reproduction d'une espèce migratrice.
- Évaluer l'effet d'un nouveau tronçon autoroutier sur l'isolation de populations animales.
- Cartographier corridors potentiels pour la recolonisation après perturbation (feu, défrichement).

Méthodologie

(workflow type pour une étude de connectivité)

1. **Définition du problème** : quelles espèces/flux ? quelles échelles spatiales et temporelles ?
2. **Collecte des données** : DEM, imagerie, couches d'occupation du sol, réseaux vectoriels, points GPS.
3. **Prétraitement** : projection, nettoyage topologique, harmonisation des données.
4. **Construction du modèle de résistance** : définition des coûts par couche et pondération.
5. **Construction du graphe** : choisir représentation (cellule→nœud ou patch→nœud).
6. **Calculs** : chemins minimaux, mesures de centralité, PC/IIC, simulation de scénarios (barrières, restauration).
7. **Validation** : données empiriques (suivi radio/GPS d'animaux), sensibilités, tests.
8. **Interprétation & recommandations** : priorisation d'actions, cartographies pour décisions.

Mesures et indices clés (raccourci)

- **Degree** : nombre d'arêtes incidentes à un nœud.
- **Betweenness centrality** : importance d'un nœud dans les chemins les plus courts.
- **Closeness** : proximité moyenne aux autres nœuds.
- **Clustering coefficient** : tendance des nœuds à former des sous-groupes.
- **IIC (Integral Index of Connectivity)** et **PC (Probability of Connectivity)** : indices paysagers.
- **Strahler** : hiérarchie des cours d'eau.
- **Isochrones** : zones accessibles en temps donné à partir d'un point

Chapitre 4 :

Architecture et aspects techniques des SIG



Chapitre 4 : Architecture et aspects techniques des SIG

- **Architecture d'un SIG (entrée, gestion, traitement, sortie)**
- **Base de données géographiques : notions de SGBD**
- **Outils SIG : logiciels libres (QGIS, GRASS) et propriétaires (ArcGIS)**
- **Chaîne de traitement d'image satellitaire (prétraitement → classification → analyse)**

Architecture d'un SIG

- Les SIG reposent sur une architecture en plusieurs composantes interdépendantes, permettant la collecte, le stockage, l'analyse et la visualisation des données spatiales.
- **l'architecture d'un SIG (Système d'Information Géographique)**, en mettant en évidence les différentes composantes : **entrée, gestion, traitement et sortie**

1. Entrée des données (Data Input)

C'est la première étape où le SIG collecte les données spatiales et attributaires nécessaires à l'analyse. Les sources peuvent être :

- **Données vectorielles** : points, lignes, polygones (ex. routes, parcelles, rivières).
- **Données raster** : images satellites, photos aériennes, cartes numérisées.
- **Données attributaires** : tables de données associées aux entités spatiales (ex. population, type de sol, qualité de l'eau).
- **Méthodes d'acquisition** : GPS, relevés sur le terrain, scanners, télédétection, bases de données externes, fichiers CSV, shapefiles, etc

2. Gestion des données (Data Management)

C'est l'organisation, le stockage et la maintenance des données pour qu'elles soient facilement accessibles et sécurisées.

- **Bases de données géographiques (GDB)** : SQL spatial, PostgreSQL/PostGIS, Oracle Spatial.
- **Gestion de métadonnées** : informations sur la source, la date, la précision et la projection des données.
- **Structuration** : classification des couches thématiques (transport, hydrologie, végétation, zones urbaines).
- **Qualité des données** : correction des erreurs topologiques, homogénéisation des formats et projections

3. Traitement et analyse

(Data Processing & Analysis)

C'est le cœur du SIG, où les données sont transformées et analysées pour générer des informations exploitables.

- **Fonctions principales :**
 - Superposition de couches (overlay analysis)
 - Requêtes spatiales et attributaires
 - Analyse de proximité (buffers, voisinage)
 - Modélisation spatiale (prévisions, risques, tendances)
 - Statistiques spatiales et SIG avancés (interpolation, ACP, analyse de réseau)
- **Outils logiciels :** ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, MapInfo, etc.

4. Sortie et visualisation (Data Output & Visualization)

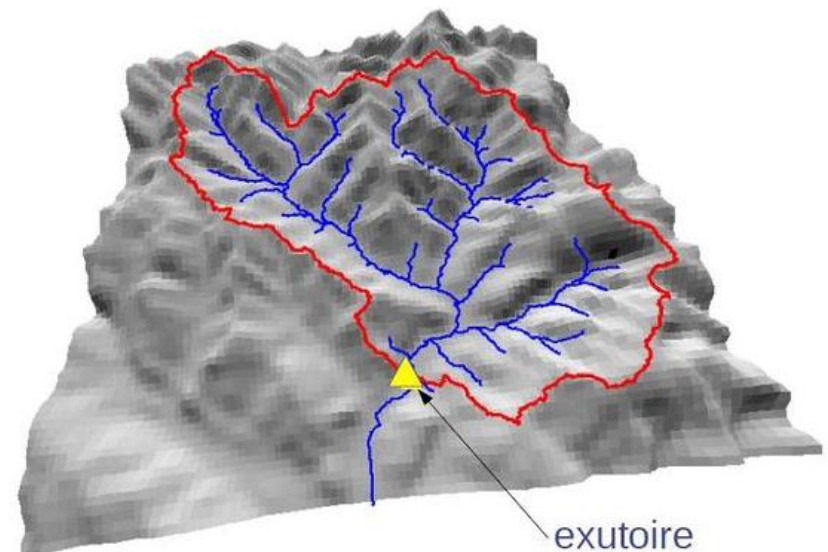
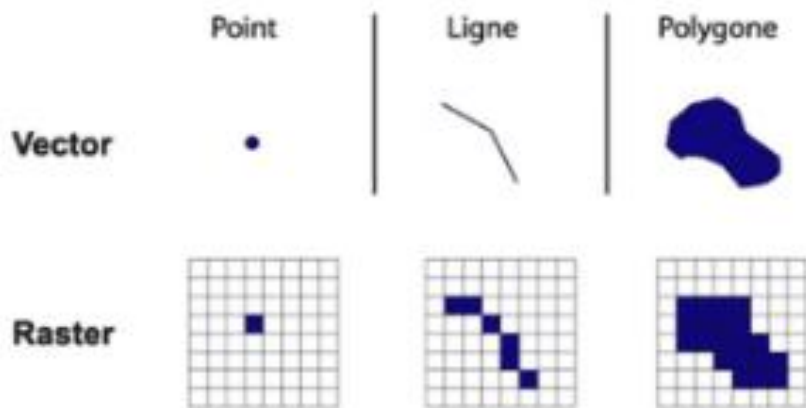
C'est la phase finale qui consiste à présenter les résultats de manière compréhensible.

- **Types de sorties :**
 - Cartes thématiques, plans et atlas
 - Graphiques et tableaux
 - Rapports et résumés analytiques
 - Fichiers exportables pour d'autres systèmes (PDF, shapefile, GeoJSON)
- **Visualisation dynamique :**
 - Cartes interactives (webGIS)
 - Applications mobiles ou portails SIG
 - Tableaux de bord (dashboards) pour le suivi en temps réel

