Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider Biskra

Faculté : d'architecture, Génie Civile, Hydraulique
Département : Génie Civil et Hydraulique

Cours : Système d'informations géographiques

" 3ème année Filière Nationale "

présenté par :

Dr. YOUCEF Soufiane.

Année académique 2024 – 2025

Table des matières

Chapitre 4 : Télédétection 4
4.1 Définition et principes de la télédétection 4
4.1.1 Principes fondamentaux de la télédétection 4
4.1.2 Processus de télédétection 5
4.1.3 Applications de la télédétection 5
4.1.4 Avantages et limites de la télédétection 6
4.2 Capteurs et plateformes de télédétection (satellites, drones) 7
4.2.1 Capteurs de télédétection 7
4.2.2 Plateformes de télédétection 8
4.3 Spectres électromagnétiques utilisés en télédétection 10
4.3.1 Le spectre électromagnétique et ses composantes 10
4.3.2 Lumière visible 10
4.3.3 Infrarouge proche et moyen (NIR et MIR) 11
4.3.4 Infrarouge thermique (TIR) 12
4.3.5 Micro-ondes et radar 12
4.4 Traitement d'images en télédétection 13
4.4.1 Étapes du traitement des images en télédétection 13
4.4.2 Outils et logiciels pour le traitement d'images 15
4.5 Applications de la télédétection dans divers secteurs 16
4.5.1 Agriculture 16
4.5.2 Environnement 16
4.5.3 Gestion des ressources en eau 17
4.5.4 Urbanisme et aménagement du territoire 17
4.5.5 Détection des changements climatiques 18

Chapitre 4 : Télédétection

Chapitre 4 : Télédétection

4.1 Définition et principes de la télédétection

La **télédétection** est une technique de collecte d'informations sur la surface terrestre ou d'autres objets sans contact direct avec ceux-ci. Elle repose sur l'utilisation de capteurs placés à distance, généralement montés sur des plateformes comme des **satellites**, des **avions**, ou des **drones**, pour capter et enregistrer les signaux émis ou réfléchis par les surfaces observées. Cette technologie permet d'observer de vastes zones géographiques, y compris des lieux difficiles d'accès, comme des régions montagneuses, des zones polaires, ou des environnements hostiles.

4.1.1 Principes fondamentaux de la télédétection

La télédétection fonctionne sur un principe simple : les capteurs enregistrent des **signaux électromagnétiques** (lumière visible, infrarouge, ondes radar, etc.) réfléchis ou émis par la surface de la Terre ou d'autres objets. Ces signaux sont ensuite traités et analysés pour en extraire des informations utiles concernant les caractéristiques et l'état des objets observés (sol, végétation, atmosphère, etc.).

a. Sources d'énergie dans la télédétection

L'un des principes de base de la télédétection est l'enregistrement des **radiations électromagnétiques**, qui sont soit :

- **Réfléchies** : L'énergie provenant du soleil est réfléchie par les objets à la surface de la Terre, puis captée par les capteurs.
- **Émises** : Certains objets, comme les surfaces chaudes (sols, roches, océans) ou les gaz atmosphériques, émettent leur propre radiation (par exemple, sous forme de chaleur infrarouge).

Les capteurs mesurent cette énergie sous différentes longueurs d'onde (visible, infrarouge, micro-ondes), et ces mesures sont utilisées pour déterminer les propriétés physiques et chimiques des objets étudiés.

b. Spectre électromagnétique

Les capteurs utilisés en télédétection capturent la lumière dans différentes parties du **spectre électromagnétique**. Le spectre électromagnétique comprend un large éventail de longueurs d'onde, dont :

- **Lumière visible** (entre 400 et 700 nm) : Correspond aux couleurs que l'œil humain peut percevoir.
- **Infrarouge proche et moyen** (700 nm à 3000 nm) : Utilisé pour surveiller la végétation, la teneur en eau des sols, et d'autres phénomènes invisibles à l'œil nu.
- **Infrarouge thermique** (3 à 14 µm) : Utilisé pour mesurer la chaleur émise par des surfaces terrestres, par exemple pour identifier des zones chaudes ou surveiller les incendies.
- **Micro-ondes** (au-delà de 1 mm) : Ces ondes sont utilisées dans la télédétection active (comme le radar), qui peut pénétrer à travers les nuages et est utile pour observer les surfaces terrestres par tous les temps.

c. Types de télédétection

Il existe deux grands types de télédétection basés sur la source d'énergie :

- **Télédétection passive** : Les capteurs passifs mesurent l'énergie électromagnétique émise par des sources naturelles, principalement le **Soleil**, et captent la lumière réfléchie par la Terre. Par exemple, les satellites optiques comme **Landsat** ou **Sentinel** utilisent cette méthode pour capturer des images multispectrales de la Terre.

- **Télédétection active** : Les capteurs actifs émettent leur propre signal (comme les ondes radar) et mesurent la quantité d'énergie qui revient après avoir interagi avec la surface de la Terre. Les systèmes de **radar à ouverture synthétique (SAR)** en sont un exemple, très utiles pour observer des surfaces à travers les nuages ou la nuit.

