

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF
Faculté des Mathématiques et Informatique



Imagerie Satellitaire (ISAT)

Cours

Master 2

Option : Intelligence Artificielle (IA)



Pr . FIZAZI Hadria

Avant Propos

Le module **Imagerie Satellitaire ISAT** est destiné aux étudiants en **Master 2**

Option: **Intelligence Artificielle et ses Applications IAA**.

Objectifs de l'enseignement de ce module :

L'objectif de ce cours est de mettre en évidence les aspects théoriques de la télédétection aussi bien optique que radar que de nombreuses applications de la télédétection dans des domaines variés. Il vise généralement à atteindre plusieurs objectifs tel que :

- La Compréhension des principes de base de la télédétection.
- A former les étudiants à l'interprétation et l'analyse des différents types d'images.
- A développer des compétences pour exploiter ces images dans plusieurs domaines tel que l'agriculture, la gestion des ressources naturelles, l'urbanisme, la cartographie, etc...)
- A Enseigner les techniques de traitement des images pour extraire des informations utiles, telles que la classification des surfaces, la détection des changements et la modélisation.

En somme, un tel cours vise à fournir aux étudiants les compétences nécessaires pour analyser et interpréter les images satellitaires de manière autonome et dans un cadre professionnel.

Le cours a un spectre assez large de manière à présenter l'ensemble des éléments d'une chaîne de traitement.

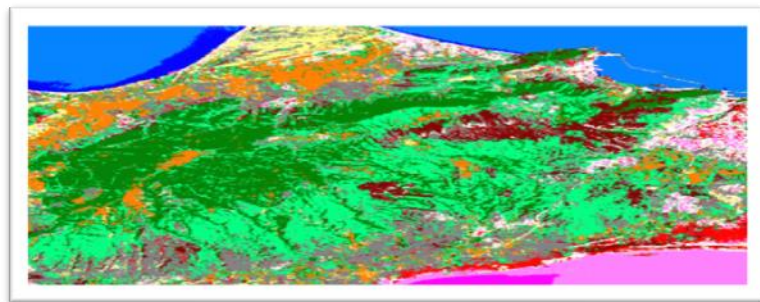


Table des matières

Partie1 : GENERALITES SUR LA TELEDETECTION

1. Introduction Générale:.....	8
2. Définition de la télédétection :.....	9
3. Historique de la télédétection:.....	9
4. Domaine d'application de la télédétection :	11
5. Principe de base de la télédétection.....	13
6. Processus de la télédétection:.....	13
6.1. Source D'énergie ou D'illumination :.....	14

Partie2: LES INTERACTIONS DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

1. Les Interactions du REM.....	19
1.1. Interactions avec la matière.....	19
1.2. Interactions avec l'atmosphère	19
1.3. Interactions avec la surface terrestre :	20
2. Signatures spectrales et niveaux numériques	20
2.1. Relation signature /objet :.....	21

Partie3: LES CAPTEURS

1 Enregistrement du signal par le capteur	23
2 Les capteurs :	23
3 Types de capteurs:	24
4 Principes d'acquisition des données	25

Partie4: SATELLITES

1 Les vecteurs ou Plateformes:.....	27
2 Exemples de Plateformes:	28
3 Types de satellites:.....	28
4 Principaux Satellites d'Observation de la Terre:	29
4.1 Satellite LANDSAT TM:.....	29
4.2 Satellite SPOT:	30
4.3 Satellite METEOSAT :	31
4.4 Satellite NOAA.....	32
4.5 Satellite ERS.....	33
4.6 Satellite GOES :.....	33
4.7 Nouveaux Satellites à haute résolution	34
4.8 Conclusion.....	34

Partie5: LES RADARS

1	Introduction	36
2	L'image RADAR.....	36
3	La réflexion RADAR	36
4	Types de Capteurs RADAR :	37
5	Avantages Du Radar :	38
6	Inconvénients Du Radar :	38

Partie6: LES IMAGES SATELLITAIRES

1	Généralité sur l'imagerie:	40
2	Mode De Représentation Des Images	41
3	La réalisation de l'image satellitaire.....	41
4	Résolution D'une Image:	42
5	Types de résolution :	42
6	Manipulation de l'image satellitaire	43
7	Technique de traitement numérique d'image :	44
7.1	Techniques de prétraitement d'images satellitaires :	44
7.1.1	Corrections radiométriques :	44
7.1.2	Corrections géométriques :	44
7.1.3	Le rehaussement du contraste	45
7.1.4	La Composition colorée.....	45
8	Techniques de traitement d'images satellitaires.....	46
9	La classification:	46
9.1	Classification supervisée ou dirigée.....	47
9.2	Classification non supervisée ou non dirigée.....	47
10	Conclusion:	47
	QUESTIONS DE COURS	48
	TRAVAUX PRATIQUES:	50
	GLOSSAIRE :	61

LISTE DES FIGURES

PARTIE 1 : GENERALITES SUR LA TELEDETECTION

- Figure1.1.** *Relation entre le satellite et l'œil humain*
- Figure1.2.** *Les domaines d'applications de la télédétection*
- Figure1.3.** *Eléments de la télédétection*
- Figure1.4.** *Processus de la télédétection*
- Figure1.5.** *Rayonnement électromagnétique (REM)*
- Figure1.6.** *Longueurs d'ondes visibles*
- Figure1.7.** *Ondes infrarouges*
- Figure1.8.** *Fenêtres des Hyperfréquences*

PARTIE -2-: LES INTERACTIONS DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE (REM)

- Figure2.1.** *Interactions du REM*
- Figure2.2.** *Absorption atmosphérique Diffusion atmosphérique*
- Figure2.3.** *Interactions avec la surface terrestre*
- Figure2.4.** *Interactions du REM : avec Les feuilles avec L'eau*

PARTIE -3- : LES CAPTEURS

- Figure3.1.** *Panoplie de capteurs*
- Figure3.2.** *Capteur passif*
- Figure3.3.** *Capteur actif*

PARTIE -4- : SATELLITES

- Figure4.1.** *Les vecteurs ou les plateformes*
- Figure4.2.** *Navette spatiale Satellite Avion Capteur au sol Satellite*
- Figure4.3.** *Satellite*
- Figure4.4.** *Avion*
- Figure4.5.** *Capteur au sol*
- Figure4.6.** *Satellite*
- Figure4.7.** *Largeur d'une fauchée*
- Figure4.8.** *Satellite Landsat*
- Figure4.9.** *Satellite SPOT*
- Figure4.10.** *Satellite METEOSAT*
- Figure4.11.** *Satellite NOAA*
- Figure4.12.** *Satellite ERS*
- Figure4.13.** *: Satellite GOES*
- Figure4.14.** *Satellite a haute résolution*

Partie -5- : LES RADARS

- Figure5.1.** *Image RADAR*
- Figure5.2.** *La réflexion RADAR*
- Figure5.3.** *: Types RADAR*