Architecture fonctionnelle

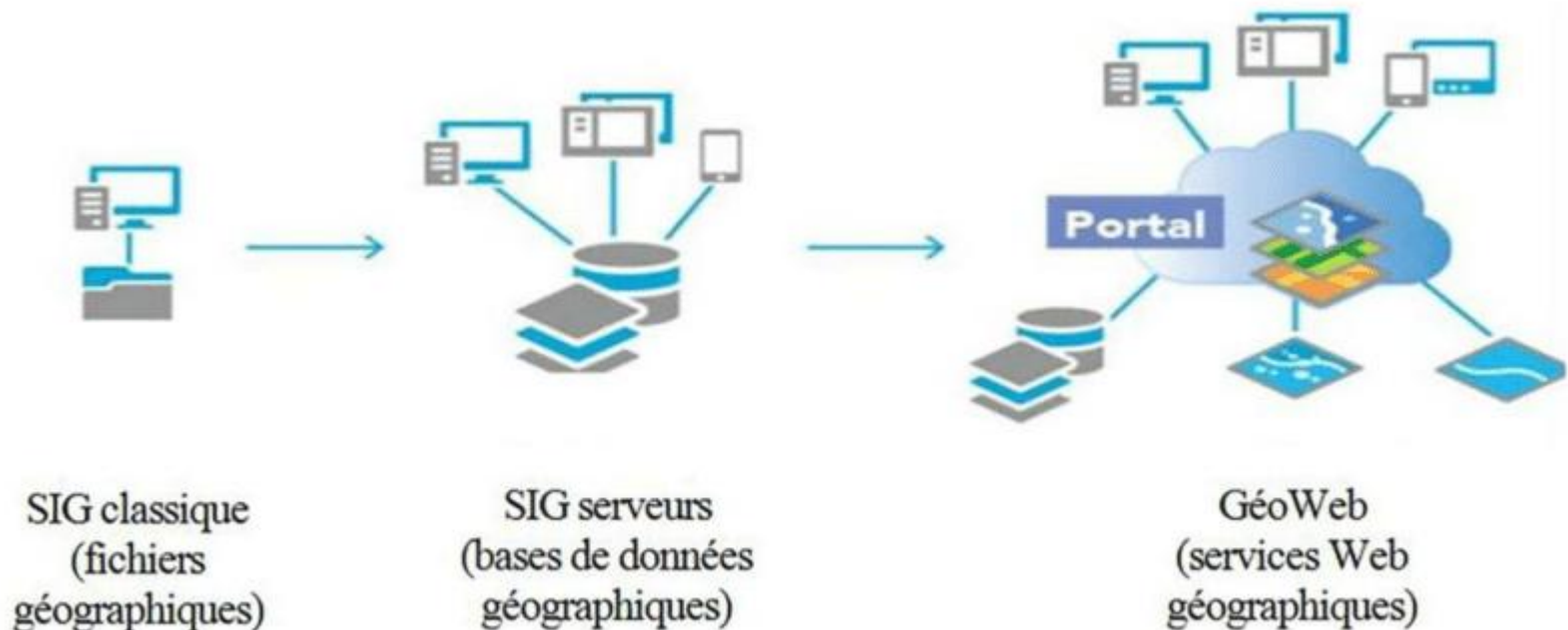
a) Acquisition des données

- Données vectorielles : points, lignes, polygones
- Données matricielles (raster) : images satellites, MNT
- GPS, enquêtes terrain, drones
- Données attribuées (tableurs, bases de données)



- **b) Stockage et gestion des données**
- Géodatabases (PostGIS, FileGDB)
- Systèmes de fichiers (shapefile, GeoPackage)
- Métadonnées
- **c) Traitement et analyse spatiale**
- Analyse vectorielle : intersection, union, buffer
- Analyse raster : reclassification, calcul des indices (NDVI, NDWI...)
- Modélisation environnementale
- Analyse multi-critères (AMC)

- **d) Visualisation cartographique**
- Mise en page
- Symbolisation (échelle, légende, orientation)
- Cartes thématiques, dynamiques, web mapping



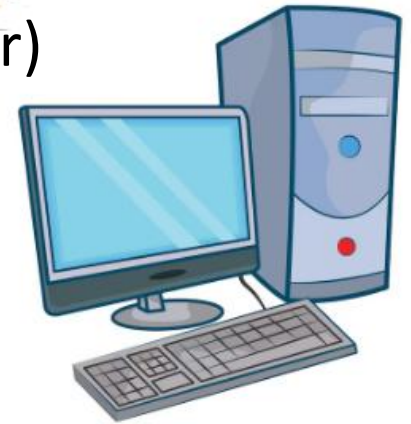
Architecture logicielle

- **a) Interface utilisateur (Front-end)**
- Logiciels SIG : ArcGIS Pro, ArcGIS, QGIS, gvSIG
- Web mapping : Leaflet, OpenLayers, interactive web maps
- **b) Moteur géospatial (Middleware)**
- Exécute les fonctions d'analyse
- Gère les opérations spatiales (buffer, overlay...)
- Exemples : GDAL/OGR, GRASS, SAGA GIS
- **c) Base de données (Back-end)**
- PostGIS (base spatiale puissante)
- SpatiaLite
- GeoPackage
- Stockage des géométries et attributs



Architecture matérielle

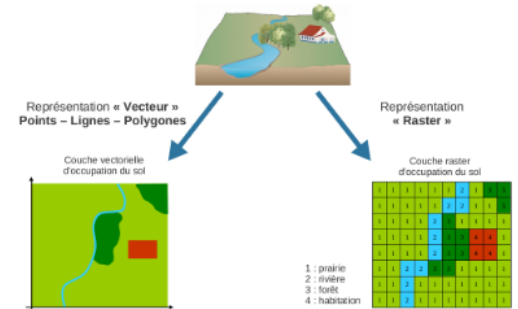
- **a) Serveurs**
- Serveur de base de données
- Serveur cartographique (GeoServer, MapServer)
- Cloud (ArcGIS Online, Google Earth Engine)
- **b) Stations de travail (Station SIG)**
- Processeurs multi-cœurs
- RAM > 8 Go
- Carte graphique pour rendu 3D
- Stockage SSD grande capacité
- **c) Matériel de collecte**
- GPS, GNSS
- Drones
- Smartphones
- Capteurs environnementaux



Aspects techniques des SIG

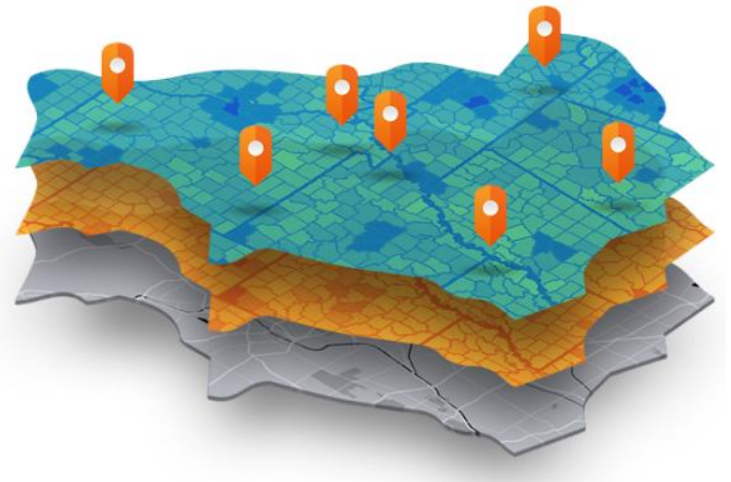
Données spatiales

- **Données vectorielles**
- Précises
- Idéales pour routes, parcelles, stations d'échantillonnage
- Structure : géométrie + attributs
- **Données raster**
- Images satellites, orthophotos, modèles numériques
- Résolution spatiale : pixel
- Idéales pour écologie, biodiversité, climatologie



Référentiels spatiaux

- **Systèmes de coordonnées**
- Géographiques : **WGS84** (EPSG:4326)
- Projetés : UTM Zone 32N pour l'Algérie (EPSG: 32632)
- **Importance**
- Précision des analyses
- Alignement des couches