4.1.2 Processus de télédétection

Le processus de télédétection implique plusieurs étapes, de la capture de l'énergie électromagnétique à l'interprétation des données géospatiales :

a. Acquisition de l'énergie

L'énergie électromagnétique (lumière visible, infrarouge, etc.) frappe la surface de la Terre et est réfléchie, absorbée, ou transmise en fonction des propriétés des objets rencontrés (sols, végétation, bâtiments, plans d'eau, etc.). Les capteurs enregistrent la quantité d'énergie réfléchie ou émise à des longueurs d'onde spécifiques.

b. Enregistrement par capteur

Les capteurs montés sur des satellites, des avions ou des drones captent cette énergie et la convertissent en données numériques. Chaque pixel de l'image capturée représente une mesure de l'énergie pour une petite zone de la surface terrestre.

c. Transmission des données

Les données collectées par les capteurs sont ensuite transmises à des stations terrestres pour être traitées. Elles sont converties en images numériques ou en séries temporelles (données collectées à intervalles réguliers).

d. Traitement des données

Le traitement des données télédétectées comprend des étapes comme :

- **Correction géométrique et radiométrique** : Pour aligner correctement les images sur une carte et compenser les variations d'éclairage ou d'atmosphère.
- **Classification** : Les données sont classées en différentes catégories selon les types de surfaces observées, par exemple, végétation, eau, sol nu, etc.
- **Analyse** : Les informations extraites sont ensuite utilisées pour répondre à des questions spécifiques : l'état des cultures, les niveaux d'humidité des sols, les dégâts causés par les incendies de forêt, etc.

e. Interprétation des résultats

Une fois les données traitées, elles sont interprétées par des experts pour comprendre l'état des surfaces terrestres, l'évolution de l'environnement, ou d'autres phénomènes d'intérêt. Par exemple, l'analyse des bandes spectrales permet d'identifier la **santé des forêts** ou de détecter la **déforestation** dans certaines régions.

4.1.3 Applications de la télédétection

La télédétection a un large éventail d'applications dans divers domaines, permettant de surveiller et d'analyser des phénomènes naturels, environnementaux, ou anthropiques.

a. Surveillance environnementale

- **Suivi des forêts** : La télédétection permet de surveiller l'évolution des forêts, la déforestation, et la reforestation. Les satellites peuvent également mesurer la biomasse végétale et évaluer la santé des écosystèmes forestiers.

- **Suivi des zones humides** : Les capteurs peuvent détecter les changements dans les zones humides, comme l'assèchement ou l'inondation, ce qui est crucial pour préserver ces habitats fragiles.

b. Gestion des catastrophes naturelles

- **Suivi des inondations** : La télédétection permet de surveiller les niveaux d'eau et d'évaluer les zones inondées en temps réel, même pendant les périodes nuageuses ou la nuit (grâce au radar).
- **Surveillance des incendies** : Les satellites infrarouges peuvent détecter la chaleur émise par les incendies et suivre leur progression. Ils permettent également d'évaluer les dégâts causés par les feux de forêt.
- **Surveillance des tremblements de terre et des glissements de terrain** : Les systèmes de radar satellitaire peuvent détecter les déformations du sol, offrant ainsi une analyse précoce des risques géologiques.

c. Agriculture de précision

- **Suivi des cultures** : Les capteurs multispectraux peuvent analyser l'état des cultures, identifier les zones souffrant de stress hydrique ou de maladies, et permettre une gestion plus efficace des ressources agricoles (eau, engrais, etc.).
- **Gestion de l'irrigation** : En surveillant les niveaux d'humidité du sol, la télédétection aide les agriculteurs à ajuster l'irrigation et à optimiser la consommation d'eau.

d. Urbanisme et aménagement du territoire

- **Cartographie urbaine** : Les images satellites permettent de suivre l'expansion urbaine et de planifier le développement des infrastructures (routes, bâtiments).
- **Gestion des ressources naturelles** : La télédétection aide à surveiller l'usage des sols, la gestion de l'eau et la planification des ressources dans les zones rurales et urbaines.

4.1.4 Avantages et limites de la télédétection

Avantages :

- **Observation à grande échelle** : La télédétection permet de surveiller des zones vastes et inaccessibles (forêts tropicales, régions polaires, etc.).
- **Collecte de données régulière** : Les satellites peuvent fournir des données continues, permettant de surveiller les changements sur une longue période (suivi des glaciers, de l'urbanisation, etc.).
- **Analyse multispectrale** : En capturant différentes longueurs d'onde, les capteurs peuvent fournir des informations invisibles à l'œil humain (ex. : stress hydrique des cultures, pollution des sols).

Limites :

- **Coût élevé** : Bien que certaines données soient librement accessibles (ex. : Landsat, Sentinel), l'acquisition et le traitement de données haute résolution peuvent être coûteux.
- **Conditions météorologiques** : Les systèmes optiques passifs sont limités par la couverture nuageuse, tandis que les capteurs radar sont insensibles à ces conditions.
- **Besoins en traitement des données** : Les images satellites nécessitent souvent des traitements complexes (correction atmosphérique, géométrique), ce qui requiert des compétences techniques avancées.

4.2 Capteurs et plateformes de télédétection (satellites, drones)

La **télédétection** repose sur l'utilisation de **capteurs** montés sur différentes **plateformes** pour capturer des informations sur la surface terrestre. Ces capteurs peuvent être classés en deux grandes catégories : **capteurs passifs** et **capteurs actifs**, chacun ayant ses propres caractéristiques et usages. Ces capteurs sont montés sur des plateformes comme des **satellites** et des **drones**, qui offrent des capacités différentes en fonction de l'objectif de l'observation.

