

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

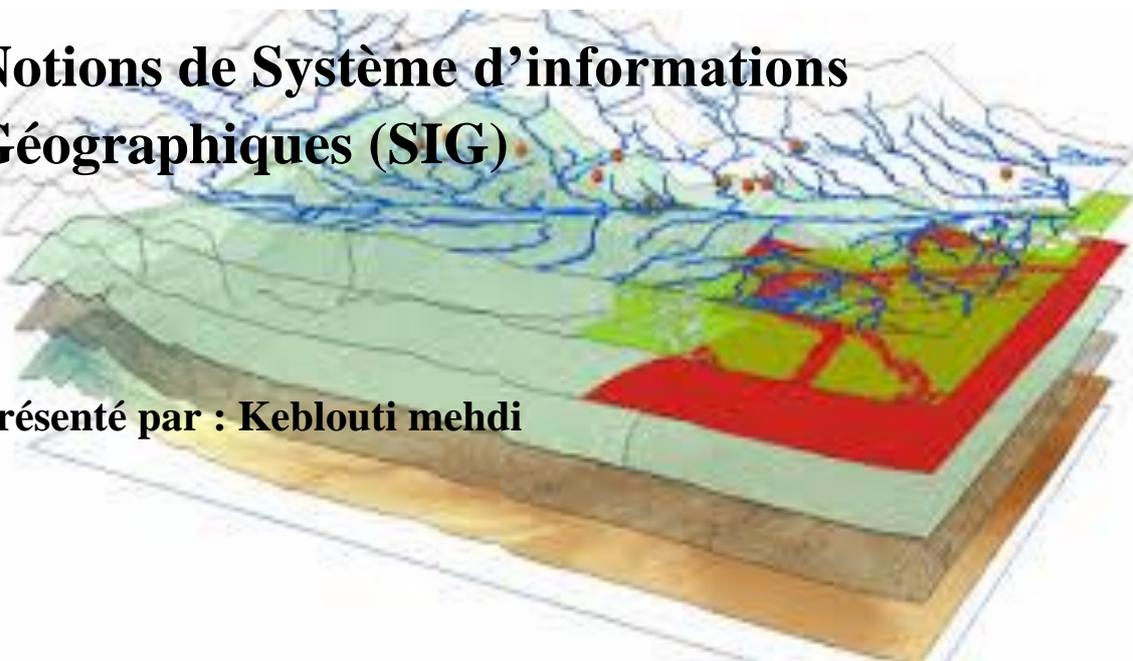
Centre Universitaire Abdelhafid-Boussouf –Mila-
Institut de science et technologie
Département de Génie Civil et d'hydraulique



Polycopié intitulé :

**Notions de Système d'informations
Géographiques (SIG)**

Présenté par : Keblouti mehdi



Année 2024-2025

PREAMBULE

L'eau est une ressource essentielle à la vie et a toujours joué un rôle fondamental dans l'organisation de l'espace humain. Les sociétés humaines se sont historiquement installées autour des points d'eau, formant des agglomérations dont les besoins en eau ne cessent de croître. Dans ce contexte, la gestion efficace des ressources en eau devient un impératif, nécessitant l'utilisation de systèmes avancés de gestion et de protection, notamment en matière d'adduction, de stockage et de distribution.

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) jouent un rôle clé dans cette gestion en permettant de collecter, analyser et visualiser des données spatiales relatives à l'eau, qu'il s'agisse d'eau potable, d'eau usée, d'irrigation ou d'autres types de fluides. Les SIG permettent de modéliser les réseaux hydrauliques, d'analyser les zones de distribution, d'optimiser la gestion des infrastructures et de prévenir les risques liés à l'eau (inondations, sécheresse, pollution, etc.).

Ce polycopié présente le contenu du module "Notions de Système d'Informations Géographiques" destiné aux étudiants de 3ème année de licence en hydraulique, au semestre 5. L'objectif est de fournir une introduction aux concepts et outils des SIG, avec un focus sur leur application dans la gestion de l'eau et des réseaux hydrauliques, en mettant en évidence l'importance de la cartographie et de l'analyse spatiale pour une gestion durable et optimisée des ressources en eau.

Ce polycopié se compose de cinq chapitres :

- ✚ Chapitre I : Système d'Information Géographique (SIG),
- ✚ Chapitre II : Représentation des données dans les SIG,
- ✚ Chapitre III : L'analyse en SIG et logiciels,
- ✚ Chapitre IV : Télédétection,
- ✚ Chapitre V : Exemple d'application des SIG et de la télédétection dans le domaine de l'eau.

Sommaire

Chapitre I : Introduction au système d'information géographique (SIG)

1. Définition de SIG	1
2. Composants de SIG	1
2.1. Les logiciels (software)	2
2.2 Les données (data).....	2
2.3. Le matériel informatique (hardware)	3
2.4. Méthodes (Le savoir-faire).....	4
2-5. Les utilisateurs (personnel)	4
3. Caractéristiques de SIG	5
4. Bref historique	5
5. Les objectifs des SIG	6
6. Les fonctions de SIG	6
6.1. Acquisition (Capture des données) :	6
6.2 Analyse (réponses aux requêtes)	6
6.3. Affichage (Visualisation et restitution graphique)	7
6.4. Archivage (Stockage des données).....	7
6.5 Abstraction :(modélisation de l'information).....	7
7. Coordonnées et systèmes de projection	7
7.1 La notion de coordonnées	7
7.1.2 Les principaux éléments d'un système de coordonnées géographiques	7
7.2 Systèmes géodésiques et projections.....	9
7.2.1 Systèmes de coordonnées géographiques	9
7.2.1.1 Système de coordonnées géographiques courants.....	9
a) Système géodésique Nord Sahara 1959 Le NORD SAHARA	9
b) WGS84 (World Geodetic System 1984).....	10
7.2.2 Système de coordonnées projetées	10
7.2.2.1 Trois grands types de projections : cylindriques, coniques et azimutales.....	10
7.3 Systèmes de projection utilisés en Algérie.....	11
7.3.1 Projection UTM (Universal Transverse Mercator)	11
7.3.2 Projection Lambert.....	12
7.3.3 Différence entre un système de coordonnées géographiques et un système de projection.....	13
8. Domaine d'application	13
Chapitre II : Représentation des données dans les SIG	
1. Introduction	14
2. Quelques définitions	14

3. Modes d'acquisition de données.....	14
3.1 Numérisation	15
3.2 Balayage électronique	15
3.3 La photogrammétrie	16
3.4 La télédétection	16
4. Données et information	17
4.1 Données dans un SIG	17
4.2 Information dans un SIG	17
5. Types de données dans un SIG.....	17
5.1 Données associées	17
5.1.1 Données de classification	18
5.1.2 Données d'identification.....	18
5.1.3 Données attributaires.....	18
6. Modes de données dans les SIG	19
6.1. Les données Vectoriel (mode vecteur).....	19
6.1.1. Caractéristique du modèle vectoriel	20
6.1.2. Quelques formats vectoriels	20
6.2. Les données matricielles (mode raster).....	20
6.2.1. Quelques formats matriciels.....	21
Conclusion.....	21

Chapitre III : L'analyse en SIG et logiciels

Introduction	22
1. L'analyse en SIG	22
2. Types d'Analyse en SIG.....	22
Structure des logiciels SIG	24
4.1. Interface utilisateur (User Interface - UI).....	24
4.2. Base de données géospatiales (Spatial Database)	24
4.2.1 Composants	24
4.3. Système de gestion des couches (Layer Management).....	25
4.4. Moteur de traitement spatial (Spatial Analysis Engine).....	25
4.5. Moteur de rendu cartographique (Rendering Engine).....	25
4.6. Moteur de géocodage et de recherche (Geocoding Engine).....	25
4.7 Traitement de données raster (Raster Data Processing Engine)	25
4.8. Moteur de géotraitement (Geoprocessing Engine)	26
4.9. Module de gestion des projections et systèmes de coordonnées (CoordinateSystems and Projections).....	26
4.10. Extensions et modules personnalisables	26

4.11. API et scripts (Automation and Customization)	26
5. Personnalisation	27
5.1 Principaux aspects de la personnalisation :	27
6. Types des Logiciels SIG	27
6.1. Logiciels SIG de bureau (Desktop GIS) (commerciaux /libres)	27
6.2. SIG enligne (Web-based GIS)	28
6.3. SIG Serveur (Server GIS)	28
6.4. SIG Mobile (Mobile GIS)	28
6.5. Logiciels d'analyse de données raster et de télédétection	29
6.6. SIG spécialisés (SIG thématiques)	29
6.7. Logiciels de développement	29
7. Producteurs des Logiciels SIG	30
Conclusion.....	30

Chapitre IV: Télédétection

1. Définition de la Télédétection	32
2. Historique	32
2. 1. Origines (19e siècle).....	32
2.2. Développement de la photographie aérienne (première moitié du 20e siècle)	32
2.3. Lancement des premiers satellites (années 1960)	33
2.4. Avancées technologiques (années 1970-1980)	33
2.5. Émergence des capteurs avancés (années 1990-2000).....	33
2.6. Accès aux données et applications modernes (années 2010 à aujourd'hui)	33
3. Types de télédétection (passive, active)	33
3.1. Télédétection passive	33
3.2. Télédétection active.....	34
4. Principe de la télédétection.....	34
5. Plateformes et capteurs utilisés en télédétection	36
5.1. Plateformes	36
5.2. Capteurs.....	38
6.Types de résolutions	39
6.1. Résolution spatiale	39
6.2. Résolution temporelle	39
6.3. Résolution spectrale	39
6.4. Résolution radiométrique	39
7. Acquisition des données : techniques et outils	40

7.1 Techniques de collecte de données	40
7.2. Outils et logiciels.....	40
7.3. Types de données collectées	40
7.4. Traitement des données.....	41
8. Intégration avec les Systèmes d'Information Géographique (SIG).....	41
9. Les domaines d'application de la télédétection.....	42
Agriculture	42
9.2 Environnement.....	42
9.3 Urbanisme	43
9.4 Gestion des catastrophes	43
9.5 Foresterie.....	43
9.6 Géologie et géomorphologie.....	43
9.7 Océanographie	44
9.8 Santé publique.....	44
9.9 Défense et sécurité	44
9.12 Évaluation des ressources naturelles.....	44
Conclusion.....	44

Chapitre V : Exemple d'application des SIG et de la télédétection dans le domaine de l'eau

Application 01 : Calage d'une carte	46
Application 02 : Création des vecteurs (polygone, ligne, point).....	48
Application 03 : La création des cartes des pluies.....	50
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	54

Chapitre 01 :
Introduction au
systeme
d'information
géographique (SIG)

1. Définition de SIG

Un SIG : Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace et à la décision.
(Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989)

SIG = Système + Information + Géographique

- **System** : combinaison d'éléments réunis de manière à former un ensemble
- **Information** : élément de connaissance susceptible d'être codé pour être conservé, traité ou communiqué.
- **Géographique** = Données géo-référencées.
- **Système d'information** = logiciel + matériel + base de données : intégrer, stocker, éditer, analyser, partager et afficher l'information géographique.

Plusieurs désignations

- **SIG** : Système d'Information Géographique en France
- **GIS** : Geographic Information System
- **SIRS** : Système d'Information à Référence Spatiale au Canada
- **SIL** : Système d'Information Localisée
- **SIT** : Système d'information sur le territoire

2. Composants de SIG



Figure I.1: Les composants d'un SIG

2.1. Les logiciels (software)

Un logiciel SIG est un logiciel conçu d'une manière à assurer leurs principales fonctions à savoir :

- un system d'Acquisition et manipulation de la donnée géographique
- Bases de données spatiales : Pour stocker les informations géographiques dans des formats organisés, comme PostGIS (extension pour Postgres), Oracle Spatial, ou Spatialite.

Il existe sur le marché un nombre important des logiciels :

- **Esri** : Produit phare : ArcGIS
 - Utilisé pour la cartographie, l'analyse spatiale et la gestion des données géographiques.
- **QGIS** : Logiciel open source, largement utilisé pour l'analyse spatiale et la cartographie.
- **MapInfo** :
 - Développé par Pitney Bowes, utilisé pour la cartographie et l'analyse géospatiale.
- **GRASS GIS** : Logiciel open source qui offre des capacités avancées d'analyse géospatiale.
- **GeoMedia** : Produit par Intergraph, utilisé pour l'intégration de données géospatiales.
- **AutoCAD Map 3D** : Intègre des outils de cartographie dans le logiciel AutoCAD, permettant la conception et l'analyse géospatiale.
- **Carto** : Plateforme cloud pour la visualisation et l'analyse des données géographiques.
- **Google Earth Engine** : Outil puissant pour l'analyse de grandes quantités de données géospatiales, souvent utilisé dans des applications environnementales.



Figure I.2 : Les logiciels de SIG

2.2 Les données (data)

Une information localisée géographiquement est une donnée qui présente des objets localisés à la surface de la terre. A cette donnée géographique une donnée tabulaire est reliée ; l'ensemble des données est soit créé en interne, soit acquis de l'extérieur.

Sous SIG le monde réel est représenté avec deux types de données à savoir : la donnée en mode vecteur, la donnée en mode raster. Ces derniers sont collectées via des relevés de terrain, des satellites, des drones, des relevés GPS, des cartes anciennes, etc.