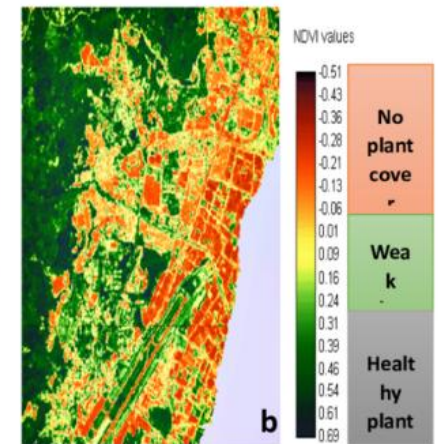
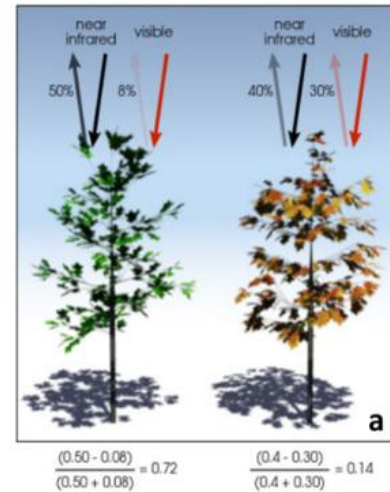
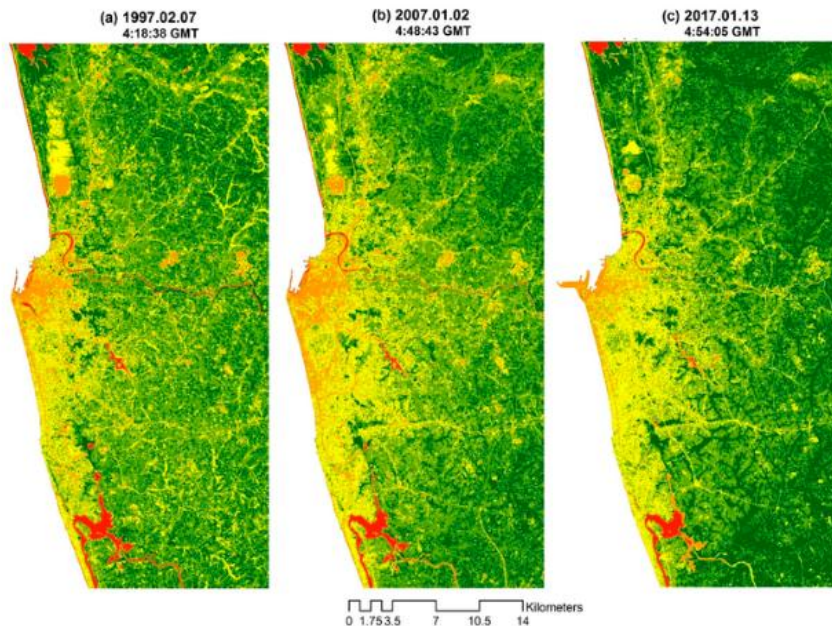
Analyses spatiales liées à l'environnement

Indices environnementaux

- **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) – Indice de Végétation par Différence Normalisée (végétation)
- **NDWI** (Normalized Difference Water Index) – Indice de Différence Normalisée de l'Eau (humidité)
- **NDBI** (Normalized Difference Built-up Index) – Indice de Différence Normalisée de l'Urbanisation (urbanisation)
- **LST** (Land Surface Temperature) – Température de Surface (température de surface)

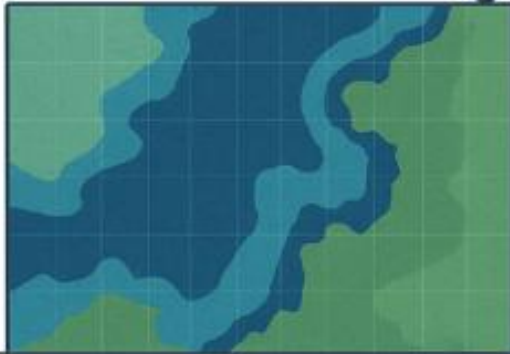


NDVI

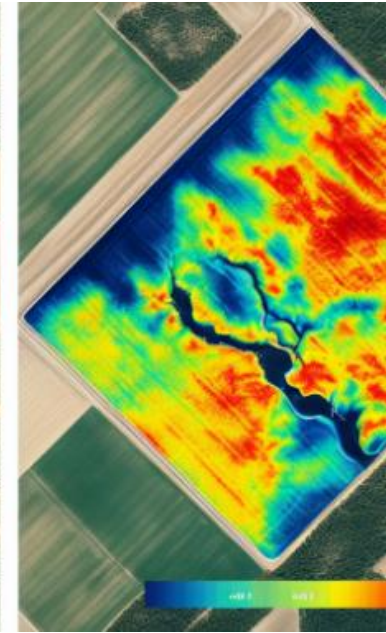
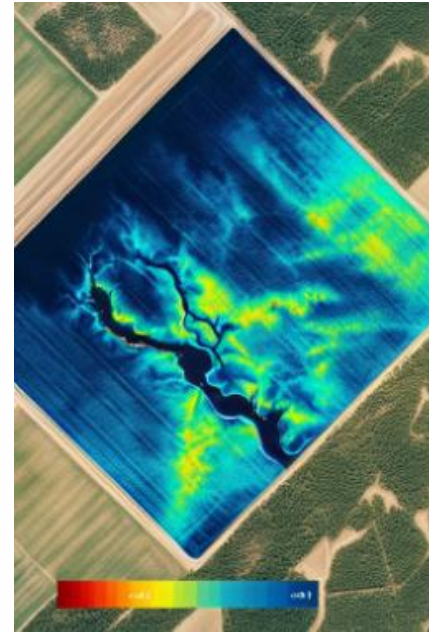


NDWI

NORMALIZED DIFFERENCE
WATER INDEX



$$\text{NDWI} = \frac{\text{Green} - \text{NIR}}{\text{Green} + \text{NIR}}$$



TOOLS AND DATA



Sentinel-2



Drone



Drone

APPLICATIONS



Water Resource
Management



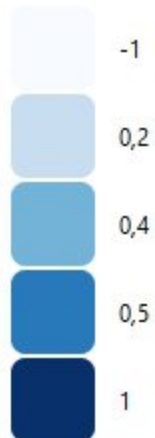
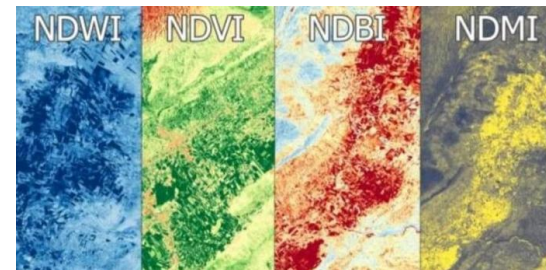
Agriculture
and Irrigation



Agriculture
and Irrigation

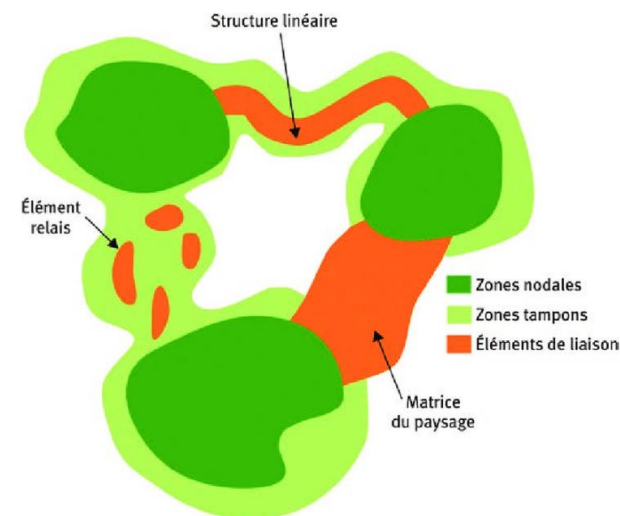
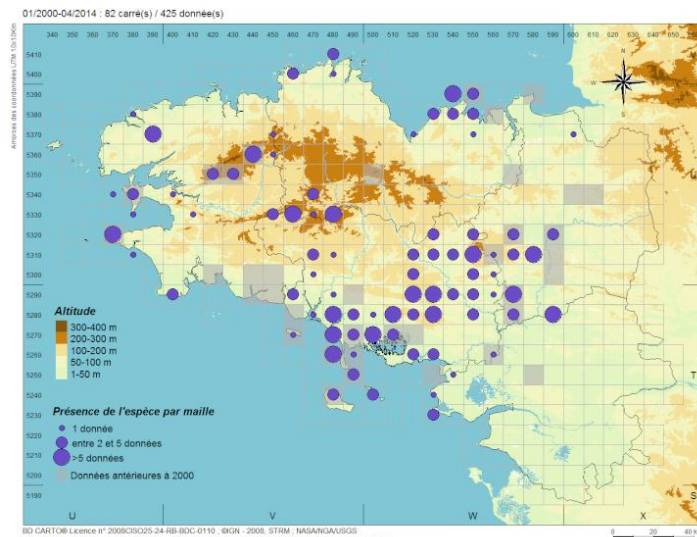
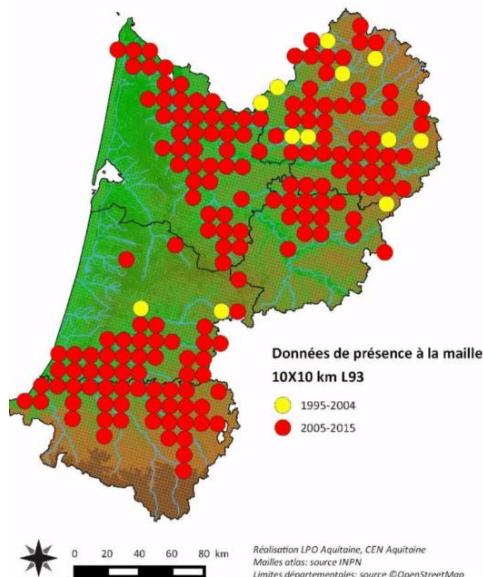