4.2.1 Capteurs de télédétection

Les **capteurs** sont les dispositifs qui collectent l'énergie électromagnétique provenant de la surface de la Terre et la transforment en données interprétables. Ils sont divisés en deux catégories principales selon la manière dont ils interagissent avec les sources d'énergie.

a. Capteurs passifs

Les **capteurs passifs** mesurent l'énergie électromagnétique **réfléchie** ou **émise** par des sources naturelles, principalement le soleil et la chaleur émise par la Terre. Ces capteurs captent les radiations naturelles dans diverses parties du spectre électromagnétique (visible, infrarouge, etc.).

Exemples de capteurs passifs :

- **Capteurs optiques** : Ils mesurent la lumière visible et l'infrarouge proche réfléchi par la surface terrestre. Les satellites comme **Landsat** et **Sentinel** utilisent ce type de capteurs pour capturer des images multispectrales de la Terre.
- **Capteurs infrarouges thermiques** : Ils captent la chaleur émise par les objets et sont utilisés pour mesurer la température de la surface terrestre, surveiller les incendies de forêt ou analyser les éruptions volcaniques.

Caractéristiques des capteurs passifs :

- **Limites météorologiques** : Les capteurs passifs peuvent être affectés par les conditions météorologiques, notamment la couverture nuageuse, qui peut obstruer les signaux dans la partie visible et infrarouge du spectre.
- **Source d'énergie externe** : Ils dépendent de la lumière du soleil ou de la chaleur émise par les objets, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas collecter de données la nuit (sauf dans le cas des capteurs infrarouges thermiques).

Applications des capteurs passifs :

- **Observation de la végétation** : Les capteurs optiques, notamment dans le proche infrarouge, permettent de surveiller la santé des plantes et la croissance des cultures. Ils mesurent des indices comme l'**indice de végétation par différence normalisée (NDVI)**, utilisé pour évaluer la couverture végétale.
- **Surveillance des océans** : Les capteurs passifs sont utilisés pour mesurer les variations de température de surface des océans, suivre les courants marins, et détecter les proliférations d'algues.

b. Capteurs actifs

Les **capteurs actifs** émettent leur propre énergie vers la surface terrestre et mesurent la quantité d'énergie qui revient après avoir interagi avec les objets à la surface. Ce type de capteur est particulièrement utile pour surmonter certaines des limites des capteurs passifs, comme l'impact de la couverture nuageuse ou l'absence de lumière solaire.

Exemples de capteurs actifs :

- **Radar à ouverture synthétique (SAR)** : Ces capteurs émettent des ondes radar qui traversent les nuages et mesurent la surface terrestre en captant les échos des ondes renvoyées. Ils sont utilisés pour la cartographie du

relief, la surveillance des zones inondées ou l'analyse des déformations du sol (ex. : satellites **Sentinel-1**, **RADARSAT**).

- **LiDAR (Light Detection and Ranging)** : Le LiDAR utilise des impulsions laser pour mesurer les distances entre le capteur et la surface de la Terre. Il est largement utilisé pour la création de **modèles numériques de terrain** (MNT) très précis, notamment dans les études de topographie, de végétation, ou d'urbanisme.

Caractéristiques des capteurs actifs :

- **Indépendance par rapport aux conditions météorologiques** : Les capteurs radar et LiDAR peuvent capturer des données dans des conditions de faible visibilité (nuages, nuit) car ils émettent leur propre signal.
- **Données 3D** : Le LiDAR, en particulier, permet de créer des modèles en 3D très précis, souvent utilisés pour les relevés topographiques et les études forestières.

Applications des capteurs actifs :

- **Cartographie 3D** : Le LiDAR est couramment utilisé pour produire des modèles numériques de terrain précis, notamment pour des projets d'infrastructure, d'aménagement du territoire, et de gestion forestière.
- **Surveillance des déformations du sol** : Les capteurs radar, comme le **SAR**, peuvent détecter les déformations de la surface terrestre dues à des tremblements de terre, des glissements de terrain, ou des activités volcaniques, permettant ainsi une analyse géologique approfondie.

4.2.2 Plateformes de télédétection

Les capteurs de télédétection sont montés sur diverses **plateformes** en fonction des objectifs d'observation, de la portée géographique et des contraintes spécifiques de chaque application. Les **satellites** et les **drones** sont les deux principales plateformes utilisées aujourd'hui.

a. Satellites de télédétection

Les **satellites** sont la principale plateforme pour la collecte de données à grande échelle, permettant une **observation continue** de vastes zones de la Terre.

Caractéristiques des satellites :

- **Couverture globale** : Les satellites peuvent surveiller de très larges zones géographiques, allant de quelques centaines à des milliers de kilomètres carrés, et peuvent offrir des données sur des régions inaccessibles (océans, pôles, forêts tropicales).
- **Orbite géostationnaire et orbite polaire** : Les satellites géostationnaires restent stationnaires par rapport à un point sur la Terre, tandis que les satellites en orbite polaire couvrent toute la planète en passant au-dessus des pôles, offrant ainsi des images répétées à intervalles réguliers.

Exemples de satellites :

- **Landsat** : Programme de satellites américain, actif depuis les années 1970, qui fournit des images multispectrales pour la surveillance de l'usage des sols, de la gestion des ressources en eau, et de la couverture forestière.
- **Sentinel (ESA)** : Les satellites du programme **Sentinel** (notamment **Sentinel-1** pour les données radar et **Sentinel-2** pour les données optiques) fournissent des images à haute résolution pour des applications comme

la gestion des catastrophes naturelles, la surveillance de l'agriculture et des forêts, et le suivi des changements climatiques.