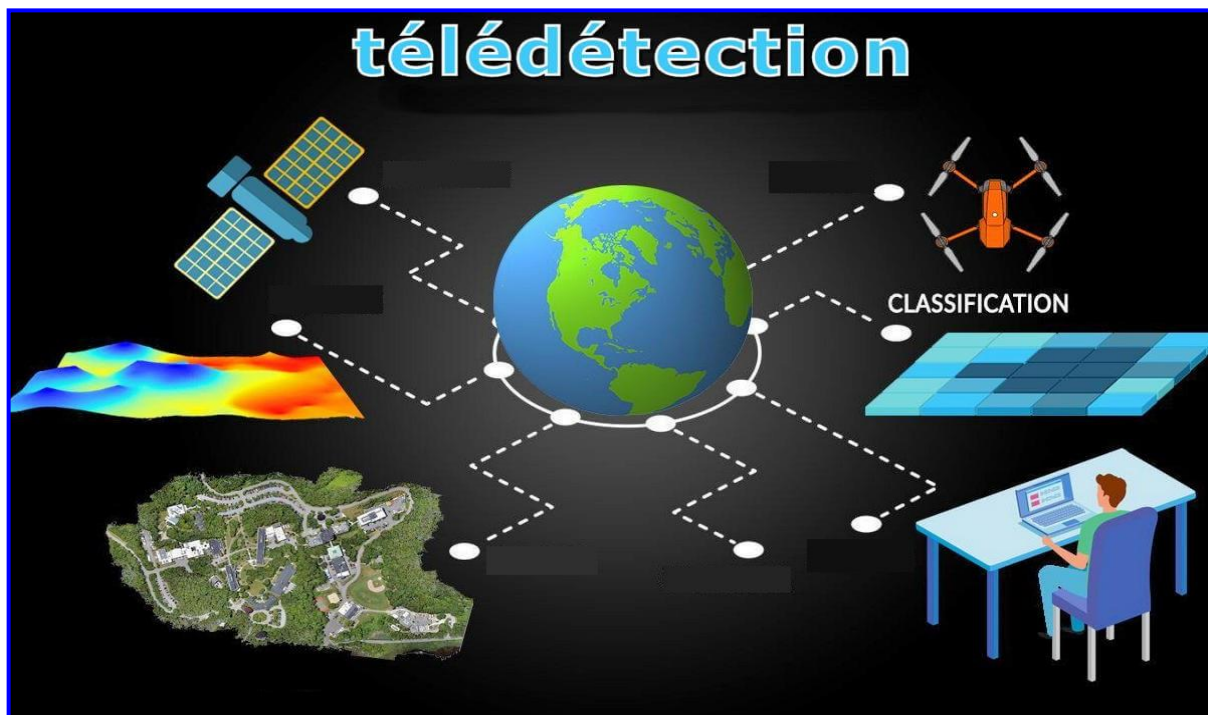
PARTIE -6- :LES IMAGES SATELLITAIRES

- Figure6.1.** *Structure d'une image satellite (cas d'une image SPOT XS multispectrales)*
- Figure6.2.** *Mode de représentation des images*
- Figure6.3.** *Image satellitaire*
- Figure6.4.** *Résolution spectrale*
- Figure6.5.** *Manipulation d'une image satellitaire*
- Figure6.6.** *Correction géométrique*
- Figure6.7.** *Améliorer l'apparence de l'imagerie*
- Figure6.8.** *Classification d'images*
- Figure6.9.** *Composition colorée*
- Figure6.10.** *Exemple de classification*

PARTIE -1- :

GENERALITES SUR LA TELEDETECTION

- La télédétection est devenue ainsi une discipline très importante, car elle est désormais un outil d'aide à la décision très précieux et indispensable pour la gestion des ressources terrestres.
- L'interprétation de ces images de télédétection constitue un champ important de recherche et d'études scientifiques.
- Plusieurs applications en tirent profit, par exemple : le suivi de la déforestation, l'évolution de la désertification, l'évolution des ressources en eau, la cartographie de l'occupation du sol, etc...



1. Introduction Générale:

La télédétection spatiale est une technique qui, à l'aide d'un ou plusieurs capteurs, permet d'acquérir de l'information sur un objet, une surface ou un phénomène sans contact direct avec celui-ci.

L'œil humain est un capteur qui intercepte le rayonnement visible. Ce rayonnement, est transformé en impulsions électriques et il est envoyé et reçu par le cerveau. Ce dernier l'interprète et en tire de l'information.

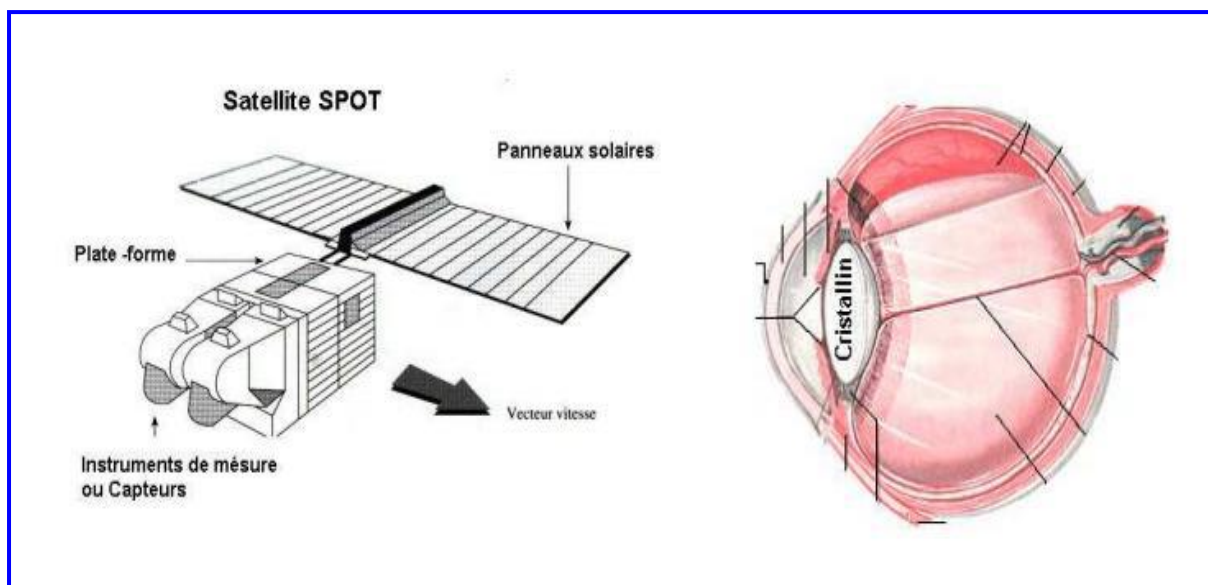


Figure1.1. Relation entre le satellite et l'œil humain

C'est le même concept de la télédétection spatiale qui englobe tout le processus qui consiste à:

- **C**apter,
- **E**nregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi
- **T**raiter
- **A**nalyser l'information pour une application précise.

2. Définition de la télédétection :

Télédétection

Détection à distance

- ❖ *La télédétection est l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques utilisés pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'un objet.*
- ❖ *La télédétection est l'ensemble des recherches et travaux sur l'acquisition, la manipulation et le traitement manuel ou informatisé d'images satellitaires.*

La télédétection comporte donc deux aspects :

- L'un lié à l'acquisition de l'image et aux bases physiques
- L'autre lié à l'analyse et le traitement d'image.

Ces deux aspects peuvent être étudiés séparément dans une démarche thématique

Remarque:

Il faut savoir ce qu'est une image satellitale et d'où elle provient avant tout traitement.

3. Historique de la télédétection:

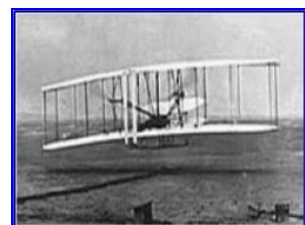
La télédétection est née d'un double processus de développement :

- ❖ Les progrès de l'aéronautique et de l'aérospatiale d'une part,
- ❖ L'apparition de l'informatique d'autre part.

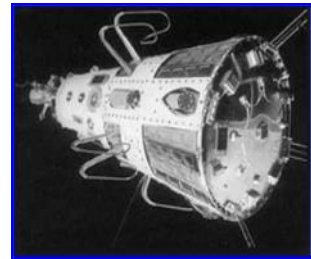
1844: Premières photographies aériennes réalisées depuis un ballon par G.F. Tournachon dit NADAR



1909 : Premières photographies depuis un avion (WRIGHT).



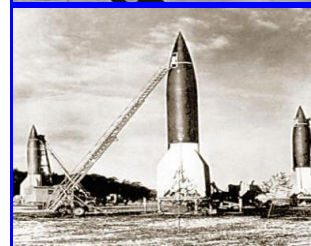
1914-1918 : Premières observations photographiques lors des combats de la Grande Guerre et premières interprétations.



1918-1945: Développement généralisé de la **photographie aérienne** dans les milieux **militaires**, notamment à partir d'avions



1945-1960: Généralisation de la photographie aérienne au niveau civil. Lancement de **Spoutnik 1**, Premier satellite artificiel en **1957**



1960-1972: Naissance de la **télédétection**. Mise en place des bases et concepts, premières simulations.



1972-1998: Lancements de satellites américains orientés télédétection (**Landsat**) et bioclimatologie (**NOAA**) multiplication des satellites d'observation (Japon, Inde, Chine...Europe (**SPOT**) + **ALSAT**(Algérie).