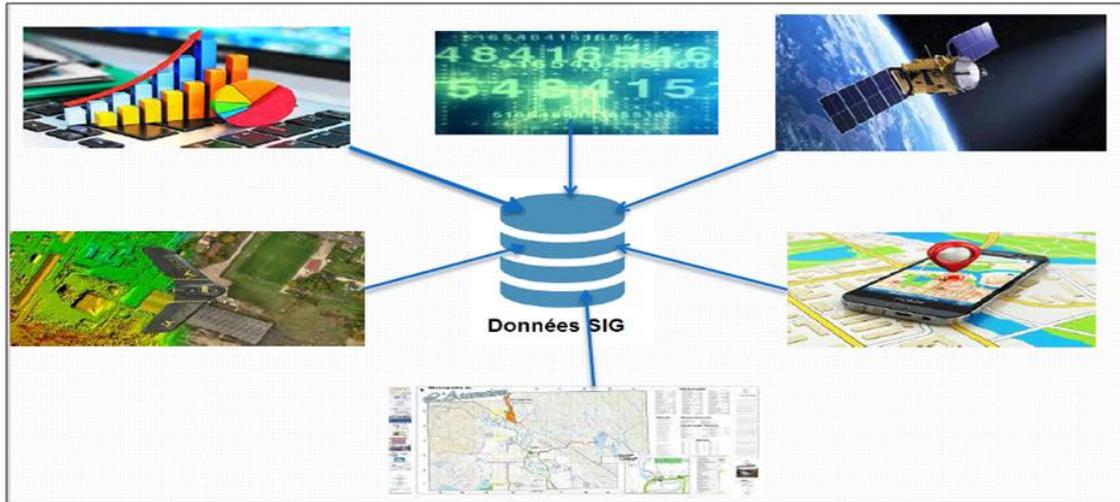


Figure I.3: Source données SIG

2.3. Le matériel informatique (hardware) : Un SIG pour qu'il puisse être conçu puis manipulé, a besoin :

- Ordinateurs : Des stations de travail puissantes pour traiter de grandes quantités de données spatiales.
- Serveurs : Pour héberger les données SIG et fournir un accès à distance à des utilisateurs multiples.
- Appareils de collecte de données : Tels que les GPS, drones, capteurs, ou stations totales pour recueillir des données géographiques directement sur le terrain. Accessoirement, autres matériels sont utilisés, tels que :
- le scanner : utilisé pour passer de la donnée en format papier au format numérique (donnée raster) ;



Figure I.4: Le matériel dans un SIG

2.4. Méthodes (Le savoir-faire)

Les procédures dans un SIG désignent les méthodes utilisées pour collecter, analyser et gérer les données, incluant la collecte sur le terrain, l'analyse spatiale, la modélisation géographique et les protocoles d'échange de données.

2-5. Les utilisateurs (personnel)

Les personnes qui utilisent et exploitent le SIG forment un composant crucial. Cela inclut :

- Experts SIG : Des spécialistes capables de concevoir, mettre en œuvre et maintenir le système.
- Analystes : Ceux qui utilisent le SIG pour interpréter les données, produire des cartes et des rapports.
- Décideurs : Les responsables qui utilisent les informations SIG pour prendre des décisions stratégiques dans divers domaines (urbanisme, gestion environnementale, gestion des catastrophes, etc.).



Figure I.5: Présentation des utilisateurs dans un SIG

Chacun selon ses besoins et sa profession. Néanmoins, on peut regrouper les domaines en trois principales catégories, à savoir :

- L'aménagement ;
- La gestion ;
- La recherche.

3. Caractéristiques de SIG

Les Systèmes d'Information Géographique se distinguent par plusieurs caractéristiques uniques qui en font des outils puissants pour l'analyse et la gestion des données spatiales.

Voici les principales caractéristiques d'un SIG :

- Intégration des données spatiales et attributaires ;
- Multidimensionnalité ;
- Superposition des couches (Layering) ;
- Analyse spatiale ;
- Visualisation cartographique avancée ;
- Gestion des grandes quantités de données ;
- Capacité d'interopérabilité ;
- Fonctionnalité d'édition des données géographiques ;
- Projection cartographique et transformation de coordonnées ;
- Modélisation et simulation géographique ;
- Analyse temporelle.

4. Bref historique

Maguire (1991) distingue trois périodes principales dans l'évolution des SIG :

- **Fin des années 1950 – milieu des années 1970** : début de l'informatique, premières cartographies automatiques
- **Milieu des années 1970 - début des années 1980** : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques ...)
- **Depuis les années 1980** : croissance du marché des logiciels SIG, développements des applications SIG, mise en réseau (bases de données distribuées, depuis les années 1990, des applications SIG sur Internet) et une banalisation de l'usage de l'information géographique, (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...), apparition de « logiciels libres » ou d'outils dédiés aux pratiques coopératives.
- **Technologies avancées et accessibilité (années 2000)** : Dans les années 2000, les SIG se démocratisent grâce aux logiciels open source et aux plateformes en ligne comme Google Earth, tandis que l'intégration du GPS facilite la collecte de données sur le terrain.

- **Intelligence artificielle et Big Data (années 2010 et au-delà)** Depuis 2010, l'intégration de l'intelligence artificielle et du Big Data dans les SIG permet des analyses spatiales avancées et la modélisation prédictive, tandis que leur utilisation s'étend à des domaines variés, comme la planification urbaine et la gestion des ressources naturelles, et évolue avec les nouvelles technologies telles que les drones et les capteurs.

5. Les objectifs des SIG

Un système d'information géographique doit répondre à cinq questions, quel que soit le domaine d'application :

Où ? Recherche spatiale d'objets par rapport à leurs caractéristiques.

Quoi ? Recherche de caractéristiques d'objets par rapport à leur positionnement.

Comment ? : Recherche de relations qui existent entre différents objets, création d'une nouvelle information par croisement d'informations.

Quand ? Recherche de changements intervenus sur les données.

Et si ? Définir en fonction de certaines hypothèses l'évolution du terrain, étude d'impact.

6. Les fonctions de SIG 5A

6.1. Acquisition (Capture des données) :

Cette fonction consiste à collecter et intégrer des données géographiques et attributaires dans le SIG. La capture des données peut se faire à partir de diverses sources et dans différents formats :

- Données terrain
- Images satellites et aériennes
- Données cartographiques
- Données de capteurs
- Bases de données existantes

Cette étape est cruciale pour garantir la qualité et la précision des données utilisées dans le SIG.

6.2 Analyse (réponses aux requêtes)

L'analyse est l'une des fonctions les plus puissantes du SIG. Elle permet de répondre aux requêtes en appliquant une variété d'outils pour traiter, comprendre et révéler des relations dans les données spatiales. Il existe plusieurs types d'analyses dans un SIG :

L'analyse SIG permet aux utilisateurs de répondre à des questions complexes et de prendre des décisions éclairées.

6.3. Affichage (Visualisation et restitution graphique)

L'affichage dans un SIG est essentiel pour représenter visuellement les données géographiques sous forme de cartes, graphiques ou modèles 3D, facilitant l'interprétation et la communication des résultats. Cela inclut des cartes thématiques sur des sujets spécifiques, des cartes dynamiques interactives, la modélisation 3D du terrain et des infrastructures, ainsi que la symbolisation pour améliorer la lisibilité. Cet outil est crucial pour la prise de décision dans divers domaines tels que l'urbanisme, la gestion des ressources et la gestion des catastrophes.

6.4. Archivage (Stockage des données)

L'archivage dans un SIG désigne sa capacité à stocker, gérer et organiser efficacement des données spatiales à long terme, garantissant leur accessibilité et sécurité, notamment grâce à des bases de données spatiales comme PostGIS et des métadonnées sur les données. De plus, l'hébergement dans le cloud facilite l'accès partagé et la gestion des volumes croissants de données, assurant une organisation optimale et une récupération aisée.

6.5 Abstraction :(modélisation de l'information)

Elle permet de gérer et de visualiser des données géographiques en simplifiant leur représentation tout en préservant les informations essentielles, grâce à des fonctionnalités telles que la simplification des données, le filtrage des attributs, la visualisation dynamique et l'analyse spatiale.

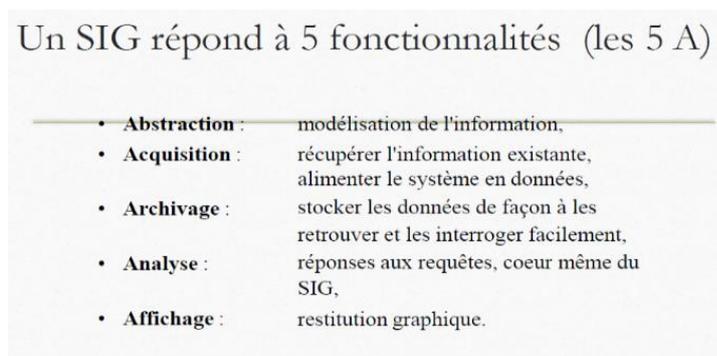


Figure 1.6: Les fonctionnalités du SIG

7. Cordonnés et systèmes de projection

7.1 La notion de coordonnées

7.1.2 Les principaux éléments d'un système de coordonnées géographiques

- **Parallèle** : cercle parallèle à l'équateur. Ils sont de plus en plus petits lorsqu'on s'éloigne de l'équateur. Leur longueur varie de 0 km aux pôles à ± 40.000 km à l'équateur (parallèle de référence : équateur).
- **Méridien** : demi-cercle passant par les deux pôles. Ils ont tous la même longueur : ± 20.000 km (méridien de référence : méridien de Greenwich).
- **Latitude** : distance angulaire d'un lieu à l'équateur ; cette distance s'exprime en degré et se mesure sur le méridien du lieu, de l'équateur vers le lieu. C'est donc un angle orienté soit Nord, soit Sud.
- **Longitude** : distance angulaire d'un lieu au méridien de Greenwich ; cette distance s'exprime en degré et se mesure sur le parallèle du lieu du méridien de Greenwich vers le lieu. C'est donc un angle orienté soit Ouest, soit Est.
- **Coordonnée géographique** : ensemble de la latitude et de la longitude d'un lieu s'écrivant, par exemple, comme suit 25°N 56°E.
- **L'ellipsoïde (ou sphéroïde) de référence** : La Terre est approximée par un ellipsoïde car elle n'est pas parfaitement sphérique. Un ellipsoïde est défini par sa taille (son demi-grand axe) et son aplatissement (différence entre le rayon à l'équateur et celui aux pôles).
- **Le datum géodésique** : Un datum est une référence qui définit comment positionner l'ellipsoïde sur la Terre. Il peut être global (comme le WGS84) ou local, spécifiquement ajusté pour une région.
- **Géodésie** : La géodésie est la science qui étudie la forme et les dimensions de la Terre. Cette deuxième partie abordera les différentes manières d'exprimer des coordonnées, et comment cela se traduit dans un logiciel SIG.

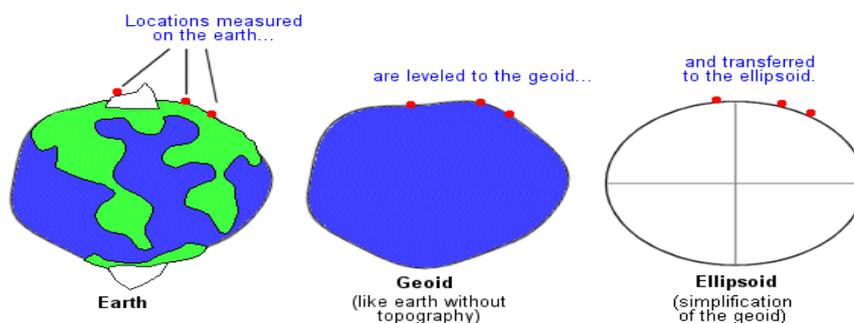


Figure I.7: Présentation forme de la terre

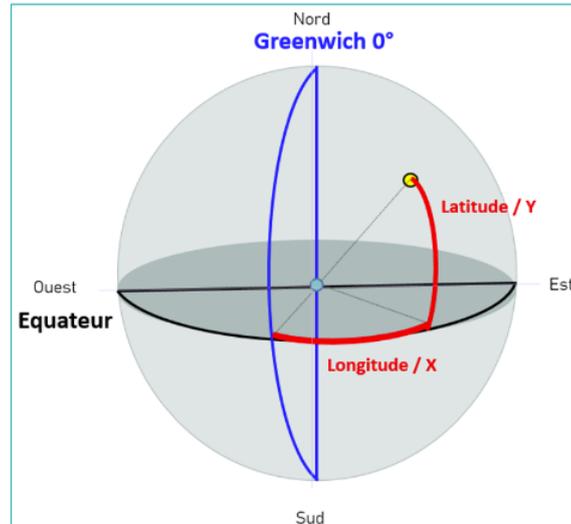


Figure I.8: Les coordonnées Géographiques

7.2 Systèmes géodésiques et projections

Il existe deux types différents de systèmes de référence de coordonnées : systèmes de coordonnées géographiques et les systèmes de coordonnées projetées.

7.2.1 Systèmes de coordonnées géographiques

Les coordonnées géographiques permettent de localiser un lieu sur la terre grâce à trois mesures : l'altitude, la longitude et latitude. Les coordonnées géographiques sont notamment utilisées par le GPS.

7.2.1.1 Système de coordonnées géographiques courants

- WGS84 (World Geodetic System 1984) ;
- NAD83 (North American Datum 1983) ;
- GCS (Geographic Coordinate System.

a) Système géodésique Nord Sahara 1959 Le **NORD SAHARA** est un système géodésique, crée par IGN (Institut géographique national) dans les années 50 pour l'Algérie. L'utilité du système de coordonnées Nord Sahara est de pouvoir faire des mesures de distance et d'angles sur carte. Le système de coordonnées comprend plusieurs éléments:

- La projection utilisée. UTM (Universal Transverse Mercator).
- Le système d'unité : Ex le mètre ou pied
- L'ellipsoïde de référence ex: Clarke 1880 anglais
- La position de l'origine
- Caractéristiques du réseau géodésique

b) WGS84 (World Geodetic System 1984)

- **WGS84** est le système de référence global le plus couramment utilisé aujourd'hui, y compris en Algérie, en raison de sa compatibilité avec les technologies modernes telles que le GPS.
 - **Coordonnées** : Latitude et longitude en degrés décimaux.
 - **Ellipsoïde** : WGS84, qui représente approximativement la forme de la Terre à l'échelle mondiale.
 - **Utilisation** : WGS84 est utilisé pour la navigation GPS, la cartographie numérique, les systèmes SIG et les applications satellitaires. Il est particulièrement utile pour les projets nécessitant une couverture globale ou régionale, tels que les systèmes de navigation routière, la gestion des ressources naturelles, et les études environnementales.

7.2.2 Système de coordonnées projetées

Lorsqu'on utilise une projection, on parle de coordonnées projetées. Ces coordonnées sont par définition bidimensionnelles, et seront exprimées généralement en unités métriques. Une projection permet donc de représenter sur une surface plane une partie d'un modèle ellipsoïdal.

7.2.2.1 Trois grands types de projections : cylindriques, coniques et azimutales

Dans tous les cas, on va projeter la surface de la terre sur une forme que l'on peut dérouler pour obtenir une surface plane : un cylindre, un cône ou un plan. On distingue ainsi les projections cylindriques, coniques et azimutales.

Il existe d'autres types de projections :

- La projection cylindrique (système Mercator) ;
- La projection conique (système Lambert) ;
- Projections azimutales (ou planes).