Avantages des satellites :

- **Surveillance à grande échelle** : Les satellites permettent une couverture continue et à grande échelle, fournissant des données cruciales pour le suivi des changements globaux (déforestation, fonte des glaces, etc.).
- **Disponibilité des données historiques** : De nombreux satellites, comme Landsat, ont accumulé plusieurs décennies de données, permettant une analyse des changements environnementaux sur de longues périodes.

Limites des satellites :

- **Résolution spatiale limitée** : Bien que certains satellites offrent des images haute résolution, beaucoup de satellites d'observation de la Terre ont une résolution qui n'est pas suffisante pour des études très localisées.
- **Coût des données** : Certaines images satellites haute résolution peuvent être coûteuses, bien que plusieurs programmes (comme Sentinel et Landsat) fournissent des données gratuitement.

b. Drones (UAV - Unmanned Aerial Vehicles)

Les **drones** offrent une solution flexible et locale pour la télédétection, permettant de capturer des images de très haute résolution à des échelles beaucoup plus fines que les satellites.

Caractéristiques des drones :

- **Flexibilité et accessibilité** : Les drones peuvent voler à basse altitude, permettant de capturer des détails précis qui seraient invisibles aux satellites. Ils sont également très maniables, ce qui permet une collecte ciblée et rapide de données.
- **Utilisation de capteurs multiples** : Les drones peuvent être équipés de plusieurs types de capteurs, y compris des caméras optiques, infrarouges, et LiDAR, en fonction des besoins de la mission.

Applications des drones :

- **Agriculture de précision** : Les drones sont utilisés pour cartographier les champs, surveiller la santé des cultures, et optimiser les intrants agricoles (eau, engrais). Leur capacité à voler à basse altitude permet une résolution spatiale très fine, utile pour détecter des problèmes locaux comme des maladies des plantes ou des carences en eau.
- **Topographie et urbanisme** : Les drones équipés de capteurs LiDAR sont utilisés pour créer des modèles numériques de terrain avec une précision très élevée, souvent nécessaires pour les projets d'infrastructures et d'aménagement urbain.

Avantages des drones :

- **Résolution très élevée** : Les drones peuvent capturer des images avec une précision centimétrique, ce qui est beaucoup plus fin que ce que peuvent fournir la plupart des satellites.
- **Flexibilité opérationnelle** : Ils sont faciles à déployer pour des missions courtes et spécifiques, comme la surveillance d'un champ agricole ou d'un chantier de construction.

Limites des drones :

- **Couverture limitée** : Les drones ne peuvent couvrir que des zones limitées par rapport aux satellites, ce qui les rend moins adaptés à l'observation de vastes régions.
- **Autonomie restreinte** : La durée de vol des drones est limitée, et leur portée est réduite par rapport aux satellites, nécessitant souvent un déploiement plus fréquent pour des zones étendues.

4.3 Spectres électromagnétiques utilisés en télédétection

La **télédétection** repose sur l'utilisation de capteurs qui capturent l'énergie **réfléchie** ou **émise** par la surface terrestre à différentes **longueurs d'onde** du spectre électromagnétique. Chaque région du spectre électromagnétique offre des informations spécifiques sur les objets observés, et cette diversité permet aux capteurs de répondre à une grande variété d'applications. Ce chapitre explique en détail les principaux segments du spectre électromagnétique utilisés en télédétection et leurs applications.

4.3.1 Le spectre électromagnétique et ses composantes

Le **spectre électromagnétique** est un continuum d'ondes électromagnétiques classées selon leur longueur d'onde ou leur fréquence. Ces ondes se propagent dans l'espace sous forme d'énergie et interagissent de différentes manières avec les surfaces et l'atmosphère terrestre. En télédétection, différentes parties du spectre sont utilisées en fonction de la nature de l'objet observé et de l'application souhaitée.

Les principales parties du spectre utilisées en télédétection sont :

- **Lumière visible**
- **Infrarouge proche et moyen**
- **Infrarouge thermique**
- **Micro-ondes (radar)**

4.3.2 Lumière visible

La **lumière visible** correspond à la portion du spectre électromagnétique que l'œil humain peut percevoir, soit des longueurs d'onde comprises entre environ **400 nm et 700 nm**. Elle est divisée en trois bandes principales :

- **Bleu** : 400 - 500 nm
- **Vert** : 500 - 600 nm
- **Rouge** : 600 - 700 nm

a. Caractéristiques de la lumière visible :

- La lumière visible est utilisée par les capteurs pour capturer des images qui ressemblent aux photographies prises par un appareil photo standard. Les capteurs optiques en télédétection captent la lumière visible pour fournir des informations sur la surface terrestre telles qu'elles apparaîtraient à l'œil humain.

b. Applications de la lumière visible :

- **Photographie aérienne** : Les images capturées dans le spectre visible sont utilisées pour créer des photographies aériennes, des cartes détaillées et des représentations visuelles des paysages naturels et urbains.
- **Cartographie des zones urbaines et naturelles** : Les images dans la lumière visible sont utilisées pour identifier des structures, des bâtiments, des routes, des rivières, des forêts, et d'autres entités géographiques. Par exemple, la cartographie de la **croissance urbaine** ou de l'usage des sols (forêts, terres agricoles, zones résidentielles) est courante dans cette gamme spectrale.

c. Limites de la lumière visible :

- **Sensibilité aux conditions atmosphériques** : La lumière visible peut être affectée par la couverture nuageuse, la poussière, et l'humidité dans l'atmosphère, ce qui limite son utilisation dans des conditions météorologiques difficiles.
- **Perte d'informations sous des surfaces végétales denses** : Dans des forêts tropicales denses, la lumière visible ne pénètre pas au-delà de la canopée, rendant difficile l'observation des structures sous-jacentes.