Exemple d'Images Satellitaires :



Image SPOT (HRVI)



Image Sentinel-2B



Image Landsat

4. Domaine d'application de la télédétection:

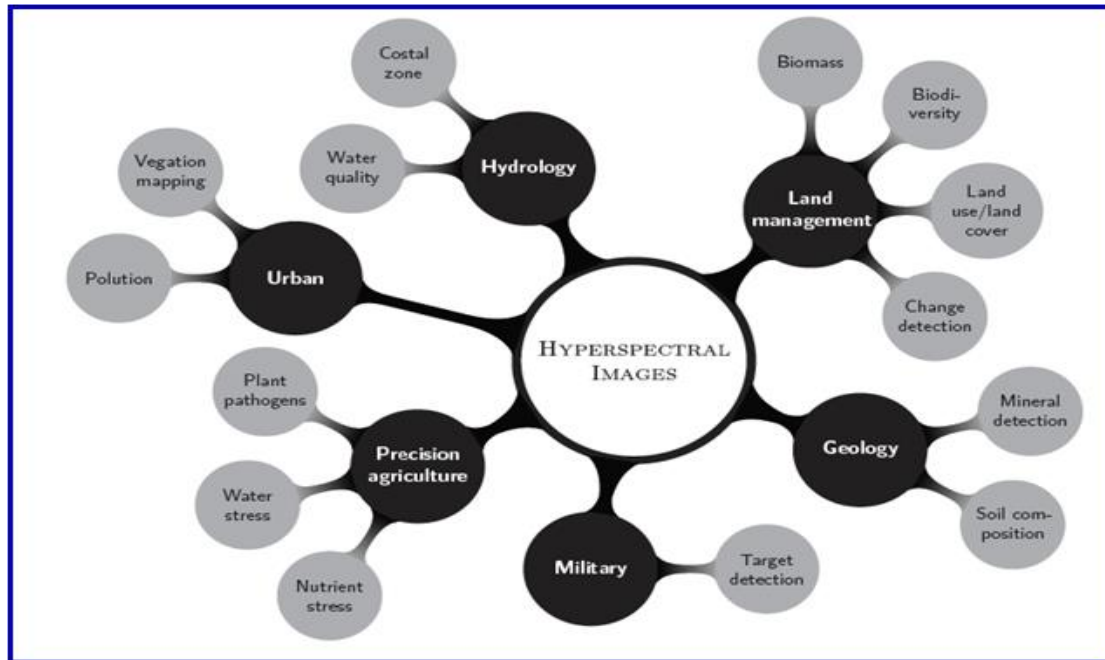
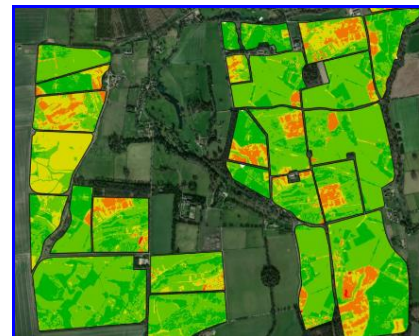


Figure1.2. Les domaines d'applications de la télédétection

1°/ Agriculture

L'agriculture est le pilier économique de nombreux pays. La télédétection peut offrir les informations sur:

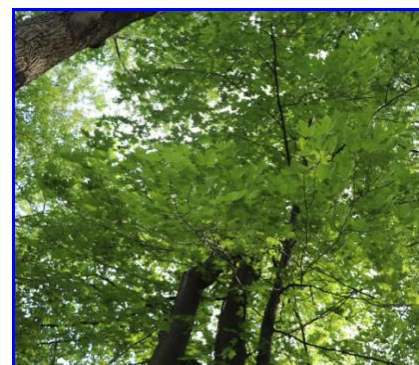
- Prévisions des récoltes
- Sélection et surveillance des zones agricoles
- Evaluation des dommages causés par la sécheresse et les inondations
- Contrôle des ravageurs et des maladies des cultures
- Etc...



2°/ Foresterie

La télédétection est utile dans les applications forestières :

- Couvert forestier
- Densité des forêts
- Inventaire des espèces forestières
- Déforestation
- Protection des forêts
- Prévention, suivi et évaluation des feux
- Etc...



°/ Urbanisme

Les applications de la télédétection dans les zones urbaines

- Estimation de population
- Comprendre le processus d'urbanisation
- Planification (ports, aéroports, routes,)
- Détection de constructions clandestines
- Surveillance des catastrophes naturelles
- Etc...

**4°/ Catastrophes naturelles**

- Prévention des catastrophes naturelles (incendie, inondation, tremblement de terre, éruption volcanique, sécheresse).
- Suivi en temps réel des catastrophes Analyse des impacts Suivi des opérations de réhabilitation.
- Etc...



Dans le cadre de la lutte contre la désertification, la télédétection facilite:

- Le suivi et la surveillance à long terme des zones à risques
- La définition des facteurs de désertification,
- L'aide à la prise de mesures adéquates de gestion environnementale par les décideurs
- L'évaluation de l'impact de ces mesures.

5°/ Autres Domaines d'application de la télédétection

- Prévision météorologique
- Cartographie
- Aménagement du territoire
- Système géographique
- Défense
- Etc....

5. Principe de base de la télédétection

Les trois principaux éléments de base de la télédétection sont :

1. **La cible** est la portion de la surface terrestre observée par le satellite.
2. **La source** d'énergie est l'élément qui « éclaire » la cible en émettant une onde électromagnétique.
3. **Le vecteur** ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie solaire réfléchie par la cible.

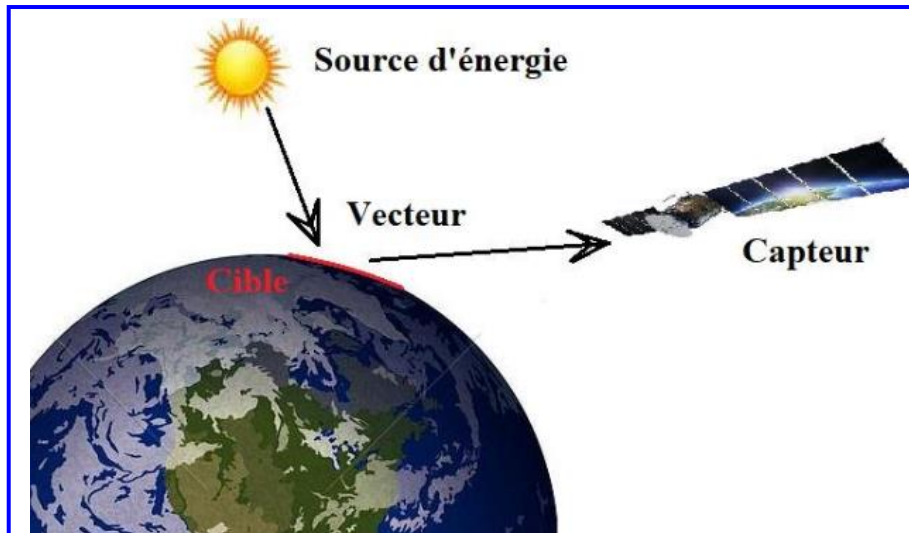
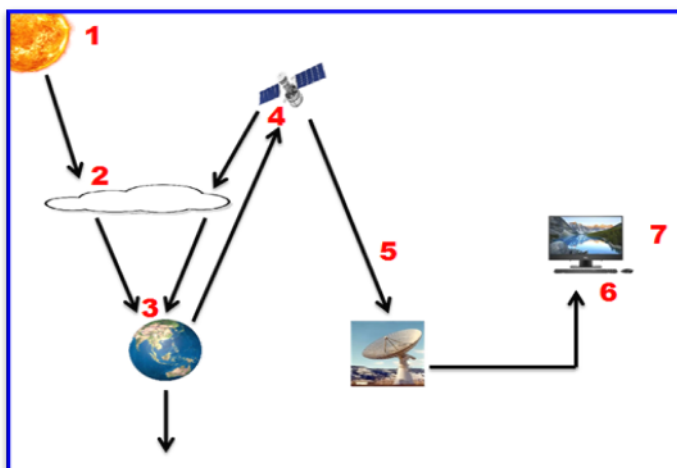


Figure1.3. Eléments de la télédétection

6. Processus de la télédétection:



Avec:

1. Source d'énergie
2. Interaction rayonnement atmosphère
3. Interaction rayonnement cible
4. Enregistrement par le capteur
5. Transmission, réception
6. Interprétation, analyse
7. Application

Figure1.4. Processus de la télédétection

6.1. Source D'énergie ou D'illumination :

1) Rayonnement électromagnétique (REM) :

Le rayonnement électromagnétique (REM) est l'énergie utilisée pour illuminer la cible. Il est créé en tout point de l'espace par un double champ périodique :

Electrique et **Magnétique**.

Le REM est défini par :

- Sa vitesse de propagation ($C=300\ 000\ \text{km/s}$)
- Son amplitude ou longueur d'onde (λ)
- Sa fréquence (ν).