Urban
Planning



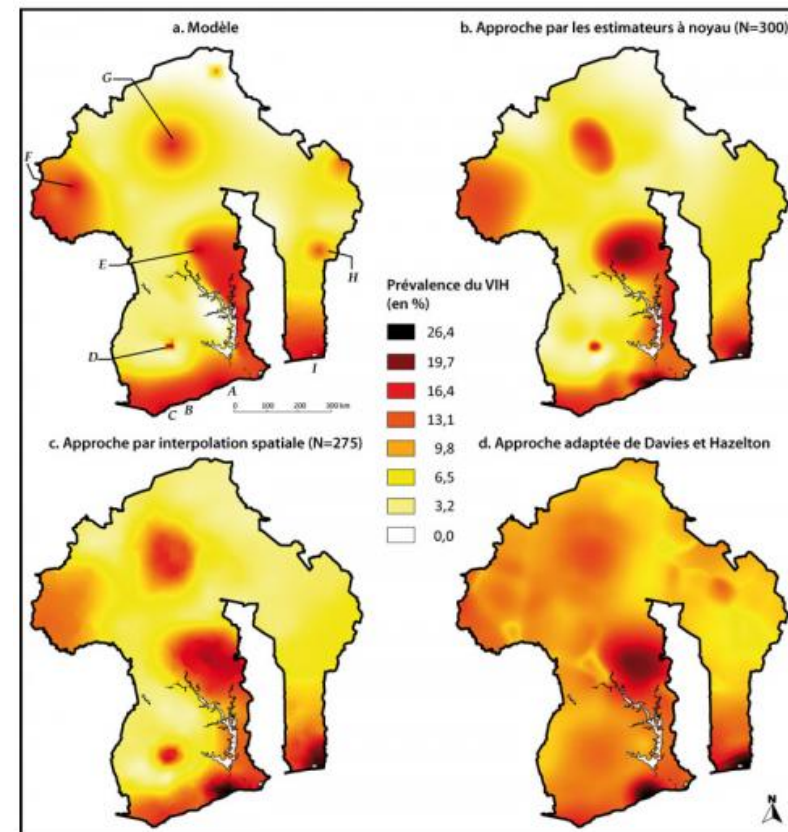
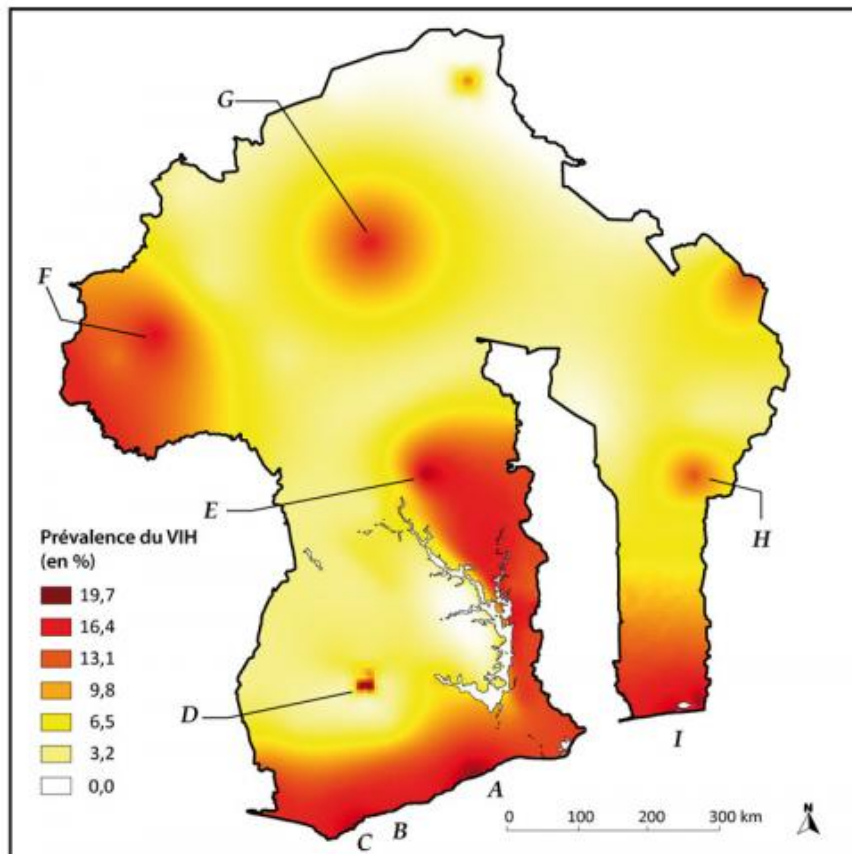
Modélisation écologique