4.3.3 Infrarouge proche et moyen (NIR et MIR)

L'**infrarouge proche (NIR)** et l'**infrarouge moyen (MIR)** couvrent une gamme de longueurs d'onde allant de **700 nm à environ 3 µm**. Ces parties du spectre sont invisibles à l'œil humain mais sont cruciales pour diverses applications de télédétection, notamment dans l'agriculture et l'étude des écosystèmes.

a. Infrarouge proche (NIR) :

Le NIR se situe entre **700 nm et 1,3 µm** et est particulièrement utilisé pour la **surveillance de la végétation**.

Caractéristiques :

- Les plantes réfléchissent fortement la lumière dans l'infrarouge proche, ce qui permet d'analyser la **santé des plantes** et de détecter les **changements de biomasse**.

Applications :

- **Surveillance de la végétation** : Le NIR est utilisé pour calculer des indices tels que l'**indice de végétation par différence normalisée (NDVI)**, qui mesure la vigueur de la végétation. Une végétation saine reflète beaucoup de lumière dans le NIR, tandis qu'une végétation stressée ou morte en réfléchit moins.
- **Gestion de l'agriculture** : En agriculture de précision, le NIR aide à détecter les zones de stress hydrique, les maladies des cultures, et à optimiser les pratiques agricoles en fonction des besoins des plantes.

b. Infrarouge moyen (MIR) :

Le MIR couvre des longueurs d'onde allant de **1,3 µm à 3 µm** et est utilisé pour **surveiller l'humidité du sol** et la **santé des plantes**, ainsi que pour d'autres applications.

Caractéristiques :

- Le MIR est sensible à la teneur en eau des plantes et des sols, ce qui permet de surveiller l'humidité et la sécheresse.

Applications :

- **Gestion des ressources en eau** : Le MIR est utilisé pour surveiller les niveaux d'humidité des sols dans des zones agricoles ou naturelles, permettant ainsi une gestion plus efficace de l'irrigation.
- **Surveillance des incendies de forêt** : Le MIR permet de détecter la chaleur émise par les incendies, ce qui est crucial pour la surveillance des incendies de forêt en temps réel.

c. Limites de l'infrarouge proche et moyen :

- **Sensible aux conditions atmosphériques** : Bien que l'infrarouge soit moins affecté que la lumière visible, il peut être influencé par la vapeur d'eau et d'autres particules présentes dans l'atmosphère.

4.3.4 Infrarouge thermique (TIR)

L'**infrarouge thermique (TIR)** couvre les longueurs d'onde allant de **3 µm à 14 µm**. Contrairement à l'infrarouge proche et moyen, le TIR capte l'**énergie émise** par les objets en fonction de leur **température**, plutôt que l'énergie réfléchie. Cette bande est particulièrement utile pour mesurer les **températures de surface**.

a. Caractéristiques de l'infrarouge thermique :

- Tous les objets dont la température est supérieure à zéro émettent des radiations thermiques. Le TIR est utilisé pour mesurer les différences de température à la surface de la Terre, qu'il s'agisse de sols, de roches, d'eau ou de végétation.

b. Applications de l'infrarouge thermique :

- **Gestion des ressources en eau** : Le TIR est utilisé pour mesurer la température des plans d'eau, des sols humides et secs, ce qui permet de surveiller l'évaporation et la gestion des ressources hydriques dans les zones arides.
- **Surveillance des zones humides** : Les capteurs thermiques permettent de détecter les variations de température dans les zones humides, ce qui aide à surveiller les changements dans ces écosystèmes sensibles.
- **Surveillance des phénomènes volcaniques** : Le TIR est largement utilisé pour surveiller les volcans et les zones de magma en fusion, détectant les changements de température à la surface et prévoyant des éruptions potentielles.

c. Limites de l'infrarouge thermique :

- **Résolution spatiale plus faible** : En général, les capteurs infrarouges thermiques ont une résolution spatiale plus faible que les capteurs visibles ou NIR, ce qui peut rendre difficile la détection de petits objets.

4.3.5 Micro-ondes et radar

Les **micro-ondes**, y compris les ondes radar, couvrent une gamme de longueurs d'onde plus longues que l'infrarouge, généralement au-delà de **1 mm** (0,001 mètre) jusqu'à plusieurs mètres. Les capteurs de télédétection radar, comme le **radar à ouverture synthétique (SAR)**, sont classés comme **capteurs actifs**, car ils émettent leurs propres signaux et mesurent l'énergie renvoyée par la surface terrestre.

a. Caractéristiques du radar :

- Les micro-ondes, en particulier le radar, ont la capacité de **pénétrer les nuages**, la pluie et même les végétations denses, ce qui permet la collecte de données indépendamment des conditions météorologiques ou de la lumière du jour.
- Les ondes radar peuvent également pénétrer certaines surfaces, comme les sols secs, ce qui permet de détecter des structures ou des objets cachés sous la surface.

b. Applications du radar :

- **Surveillance de la topographie** : Le radar est largement utilisé pour la cartographie du relief terrestre, y compris dans des zones difficiles d'accès ou couvertes par la végétation. Les capteurs **SAR** sont utilisés pour créer des modèles numériques de terrain et des cartes de l'élévation.
- **Surveillance des inondations** : Le radar peut être utilisé pour surveiller les inondations, même à travers une couverture nuageuse, permettant ainsi d'évaluer rapidement l'étendue des dommages après une catastrophe naturelle.