Tel que:

$$C = \lambda * \nu$$

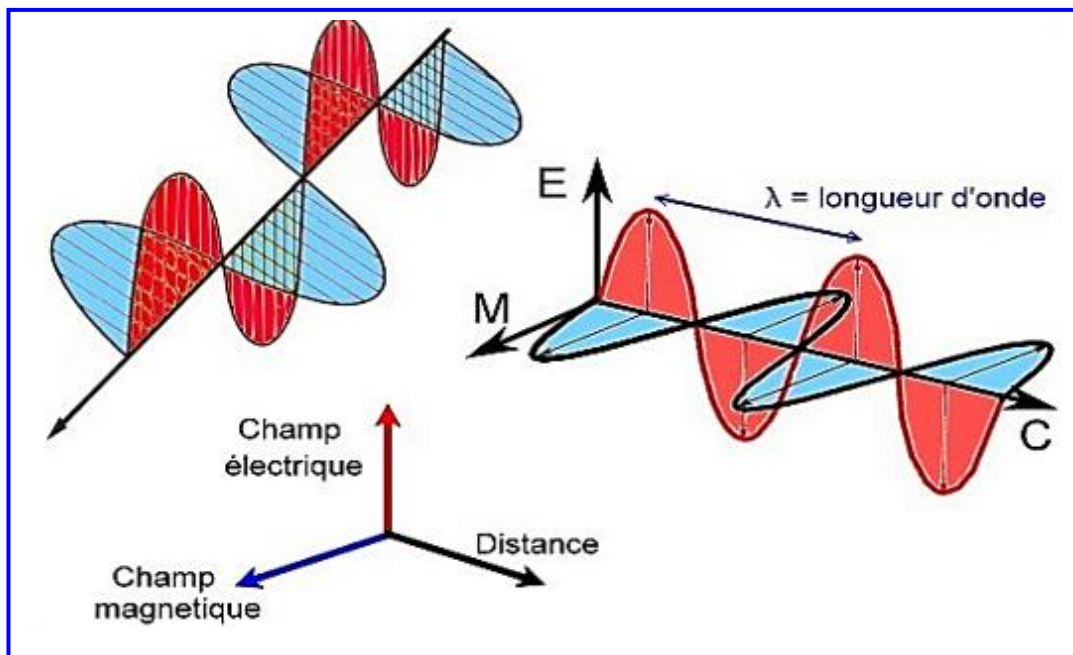


Figure1.5. Rayonnement électromagnétique (REM)

2) Spectre et longueur d'onde :

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence. On distingue:

- Les rayons gamma (10^{-6} à 10^{-4} mm)
- Les rayons X (10^{-4} à 10^{-2} mm)
- L'ultraviolet (10^{-2} à 10^{-4} microns)
- Le spectre visible (0,4 à 0,8 mm)
- Les rayons cosmiques (moins de 10^{-4} mm)
- Les infrarouges (0,8 à 100 mm)
- Les micro-ondes et ondes radars (103 à 105 mm)
- Les ondes hertziennes (télévision) (105 à 107 mm)
- Les ondes radio et sonores (plus de 107 mm)

3) Les fenêtres utiles et leurs significations

Les fenêtres atmosphérique est une partie du spectre électromagnétique pour laquelle l'absorption par l'atmosphère terrestre est minimale.

Trois fenêtres spectrales sont principalement utilisées en télédétection spatiale :

- Le domaine du visible
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen etc ...)
- L'Hyperfréquence ou Radar

a) Le visible :

Dans les fenêtres dites du visible (0,4 à 0,8 microns), c'est la « couleur » tel que l'œil humain la détermine

➤ Longueurs d'ondes visibles

- **Violet:** 0.4 - 0.446 mm
- **Bleu:** 0.446 - 0.500 mm
- **Vert:** 0.500 - 0.578 mm
- **Jaune:** 0.578 - 0.592 mm
- **Orange:** 0.592 - 0.620 mm
- **Rouge :** 0.620 - 0.8 mm

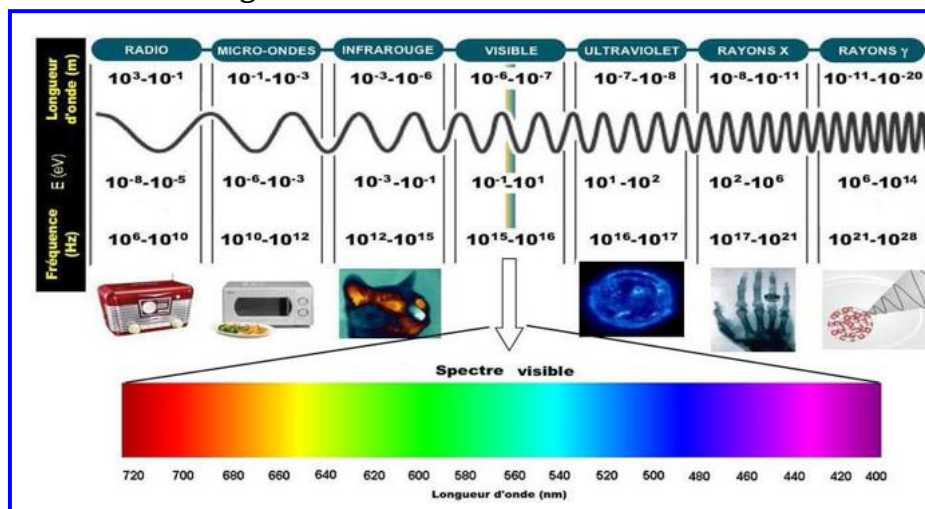


Figure1.6. Longueurs d'ondes visibles

b) L'infrarouge :

Nous touchons ici à des longueurs d'onde (0.8/100 microns) qui ne sont plus perceptibles à l'œil humain

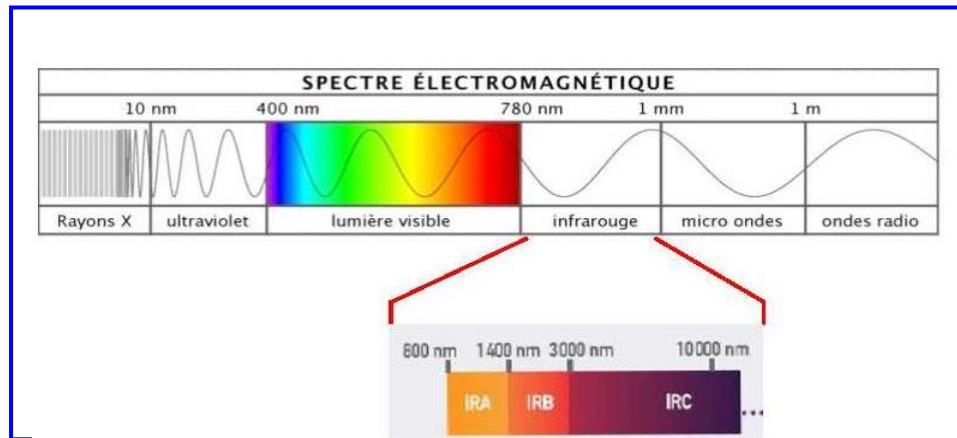


Figure1.7. Ondes infrarouges

- Le proche infrarouge (0,8 à 1,3 mm)
- Le moyen infrarouge (1,3 à 3 mm)
- L'infrarouge thermique (3 à 15 mm)
- L'infrarouge lointain (15 à 100 mm)

c) Le radar (hyperfréquences) :

Le domaine du radar s'étend de 3 mm à 1 mètre. IL couvre les fenêtres allant des infrarouges moyens aux hyperfréquences.

L'utilisation du radar permet d'observation et la détection d'objets ou de phénomènes jusqu'ici peu ou pas détectables dans les longueurs d'onde « classiques ».