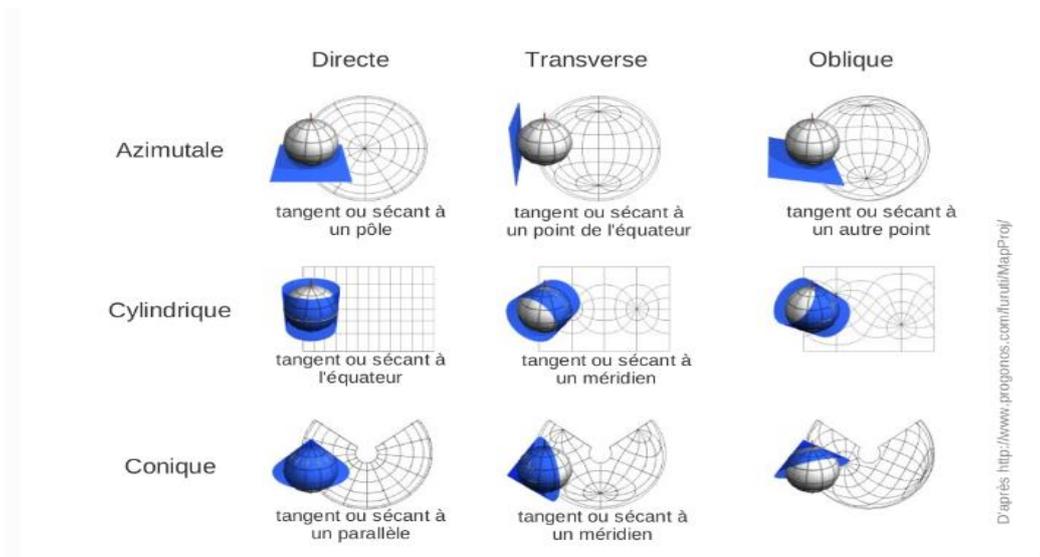


Figure I.9: Présentation des types de projection

7.3 Systèmes de projection utilisés en Algérie

7.3.1 Projection UTM (Universal Transverse Mercator)

La projection de Mercator, l'une des plus anciennes (1569), il s'agit en fait d'une série de projections cylindrique transverse conforme c'est-à-dire elle conserve les angles. Le monde étant divisé en 60 fuseaux de 6° de longitude. Une projection différente est utilisée pour chaque fuseau : le cylindre utilisé subit à chaque fois une rotation légèrement différente.

Pour l'Algérie, c'est la projection UTM qui est utilisée actuellement. Dont chaque zone UTM couvre 6° de longitude. L'Algérie occupe 04 fuseaux : n°29, n°30, n°31 et n°32 Il y'a donc 4 zones (fuseaux).

Ellipsoïde : WGS84, utilisé conjointement avec la projection UTM.

Utilisation : La projection UTM est largement utilisée en Algérie pour la cartographie à grande échelle, notamment pour les projets d'infrastructure, de gestion des ressources naturelles, de planification urbaine, et pour les travaux géodésiques modernes.

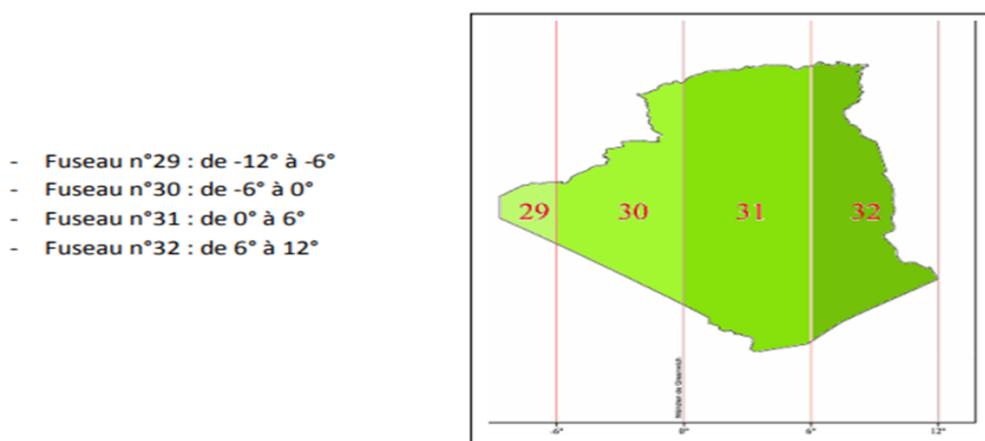


Figure I.10: Fuseaux de la projection UTM en Algérie

7.3.2 Projection Lambert

C'est une projection conforme, conique utilisée pour la cartographie de l'Algérie au 1/50 000 de 1943 à 1960. Un quadrillage kilométrique de couleur rouge appelé "corroyage Lambert". La projection Lambert Conformale Conique est également utilisée dans certains contextes, surtout pour les cartes topographiques ou les grandes surfaces. Elle est adaptée aux régions de grande étendue en latitude, comme l'Algérie.

Utilisation : Cette projection peut être utilisée pour certaines applications topographiques et pour les cartes à petite échelle couvrant des portions importantes du territoire algérien.

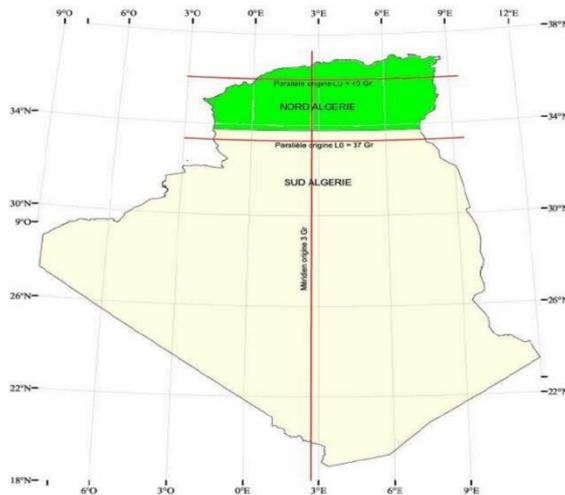


Figure I.11: Projection Lambert en Algérie

NB:

- Projection des points de l'ellipsoïde sur un plan, sur la surface d'un cône ou d'un cylindre peuvent être développées).
- Une projection est basée sur un système de coordonnées géographiques.
- Permet le calcul de distances et de surfaces.
- Cause des déformations inévitables : il faut le minimiser en optimisant la projection à étudiée. Une projection peut être conforme (conservation des angles), équivalente (conservation des surface) ou équidistance (conservation des distances), mais pas les ensembles.
- Un même point aura des coordonnées différentes selon la projection utilisée.

7.3.3 Différence entre un système de coordonnées géographiques et un système de projection

- Un système de coordonnées géographiques (SCG) représente la surface de la terre en utilisant des coordonnées angulaires (latitude et longitude), tandis qu'un système de projection cartographique transforme ces coordonnées pour les représenter sur une surface plane (comme une carte papier ou un écran).
- Par exemple, le SCG WGS84 utilise des coordonnées angulaires, tandis que la projection UTM (Universal Transverse Mercator) projette ces coordonnées sur un plan en utilisant des mètres ou des kilomètres.

8. Domaine d'application

Les SIG sont des dispositifs technologiques qui facilitent la collecte, le stockage, l'analyse et la visualisation de données géospatiales. Dans différents secteurs tels que la planification urbaine, la gestion de l'environnement, les services d'urgence, le transport et l'agriculture, ils sont employés afin de simplifier la prise de décision en fonction de l'emplacement et de la répartition spatiale des phénomènes.

Les SIG sont appliqués dans presque tous les domaines, à savoir :

- **Tourisme** : Gestion des infrastructures touristiques.
- **Marketing** : Localisation des clients, analyse de sites commerciaux.
- **Planification urbaine** : Cadastre, gestion des voiries et des réseaux d'assainissement.
- **Agriculture** : Génie rural, gestion des ressources en eau, suivi et prévision des récoltes.
- **Santé** : Épidémiologie, répartition des services de santé, gestion des crises sanitaires.
- **Transport** : Planification des transports urbains, optimisation des itinéraires.
- **Hydrologie** : Suivi des zones à risque, prévention des catastrophes naturelles (inondations).
- **Forêt** : Gestion et conservation des ressources forestières.
- **Géologie** : Prospection minière et études géologiques.
- **Biologie** : Études du déplacement des animaux et gestion des habitats.
- **Télécommunications** : Implantation d'antennes pour les réseaux mobile

Chapitre 02:

Représentation des

données dans les SIG

1. Introduction

Lorsqu'on évoque les logiciels de cartographie informatique ou les SIG, la première chose qui vient à l'esprit est la gestion des données. Cela suscite diverses questions : Comment est-il possible d'enregistrer les données présentes sur une carte sur un ordinateur? Comment les SIG traitent-ils les données? Dans ce chapitre, nous aborderons ces questions et nous focaliserons sur les différentes techniques d'acquisition des données dans un SIG.

2. Quelques définitions

- **Entité:** Une entité est un phénomène d'intérêt que l'on retrouve dans la réalité (le monde réel) et que l'on ne peut plus par la suite le subdiviser en phénomène de même genre.

Exemple: A l'inverse, un massif forestier (entité) peut être subdivisé en massif forestier de plus petite taille. Un type d'entité correspond à tout groupe de phénomènes similaires à être représentés de manière uniforme.

Par exemple les routes (ligne), les rivières (ligne), les altitudes (point), la végétation (zone). Pour chaque type d'entité, il faut produire des définitions précises.

- **Objet:** Un objet est la représentation numérique (ou géométrique) de l'entité. La méthode de représentation numérique d'un phénomène varie en fonction de l'échelle, des besoins et de plusieurs facteurs.

- **Attribut :** Les attributs sont les caractéristiques de l'entité.

Exemple: Entité: route, les attributs de la route: nom de la route (Chemin de wilaya CW, Route nationale RN, largeur de la route, longueur de la route, état de la route, ...ect).

- **Notion de couche de donnée :** Une couche est un plan réunissant des éléments géographiques de même type. On dit qu'il s'agit d'un plan car les données géographiques sont bidimensionnelles (x,y).

3. Modes d'acquisition de données

En général, les données géographiques proviennent de différentes sources et sont obtenues à l'aide de différentes méthodes, ce qui les rend multi sources. Il est possible de les recueillir directement sur le terrain à l'aide de relevés topographiques, de les capturer à distance à l'aide de technologies comme le GPS, les photographies aériennes ou les images satellitaires, ou encore d'extraire des cartes et plans existants. La production de données géographiques est également assurée par des organismes spécialisés qui fournissent des informations qui sont ensuite intégrées. Il est nécessaire d'harmoniser ces données, même si elles diffèrent en termes

de qualité, de fiabilité, de précision et de couverture spatiale. Dans la suite de ce texte, nous examinerons les principales techniques d'obtention de ces données.

3.1 Numérisation

La numérisation, également connue sous le nom de digitalisation ou de vectorisation, consiste à prendre en compte la géométrie des objets présents sur un plan ou une carte déjà existant. Cette méthode consiste à déplacer un curseur sur un plan fixé à une table à numériser, préalablement calibrée en coordonnées. Les signaux électriques émis par le curseur sont sensibles à la table, qui peut les localiser sur son plan avec une précision pouvant aller jusqu'au dixième de millimètre.

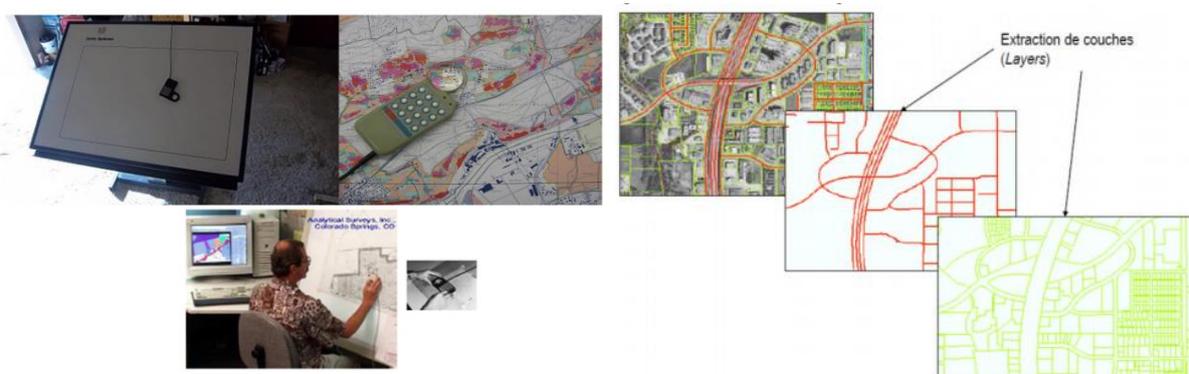


Figure II.1: Les étapes de la numérisation

3.2 Balayage électronique

Un autre moyen de saisir un plan existant est le balayage électronique (effectué à l'aide d'un scanner), qui est plus rapide que la digitalisation manuelle.

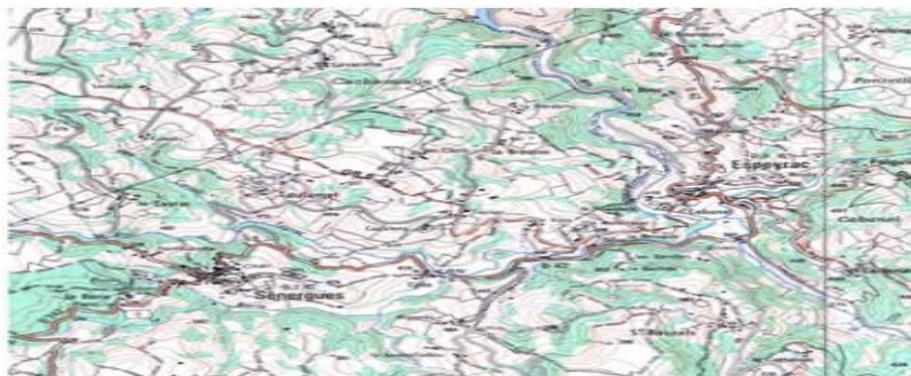


Figure II.2: Carte numérisée

3.3 La photogrammétrie

On utilise fréquemment la photogrammétrie aérienne pour réaliser des cartes à échelle moyenne et elle est également privilégiée dans les pays où la couverture cartographique et géodésique est limitée. Elle offre également la possibilité de concevoir des plans à grande échelle à un prix qui peut s'avérer très abordable.



Figure II.3: Exemple des photos aériennes

3.4 La télédétection

La télédétection représente une approche extrêmement pratique pour produire des informations à incorporer dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Elle implique l'utilisation de photographies aériennes ou d'images capturées et transmises par satellite dans des conditions spécifiques et rigoureuses.