- **Suivi des mouvements de terrain** : Le radar est utilisé pour détecter les mouvements subtils de la surface terrestre, par exemple dans les zones sujettes aux tremblements de terre, aux glissements de terrain ou à l'activité volcanique.

c. Limites du radar :

- **Coût élevé des capteurs** : Les systèmes radar sont généralement plus coûteux à déployer et à maintenir que les capteurs optiques et infrarouges.
- **Interprétation complexe** : Les données radar nécessitent souvent un traitement et une interprétation avancés, car elles sont plus complexes à analyser que les images dans le spectre visible ou infrarouge.

4.4 Traitement d'images en télédétection

Le **traitement des images en télédétection** est une étape cruciale qui permet de transformer les données brutes collectées par les capteurs en informations exploitables. Les images capturées doivent être traitées et corrigées afin de minimiser les erreurs et d'optimiser leur qualité pour une analyse efficace. Ce processus comprend plusieurs étapes clés, allant des **corrections radiométriques** et **géométriques** à des techniques plus avancées comme la **classification** et la **fusion d'images**.

4.4.1 Étapes du traitement des images en télédétection

1. Correction radiométrique

La **correction radiométrique** est une étape essentielle pour ajuster les variations d'intensité lumineuse ou de la réflectance enregistrée par les capteurs, qui peuvent être affectées par des facteurs externes comme les conditions atmosphériques, l'angle du soleil, ou les erreurs des capteurs eux-mêmes.

a. Objectif de la correction radiométrique :

- Garantir que les valeurs des pixels (qui représentent des niveaux d'intensité lumineuse) soient aussi précises que possible, en supprimant ou en compensant les effets des **distorsions atmosphériques** (par exemple, l'absorption ou la diffusion des rayonnements par l'atmosphère) et des erreurs liées aux capteurs.

b. Types de corrections radiométriques :

- **Correction atmosphérique** : Supprime les effets de l'atmosphère sur les mesures de rayonnement. Elle est particulièrement importante pour les capteurs passifs qui dépendent de la lumière solaire, car la lumière peut être absorbée ou diffusée par les particules atmosphériques.
- **Correction des ombres et des réflexions** : Cette correction permet d'ajuster l'intensité des pixels qui peuvent apparaître trop sombres ou trop lumineux en raison de la topographie (ombres projetées par des montagnes, des bâtiments) ou de la réflexion de la lumière sur des surfaces brillantes (eau, neige, etc.).

2. Correction géométrique

La **correction géométrique** est une étape qui vise à aligner les images télédétectées sur des **coordonnées géographiques précises**. Elle est nécessaire pour compenser les distorsions spatiales causées par la perspective du capteur, la courbure de la Terre, ou les mouvements de la plateforme de télédétection (comme un satellite ou un drone).

a. Objectif de la correction géométrique :

- Garantir que chaque pixel de l'image télédétectée correspond à une position géographique correcte sur la surface terrestre. Cela permet de superposer les images à des cartes ou d'autres données géographiques avec précision.

b. Processus de correction géométrique :

- **Géoréférencement** : Les images sont alignées avec des coordonnées géographiques en utilisant des points de contrôle au sol, qui sont des points géographiquement connus (comme des intersections de routes ou des bâtiments) servant de référence pour ajuster l'image.
- **Orthorectification** : Cette technique corrige les erreurs dues à la topographie et à la perspective de prise de vue. Elle permet de redresser l'image afin que chaque pixel soit représenté correctement dans sa position géographique, même dans des zones de relief accidenté.

3. Classification des images

La **classification des images** est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des données de télédétection. Elle consiste à regrouper les pixels d'une image en catégories ou classes, basées sur leurs caractéristiques spectrales (la manière dont chaque pixel réfléchit la lumière dans différentes bandes du spectre électromagnétique).

a. Objectif de la classification :

- Identifier et différencier les **types de surfaces** (comme la végétation, les plans d'eau, les zones urbaines, les sols nus) pour créer des cartes thématiques utiles à des fins d'analyse.

b. Types de classification :

- **Classification supervisée** : L'utilisateur fournit des **exemples de pixels** pour chaque classe d'intérêt (par exemple, forêt, eau, ville), et l'algorithme utilise ces exemples pour classifier le reste de l'image. Cela nécessite une **formation préalable** de l'algorithme à partir de données de référence connues.
- **Classification non supervisée** : L'algorithme regroupe automatiquement les pixels en fonction de leurs caractéristiques spectrales, sans intervention humaine. Cette méthode est utile lorsque les classes ne sont pas définies à l'avance, mais elle nécessite souvent une interprétation manuelle des résultats pour attribuer des étiquettes aux différentes classes.

c. Applications de la classification :

- **Cartographie de l'utilisation des sols** : Les images classifiées sont utilisées pour déterminer la répartition des différents types d'occupation des sols, comme les zones forestières, les terres agricoles, les zones urbaines ou les étendues d'eau.
- **Surveillance de la végétation** : La classification permet d'identifier des changements dans la couverture végétale (déforestation, reboisement), d'analyser la santé des cultures, ou de surveiller des écosystèmes sensibles.