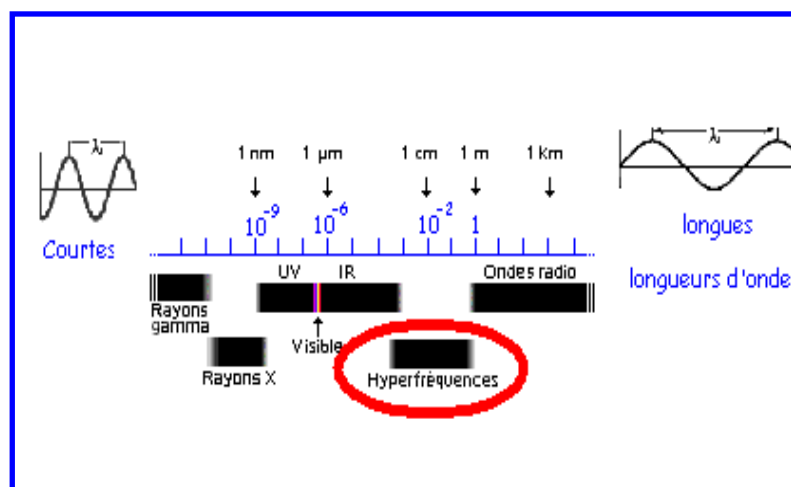
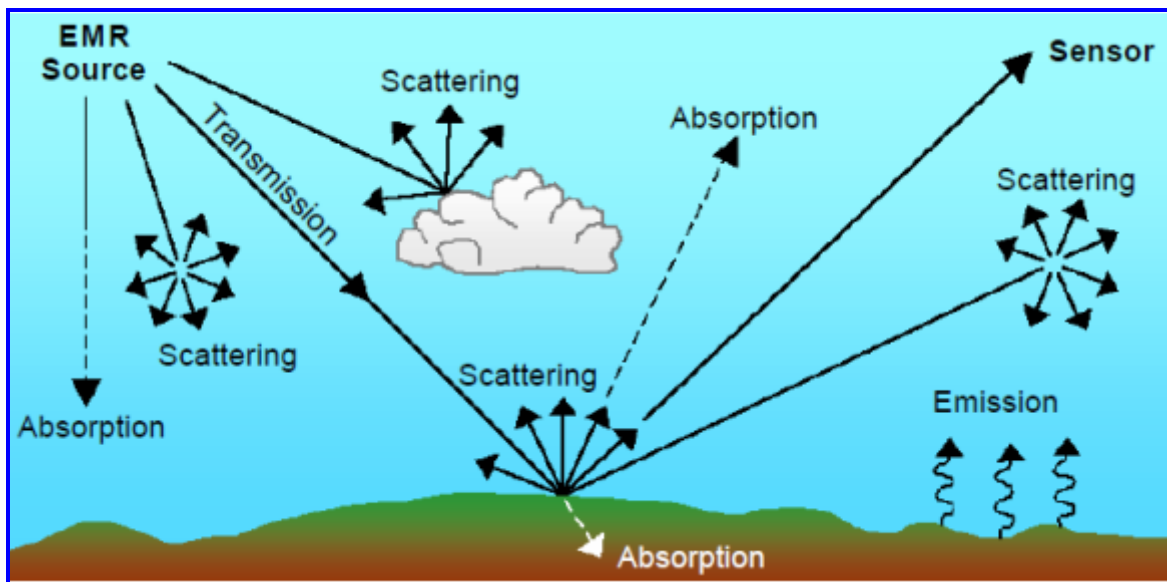


Figure1.8. Fenêtres des Hyperfréquences

4) Exemple de quelques correspondances avec les canaux satellitaires (Landsat TM) :

- Le canal **TM1** de Landsat TM correspondant à la fenêtre du bleu il mettra en évidence les objets « **bleu** » pour l'œil humain (l'océan, les lacs, rivières, etc ...).
Un objet bleu/vert comme le cèdre par exemple aura une réponse dans le canal du bleu et du vert, alors que l'œil humain aura tendance à le classer en vert
- Le canal **TM2** de Landsat TM et XS1 de SPOT mettra en évidence les objets « **verts** » pour l'œil (végétation, forêt, cultures, etc...)
- Le canal **TM3** de Landsat TM et XS2 de SPOT captera en priorité les objets **rouges**
Un objet apparaissant à l'œil dans un marron aura une réponse en partie dans la longueur d'onde du rouge.
- Le canal **TM4** de Landsat TM et XS3 de SPOT c'est Le proche infrarouge (**PIR**) correspond à la fenêtre utile pour la détection de **l'activité chlorophyllienne** et pas forcément à l'abondance de la végétation.
*Les objets « **blancs** », par définition renvoient toutes les longueurs d'onde du visible, aussi on trouve une réponse d'un objet blanc dans les canaux **bleu vert et rouge**.*
- Le canal **TM5** de Landsat TM c'est Le moyen infrarouge (**MIR**). Il est utilisé essentiellement pour évaluer la **teneur en eau** des sols et des plantes
- Le canal **TM6** de Landsat TM c'est L'infrarouge thermique (**IRT**).
Il détermine la température de surface des objets observés.
- Le canal **TM7** de Landsat TM correspond à une fenêtre spectrale couvrant le proche et le moyen infrarouge. Ce canal est peu utilisé en lui-même.

PARTIE -2-:

**LES INTERACTIONS
DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE (REM)**

1. Les Interactions du REM

1.1. Interactions avec la matière

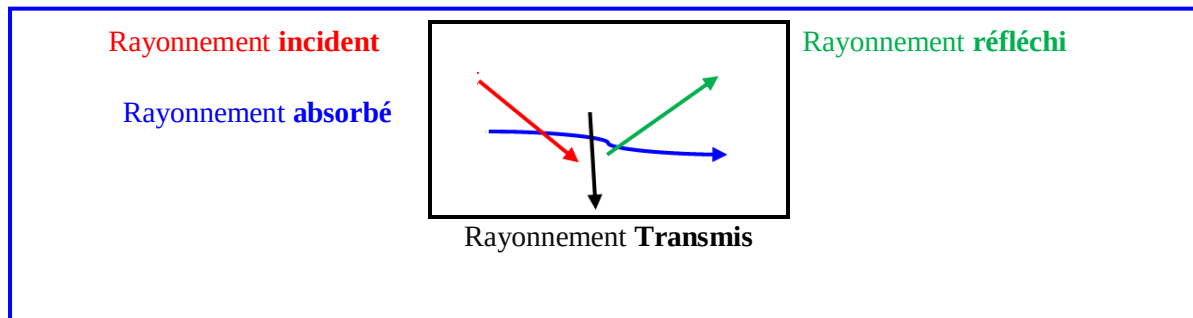


Figure2.1. Interactions du REM

1.2. Interactions avec l'atmosphère

Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Il est diffusé ou absorbé par l'atmosphère.

a) **L'absorption** survient lorsque des molécules présentes dans l'atmosphère absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde.

Exemple : les molécules d'ozone absorbent les ultraviolets, les molécules de bioxyde de carbone absorbent l'infrarouge thermique, et les molécules de vapeur d'eau absorbent une partie du rayonnement infrarouge.

b) **La diffusion** se produit lorsque des particules telles que la poussière, le pollen ou des molécules gazeuses comme l'azote, l'oxygène dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. On a trois types de diffusion :

- **La diffusion de Rayleigh :** La diffusion de Rayleigh se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement.
- **La diffusion de Mie :** La diffusion de Mie se produit lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement.
- **La diffusion non sélective :** Ce genre de diffusion se produit lorsque la taille des particules est plus grande que la longueur d'onde du rayonnement.

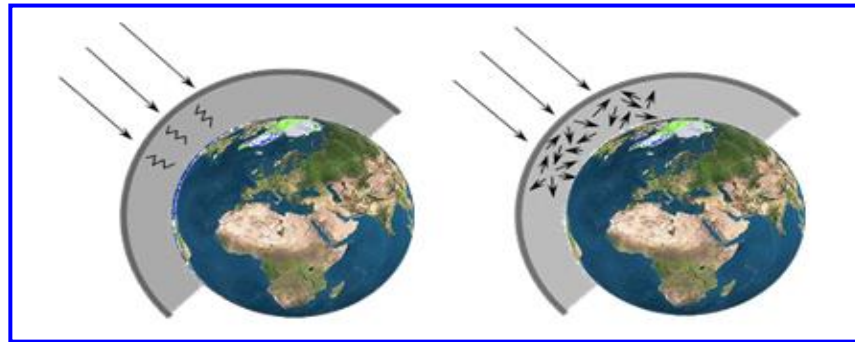


Figure2.2. *Absorption atmosphérique* *Diffusion atmosphérique*

1.3. Interactions avec la surface terrestre :

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagit avec la surface de la Terre. La surface peut l'absorber (A), le transmettre (T) ou le réfléchir (R).



Figure2.3. *Interactions avec la surface terrestre*

Remarque :

- **Absorption (A) + Réflexion (R) + Transmission (T) = 1**
- Pour un corps noir on a : $A=1$, R et $T = 0$

2. Signatures spectrales et niveaux numériques

Les objets ont des réflectances dans de nombreuses longueurs d'onde. Ils renvoient les ondes électromagnétiques émises par le soleil dans le spectre électromagnétique.

La succession de ces différentes réponses de l'objet dans une fenêtre d'ondes électromagnétiques s'appelle : **Signature Spectrale**. Cette signature est utilisée soit pour la reconnaissance d'un objet, soit pour sa classification par rapport à un groupe d'objet.

Les différentes réponses aux mécanismes d'absorption, de transmission et de réflexion sont déterminées selon la composition de la cible et la longueur d'onde du rayonnement qui lui est propre.