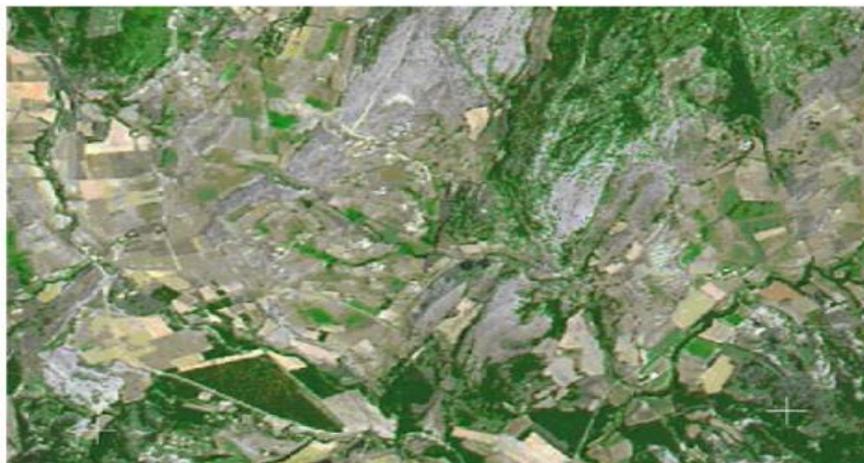


Figure II.4: Exemple d'une image satellitaire

4. Données et information

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies:

- Sa position géographique dans l'espace
- Sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie
- Son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code).

Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées.

4.1 Données dans un SIG

Les données dans un SIG sont des données géospatiales ou géographiques, c'est-à-dire des informations liées à des positions ou des caractéristiques spatiales. Les deux principaux types de données dans un SIG sont :

- des données permettant spatial (ou géométriques) de connaître la forme et la localisation dans l'espace de ou des objets observés, En langage SIG, on appelle ces données des « couches géographiques » (Vecteur, raster)
- des données alphanumériques permettant de décrire les objets géographiques, d'en connaître des caractéristiques qualitatives et/ou quantitatives, En langage SIG on les appelle des données « attributaires ».

4.2 Information dans un SIG

L'information dans un SIG est obtenue lorsque les données géographiques sont traitées et analysées pour répondre à des questions ou fournir des solutions à des problèmes spécifiques. Ce processus transforme les données brutes en informations exploitables, permettant aux utilisateurs de comprendre des phénomènes spatiaux et de prendre des décisions informées.

5. Types de données dans un SIG

Dans un SIG, il est primordial de comprendre les concepts de données liées, de classification, d'identification et d'attributs afin d'organiser, d'analyser et de comprendre les informations géospatiales.

5.1 Données associées

La représentation géométrique de l'entité spatiale est enrichie par les données liées aux entités géographiques. Il y a un code d'identification pour chaque élément spatial, numérique ou alphabétique, qui sert d'étiquette descriptive pour le point, la ligne ou le polygone en question. Il existe différentes catégories de données qui peuvent être classées :

- Données de classification ;

stations pluviométriques. Ces données sont souvent déjà présentes dans des fichiers informatiques, où elles sont associées à l'identifiant de chaque objet. La classe d'objet est généralement déterminée, au moins en partie, par le processus de numérisation, les identifiants étant souvent ajoutés en bloc à la fin.

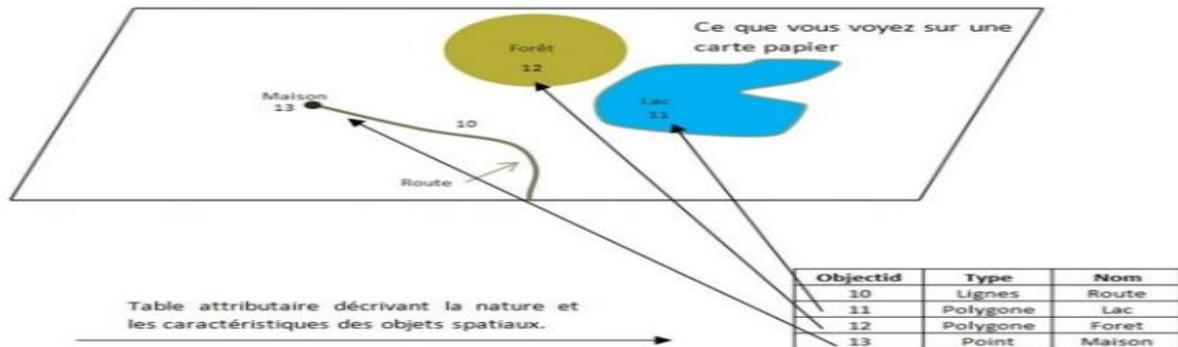


Figure II.6: Exemple des données attributaires dans un SIG

6. Modes de données dans les SIG

Il est d'utiliser différentes techniques pour récupérer des objets cartographiques existants sur support papier afin de les incorporer dans un SIG, telles que la digitalisation et le balayage électronique. La première entraîne directement l'obtention de données cartographiques numériques de type vecteurs, tandis que la seconde entraîne l'acquisition de données raster.

6.1. Les données Vectoriel (mode vecteur)

Les éléments constitutifs du monde réel sont reproduits à travers des points, des lignes (arcs) et des polygones (**Fig.II.7**). La création de la donnée graphique (objet spatial) va créer automatiquement une ligne dans une table attributaire et donc crée de la donnée alphanumérique, les deux données (alphanumérique et graphique) sont interactives.

- **Les points** : sont utilisés pour représenter des phénomènes ou des objets ponctuels ou d'extension spatiale très réduite.
- **Les lignes** : sont utilisées pour représenter les objets linéaires tels le réseau routier, réseau d'assainissement, réseau hydrographique ..., des objets qui ont donc une longueur mais à surface très réduite voire inexistante tel est le cas des courbes de niveau
- **Les polygones** : sont utilisés pour représenter des objets à surface. Un polygone représentera forcément un ou plusieurs objets homogènes tels : les niveaux de risques, modes d'occupation du sol.

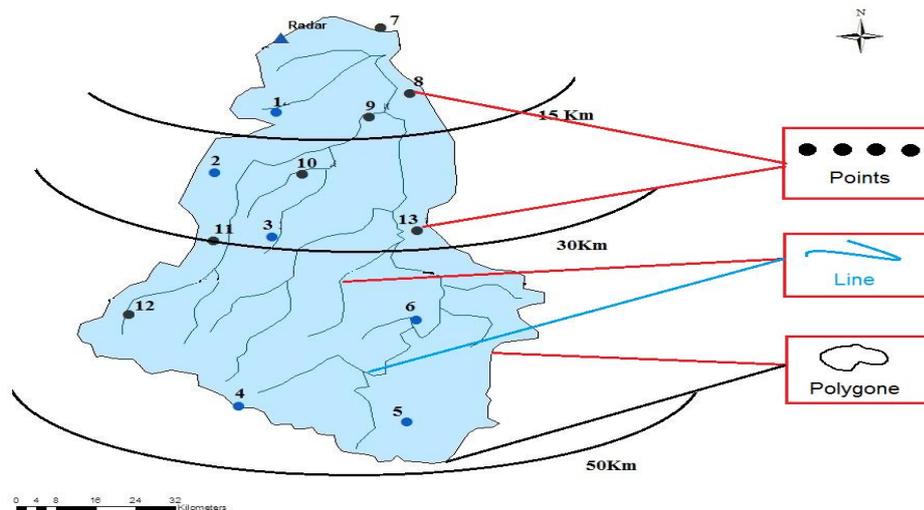


Figure II.7: Exemple d'un mode vecteur

6.1.1. Caractéristique du modèle vectoriel

- Distribution irrégulière des entités spatiales
- Représentation géométrique des entités
- Frontières explicites
- Localisation précise et unique
- Attributs et entités reliés par un numéro d'identification
- Représentation très efficace de la topologie

6.1.2. Quelques formats vectoriels

- DLG (Digital Line Graphs)
- Utilisé pour les cartes topographiques (USGS)
- DXF (Data Exchange Format), format d'Import/Export d'Autocad
- E00 (ungenerate), format d'Import/Export d'Arc/Info
- MID/MIF (MapInfoInterchange File), format d'Import/Export de MapInfo
- Shape file Shp, format spécifique d'Arcgis.

6.2. Les données matricielles (mode raster)

La donnée raster représente le territoire à l'aide d'une grille régulière de pixels, où chaque pixel est défini par sa résolution, sa position, et son intensité de gris (ou couleur). La juxtaposition de ces pixels recrée l'apparence du territoire, avec une taille de pixel plus grande entraînant une moindre information géographique, tandis qu'une taille réduite offre une information de haute résolution, chaque pixel ayant une valeur de teinte et de couleur. Elle décrit la surface cartographique point par point, contrairement au mode vecteur qui ne se

concentre que sur les contours. Il est principalement utilisé dans les systèmes à balayage tels que les scanners et les capteurs de télédétection.

6.2.1. Quelques formats matriciels

Chaque pixel contient une information numérique codée en bits:1, 8, 24,32...

Image en noir et blanc (1bit, 2 couleurs)

-image en niveaux de gris (8 bits, 256 couleurs)

-Standards: BMP, TIFF, JPG, PNG...

-Compressés: ECW, JP2, SID

-Logiciels de SIG et télédétection : GRID, BIL, BSQ, BIP, IMG(ERDAS)...

Exemple source de donné raster

Des photos aériennes, image satellite ou image radar et les documents scannés

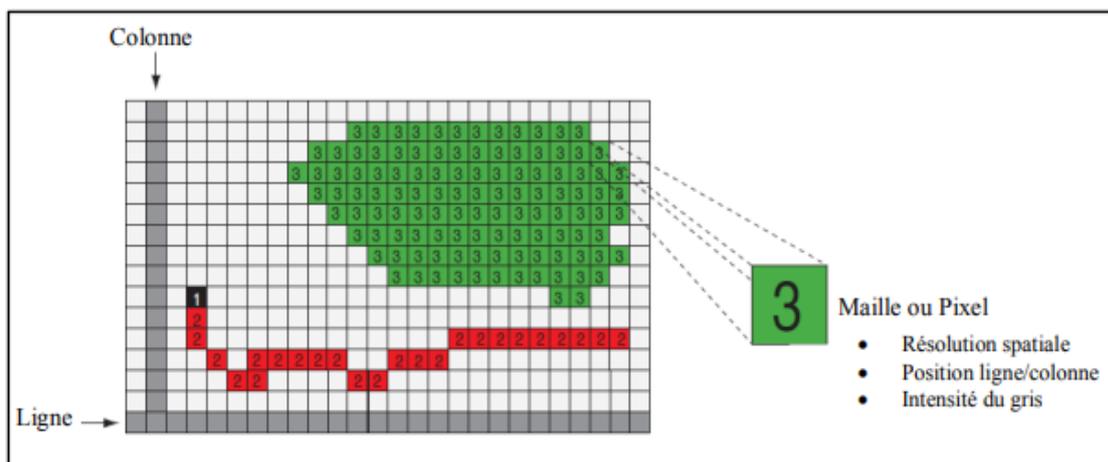


Figure II.8: Exemple d'un mode raster

Conclusion

Ces deux modes se complètent mutuellement. Le raster convient mieux à différentes applications (télédétection) et offre une solution économique à certains besoins. Par exemple, l'administrateur d'un réseau pourrait se limiter à scanner des fonds de plans en les gardant au format raster et en les numérisant ensuite en mode vecteur (ce qui requiert une définition par formes géométriques). Le vecteur englobe tous les besoins fréquents en matière de gestion de données localisées.

Chapitre 03 : L'analyse en SIG et logiciels

Introduction

L'analyse en systèmes d'information géographique (SIG) constitue une approche essentielle dans l'étude et la gestion des données géospatiales. L'utilisation des SIG permet d'intégrer, d'analyser et de visualiser des informations géographiques à travers des outils logiciels spécialisés. Ces technologies ont révolutionné divers secteurs, allant de l'urbanisme à l'agriculture, en passant par la gestion des ressources naturelles. Dans ce chapitre, nous explorerons les fondements de l'analyse en SIG et l'impact des logiciels associés, en mettant en lumière leur rôle dans la prise de décision, l'efficacité opérationnelle et la gestion des données géospatiales.

1. L'analyse en SIG

L'analyse SIG repose sur l'utilisation de données géospatiales pour extraire des informations significatives et répondre à des questions spécifiques. Elle permet d'étudier les relations spatiales, de modéliser des processus, d'effectuer des prévisions, et de prendre des décisions éclairées basées sur des données géographiques. L'analyse peut être quantitative ou qualitative, selon les objectifs de l'étude.

2. Types d'Analyse en SIG

2.1 Analyse Spatiale

- Cette analyse examine la répartition géographique de différents phénomènes et la façon dont ces phénomènes interagissent dans l'espace. Elle inclut des techniques comme l'analyse des distances, la proximité, et les densités.
- Exemple : Mesurer la distance entre des foyers de population et des sources de pollution pour évaluer les risques sanitaires.

2.2 Analyse Thématique

Elle consiste à étudier des thèmes spécifiques tels que l'utilisation du sol, la couverture terrestre, ou la distribution des ressources naturelles. Cette analyse permet de visualiser des données sous forme de cartes thématiques.

Exemple : Cartographier les types de végétation pour surveiller les changements dans l'environnement.

2.3 Analyse des Réseaux

Cette analyse s'intéresse aux structures de réseau telles que les routes, les rivières ou les infrastructures de transport. Elle permet de modéliser et d'optimiser les flux, comme les trajets ou les réseaux de distribution.

Exemple : Optimisation des trajets pour la gestion des transports publics.

2.4 Analyse Temporelle

L'analyse temporelle permet de suivre l'évolution des phénomènes au fil du temps. Cela inclut l'observation des tendances à long terme, des cycles saisonniers ou des événements ponctuels.

Exemple : Suivi de l'évolution du climat à travers les changements dans les données de température.

2.5 Analyse Prédictive

L'analyse prédictive en SIG utilise des algorithmes statistiques et de machine learning pour anticiper les tendances et les événements futurs en se basant sur les données géospatiales historiques. Exemple : Prévoir les zones à risque d'inondation en fonction des conditions météorologiques et des données topographiques.