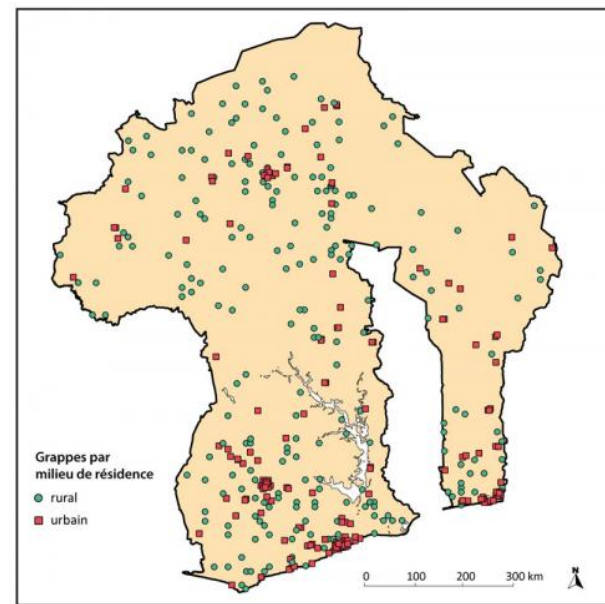
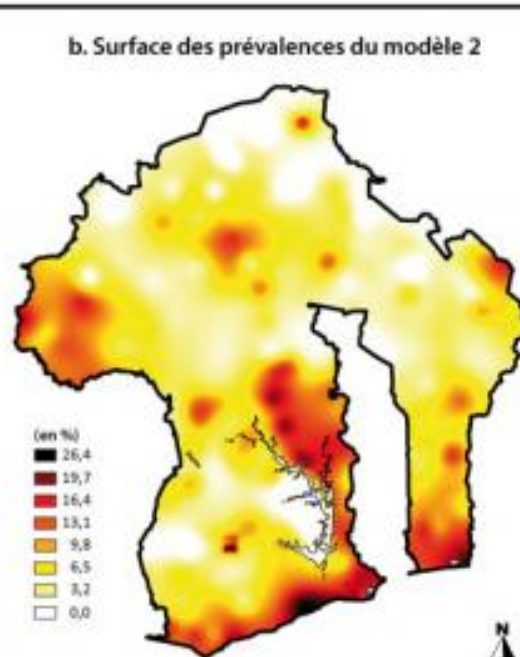
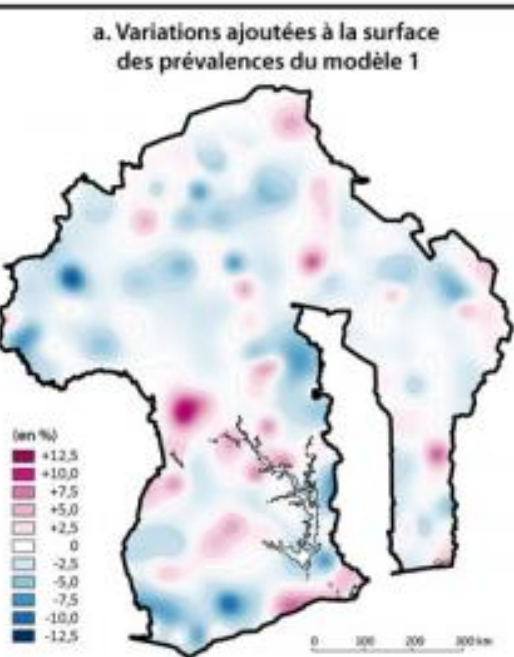
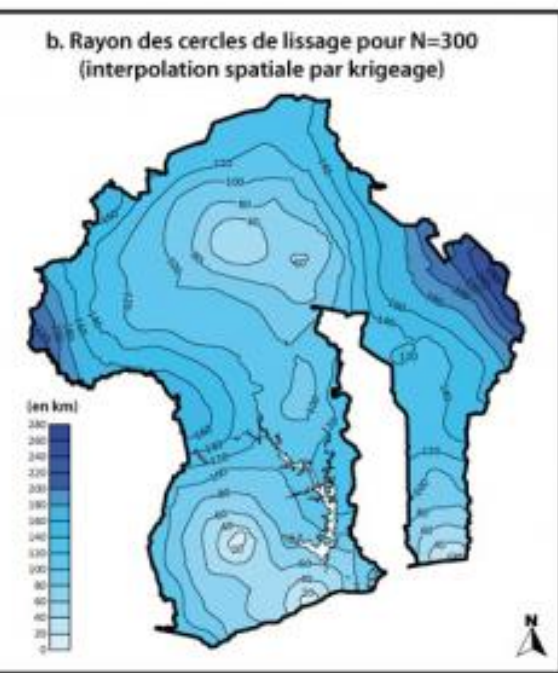
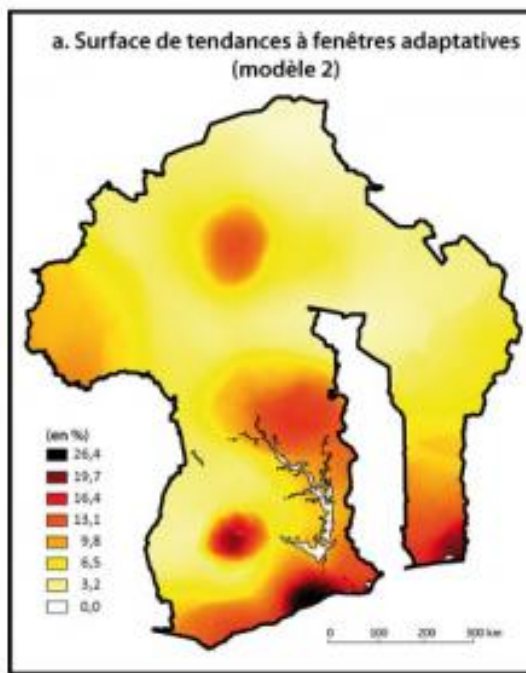
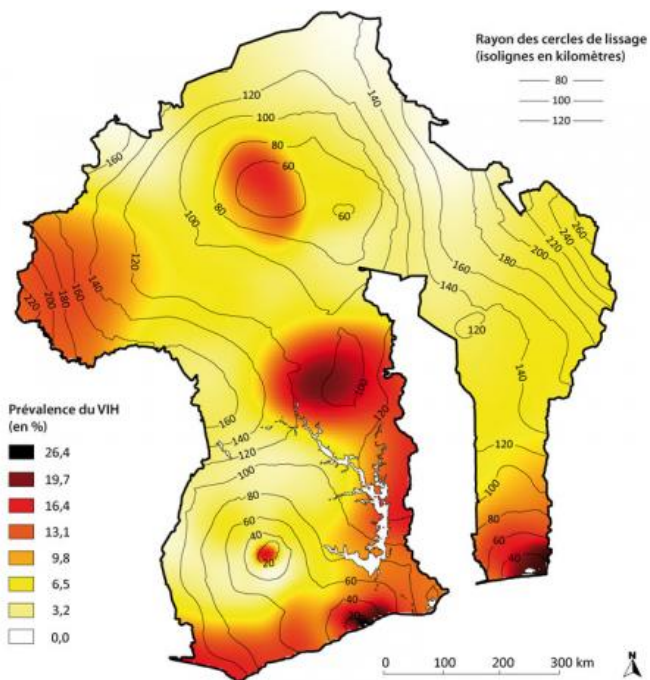
- Distribution d'espèces
- Analyse de connectivité écologique
- Identification des hotspots de biodiversité
- Cartographie de la fragmentation



SIG et pollution

- Cartes de concentration
- Interpolation spatiale (IDW, Kriging)
- Modélisation des flux (hydrologie, dispersion)





SIG et Télédétection

- **Intégration des images satellites**
- Sentinel, Landsat, MODIS
- Pré-traitement : correction radiométrique, atmosphérique
- Classification supervisée / non supervisée
- **Applications**
- Cartographie de l'occupation du sol
- Suivi des écosystèmes
- Détection des changements
- Suivi de la déforestation, désertification

Web SIG

- **Composantes**
- Serveur cartographique
- Serveur de données
- Interface de visualisation
- API Web (GeoJSON, WMS, WFS)
- **Avantages**
- Accès ouvert
- Mise à jour en temps réel
- Partage des données avec les chercheurs / institutions

Un SIG repose sur :

- **Données** (vectorielles/raster)
- **Logiciels** (ArcGIS)
- **Matériel** (PC, serveurs, GPS)
- **Méthodes d'analyse** (buffers, modèles, indices environnementaux)
- **Référentiels** (WGS84, UTM)
- **Visualisation cartographique**

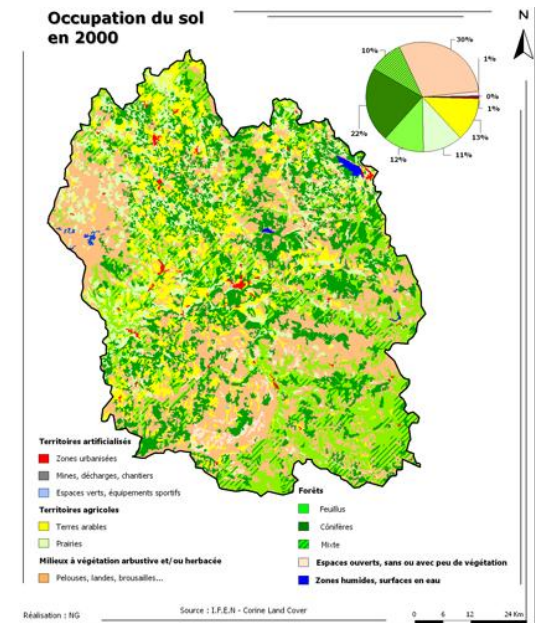
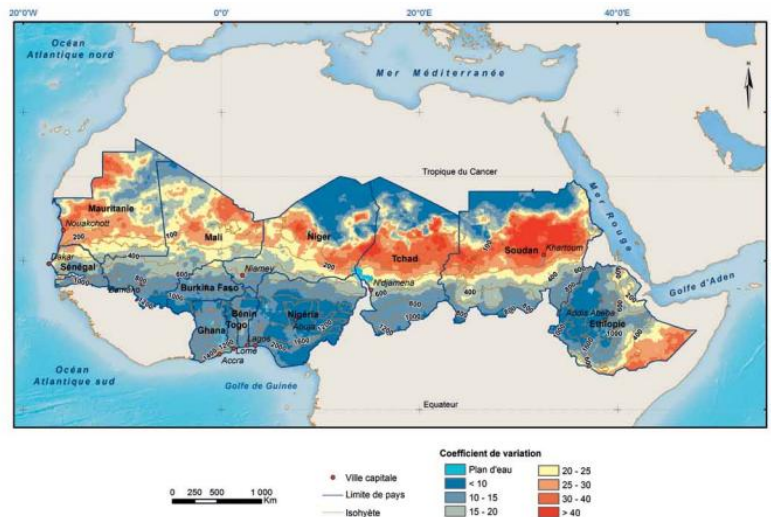
Base de données géographiques

- Une **base de données géographiques (BDG)** est une collection organisée de données spatiales et attributaires qui décrivent des objets et phénomènes géographiques. Elle est conçue pour stocker, gérer et interroger efficacement des informations spatiales (localisation, formes, coordonnées) et leurs propriétés associées



Exemples de données stockées

- Coordonnées GPS des stations météorologiques
- Limites administratives (communes, wilayas)
- Réseaux hydrographiques (rivières, lacs)
- Cartes thématiques (sols, végétation, urbanisation)



Caractéristiques principales

- **Spatiale** : Chaque donnée possède une localisation géographique (point, ligne, polygone).
- **Attributaire** : Chaque objet est accompagné d'informations descriptives (nom, superficie, population).
- **Intégrité et cohérence** : Maintien des relations entre objets géographiques (ex. rivières traversant des communes).