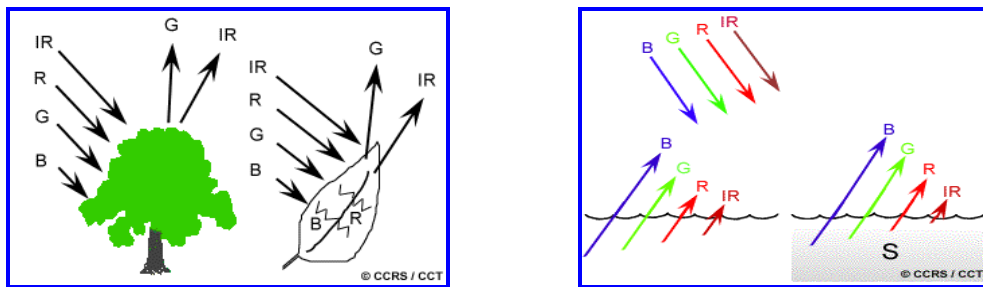


Figure 2.4. Interactions du REM : avec Les feuilles avec L'eau

2.1. Relation signature /objet :

Pour mettre en relation signature spectrale d'un objet et répartition des objets dans une image, il est nécessaire de tenir compte des paramètres suivants :

1) La date de prise de vue :

D'un point de vue végétatif, une espèce n'aura pas du tout le même type de réponse suivant la date de prise de vue.

Exemple :

Un chêne aura une *forte activité* chlorophyllienne en fin de *printemps*, et donc, *à priori*, une *forte réponse* dans le proche *infra-rouge* et une *faible* activité en *hiver* et donc une *faible réponse* toujours dans le *PIR*.

2) Le type de végétation et la succession végétale :

Une même espèce, à une même période de l'année et dans la même longueur d'onde pourra avoir plusieurs réponses spectrales au cours des années en raison des phénomènes bioclimatiques : maladies, sécheresse, âge, feux, tailles...

3) Le modelé et la topographie :

En fonction de l'éclairement solaire des espaces contenant les mêmes espèces à la même période et dans des longueurs d'ondes identiques peuvent engendrer des *réponses totalement différentes* en fonction du modelé.

4) La longueur d'onde d'observation :

Un même objet n'aura pas les mêmes réponses en fonction de la longueur d'onde étudiée.

Exemple :

Un chêne vert aura une *forte réponse* (*forte réflexion*) dans le *proche infra-rouge* Et une *faible réponse* (*forte absorption*) dans le *violet*.

5) La résolution :

La même espèce, dans la même longueur, à la même date n'aura pas forcément la même réponse spectrale à des résolutions de 10, 20, 30 ou 120m. Cela est dû à la taille de l'objet étudié, La texture des ensembles d'objets, etc...

6) Les effets atmosphériques :

Bien que, les images satellitaires sont, en général, claires et peu nuageuses, un certain nombre d'effets atmosphériques peuvent induire des déformations de la réponse initiale.

De plus, une même zone prise, par exemple, avant et après une forte pluie induit des réponses radio métriques différentes

Partie -3-

LES CAPTEURS



1 Enregistrement du signal par le capteur

L'énergie radiative provenant de la scène visée est enregistrée par la suite par des capteurs embarqués sur une plate-forme distante de la surface ou de la cible observée.

Les capteurs sont les instruments qui captent et enregistrent l'information (l'œil est un capteur). Les plates formes ou vecteurs sont les instruments ou véhicules dans lesquels sont embarqués ces capteurs

Ces plates-formes peuvent être situées près de la surface terrestre, comme par exemple au sol, dans un avion ou un ballon ; ou à l'extérieur de l'atmosphère terrestre, comme par exemple sur un véhicule spatial ou un satellite.

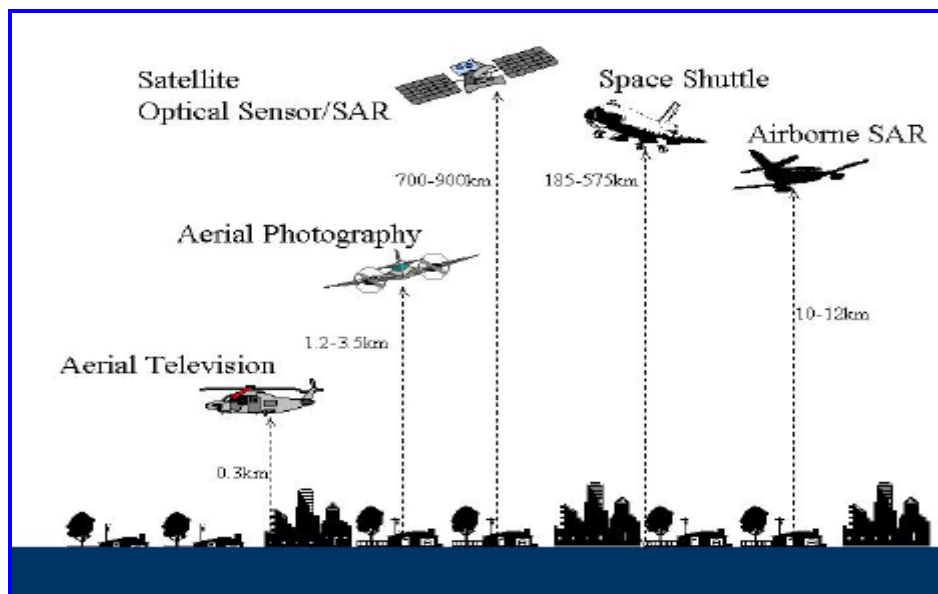


Figure3.1. Panoplie de capteurs

1 Les capteurs :

D'une manière générale, Le rayonnement émis ou réémis par la Terre et l'atmosphère sera reçu par les capteurs. Ces derniers sont définis par trois paramètres

1°/ L'ouverture angulaire :

Elle définit le champ global de l'observation, c'est-à-dire la taille de la zone ou surface observée au sol (*par exemple pour SPOT une bande passante de 60 km*).

2°/ La résolution spatiale :

Elle est la dimension de l'objet le plus petit que le capteur peut appréhender (10m et 20 m dans le cas de SPOT)

3°/ La résolution spectrale :

Elle correspond à la longueur d'onde ou au spectre du rayonnement pouvant être détecté par le capteur.

2 Types de capteurs:

A. Capteur passif:

Les capteurs passifs détectent ou captent l'énergie solaire réfléchi par la cible ou la surface.

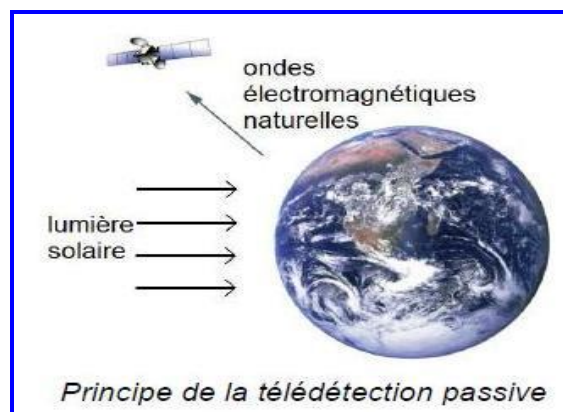


Figure3.2. Capteur passif

B. Capteur actif :

Les capteurs actifs produisent leur propre rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Ils n'ont pas besoin du soleil et ils opèrent dans la région des hyperfréquences (micro-ondes)

Les capteurs actifs ont l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.



Figure3.3. Capteur actif

3 Principes d'acquisition des données

1. Le soleil (ou une autre source) émet un rayonnement électromagnétique dans différentes longueurs d'onde, et notamment dans le visible.
2. Une partie de ce rayonnement est renvoyée vers le capteur du satellite
3. Le satellite en orbite se déplace autour de la terre selon une trajectoire prédéfinie Et il est susceptible de capter une bande de terrain parcouru
4. Le satellite possède un capteur électromagnétique qui enregistre l'information qui lui est parvenue, et balaye l'ensemble d'une ligne perpendiculairement au déplacement du satellite.
5. Le déplacement du satellite permet d'acquérir une ligne suivante et ainsi de suite jusqu'à obtention d'une image
6. Les données captées par les détecteurs sont transformées en impulsions électriques qui est soit stockées, soit renvoyées vers la terre sous forme d'ondes radio.
7. Une station de réception au sol assure le transfert de ces données en « niveaux numériques » découpe les « images » en bandes et rend la lecture possible via un logiciel de traitement d'image.

Et l'avenir des capteurs ?

L'avenir des capteurs de télédétection se décline désormais au travers de deux tendances technologiques :

❖ **Une résolution de plus en plus fine des capteurs.**

(Exemple SPOT5 à 5 m)

❖ **L'extension des spectro-radiomètres:**

Capteurs ayant un grand nombre de bandes spectrales permettant de détecter avec précision un type d'objet particulier dans des conditions strictes.

Partie -4-**SATELLITES**

1 Les vecteurs ou Plateformes:

Les capteurs sont montés sur des vecteurs appelés satellite ou vecteur ou plateforme. Ils sont composés :

- D'une charge utile qui est composé des instruments de la prise de vue.
- D'une plateforme constituée de composants permettant d'assurer le bon fonctionnement du satellite.