3. Méthodes d'Analyse en SIG

Les méthodes d'analyse en SIG se divisent en plusieurs catégories techniques :

a) Opérations de Superposition (Overlay)

- La superposition permet de combiner plusieurs couches de données pour en extraire des informations complémentaires. Par exemple, une couche de végétation peut être superposée à une couche d'urbanisation pour identifier des zones menacées.

b) Analyse de Buffer

- L'analyse de buffer génère une zone tampon autour d'un objet ou d'une caractéristique géographique, utile pour évaluer les effets d'une zone d'influence (ex : pollution autour d'une usine).

c) Analyse de Clustering

- Cette méthode regroupe les éléments similaires dans des zones géographiques en fonction de critères précis. Cela est couramment utilisé dans les études démographiques et économiques.

d) **Modélisation Spatiale**

- Elle permet de créer des modèles pour simuler des phénomènes géographiques (ex : propagation des incendies, ruissellement des eaux, croissance urbaine). Les modèles spatiaux aident à comprendre les interactions complexes entre les variables géographiques.

4. Structure des logiciels SIG

Les logiciels SIG (Systèmes d'Information Géographique) sont des applications complexes qui permettent de capturer, stocker, manipuler, analyser, gérer et visualiser des données spatiales ou géographiques. Pour accomplir cela, ces logiciels sont organisés en plusieurs composants ou structures interdépendantes.

Voici les principales structures des logiciels SIG :

4.1. Interface utilisateur (User Interface - UI)

L'interface utilisateur d'un SIG est la partie visible du logiciel avec laquelle les utilisateurs interagissent, offrant un accès intuitif aux fonctionnalités à travers des menus, barres d'outils, fenêtres de commande et cartes interactives. Elle comprend des outils de zoom, de pan et de sélection de couches, des outils pour la création et l'édition de données, des fenêtres d'attributs et de requêtes pour explorer les données tabulaires, ainsi qu'un gestionnaire de couches pour activer ou désactiver les données.

4.2. Base de données géospatiales (Spatial Database)

Cette structure est utilisée pour stocker les données géographiques (vecteurs, rasters, attributs) et leurs relations. La base de données est essentielle pour gérer les grandes quantités de données dans un SIG et pour effectuer des requêtes spatiales complexes.

4.2.1 Composants

- **Données vectorielles** : Stockage d'entités géométriques sous forme de points, lignes, et polygones. Chaque objet géométrique est lié à des attributs (données tabulaires).
- **Données raster** : Images ou grilles, souvent utilisées pour représenter des photos aériennes, des images satellites, des modèles numériques de terrain (MNT), etc.
- **SGBD (Système de Gestion de Bases de Données)** : Utilisé pour stocker les données attributaires (non spatiales), mais aussi les données spatiales via des extensions comme PostGIS pour PostgreSQL ou Spatialite pour SQLite.

4.3. Système de gestion des couches (Layer Management)

Dans les logiciels SIG, les données spatiales sont organisées en couches, chaque couche représentant une thématique spécifique (comme les routes, rivières, bâtiments ou végétation) et étant superposée à d'autres pour former des cartes complètes. Les composants incluent des couches vectorielles et des couches raster. La symbologie et le style définissent la manière dont chaque couche est affichée visuellement, en termes de couleurs, de styles de lignes et d'épaisseur.

4.4. Moteur de traitement spatial (Spatial Analysis Engine)

La composante d'analyse géospatiale exécute diverses opérations, telles que des requêtes spatiales, des analyses de proximité et des opérations de géotraitement. Parmi les exemples d'analyses, on trouve l'analyse de proximité, qui calcule les distances entre entités géographiques, l'analyse des buffers, qui crée des zones tampons autour d'objets, la superposition spatiale (overlay) pour identifier des relations entre plusieurs couches, et l'analyse des surfaces, qui utilise des données raster pour calculer des pentes, des expositions ou des modèles de terrain.

4.5. Moteur de rendu cartographique (Rendering Engine) : Ce composant est chargé de créer des cartes à partir des données géospatiales, en traduisant les données numériques en représentations visuelles telles que des cartes et des graphes. Ses principaux éléments incluent le rendu des cartes, qui gère la symbologie et les styles des couches de données, l'étiquetage automatique pour le placement des étiquettes (comme les noms de lieux et routes) selon des règles définies, et la création de mises en page, qui génère des cartes prêtes à être imprimées ou publiées, incluant légendes, titres et échelles

4.6. Moteur de géocodage et de recherche (Geocoding Engine)

Ce composant permet de convertir des adresses en coordonnées géographiques (latitude/longitude) ou inversement. Il est essentiel pour les analyses qui nécessitent de localiser des lieux spécifiques à partir de données textuelles (adresses, noms de lieux).il se Compose de :

- **Géocodage direct** : Conversion d'une adresse en point géographique.
- **Géocodage inverse** : Conversion de coordonnées géographiques en adresse.

4.7 de traitement de données raster (Raster Data Processing Engine)

Il est dédié au traitement des images raster, incluant les données de télédétection et les modèles numériques de terrain (MNT). Ses fonctions typiques comprennent le filtrage d'images pour améliorer la visualisation ou l'analyse, la classification des images pour

catégoriser les pixels selon différentes classes (comme forêt, eau, zones urbaines), et la génération de MNT pour créer des modèles 3D à partir de données d'altitude.

4.8. Moteur de géotraitement (Geoprocessing Engine)

Les logiciels SIG comportent des outils de **géotraitement** qui permettent d'automatiser les tâches courantes et complexes via des chaînes de traitement de données spatiales.

- **Exemples de géotraitement :**

- Intersection de couches (calcul des zones communes).
- Union et fusion de polygones.
- Conversion entre différents formats de données (vectorielles vers raster, ou inversement).

4.9. Module de gestion des projections et systèmes de coordonnées (CoordinateSystems and Projections)

Ce module gère les systèmes de coordonnées et les projections cartographiques, essentiels pour garantir que les données géographiques soient correctement alignées et interprétées.

- **Composants :**

- **Conversion de projections :** Transformation de données géographiques entre différents systèmes de coordonnées.
- **Détection automatique des systèmes de coordonnées :** Reconnaissance des projections des données importées.
- **Support de projections standards :** UTM, WGS 84, Lambert, etc.

4.10. Extensions et modules personnalisables

Beaucoup de logiciels SIG offrent des modules d'extensions pour ajouter des fonctionnalités supplémentaires, souvent spécifiques à un domaine d'application (hydrologie, urbanisme, agriculture).

- **Exemples d'extensions :**

- **Spatial Analyst (ArcGIS) :** Analyse des surfaces et des données raster.
- **3D Analyst (ArcGIS) :** Visualisation et analyse des données en trois dimensions.
- **GRASS GIS :** Outils spécialisés pour l'analyse environnementale.

4.11. API et scripts (Automation and Customization)

Les logiciels SIG permettent souvent de personnaliser et automatiser les processus via des **API** ou des langages de scripts comme Python. Cela permet de créer des outils spécifiques pour les besoins d'un projet ou d'une organisation.

- **Composants :**

- **Python pour ArcGIS (ArcPy)** : Une bibliothèque Python pour automatiser les tâches SIG dans ArcGIS.
- **QGIS Python API** : Utilisé pour développer des plugins ou automatiser des flux de travail dans QGIS.

En résumé, les logiciels SIG sont constitués de différentes structures interconnectées, qui permettent de gérer efficacement les données géospatiales, de les analyser, de les représenter et de les partager. Ces structures permettent une grande flexibilité dans les types d'applications géospatiales possibles, des simples cartes thématiques à des analyses spatiales très poussées.

5. Personnalisation

La personnalisation dans les logiciels SIG, y compris ArcGIS, consiste à modifier ou adapter le logiciel en fonction des besoins spécifiques des utilisateurs, notamment par l'ajout de nouvelles applications ou de fonctionnalités.

5.1 Principaux aspects de la personnalisation

- Utilisation des langages de programmation

- Les langages de programmation comme Python, Java, Visual, Ces langages permettent d'ajouter des outils supplémentaires ou d'automatiser des tâches pour des flux de travail spécifiques, comme la gestion de bases de données, l'analyse spatiale ou la génération de rapports.

- Ajout de nouvelles applications

- Avec des API et des SDK (Software Development Kits), les développeurs peuvent créer des applications personnalisées intégrées à ArcGIS ou à d'autres logiciels SIG.

- Personnalisation côté serveur

- Les logiciels SIG qui fonctionnent avec des serveurs (comme ArcGIS Server) permettent une personnalisation à travers des langages comme Java ou C pour gérer les services web, les interfaces utilisateurs, et les applications géospatiales en ligne.

6. Types des Logiciels SIG

Les logiciels SIG (Systèmes d'Information Géographique) sont classés selon plusieurs critères : les fonctionnalités qu'ils offrent, leur accessibilité, leur nature (libre ou propriétaire), et les domaines d'application. Il existe plusieurs types de logiciels SIG :

6.1. Logiciels SIG de bureau (Desktop GIS) (commerciaux /libres)

- **Exemples :**

- **ArcGIS Desktop (Esri)** : L'un des logiciels les plus complets et populaires dans le domaine des SIG, il inclut ArcMap et ArcGIS Pro.
- **QGIS (Quantum GIS)** : Un logiciel SIG open source largement utilisé, offrant de nombreuses fonctionnalités avancées. Il est gratuit et très apprécié par la communauté des utilisateurs de SIG.
- **MapInfo Professional (Pitney Bowes)** : Un logiciel SIG commercial souvent utilisé pour la cartographie et l'analyse géospatiale.
- **Global Mapper** : Un autre logiciel commercial utilisé pour le traitement de données géospatiales.

6.2. SIG en ligne (Web-based GIS)

Ces systèmes sont accessibles via un navigateur web

Exemples :

- **ArcGIS Online (Esri)** : Une plateforme cloud qui permet de créer, partager et analyser des cartes et des données géospatiales.
- **Google Earth Engine** : Un puissant outil d'analyse des images satellites et de données géospatiales via le web.
- **Carto** : Un SIG basé sur le cloud qui se concentre sur l'analyse et la visualisation de données géospatiales.

6.3. SIG Serveur (Server GIS)

Ces systèmes sont utilisés pour héberger et distribuer des données géospatiales sur des réseaux locaux ou sur Internet.

Exemples :

- **ArcGIS Server (Esri)** : Permet de publier des services SIG et de gérer des données à grande échelle.
- **Geoserver** : Un serveur SIG open source qui permet la publication de données spatiales sur le web selon des standards comme WMS (Web Map Service) et WFS (Web Feature Service).
- **MapServer** : Un autre serveur SIG open source populaire pour la publication de cartes sur le web.

6.4. SIG Mobile (Mobile GIS)

Les SIG mobiles sont des applications qui permettent de collecter et de consulter des données géographiques sur des appareils mobiles (smartphones, tablettes). Ils sont très utilisés pour le travail de terrain.

- **Exemples :**

- **ArcGIS Field Maps** : Une application mobile développée par Esri pour la collecte de données et la cartographie sur le terrain.
- **QField** : Une application mobile associée à QGIS, permettant de travailler avec des données géospatiales sur le terrain.
- **Collector for ArcGIS** : Une application d'Esri qui permet de collecter des données géographiques directement sur le terrain.
- ArcPad, Autodesk Onsite, Intellwhere.

6.5. Logiciels d'analyse de données raster et de télédétection

Ces logiciels sont utilisés spécifiquement pour le traitement et l'analyse d'images satellites, aériennes, ou autres données raster. Ils permettent de travailler avec des images haute résolution

Exemples :

- **ERDAS IMAGINE (HexagonGeospatial)** : Un logiciel dédié à l'analyse d'images géospatiales et à la télédétection.
- **ENVI (Harris Geospatial)** : Un autre logiciel spécialisé dans le traitement des images raster et l'analyse de données de télédétection.
- **OrfeoToolBox (OTB)** : Un logiciel open source pour le traitement d'images et l'analyse des données de télédétection.

6.6. SIG spécialisés (SIG thématiques) Certains logiciels SIG sont développés pour des applications spécifiques comme l'agriculture, la gestion des ressources naturelles, l'urbanisme, ou la gestion des catastrophes.

- **Exemples :**

- **AgLeader SMS** : Un logiciel SIG spécialisé pour l'agriculture de précision.
- **LandSIM3D** : Un logiciel 3D utilisé pour la simulation et la modélisation urbaine.
- **GRASS GIS** : Un logiciel SIG open source puissant pour l'analyse spatiale, souvent utilisé en géosciences et écologie.

6.7. Logiciels de développement

Exemple:

- ArcGis Engine,
- GeoObjects,
- Blue Marble,
- Geographics.

7. Producteurs des Logiciels SIG

Les entreprises fondatrices ou pionnières dans le développement des Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont joué un rôle crucial dans l'évolution et la popularisation de ces technologies. Voici quelques-unes des entreprises clés qui ont marqué l'histoire des SIG :

- **Esri** (Environmental Systems Research Institute)

Fondée en 1969 par Jack Dangermond et Laura Dangermond.

Esri est l'une des entreprises les plus importantes dans le domaine des SIG, principalement grâce à son logiciel phare ArcGIS, qui est aujourd'hui un standard dans le domaine.

Esri a grandement contribué à rendre les SIG accessibles à des utilisateurs dans le monde entier, aussi bien dans le secteur public que privé.

- **Intergraph** (aujourd'hui Hexagon AB)

Fondée en 1969 sous le nom de M&S Computing, Intergraph est devenue une entreprise clé dans le domaine des logiciels SIG, notamment pour les applications d'ingénierie, de cartographie, et de gestion des infrastructures.

En 2010, Hexagon AB, une multinationale suédoise spécialisée dans les technologies géospatiales, a acquis Intergraph, consolidant ainsi sa position dans le domaine des SIG.

- **MapInfo** Corporation

Fondée en 1986 par John Haller, Sean O'Sullivan, et d'autres.

MapInfo a été l'une des premières entreprises à offrir des outils SIG accessibles pour les ordinateurs personnels, et a développé le logiciel MapInfo Professional.

L'entreprise a ensuite été acquise par Pitney Bowes en 2007, mais elle reste une référence historique dans le développement des SIG commerciaux.

- **ERDAS** (Earth Resources Data Analysis System)

Fondée en 1978, ERDAS est une entreprise spécialisée dans l'imagerie géospatiale et l'analyse SIG.

Elle a développé le logiciel ERDAS IMAGINE, un outil puissant pour l'analyse de données géospatiales et d'images satellites.

Aujourd'hui, ERDAS fait partie de HexagonGeospatial, un autre acteur important dans les technologies géospatiales.

- **Autodesk**

Connu principalement pour ses logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) comme AutoCAD, Autodesk a également développé des logiciels SIG tels qu'AutodeskMap et Autodesk InfraWorks, qui intègrent des fonctions d'analyse spatiale pour des projets d'ingénierie et d'infrastructure.