SGBD : Système de Gestion de Bases de Données

Un **SGBD** est un logiciel qui permet de **créer, manipuler, sécuriser et interroger** des bases de données. Dans le contexte des données géographiques, on parle souvent de **SGBD géographiques** ou **SGBD spatiaux**.

- **Rôles principaux d'un SGBD :**
- **Stockage** : Organise les données dans des tables ou fichiers pour un accès rapide.
- **Gestion** : Maintient l'intégrité des données et les relations entre tables.
- **Sécurité** : Contrôle l'accès aux données.
- **Requêtes et analyse** : Permet des recherches complexes, incluant des critères spatiaux

Exemples de SGBD géographiques

- **PostgreSQL + PostGIS** : Open-source, très utilisé pour SIG
- **Oracle Spatial** : SGBD commercial avec support spatial avancé
- **SQL Server avec extension géographique**
- **MySQL avec types géométriques**

Modèles de données géographiques

Dans un SGBD, les données peuvent être représentées selon deux modèles principaux :

- **Vecteur**

- Représente les objets géographiques avec des points, lignes et polygones.
- Exemple : route (ligne), lac (polygone), station (point).
- Utilisé pour des analyses précises sur les formes et relations spatiales.

- **Raster**

- Représente l'espace en cellules (pixels) avec une valeur attribuée.
- Exemple : images satellite, modèles d'élévation, cartes de température.
- Utile pour les analyses continues comme l'occupation du sol ou la température

Requêtes spatiales et fonctions principales

Un SGBD géographique permet des requêtes complexes sur les données spatiales :

- **Localisation** : Trouver tous les objets dans un rayon donné.
- **Intersection / Containment** : Identifier les polygones qui se chevauchent ou contiennent un point.
- **Distance** : Calculer la distance entre deux objets spatiaux.
- **Jointures spatiales** : Combiner des tables selon des relations géographiques

NB:

- En SIG **SQL** (Structured Query Language) est un langage de requête utilisé pour **interroger, gérer et manipuler les données stockées dans une base de données géographiques**. Ces données peuvent être **attributaires** (informations descriptives liées aux objets géographiques, comme le nom d'une rivière, sa longueur, le type de sol, etc.) ou **spatiales** (coordonnées, polygones, points, lignes).

Exemple SQL avec PostGIS :

```
sql
```

```
SELECT name  
FROM communes  
WHERE ST_Contains(geom, ST_Point(5.36, 36.75));
```

Avantages d'utiliser un SGBD pour les données géographiques

- Centralisation et organisation des données.
- Meilleure performance pour de grandes quantités de données spatiales.
- Maintien de l'intégrité et cohérence des données.
- Possibilité d'analyses spatiales avancées directement via SQL.
- Intégration facile avec des logiciels SIG (ArcGIS, QGIS)

Outils SIG : logiciels libres et propriétaires

- Un **SIG (Système d'Information Géographique)** est un ensemble d'outils permettant de **collecter, stocker, analyser et visualiser des données géographiques**. Les logiciels SIG peuvent être **libres (open-source)** ou **propriétaires (commercial)**.



ArcGIS Pro

VS



QGIS

Logiciels SIG libres (Open Source)

- Ces logiciels sont gratuits, modifiables et distribuables. Ils sont soutenus par des communautés de développeurs et d'utilisateurs.

QGIS

Type : Libre / Open Source

Fonctions principales :

Visualisation et édition de données vectorielles et raster

Analyse spatiale (buffer, intersection, jointures spatiales)

Cartographie et mise en page avancée

Intégration avec des bases de données géographiques (PostGIS, SpatiaLite)

Extensions (plugins) pour la télédétection, la géostatistique, etc.

Avantages : Interface conviviale, riche en fonctionnalités, large communauté, multiplateforme (Windows, Linux, MacOS)



Logiciels SIG propriétaires (Commercial)

- Ces logiciels nécessitent une licence payante. Ils offrent souvent un support technique officiel et une interface graphique avancée

ArcGIS (ESRI)

Type : Propriétaire / Commercial

Fonctions principales :

Gestion de données vectorielles et raster

Analyses spatiales avancées (géostatistiques, réseaux, 3D, hydrologie)

Création de cartes et publications cartographiques

Extensions pour la télédétection, l'analyse spatiale avancée et les SIG web

Intégration avec bases de données (Oracle, SQL Server, PostgreSQL/PostGIS)



ArcGIS



Logiciel Libre (QGIS, GRASS)



ArcGIS

Logiciel Propriétaire (ArcGIS)

Critère	Logiciel Libre (QGIS, GRASS)	Logiciel Propriétaire (ArcGIS)
Coût	Gratuit	Payant
Accès au code	Oui, modifiable	Non
Support	Communautaire	Support officiel ESRI
Extensions / Plugins	Oui, via communauté	Oui, via extensions ESRI
Fonctionnalités avancées	Très bonnes (GRASS pour analyses raster)	Très riches et intégrées
Licence	Open-source	Commerciale

- Les **logiciels libres** sont adaptés pour l'enseignement, la recherche et les projets avec budget limité.
- Les **logiciels propriétaires** sont privilégiés pour les projets professionnels avec besoin de support technique et de fonctionnalités avancées intégrées.
- Dans la pratique, **QGIS et ArcGIS peuvent être complémentaires**, QGIS pour sa flexibilité et ArcGIS pour ses outils spécialisés

Chapitre 5 : Applications des SIG en biodiversité et environnement

1. Gestion et conservation des écosystèmes
2. Suivi de la faune et de la flore
3. Cartographie des habitats naturels
4. Étude des changements d'occupation du sol
5. Gestion des ressources en eau et des zones protégé

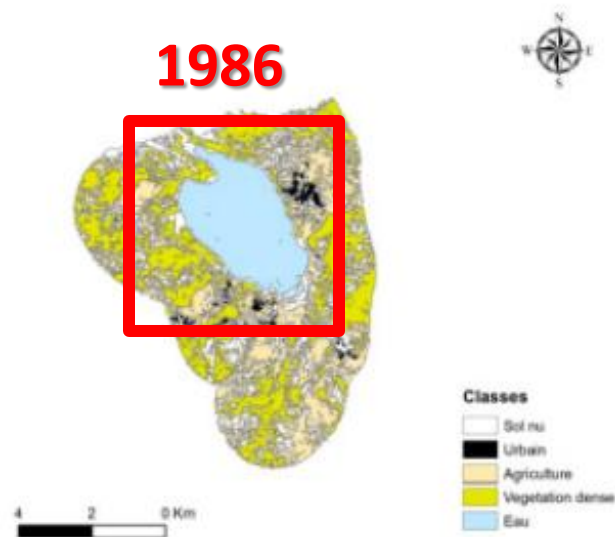
Gestion et conservation des écosystèmes

- Processus de protection, restauration et utilisation durable des écosystèmes.
- **Objectifs :**
 - Maintenir la biodiversité
 - Préserver les services écosystémiques
 - Planifier la protection des zones naturelles

Rôle des SIG dans la conservation

- **SIG pour la gestion des écosystèmes**
- Intégration des données spatiales pour planification et suivi.
- Analyse des menaces : urbanisation, agriculture, déforestation.
- Soutien à la décision : identification des zones prioritaires pour la conservation.