4. Fusion d'images

La **fusion d'images** consiste à combiner des images provenant de différents capteurs, ou des images prises à différents moments, pour créer un produit final plus riche en informations. Cela permet d'obtenir une image qui combine les avantages de plusieurs types de capteurs ou de périodes d'observation.

a. Objectif de la fusion d'images :

- **Améliorer la qualité et l'interprétabilité des données** en intégrant plusieurs sources d'information. La fusion peut, par exemple, combiner la haute résolution spatiale d'une image optique avec la sensibilité spectrale d'une image multispectrale.

b. Techniques de fusion d'images :

- **Fusion multispectrale et panchromatique** : Une image à haute résolution panchromatique (qui capte uniquement les valeurs d'intensité lumineuse) est combinée avec une image multispectrale (qui capture des bandes spectrales spécifiques) pour produire une image avec à la fois une **haute résolution spatiale** et des **détails spectraux riches**.
- **Fusion temporelle** : Cette technique combine des images prises à des moments différents pour analyser l'évolution d'un phénomène dans le temps. Par exemple, la fusion de données satellites avant et après une inondation permet d'analyser l'étendue des dégâts.
- **Fusion inter-capteurs** : Des images issues de différents capteurs (optique, radar, LiDAR) peuvent être fusionnées pour fournir une vision plus complète. Par exemple, la fusion des données radar (qui peuvent traverser les nuages) et des données optiques (qui fournissent des informations visuelles détaillées) permet de mieux comprendre des événements météorologiques complexes.

c. Applications de la fusion d'images :

- **Surveillance environnementale** : La fusion d'images multispectrales avec des images radar est souvent utilisée pour surveiller les phénomènes environnementaux comme la déforestation, les inondations, ou les incendies de forêt.
- **Gestion des ressources naturelles** : La fusion d'images à différentes résolutions et capteurs permet d'améliorer la précision des cartes utilisées pour la gestion des ressources naturelles (gestion forestière, cartographie des sols, gestion des ressources en eau).

4.4.2 Outils et logiciels pour le traitement d'images

Le traitement des images de télédétection nécessite des logiciels spécialisés offrant des outils avancés pour appliquer les corrections, les classifications et les fusions. Voici quelques-uns des logiciels les plus utilisés dans ce domaine :

a. ENVI (Environment for Visualizing Images)

ENVI est un logiciel couramment utilisé pour traiter des images de télédétection. Il offre des outils puissants pour :

- **Correction radiométrique et géométrique**.
- **Classification supervisée et non supervisée**.
- **Analyse des séries temporelles**.

b. ERDAS IMAGINE

ERDAS IMAGINE est un autre logiciel de traitement d'images de télédétection, particulièrement populaire pour la création de cartes thématiques et la gestion des données géospatiales complexes.

c. QGIS avec extensions de télédétection

QGIS, un logiciel open-source, propose de nombreuses extensions pour le traitement des images de télédétection, comme la correction géométrique, la classification et l'analyse multispectrale.

4.5 Applications de la télédétection dans divers secteurs

La **télédétection** joue un rôle essentiel dans de nombreux secteurs en fournissant des informations géospatiales détaillées, continues et à grande échelle. Elle permet de surveiller et d'analyser des phénomènes naturels, agricoles, urbains et environnementaux avec une précision inégalée. Voici une explication détaillée de ses principales applications dans différents domaines.

4.5.1 Agriculture

Dans le domaine agricole, la télédétection est devenue un outil indispensable pour optimiser la **gestion des cultures** et assurer une **agriculture de précision**. En surveillant les cultures tout au long de leur cycle de croissance, la télédétection permet aux agriculteurs de maximiser les rendements tout en minimisant l'utilisation des ressources.

a. Surveillance des cultures

- **Utilisation des images multispectrales** (visible, infrarouge proche) pour surveiller la santé des plantes et détecter les zones stressées, notamment en calculant l'**indice de végétation par différence normalisée (NDVI)**. Cet indice permet d'évaluer la vigueur de la végétation en fonction de sa capacité à réfléchir la lumière dans l'infrarouge proche.

b. Estimation des rendements

- En utilisant des capteurs multispectraux et thermiques, la télédétection peut fournir des estimations précises du **potentiel de rendement** des cultures. Cela permet de prévoir les productions agricoles et d'optimiser les récoltes en fonction des besoins du marché.

c. Détection des zones affectées par des maladies

- Les capteurs de télédétection peuvent identifier les **zones affectées par des maladies** ou des infestations d'insectes avant même que les symptômes ne soient visibles à l'œil nu. En surveillant les changements dans la réflectance des plantes, les agriculteurs peuvent réagir rapidement pour traiter les cultures et éviter des pertes importantes.

d. Optimisation de l'irrigation

- En mesurant la teneur en eau des sols grâce à l'infrarouge moyen et aux images thermiques, la télédétection permet d'ajuster l'irrigation selon les besoins spécifiques de chaque zone de culture. Cela contribue à une utilisation plus efficace des ressources en eau.