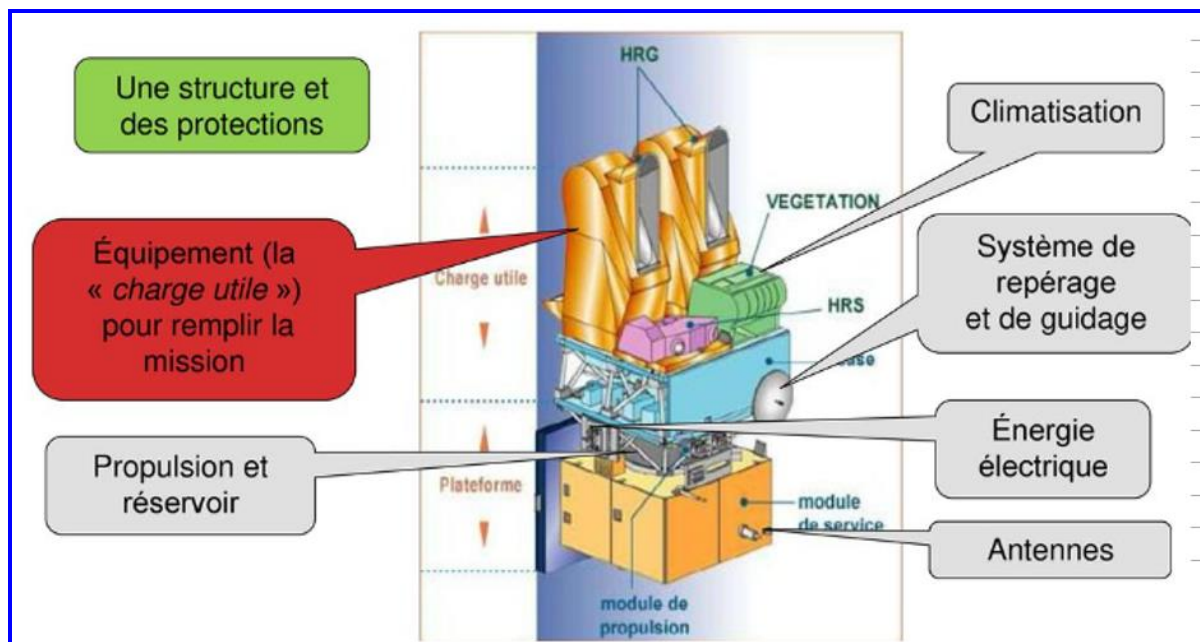


Figure4.1. Les vecteurs ou les plateformes

Les satellites sont des objets qui gravitent autour de la Terre grâce à la seule force de gravitation exercée par la Terre.

Les satellites doivent répondre à un certain nombre de critères techniques :

- **Un** mode de déplacement ou un moteur permettant de déplacer le capteur ;
- **Une** source d'énergie pour faire fonctionner l'ensemble du système et les capteurs
- **La** possibilité de stocker les informations recueillies par le capteur.
- **La** possibilité de renvoyer à la station de réception les informations fournies par le capteur.
- **Un** certain nombre de paramètres compatibles avec les capteurs (altitude, vitesse de déplacement dite de satellisation...).
- **Une** espérance de vie compatible avec les intérêts économiques mis en jeu et les préoccupations scientifiques.

2 Exemples de Plateformes:



Figure4.2. Navette spatiale

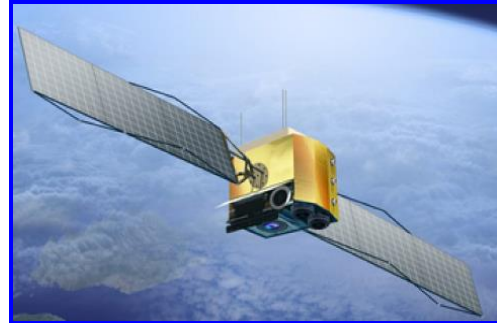


Figure4.3. Satellite



Figure4.4. Avion



Figure4.5. Capteur au sol

3 Types de satellites:

- **Les satellites géostationnaires** : situés à environ 36 000 km d'altitude, ils sont utilisés pour des thématiques de type météorologiques, climatologiques. Bon nombre de satellites de télécommunication sont aussi sur cette orbite géostationnaire, pour transmettre l'information sur un large secteur.
- **Les satellites héliosynchrones** : situés à environ 600 à 1000 km, ils passent périodiquement sur une même zone à la même heure. Ce sont les satellites les plus courant en télédétection, C'est le cas des satellites SPOT et LANDSAT.

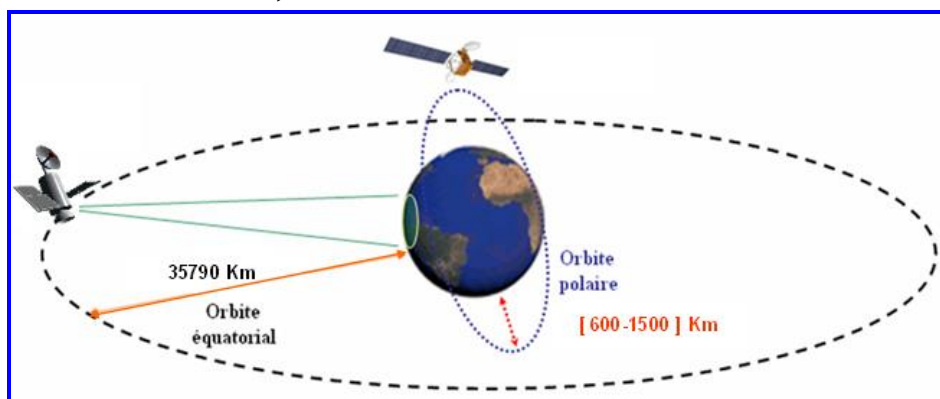


Figure4.6. Satellite

Remarque:

- Lorsqu'un satellite est en orbite autour de la Terre, le capteur "observe" une certaine partie de la surface.
- Cette surface porte le nom de couloir-couvert ou fauchée.
- La largeur d'une fauchée varie généralement entre une dizaine et une centaine de kilomètres.

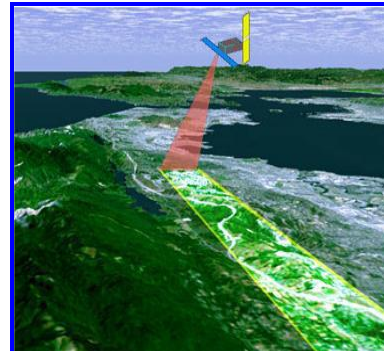
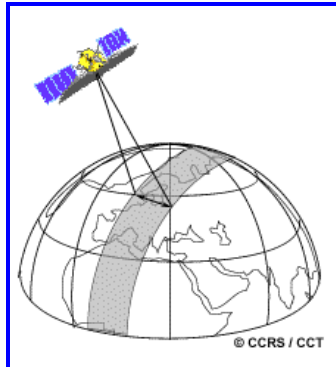


Figure4.7. Largeur d'une fauchée

4 Principaux Satellites d'Observation de la Terre:

4.1 Satellite LANDSAT TM:

- LANDSAT 1 (en 1972), LANDSAT 2 (en 1975), LANDSAT 3 (en 1978), LANDSAT 4 (en 1982), LANDSAT 5 (en 1984), LANDSAT 6 (en 1993), LANDSAT 7 (en 1999).
- Repasse au-dessus du même point tous les 16 jours

Instrument	RBV	TM
Bandes spectrales (en microns)	0.48-0.57 0.58-0.68 0.69-0.83	0.45-0.51 0.52-0.60 0.63-0.69 0.73-0.90 1.55-1.75 10.4-12.5 2.09-2.35
Résolution	bandes 1 à 6 30 x 30 m bande 7 10 x 10 m	bandes 1 à 6 30 x 30 m bande 7 10 x 10 m



Figure4.8. Satellite Landsat

Satellite	Domaine d'Application
LANDSAT TM	TM1 : Discrimination entre le sol et la végétation, cartographie côtière ; Identification des traits culturels et urbains.
	TM2 : Cartographie de la végétation verte, Identification des traits culturels et urbains.
	TM3 : Discrimination entre les espèces de plantes (absorption de chlorophylle); Identification des traits culturels et urbains.
	TM4 : Identification des types de végétation et de plantes, Délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol.
	TM5 : Sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; Discrimination entre la neige et les nuages.
	TM6 : Discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique.
	TM7 : Discrimination entre les minéraux et les types de roche, Sensible au taux d'humidité dans la végétation.