Bien qu'il ne soit pas aussi central dans le domaine des SIG que Esri, Autodesk a contribué à rapprocher les outils SIG des professionnels de la conception et de l'ingénierie.

Conclusion

En conclusion, l'analyse en SIG et l'utilisation de logiciels spécialisés jouent un rôle crucial dans la gestion et l'exploitation des données géographiques. L'intégration de ces outils dans différents domaines permet de répondre à des problématiques complexes avec une précision accrue. L'évolution des technologies SIG et l'optimisation des logiciels continueront de transformer les pratiques analytiques et décisionnelles, offrant de nouvelles perspectives pour la gestion durable et la planification des ressources.

Chapitre IV:

Téledétection

1. Définition de la Télédétection

La télédétection (RemoteSensing) est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. (D'après le site Web du Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>)

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

Elle utilise les propriétés d'émission ou de rayonnement des ondes électromagnétiques par les objets.

Donc il s'agit de capturer des données sur la surface de la Terre à l'aide de satellites, de drones ou de capteurs aériens. Il fournit des informations à grande échelle, telles que la couverture du sol, l'état de la végétation et les changements climatiques.

La télédétection est le plus souvent appliquée à l'observation de la Terre, mais peut aussi concerner d'autres planètes, étoiles, galaxies...

2. Historique

2.1. Origines (19e siècle)

- **1840s** : Les premières formes de télédétection apparaissent avec l'utilisation de la photographie aérienne. Des images sont prises à l'aide de ballons et de dirigeables pour observer la terre depuis le ciel.
- **1888** : George Lawrence réalise l'une des premières photographies aériennes en utilisant un cerf-volant pour capturer des images de la ville de San Francisco.

2.2. Développement de la photographie aérienne (première moitié du 20e siècle)

- **Première guerre mondiale** : La photographie aérienne est utilisée à des fins militaires pour la reconnaissance et la cartographie.
- **Années 1920** : Des photographes explorateurs et des scientifiques commencent à utiliser la photographie aérienne pour des études géographiques et environnementales.

2.3. Lancement des premiers satellites (années 1960)

- **1960** : Le lancement de TIROS-1, le premier satellite météorologique, marque le début de l'observation de la Terre depuis l'espace.
- **1967** : Le satellite Landsat 1 est lancé, devenant le premier satellite à fournir des images de la surface terrestre dans le cadre d'un programme continu de surveillance. Cela ouvre la voie à la télédétection moderne.

2.4. Avancées technologiques (années 1970-1980)

- **1972** : Lancement du programme Landsat, qui continue de fournir des données sur la couverture terrestre. Landsat 2 et Landsat 3 sont lancés dans les années suivantes.
- **1986** : Le satellite SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre) est lancé, permettant une résolution spatiale plus élevée et l'observation en mode stéréo.

2.5. Émergence des capteurs avancés (années 1990-2000)

- **1999** : Lancement du satellite MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), qui fournit des données sur l'environnement et le climat à l'échelle mondiale.
- **Années 2000** : L'introduction de capteurs hyperspectraux permet d'analyser une grande variété de longueurs d'onde, offrant des détails sur la composition des matériaux.

2.6. Accès aux données et applications modernes (années 2010 à aujourd'hui)

- **2010** : Lancement des satellites de la série **Sentinel** dans le cadre du programme Copernicus de l'Union européenne, offrant des données accessibles et gratuites pour la surveillance de l'environnement.
- **Aujourd'hui** : Les technologies de drones et les avancées en intelligence artificielle (IA) et en traitement d'images permettent des applications variées en télédétection, allant de l'agriculture de précision à la gestion des ressources naturelles.

3. Types de télédétection (passive, active)

La télédétection se divise en deux principaux types : passive et active.

3.1. Télédétection passive

Repose sur l'observation et l'enregistrement de l'énergie naturelle (généralement la lumière solaire) réfléchi ou émise par la surface de la Terre et ses objets. Contrairement à la télédétection active, qui émet sa propre énergie, les capteurs passifs collectent uniquement le rayonnement naturel.

- **Principe** : Les capteurs passifs détectent et enregistrent le rayonnement naturel (généralement la lumière solaire) réfléchi ou émis par les objets à la surface de la Terre. Ils ne produisent pas leur propre source d'énergie.
- **Exemple** : Les images satellites optiques, comme celles des satellites Landsat ou Sentinel, qui capturent la lumière visible et infrarouge.
- **Applications** : Surveillance de la végétation, gestion des terres agricoles, analyse climatique.
- **Limitation** : Fonctionne uniquement pendant le jour et dépend des conditions météorologiques.

3.2. Télédétection active

Utilise des capteurs qui émettent leur propre énergie pour sonder un objet ou une surface, puis mesurent le signal qui est réfléchi ou réémis par cet objet. Contrairement à la télédétection passive, qui dépend de la lumière solaire ou de la chaleur naturelle, les systèmes de télédétection active fonctionnent indépendamment de la source d'énergie externe, ce qui les rend efficaces dans diverses conditions météorologiques et à tout moment de la journée.

- **Principe** : Les capteurs actifs envoient des signaux (ondes électromagnétiques, micro-ondes, lasers) vers la Terre et mesurent le signal renvoyé après interaction avec les objets sur la surface.
- **Exemple** : Les systèmes radar (comme RADARSAT) ou LiDAR (qui utilise des faisceaux laser).
- **Applications** : Cartographie topographique, mesure des altitudes, surveillance des océans, détection des glissements de terrain.
- **Avantages** : Peut fonctionner de jour comme de nuit et dans toutes les conditions météorologiques

Ces deux types de télédétection sont souvent complémentaires, chacun ayant des avantages et des limitations selon les objectifs spécifiques de l'analyse.

4. Principe de la télédétection

Le processus de la télédétection comporte sept étapes que nous élaborons ci-après.

- **Source d'énergie ou d'illumination (A)** : Tout processus de télédétection nécessite une source d'énergie pour illuminer la cible.
 - **Rayonnement et atmosphère (B)** : Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
 - **Interaction avec la cible (C)** : Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
 - **Enregistrement de l'énergie par le capteur (D)** : Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.
 - **Transmission, réception et traitement (E)** : L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
 - **Interprétation et analyse (F)** : Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
7. **Application (G)** : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier (**fig. IV.1**).

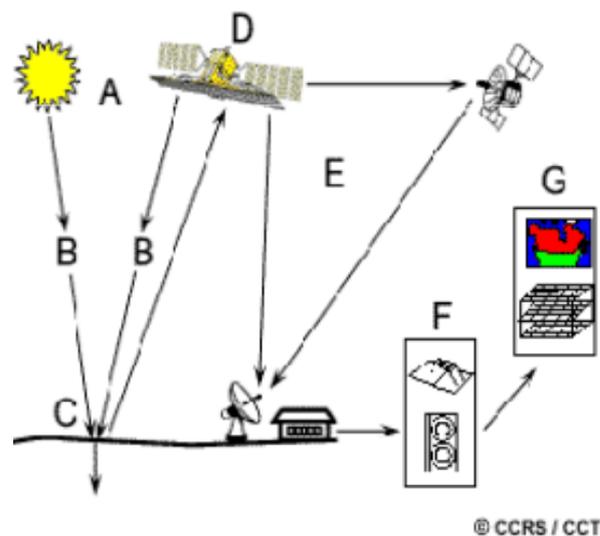


Figure IV.1 : Les étapes de processus de télédétection

5. Plateformes et capteurs utilisés en télédétection

5.1. Plateformes

Les plateformes sont les supports physiques sur lesquels les capteurs de télédétection sont montés. Elles sont classées selon leur altitude et leurs usages :

- **Satellites** : Ils orbitent autour de la Terre et capturent des données globales sur de longues périodes. Exemples : Landsat, Sentinel, MODIS (**fig. IV.2**).



Figure IV.2 : Télédétection par satellite

- **Drones (UAVs)** : Des véhicules aériens sans pilote volant à basse altitude, utilisés pour des relevés détaillés et de haute résolution.

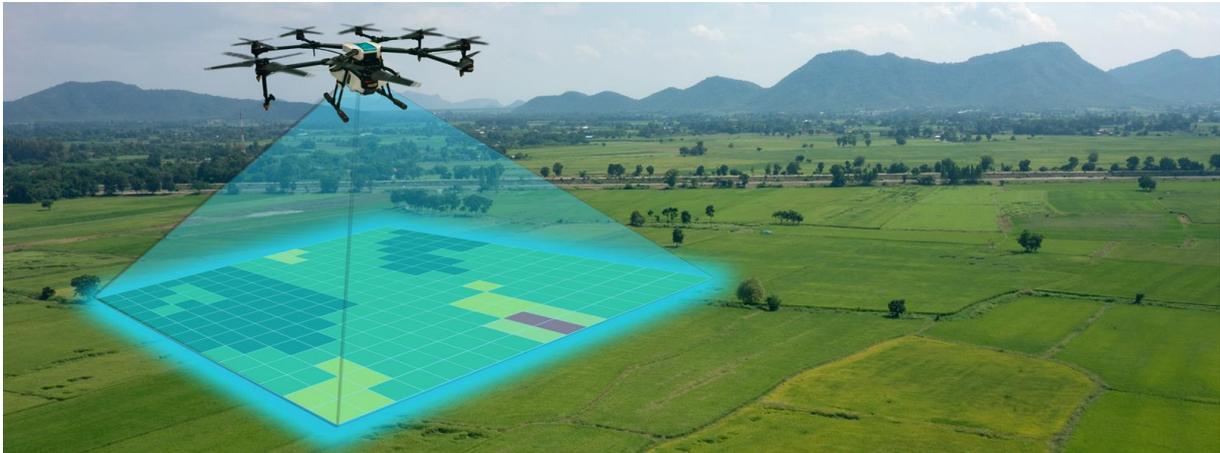


Figure IV.3 : Téledétection par drone

- **Avions** : Effectuent des relevés aériens sur des régions spécifiques. Utilisés notamment pour le LiDAR ou des systèmes radar (**fig. IV.4**).

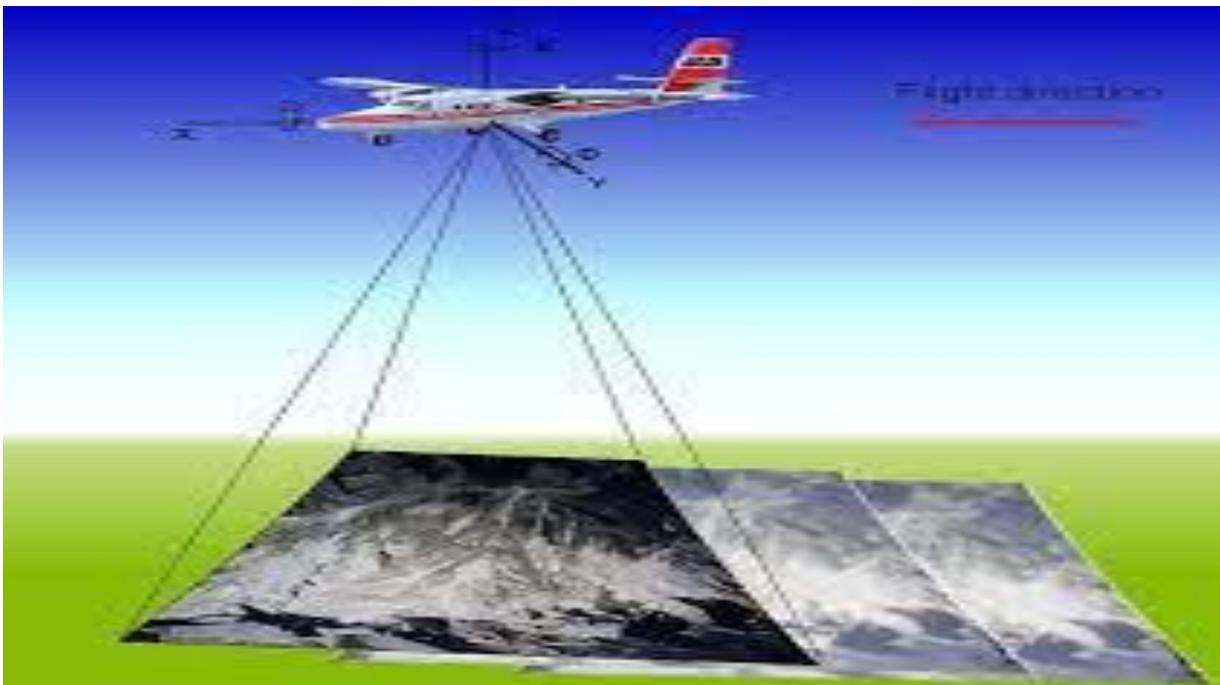


Figure IV.4 : La photogrammétrie

- **Plateformes terrestres** : Des capteurs montés au sol pour des études locales, souvent utilisés dans des projets environnementaux ou agricoles.

5.2. Capteurs

Les capteurs peuvent être classés en fonction du type de télédétection (active ou passive) et des longueurs d'onde qu'ils captent :

- **Capteurs passifs** : Ils mesurent le rayonnement naturel émis ou réfléchi par la surface terrestre.
 - **Exemples** :
 - **Optiques** (Landsat, Sentinel) : Captent la lumière visible, infrarouge et thermique.
 - **Thermiques** (ASTER) : Mesurent les températures de surface à travers le rayonnement infrarouge.
- **Capteurs actifs** : Ils émettent leur propre énergie pour analyser la réflexion des objets.
 - **Exemples** :
 - **Radar** (RADARSAT, TerraSAR-X) : Utilise des micro-ondes pour capter des informations en toute condition météorologique.
 - **LiDAR** : Envoie des faisceaux laser pour mesurer la topographie et créer des cartes en 3D.