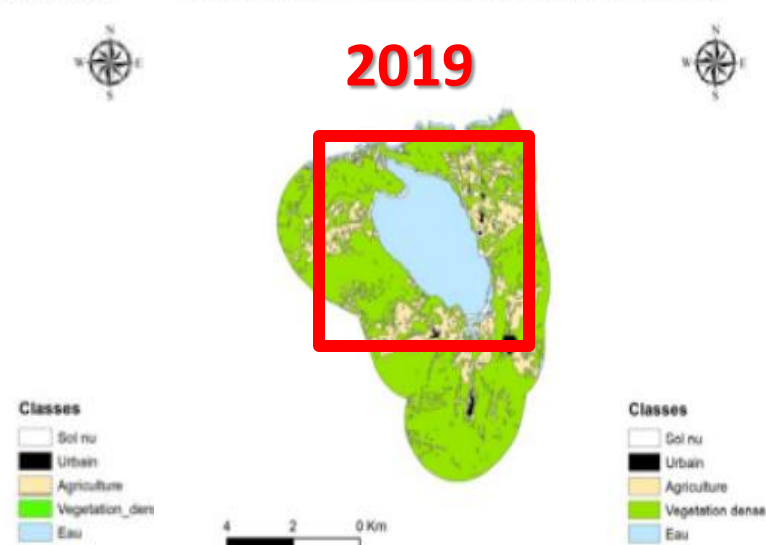
Carte d'occupation du sol de la zone humide Mellah (année 1986)



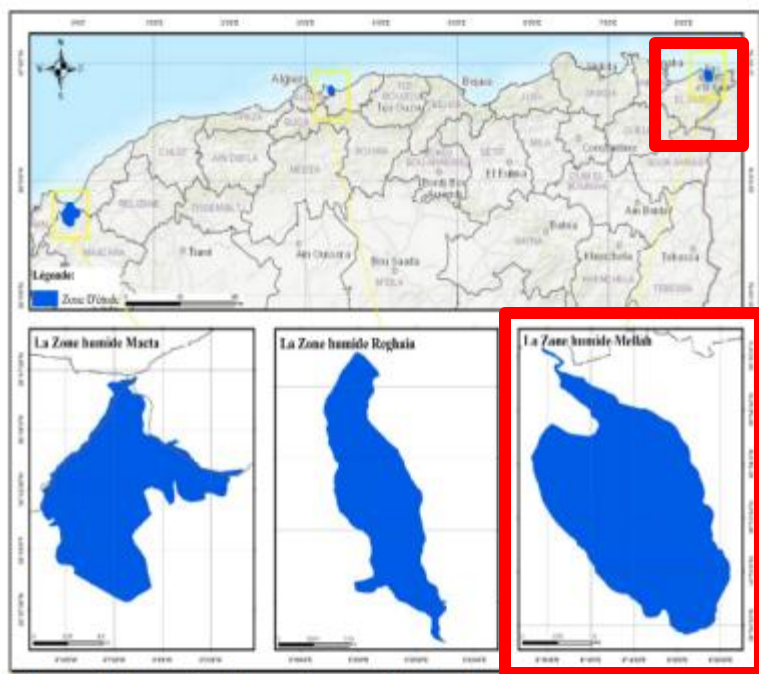
Carte d'occupation du sol de la zone humide Mellah (année 2013)



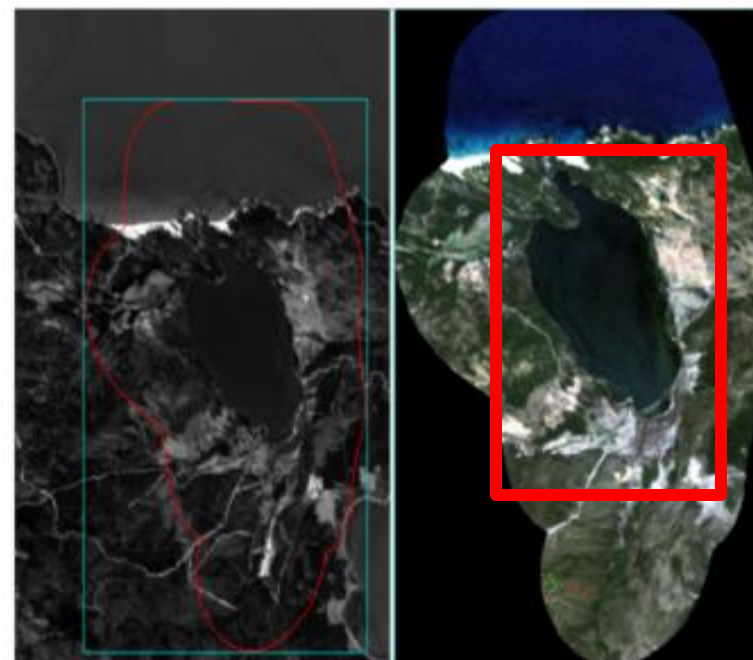
Carte d'occupation du sol de la zone humide Mellah (année 2019)



zones humides au nord de l'Algérie



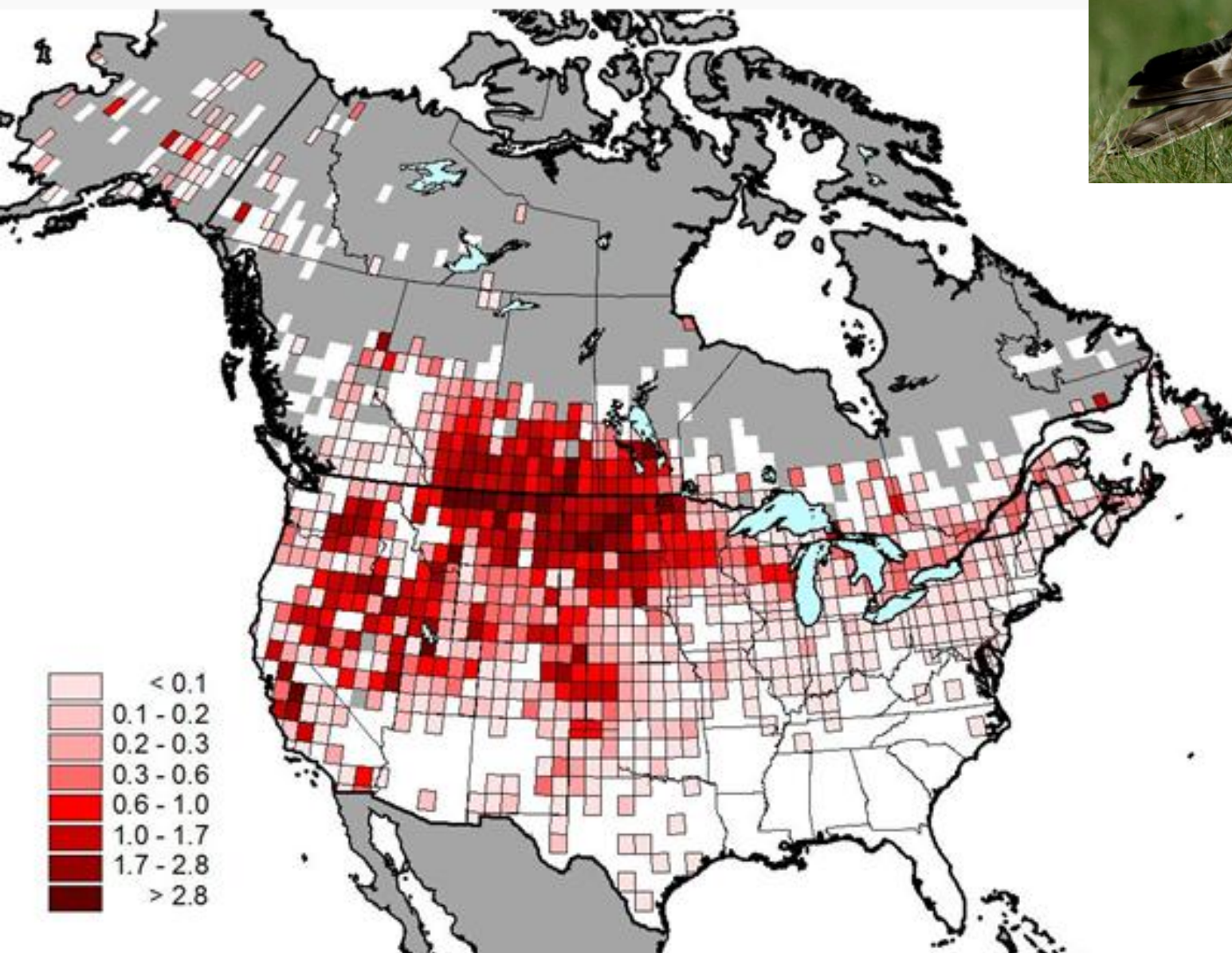
Prétraitement des images satellitaires



Suivi de la faune et de la flore

- **Cartographie et suivi des animaux**
- Objectifs :
 - Identifier la distribution des espèces
 - Suivre les populations menacées
 - Détecter les corridors écologiques
- Méthodes : GPS, drones, capteurs, observations terrain.