4.5.2 Environnement

La télédétection joue un rôle majeur dans la **gestion des ressources naturelles** et la **surveillance environnementale**. Elle permet de suivre des changements à grande échelle, comme la déforestation, la perte de biodiversité et les catastrophes naturelles, avec une précision spatio-temporelle élevée.

a. Surveillance des forêts

- Les images satellites permettent de surveiller la **couverture forestière**, de détecter la **déforestation** et de suivre la régénération des forêts. Les données multispectrales et infrarouges sont utilisées pour évaluer la biomasse et la santé des forêts, facilitant ainsi la gestion durable des ressources forestières.

b. Suivi de la biodiversité

- En analysant la couverture végétale et les types d'habitats à travers des données spectrales, la télédétection contribue à la **surveillance de la biodiversité** dans des écosystèmes variés. Elle aide à suivre l'évolution des habitats naturels, à détecter des menaces pour les espèces et à analyser les dynamiques écologiques.

c. Détection des incendies de forêt

- Les capteurs infrarouges thermiques sont utilisés pour **détecter la chaleur émise par les incendies** et suivre leur propagation en temps réel. Cela permet une **réaction rapide** des équipes d'intervention et une évaluation précise des dégâts post-incendie.

d. Surveillance de la qualité de l'air

- Les capteurs optiques et radar peuvent être utilisés pour surveiller les **concentrations de gaz atmosphériques** et la **pollution de l'air**, ce qui aide à prévenir les épisodes de smog ou à suivre l'impact des activités industrielles.

4.5.3 Gestion des ressources en eau

La gestion des **ressources en eau** est un autre domaine où la télédétection a des applications cruciales. Elle permet de surveiller et d'optimiser l'utilisation de l'eau dans des régions agricoles, de suivre l'évolution des réserves d'eau douce et de surveiller les catastrophes naturelles liées à l'eau.

a. Mesure des niveaux d'eau dans les réservoirs

- La télédétection radar et les images satellites sont utilisées pour **mesurer les niveaux d'eau** dans les réservoirs, les rivières et les lacs. Ces informations sont précieuses pour gérer les infrastructures hydrauliques et prévoir l'utilisation de l'eau dans l'irrigation ou la production d'énergie.

b. Suivi des sécheresses

- En surveillant l'**humidité des sols** et les précipitations, la télédétection permet de détecter des **périodes de sécheresse** et d'évaluer leur gravité. Les données obtenues aident les décideurs à prendre des mesures préventives pour minimiser les impacts de la sécheresse sur l'agriculture et les populations locales.

c. Suivi des inondations

- Les capteurs radar, en particulier le **radar à ouverture synthétique (SAR)**, peuvent surveiller les inondations même sous une couverture nuageuse. Ces images permettent d'évaluer en temps réel les zones touchées et de gérer les interventions d'urgence en conséquence.

4.5.4 Urbanisme et aménagement du territoire

Dans le domaine de l'**urbanisme**, la télédétection est un outil précieux pour planifier et suivre le développement des infrastructures, surveiller l'**expansion urbaine** et analyser l'impact des activités humaines sur l'environnement.

a. Suivi de l'expansion urbaine

- Les images satellites multispectrales et les données LiDAR sont utilisées pour **cartographier les zones urbaines** et suivre leur expansion au fil du temps. Cela aide à planifier de nouvelles infrastructures, à identifier les zones à forte densité et à évaluer l'impact de l'urbanisation sur l'environnement.

b. Aménagement du territoire

- Les gouvernements et les urbanistes utilisent la télédétection pour **analyser les caractéristiques géographiques** et naturelles d'une région avant de lancer des projets d'aménagement du territoire. Cela permet de s'assurer

que les infrastructures sont construites de manière durable, en tenant compte des risques naturels comme les inondations ou les glissements de terrain.

c. Surveillance de l'environnement urbain

- En étudiant les **îlots de chaleur urbains** à l'aide de capteurs thermiques, les décideurs peuvent identifier les zones les plus touchées par la chaleur excessive dans les villes et proposer des stratégies d'adaptation comme la végétalisation urbaine.

4.5.5 Détection des changements climatiques

La télédétection est un outil clé dans l'**étude des changements climatiques**, car elle permet d'observer et de suivre les impacts du réchauffement global à l'échelle mondiale, qu'il s'agisse de la fonte des glaciers, des augmentations de température ou des modifications dans les écosystèmes.

a. Analyse des tendances de la température

- Les capteurs infrarouges thermiques sont utilisés pour analyser les **tendances de la température de surface**, aussi bien sur terre que sur les océans. Ces informations sont essentielles pour comprendre les variations climatiques à long terme et évaluer leur impact sur les écosystèmes.

b. Surveillance de la fonte des glaciers et des calottes polaires

- Les données satellitaires, en particulier les capteurs radar, permettent de surveiller la **fonte des glaciers et des calottes glaciaires** en mesurant les changements dans l'altitude de la surface et la taille des glaciers. Cela aide à comprendre l'impact du changement climatique sur les régions polaires et à évaluer les risques associés à l'élévation du niveau de la mer.

c. Suivi des changements dans les écosystèmes

- La télédétection est utilisée pour suivre les **changements dans la couverture végétale** et la santé des écosystèmes à l'échelle mondiale. Ces observations permettent de détecter des signes précoces de dégradation des écosystèmes liés aux variations climatiques, comme la désertification ou la perte de biodiversité.