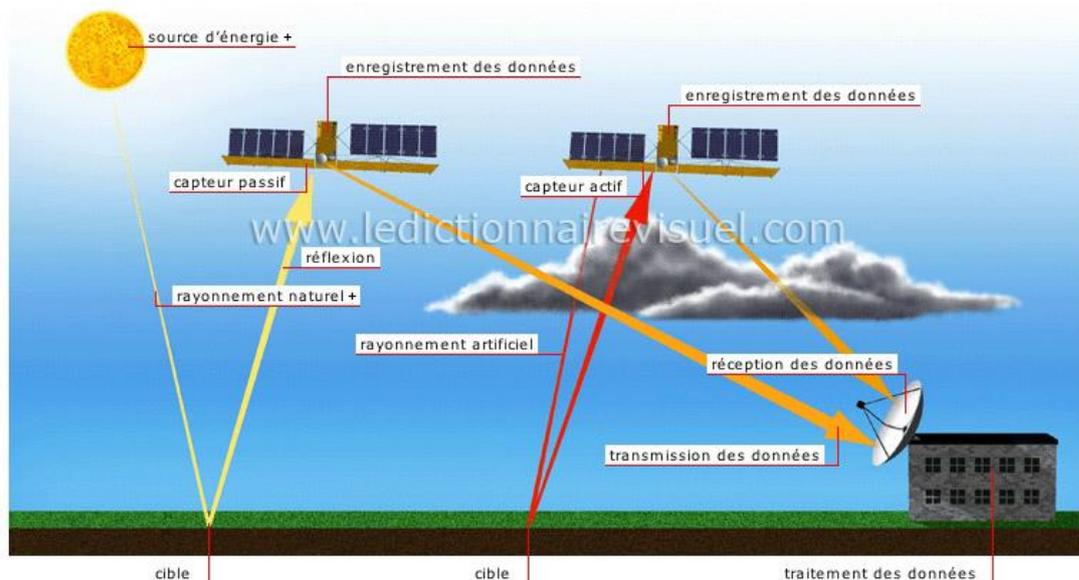


Figure IV.5 : Principe de la télédétection passive et active

6. Types de résolutions

En télédétection, quatre types de résolutions sont cruciales pour évaluer la qualité et l'utilité des données recueillies : spatiale, temporelle, spectrale, et radiométrique.

6.1. Résolution spatiale

La résolution spatiale désigne la taille du plus petit objet qu'un capteur peut distinguer sur le terrain. Elle est exprimée en mètres (ou en sous-multiples).

- **Exemple** : Une image satellite avec une résolution spatiale de 10 mètres signifie que chaque pixel de l'image représente un carré de 10x10 mètres sur la surface terrestre.
- **Application** : Une haute résolution spatiale (comme 1 mètre) est utile pour des applications détaillées, comme l'urbanisme ou la surveillance des infrastructures. Une faible résolution (250 mètres) est suffisante pour des études climatiques globales.

6.2. Résolution temporelle

La résolution temporelle fait référence à la fréquence à laquelle un capteur capture des données pour une même région. Plus cette fréquence est élevée, meilleure est la résolution temporelle.

- **Exemple** : Un satellite ayant une résolution temporelle de 10 jours capte des images du même endroit tous les 10 jours.
- **Application** : Elle est cruciale pour suivre les phénomènes dynamiques, comme la croissance des cultures, la déforestation ou les inondations.

6.3. Résolution spectrale

Elle fait référence au nombre de bandes spectrales qu'un capteur peut détecter, ainsi qu'à la largeur de ces bandes. Plus il y a de bandes et plus elles sont étroites, plus la résolution spectrale est élevée.

- **Exemple** : Un capteur hyperspectral peut avoir des centaines de bandes étroites, tandis qu'un capteur multispectral en a moins (comme Landsat qui possède 7 bandes principales).
- **Application** : La résolution spectrale est essentielle pour identifier et distinguer différents types de surfaces (végétation, eau, sols) grâce à leur signature spectrale unique.

6.4. Résolution radiométrique

La résolution radiométrique correspond à la capacité du capteur à discriminer des variations de l'intensité du rayonnement capté. Elle est mesurée en bits, et plus le nombre de bits est élevé, plus la résolution radiométrique est fine.

- **Exemple** : Une résolution radiométrique de 8 bits signifie que le capteur peut différencier 256 niveaux d'intensité, tandis qu'une résolution de 12 bits permet de distinguer 4096 niveaux d'intensité.
- **Application** : Une haute résolution radiométrique est importante pour capturer des détails subtils, comme les nuances de luminosité dans une image, ce qui est utile pour des applications comme la détection des changements climatiques ou de la température des sols.

7. Acquisition des données : techniques et outils

L'acquisition des données en télédétection est la première étape cruciale qui consiste à collecter des informations sur la surface terrestre à l'aide de capteurs. Voici un aperçu des techniques et des outils utilisés :

7.1 Techniques de collecte de données

- **Imagerie satellite** : Utilisation de satellites pour capturer des images à intervalles réguliers, permettant de surveiller les changements sur la surface terrestre dans le temps.
- **Photographie aérienne** : Utilisation d'avions pour capturer des images à haute résolution dans des domaines spécifiques, comme l'urbanisme ou la gestion des ressources naturelles.
- **Mesures in situ** : Bien que moins fréquentes pour la télédétection, les mesures au sol complètent souvent les données acquises par satellite ou aérien, fournissant des informations de validation.

7.2. Outils et logiciels

- Les logiciels de télédétection comme ENVI, ERDAS Imagine, et QGIS sont utilisés pour le traitement et l'analyse des données acquises, facilitant la visualisation, l'interprétation et l'application des données de télédétection.

Ces techniques et outils jouent un rôle essentiel dans la collecte de données fiables et précises, permettant aux chercheurs et aux professionnels de diverses disciplines d'analyser et d'interpréter les changements environnementaux, d'optimiser les ressources et d'améliorer la planification urbaine

7.3. Types de données collectées

Les instruments de mesure en télédétection collectent différents types de données, notamment :

- **Imagerie optique** : Données visibles et infrarouges.
- **Imagerie radar** : Informations sur la structure de la surface terrestre.

- **Données topographiques** : Mesures de relief et d'élévation.
- **Données thermiques** : Températures de surface.
- **Données spectrales** : Informations sur la composition chimique des matériaux.

7.4. Traitement des données

Une fois les données collectées, elles doivent être traitées et analysées à l'aide de logiciels de traitement d'images et d'analyse géospatiale (comme ArcGIS, QGIS, ERDAS Imagine). Cela peut inclure :

- **Correction radiométrique** : Ajustement des valeurs de pixel pour les rendre comparables.
- **Correction géométrique** : Alignement des images sur un système de coordonnées spécifique.
- **Classification** : Identification des types de couverture terrestre ou des objets sur les images.

8. Intégration avec les Systèmes d'Information Géographique (SIG)

L'intégration des données de télédétection dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG) est essentielle pour enrichir l'analyse spatiale et améliorer la visualisation des informations géographiques. En combinant des images satellites et aériennes avec des données vectorielles, les SIG permettent d'évaluer des caractéristiques telles que l'occupation des sols, la gestion des ressources naturelles et l'urbanisme. Cette intégration facilite également l'analyse temporelle des changements environnementaux, offrant des outils puissants pour la prise de décision informée et la planification stratégique, la télédétection fournit des données spatiales brutes, tandis que les SIG aident à interpréter et à visualiser ces données.

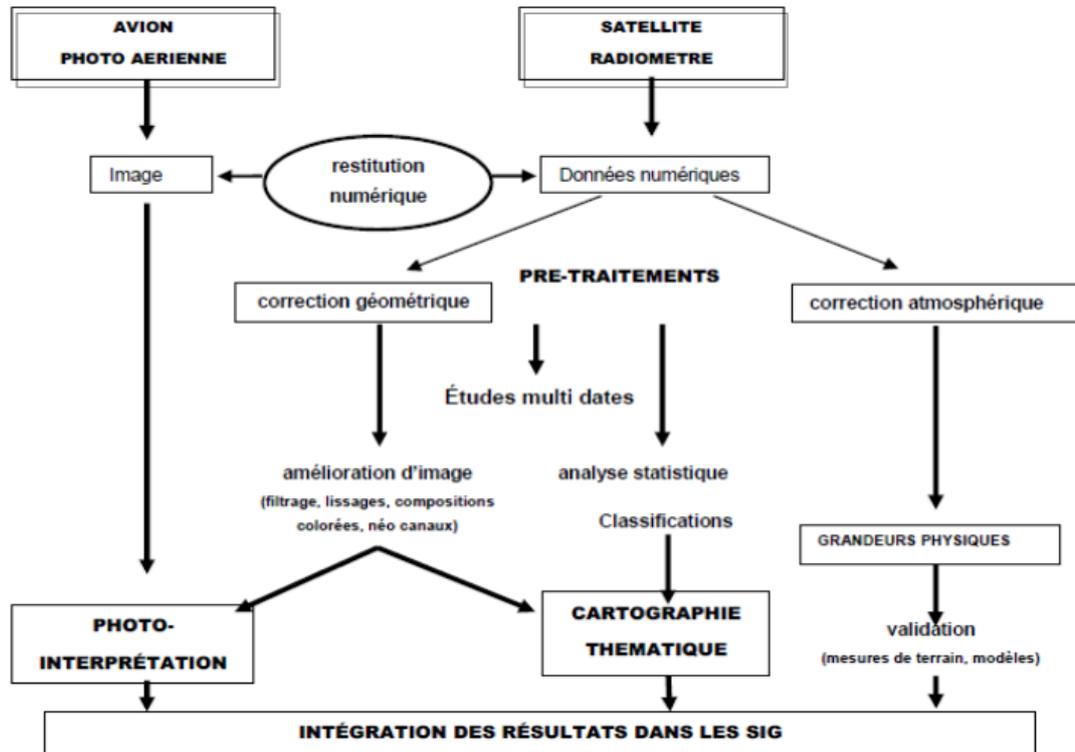


Figure IV.6 : Méthodes de travail en Télédétection

9. Les domaines d'application de la télédétection

9.1 Agriculture

- **Suivi des cultures** : Surveillance de la croissance des plantes, évaluation de la santé des cultures et détection des stress hydriques.
- **Agriculture de précision** : Utilisation de données pour optimiser l'utilisation des ressources (engrais, irrigation) et maximiser le rendement des cultures.
- **Cartographie des sols** : Analyse de la composition des sols et identification des zones agricoles les plus productives.

9.2 Environnement

- **Gestion des ressources naturelles** : Suivi de la qualité de l'eau, de la qualité de l'air, et gestion des forêts et de la biodiversité.
- **Évaluation des impacts environnementaux** : Analyse des effets des activités humaines (urbanisation, déforestation) sur les écosystèmes.

- **Changements climatiques** : Surveillance des variations climatiques, des tendances de la température et de la couverture neigeuse.

9.3 Urbanisme

- **Planification urbaine** : Analyse de l'expansion urbaine, de l'utilisation des sols et des infrastructures.
- **Gestion des infrastructures** : Surveillance de l'état des routes, des ponts, et des bâtiments, permettant d'anticiper les besoins d'entretien.
- **Modélisation des flux de trafic** : Études sur la congestion routière et les impacts des aménagements urbains.

9.4 Gestion des catastrophes

- **Prévention et réponse aux catastrophes** : Surveillance des zones à risque (inondations, incendies de forêt, glissements de terrain).
- **Évaluation des dommages** : Analyse des dégâts après une catastrophe pour orienter les efforts de secours et de reconstruction.
- **Cartographie des zones inondées** : Utilisation des données radar pour cartographier les zones touchées par les inondations en temps réel.

9.5 Foresterie

- **Surveillance de la couverture forestière** : Estimation de la biomasse, suivi de la déforestation, et évaluation de la santé des forêts.
- **Cartographie des habitats** : Identification des types de forêts et des habitats pour la conservation de la biodiversité.
- **Gestion durable des forêts** : Aide à la planification des coupes et des reboisements.

9.6 Géologie et géomorphologie

- **Cartographie géologique** : Identification et cartographie des formations géologiques.
- **Études de l'érosion et de la sédimentation** : Surveillance des processus géomorphologiques à l'aide d'images temporelles.
- **Recherche minière** : Exploration de ressources minérales à l'aide d'analyses spectrales.

9.7 Océanographie

- **Surveillance des océans** : Étude des courants, de la température de surface, et de la salinité.
- **Cartographie des habitats marins** : Analyse des écosystèmes marins, y compris les récifs coralliens.
- **Suivi de la pollution** : Détection des marées noires et de la contamination des eaux.

9.8 Santé publique

- **Épidémiologie** : Surveillance des maladies liées à l'environnement, telles que la propagation de maladies vectorielles (comme le paludisme).
- **Analyse des environnements urbains** : Études sur l'impact de l'urbanisation sur la santé des populations.

9.9 Défense et sécurité

- **Surveillance militaire** : Utilisation de la télédétection pour la reconnaissance et la surveillance des mouvements militaires.
- **Gestion des crises** : Analyse des situations de conflit ou de catastrophe pour une réponse rapide et efficace.

9.10 Études écologiques : Recherche sur les interactions entre les organismes vivants et leur environnement.

9.11 Évaluation des ressources naturelles : Études sur l'approvisionnement et l'utilisation durable des ressources.

Conclusion

La télédétection constitue une technologie fondamentale dans le cadre des systèmes d'information géographique (SIG). Elle permet de collecter des données précieuses sur de vastes zones géographiques sans intervention directe sur le terrain, offrant ainsi une vue d'ensemble précise et actuelle. Grâce à ses applications variées, allant de l'agriculture à la gestion des catastrophes naturelles, la télédétection joue un rôle clé dans l'analyse des phénomènes géospatiaux. Toutefois, la qualité des données recueillies et leur interprétation exigent une expertise technique pour en tirer le meilleur parti. L'évolution continue des

satellites et des capteurs ouvrira de nouvelles perspectives pour la gestion et la conservation des ressources naturelles, tout en optimisant la prise de décision dans divers secteurs.

Chapitre V : Exemple d'application des SIG et de la télédétection dans le domaine de l'eau

Application 01 : Calage d'une carte

Le calage d'une carte dans ArcMap est une étape cruciale pour aligner les données géographiques avec des coordonnées précises. Voici les étapes pour réaliser un calage de carte dans ArcMap :

Étapes de Calage d'une Carte dans ArcMap

1. **Ouvrir ArcMap :**
 - Lancez **ArcMap** et créez un nouveau projet ou ouvrez un projet existant.
2. **Ajouter la carte à géoréférencer :**
 - Allez dans le menu "**File**" (**Fichier**) et sélectionnez "**Add Data**" (**Ajouter des données**).
 - Ajoutez le fichier raster (carte scannée, image, etc.) que vous souhaitez géoréférencer.
3. **Activer la boîte à outils "Georeferencing" :**
 - Allez dans le menu "**Customize**" (**Personnaliser**) puis sélectionnez "**Toolbars**" (**Barres d'outils**).
 - Activez "**Georeferencing**" (**Géoréférencement**) dans la liste des barres d'outils disponibles. Cette barre d'outils vous permettra d'accéder aux outils nécessaires pour le calage.
4. **Choisir la couche à géoréférencer :**
 - Sélectionnez l'image ou la carte raster dans la table des matières, puis activez-la pour la rendre active.
5. **Sélectionner le système de coordonnées de référence :**
 - Avant de commencer à caler la carte, il est essentiel de définir un système de coordonnées de référence (par exemple, WGS 84, UTM, etc.).
 - Faites un clic droit sur la couche dans la **Table of Contents** (Table des matières), puis sélectionnez "**Properties**" (**Propriétés**).
 - Allez dans l'onglet "**Coordinate System**" (**Système de coordonnées**) et sélectionnez le système de coordonnées approprié.
6. **Ajouter des points de contrôle (Control Points) :**
 - Cliquez sur le bouton "**Add Control Points**" dans la barre d'outils "**Georeferencing**".
 - Sélectionnez un point connu sur la carte (ex : un carrefour, une intersection, un repère géographique) et cliquez sur l'image raster.