Répartition du Busard Saint-Martin



Légende: Moyenne d'oiseaux/route/année; blanc = espèce non-détectée; gris = sans données BBS

- **Cartographie et suivi des plantes**
- Objectifs :
 - Cartographie des habitats végétaux
 - Détection des espèces invasives
 - Suivi saisonnier de la végétation
- Outils SIG : images satellite, classification d'images, NDVI.



Cartographie des habitats naturels

- **Importance de la cartographie**

Titre : Cartographie des habitats naturels

- Identifier et délimiter les habitats naturels.
- Suivi des zones dégradées ou menacées.
- Planification écologique et restauration.



Légende

Limites du Parc de la Poudrerie

Libellés de végétation

- Eau courante eutrophe des ruisseaux et fossés
- Eau stagnante eutrophe, Variante non associée à un herbier aquatique de la CH
- Eau stagnante eutrophe, Variante associée à un herbier aquatique de la CH
- Herbier non emersion des eaux eutrophes à Petite Lentille d'eau
- Mégaphorbiaie eutrophie à Ortie dioïque et Pinnagria austral
- Mégaphorbiaie prairiale, eutrophie et basophilie à Phragmite et Eupatoire
- Mégaphorbiaie graminée, eutrophie et basophilie, à Petite d'ivore
- Ourler externe nitrophile à Ortie dioïque
- Ourler externe, eutrophie et mesohygrophie à Millepertuis hémisph...
- Plante mésohyphie et mésohyphie
- Plante mésohyphie et eutrophie
- Plante mésohyphie et eutrophie de fauche à Berce sphondyle et Fromental étou...
- Rosier
- Buissonier pionnier eutrophie à Ortie dioïque et Rubier faux acide
- Chêne pédunculé-charme mésohyphie, mésohyphie... Sous-association type
- Chêne-charme mésohyphie... Sous-association type
- Chêne-charme mésohyphie... Sous-association type
- Chêne-charme mésohyphie... Sous-association type
- Chêne-charme mésohyphie, eutrophie et mésohyphie à Arum maculé et Ortie
- Chêne-charme mésohyphie, eutrophie... à Arum maculé et Ortie, Sylla, à Hêtre
- Plantation d'arbres
- Alignement de grands arbres
- Frische nitrophile à Ramonde du Japon
- Mini ferme et parc animalier
- Habitation à jardin
- Jardins
- Gazon de parc à Pâquerette vivace
- Massifs herbacés et arbustifs
- Terrain de sport
- Aire de jeu
- Bâtiment divers et espaces verts associés
- Bois de la Tussien
- Panaches diluées non visitées
- Sentiers et chemins

Échelle : 1:1000
0 m 25 m 50 m 100 m
Source : IGN, Conseil Général de Seine-Saint-Denis
Date de mise à jour : 10/04/2011
Projet : R. KRAMERER - IGN
Légende : Conseil Général de Seine-Saint-Denis, IGN Juin 2011

SEINE-SAINT-DENIS
Conseil Général

Cartographie des habitats naturels et semi-naturels du Parc de la Poudrerie

Techniques SIG pour la cartographie

- **Méthodes SIG pour cartographier les habitats**
- Classification d'images satellites et drones.
- Analyse multispectrale et indices de végétation (NDVI).
- Superposition des données pour évaluation écologique.

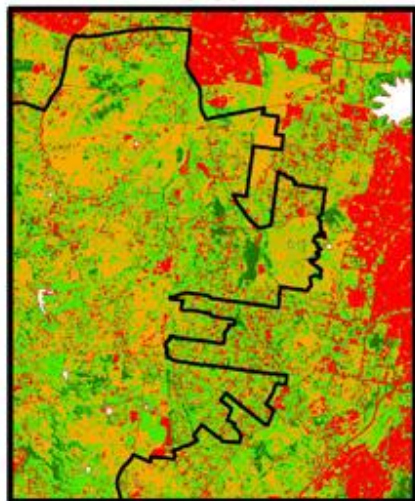
Étude des changements d'occupation du sol

- **Changement d'occupation du sol**
- Identifier conversion des terres (forêt → agriculture → urbain).
- Comprendre impact sur la biodiversité.
- Détection de fragmentation des habitats.

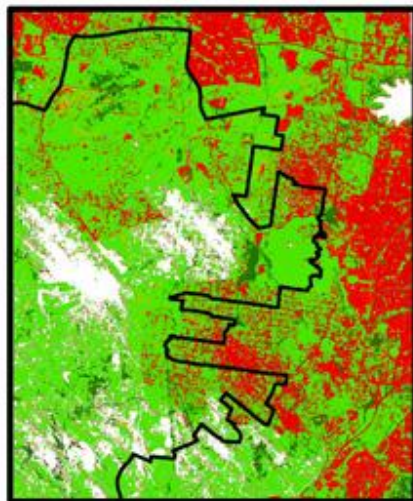
Applications SIG

- **SIG pour analyse des changements**
- Analyse multi-temporelle d'images satellites.
- Cartes de perte/gain de zones naturelles.
- Identification des zones critiques pour la conservation.

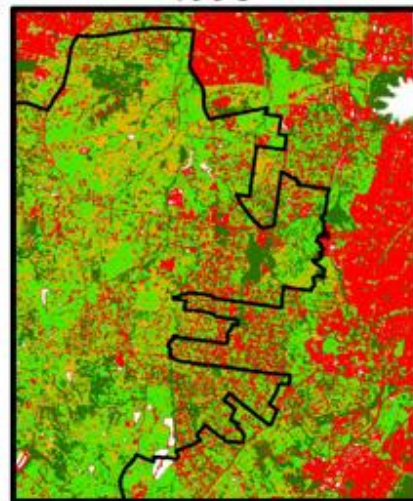
1989



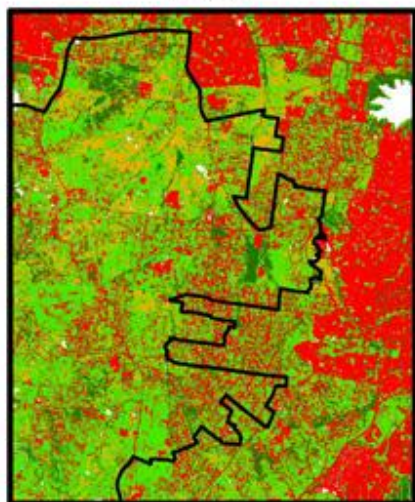
1993



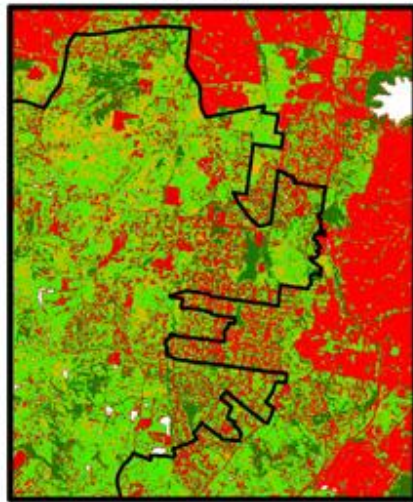
1998



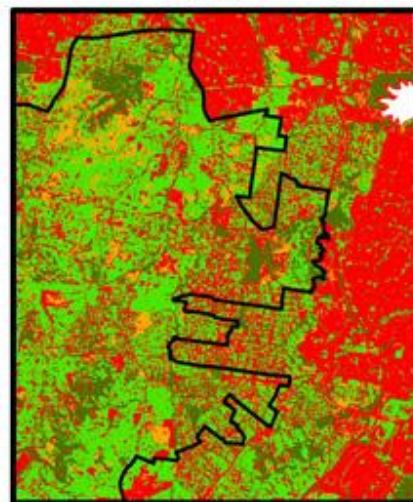
2003



2008



2013



Sols nus
 Aire urbaine
 Pâtures
 Terres cultivées
 Forêts
 Limite urbaine de Sydney (ABS 2016)

0 3,25 6,5 13 kilomètres



Merci de votre attention