- Ensuite, cliquez sur le point correspondant dans la carte de référence ou sur la couche vectorielle (par exemple, une carte cadastrale ou un fichier de référence avec des coordonnées connues).
- Répétez cette opération pour plusieurs points (au moins 4 ou 5 points de contrôle sont recommandés pour améliorer la précision du calage). Choisissez des points bien répartis sur la carte.

7. Ajuster la transformation :

- Après avoir ajouté les points de contrôle, ArcMap utilise ces points pour ajuster la position et la géométrie de la carte raster par rapport à la carte de référence.
- Vous pouvez tester différentes méthodes de transformation selon la précision des points de contrôle (par exemple, affine, polynomial de 1er degré, etc.).
- Pour cela, dans la barre d'outils "**Georeferencing**", cliquez sur "**Transformation**" et choisissez le type de transformation adapté.

8. Vérification et ajustements :

- Visualisez la carte calée sur la carte de référence. Si des erreurs de calage sont visibles (par exemple, des décalages ou des distorsions), ajustez les points de contrôle ou essayez une autre méthode de transformation.
- Vous pouvez ajuster manuellement les points de contrôle en les déplaçant ou en ajoutant de nouveaux points pour améliorer la précision du calage.

9. Enregistrer le géoréférencement :

- Une fois satisfait du calage, vous devez enregistrer les modifications. Allez dans la barre d'outils "**Georeferencing**" et cliquez sur "**Update Georeferencing**" (**Mettre à jour le géoréférencement**).
- Cela sauvegarde les transformations appliquées à la carte raster.

10. Exporter la carte géoréférencée (optionnel) :

- Si vous souhaitez conserver le raster géoréférencé pour l'utiliser dans d'autres projets, vous pouvez l'exporter. Allez dans "**File**" (**Fichier**) et sélectionnez "**Export Raster Data**".
- Choisissez le format de sortie et les paramètres appropriés.

Application 02 : Création des vecteurs (polygone, ligne, point)

Étapes :

1. Ouvrir ArcMap :

- Lancez **ArcMap** et ouvrez un projet existant ou créez un nouveau projet.

2. Créer un Shapefile Polygone :

- Dans la **Table des matières** (Table of Contents), faites un clic droit sur "**Database**" ou sur un dossier de votre géodatabase.
- Sélectionnez "**New**" (**Nouveau**) puis "**Shapefile**".
- Dans la fenêtre de création, spécifiez :
 - **Type de géométrie** : Sélectionnez "**Polygon**" (Polygone).
 - **Système de coordonnées de référence** : Choisissez le système de coordonnées approprié (par exemple, UTM, WGS 84, etc.).
- Donnez un nom à votre shapefile (par exemple, "**Bassin_Versant.shp**").
- Cliquez sur **OK** pour créer le shapefile.

3. Ajouter le Shapefile à la carte :

- Une fois le shapefile créé, il sera disponible dans votre **Table des matières**. Faites un **clic droit** dessus et sélectionnez **Add to Display**.

4. Activer l'édition pour dessiner le polygone :

- Allez dans le menu "**Editor**" et sélectionnez "**Start Editing**" pour activer l'édition des données.
- Cliquez sur l'outil "**Create Features**" dans la barre d'outils d'édition.
- Sélectionnez votre shapefile **Bassin_Versant** dans le panneau **Create Features**.
- Cliquez sur l'outil **Polygon** (Polygone) et commencez à dessiner le bassin versant sur la carte. Cliquez pour définir les points du polygone, puis double-cliquez pour fermer le polygone.

5. Sauvegarder et terminer l'édition :

- Une fois le polygone tracé, allez dans le menu "**Editor**" et sélectionnez "**Save Edits**" pour enregistrer votre travail.
- Pour terminer, sélectionnez "**Stop Editing**".

2. Création d'un Shapefile de type Ligne (Cours d'eau)

Étapes :

1. Créer un Shapefile Ligne :

- Comme précédemment, faites un **clic droit** sur **Database** ou un dossier de votre géodatabase et sélectionnez "**New**" puis "**Shapefile**".
- Dans la fenêtre "**Create New Shapefile**" :
 - **Type de géométrie** : Sélectionnez "**Polyline**" (Ligne).
 - **Système de coordonnées de référence** : Sélectionnez le même système de coordonnées que pour le polygone.
- Donnez un nom à votre shapefile (par exemple, "**Cours_d_eau.shp**").

2. Ajouter le Shapefile à la carte :

- Ajoutez le shapefile **Cours_d_eau** à votre carte en cliquant sur **Add to Display**.

3. Activer l'édition pour dessiner la ligne :

- Activez l'édition en allant dans "**Editor**" puis "**Start Editing**".
- Sélectionnez l'outil "**Create Features**" dans la barre d'outils d'édition.
- Sélectionnez le shapefile **Cours_d_eau** dans le panneau **Create Features** et choisissez l'outil **Line** (Ligne).
- Cliquez sur la carte pour définir les points de la ligne, représentant le cours d'eau, et double-cliquez pour terminer la ligne.

4. Sauvegarder et terminer l'édition :

- Allez dans "**Editor**" et sélectionnez "**Save Edits**" pour sauvegarder.
- Cliquez sur "**Stop Editing**" pour terminer l'édition.

3. Création d'un Shapefile de type Point (Station Pluviométrique)

Étapes :

1. Créer un Shapefile Point :

- Faites un **clic droit** sur **Database** ou un dossier de votre géodatabase et sélectionnez "**New**" puis "**Shapefile**".
- Dans la fenêtre "**Create New Shapefile**" :
 - **Type de géométrie** : Sélectionnez "**Point**".

- **Système de coordonnées de référence** : Choisissez le même système de coordonnées que pour les autres shapefiles.
 - Donnez un nom à votre shapefile (par exemple, "Stations_Pluviometriques.shp").
- 2. **Ajouter le Shapefile à la carte** :
 - Une fois le shapefile créé, ajoutez-le à la carte.
- 3. **Activer l'édition pour ajouter les points** :
 - Allez dans le menu "**Editor**" et sélectionnez "**Start Editing**".
 - Sélectionnez l'outil "**Create Features**" et dans le panneau **Create Features**, sélectionnez le shapefile **Stations_Pluviometriques**.
 - Choisissez l'outil **Point** et cliquez sur la carte pour ajouter des points représentant les stations pluviométriques.
- 4. **Ajouter les attributs des points (facultatif)** :
 - Si vous avez des informations supplémentaires à associer à chaque station, vous pouvez ouvrir la **table attributaire** et ajouter des attributs comme le nom de la station, l'altitude, etc.
- 5. **Sauvegarder et terminer l'édition** :
 - Une fois les points ajoutés, cliquez sur "**Save Edits**" puis "**Stop Editing**" pour terminer.

Application 03 : La création des cartes des pluies

1. Préparer les Données Pluviométriques

- **Importer les données de stations pluviométriques** sous forme de **points** (stations de mesure des précipitations) dans ArcMap.
- Assurez-vous que les données de **précipitations** sont sous forme numérique (valeurs de précipitations mesurées à chaque station) et qu'elles sont géolocalisées correctement.

2. Vérifier et Préparer le Système de Coordonnées

- **Vérifiez le système de coordonnées** des données spatiales. Il est essentiel que vos données de stations pluviométriques et la zone d'étude (grille) soient dans un même système de coordonnées (ex. : **WGS 84** ou **UTM**).
- Si les données ne sont pas dans le même système de coordonnées, vous devrez les **reprojeter** pour garantir des résultats corrects.

3. Ajouter les Données dans ArcMap

- Ouvrez **ArcMap** et ajoutez vos **stations pluviométriques** à la carte.
 - Cliquez sur "**Add Data**" et sélectionnez le fichier contenant les stations de mesure.

4. Lancer l'outil IDW

- Allez dans **ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation > IDW**.
- Dans la fenêtre de l'outil IDW, vous devrez remplir plusieurs paramètres essentiels.

5. Configurer les Paramètres de l'outil IDW

- **Input point features** : Sélectionnez la couche contenant vos **stations pluviométriques**.
- **Z value field** : Choisissez le champ contenant les **valeurs de précipitations** mesurées à chaque station.
- **Output raster** : Choisissez le répertoire de sortie et le nom du **raster** qui va contenir l'estimation des précipitations pour l'ensemble de la zone d'étude.
- **Power** : Le paramètre **Power** contrôle l'impact de la distance sur les valeurs interpolées. Une valeur de **2** est souvent utilisée par défaut. Plus le pouvoir est élevé, plus l'impact des stations proches est important par rapport aux stations éloignées.
- **Search radius** : Il détermine la distance sur laquelle la méthode IDW cherchera les points voisins pour effectuer l'interpolation. Vous pouvez ajuster cette distance en fonction de la densité de vos stations de mesure et de la zone d'étude.

6. Exécuter l'outil IDW

- Cliquez sur **OK** pour exécuter l'outil IDW.
- L'outil générera un **raster** représentant la **distribution spatiale des précipitations** estimées sur toute la zone d'étude.

7. Analyser le Raster Produit

- Une fois l'interpolation terminée, vous aurez une **carte raster** des précipitations générée par l'IDW.
- Vous pouvez utiliser des outils comme "**Reclassify**" ou "**Symbology**" pour améliorer la visualisation de la carte.

- Par exemple, appliquez une **palette de couleurs** pour mieux visualiser les zones de faible et haute précipitation.

8. Appliquer une Estimation des Zones de Précipitations

- Vous pouvez **afficher les contours** des différentes classes de précipitations (par exemple, faible, moyenne et forte) pour avoir une meilleure compréhension de la distribution spatiale des précipitations.
 - Utilisez l'outil "**Contour**" pour générer des courbes de niveau.

9. Ajuster les Paramètres (si nécessaire)

- Si le résultat semble incohérent (par exemple, trop lissé ou trop bruité), vous pouvez essayer d'ajuster :
 - Le **paramètre Power** pour modifier l'influence des stations éloignées.
 - Le **Search Radius** pour modifier la zone d'influence des stations.

10. Exporter la Carte

- Une fois que vous êtes satisfait de la carte des précipitations générée, vous pouvez **exporter** la carte sous forme d'image ou de fichier raster (par exemple, **.tiff** ou **.jpg**).
- Allez dans **File > Export Map** pour exporter la carte.

Conclusion générale

Les étudiants de troisième année spécialité hydraulique vont développer une solide compréhension des principes essentiels des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection, ainsi que de leur application concrète dans le domaine de la gestion des ressources en eau à la fin de ce cours.

Nous avons commencé par une présentation des systèmes d'information géographique (SIG), en examinant leur importance dans la collecte, l'analyse et la visualisation des données géospatiales. Le deuxième chapitre a examiné en détail la façon dont les données sont représentées dans les systèmes d'information géographique (SIG), vous offrant ainsi une compréhension des divers modèles et formats de données employés pour cartographier et analyser notre environnement.

Les compétences analytiques requises pour utiliser ces systèmes dans différents contextes ont été développées dans le Chapitre III, en mettant l'accent sur l'utilisation des logiciels SIG courants. Dans le Chapitre IV, nous avons ensuite étendu notre étude à la télédétection, où vous avez découvert comment les images et les données obtenues par satellites ou par d'autres moyens aériens peuvent être intégrées aux systèmes SIG afin d'obtenir une analyse encore plus approfondie et plus détaillée.

Finalement, le Chapitre V a démontré de manière concrète l'utilisation de ces technologies dans la gestion des ressources en eau. En examinant des études de cas, nous avons observé comment les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection sont employés afin de surveiller et de gérer l'eau, un défi crucial tant pour l'environnement que pour les sociétés humaines.

Références bibliographiques

Abdellaoui, A. *Cours de La Télédétection - Images et Applications*. Université Paris 12, 117 pages.

Caloz, R. *Télédétection Satellitaire : Notes de Cours*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Laboratoire de Systèmes d'Information Géographique (LaSIG), 67 pages.

Champoux, P., & Bédard, Y. (1992). Notions fondamentales d'analyse spatiale et d'opérateurs spatiaux. *Revue des Sciences de l'Information Géographique et de l'Analyse Spatiale*, 2, 187–208.

Chang, K.T. (2016). *Introduction to Geographic Information Systems*. 8e édition. New York: McGraw-Hill Education.

ESRI France (2018). *Tout savoir sur les Systèmes d'Information Géographique*. Disponible à : <https://www.esrifrance.fr/>

Groupe SIG-Géomatique. *Introduction aux SIG et à la Géomatique*. Disponible à : <https://www.sig-geomatique.fr/sig-sig.html>

Moon, W. (2012). *Geographic Information Systems and Science (3rd Edition)* by P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, & D. W. Rhind (Book Review). *The Leading Edge (Society of Exploration Geophysicists)*, 31, 975–976.

Université Batna 2. *Introduction à la Télédétection (3e Topographie)*. Disponible à : https://gat.univ-batna2.dz/sites/default/files/get/files/introduction_a_la_teledection_3eme_topographie.pdf?m=1588262416

Université de Lausanne. *Résumé Télédétection (Cours 1 à 6)*. Disponible à : <https://www.studocu.com/fr-ch/document/universite-de-lausanne/teledetection/resume-teledetection-cours-1-6/8367297>

Université de Tlemcen. *Polycopié SIG (S2)*. Disponible à : https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/115339/mod_resource/content/1/Polycopi%C3%A9%20SIG_S2.pdf

Université Paris 1. *Introduction au Rayonnement et à la Télédétection*. Disponible à : <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/rayonnement/index.html>

ResearchGate (2016). *SIG : Cours et Travaux Pratiques*. Disponible à : https://www.researchgate.net/publication/309741762_SIG_Cours_et_travaux_pratiques