4.2 Satellite SPOT:

- SPOT signifie Système Probatoire d'Observation de la Terre.
- SPOT1 (en 1986), SPOT2 (en 1990), SPOT3 (en 1993), SPOT4 (en 1998) et SPOT5
- Il repasse au-dessus du même point tous les 26 jours.

	SPOT 1-2-3	SPOT 4
Bandes spectrales (en microns)	En multi-spectral 0.51-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89 En panchromatique 0.51-0.73	En multi-spectral 0.51-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89 1.58-1.75 En panchromatique 0.61-0.68
Résolution	En multispectral 20 x 20 m En panchromatique 10 x 10 m	En multispectral 20 x 20 m En panchromatique 10 x 10 m



Figure 4.9. Satellite SPOT

	Domaine d'Application
SPOT	Cartographie Urbaine, Foresterie, Agriculture La dérivation d'information topographique des données satellitaires (modèle numérique de terrain - MNT).

4.3 Satellite METEOSAT :

- Satellites météorologiques
- Orbite géostationnaire, au-dessus de l'équateur.
- METEOSAT 5 au-dessus de l'Océan Indien,
- METEOSAT 7 au-dessus du Golfe de Guinée

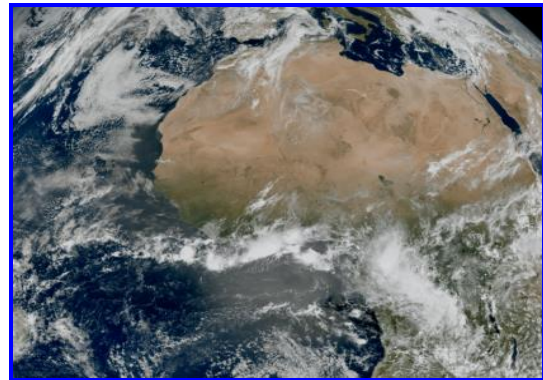


Figure4.10. Satellite METEOSAT

Instrument	METEOSAT 5 – 7
Bandes spectrales (en microns)	0.45-1.10 (visible) 10.5-12.5 (thermique) 5.7-7.1 (vapeur d'eau)
Résolution	En visible 2.5 x 2.5 km En thermique 5 x 5 km

4.4 Satellite NOAA

- NOAA signifie : National Oceanic and Atmospheric Administration,
- Satellites météorologiques et d'observation de la biosphère
- Altitude de **830 à 870 km**, Résolution de **1.1 km** au sol

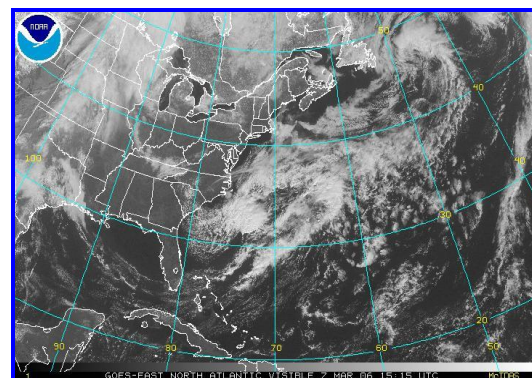


Figure4.11. Satellite NOAA

Satellite	Domaine d'Application
NOAA	C1: Surveillance des nuages, de la neige et de la glace
	C2: Surveillance de l'eau, de la végétation et des cultures
	C3: Températures de surface des océans, volcans...
	C4: Températures de surface des océans, humidité du sol
	C5: Températures de surface des océans, humidité du sol

4.5 Satellite ERS

- ERS (Europe) signifie : European Remote Sensing
- 2 satellites type radar, 1er lancé en 1991 (abandonné en 1999), 2eme lancé en juillet 1995
- Orienté sur la détection des ressources terrestres
- Mêmes caractéristiques que le satellite SPOT

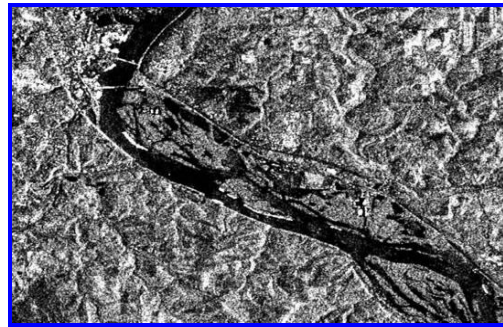


Figure4.12. Satellite ERS

4.6 Satellite GOES :

- GOES signifie : **G**eostationary **O**perational **E**nvironmental **S**atellite
- Opéré par NOAA pour la **surveillance** et la **prédiction de la météo**
- **Il a 5** bandes spectrales
- Son Orbite est géostationnaire de **36 000 km** au-dessus de l'équateur
- Sa Résolution est de **1 à 4 km**

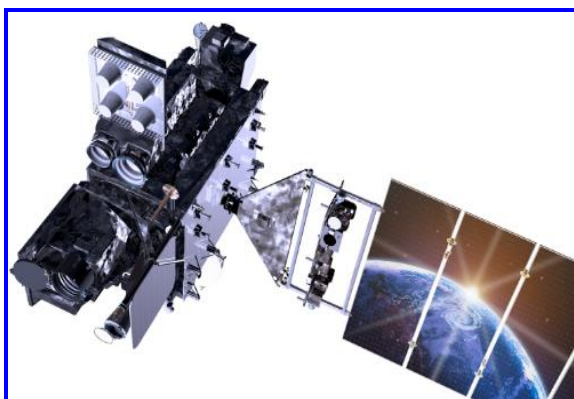


Figure4.13. : Satellite GOES

4.7 Nouveaux Satellites à haute résolution

- 1 à 5 m de résolution – tous commerciales
- IKONOS,
- Earlybird,
- QuickBird,
- SPIN-2,
- Orbview-3
- Corona



Figure4.14. Satellite a haute résolution

4.8 Conclusion

Enfin, il existe un certain nombre de satellites sur des orbites très basses avec des espérances de vie faibles en raison des frottements dans l'atmosphère et des capacités d'observation très poussées.

Partie -5-

LES RADARS



1 Introduction

RADAR est un acronyme pour **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging.

Radar veut dire détection et télémétrie par ondes radio. Les radars transmettent vers la cible un signal radio dans les hyperfréquences et détectent la partie rétrodiffusée du signal.

L'intensité du signal rétrodiffusé est mesurée pour discerner les différentes cibles. Le délai entre la transmission et la Réception du signal sert à déterminer la distance (**ou la portée**) de la cible.

2 L'image RADAR

Les images radar ressemblent à des photos aériennes noires et blanches. Les tons de gris correspondent à la quantité de rayonnement radar qui est retro diffusée au capteur

La brillance d'un élément sur une image radar est fonction de la portion de l'énergie transmise qui retourne au radar à partir de la cible à la surface. Plus il y a retour d'énergie plus les cibles seront pâles sur l'image.

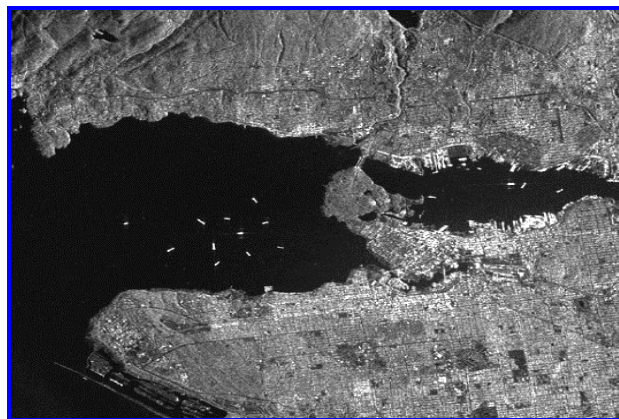


Figure5.4. Image RADAR

3 La réflexion RADAR

Il y a trois principaux types de réflexion:

- Réflexion spéculaire
- Réflexion diffuse
- Réflecteur en coin

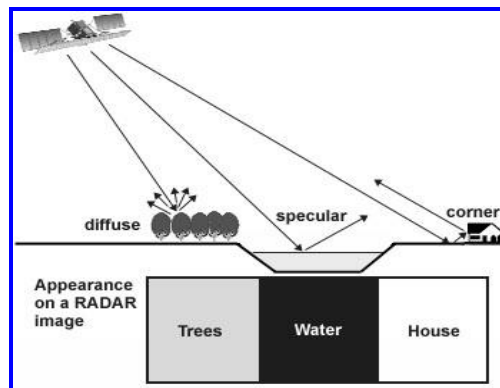


Figure5.5. La réflexion RADAR

4 Types de Capteurs RADAR :

- 1978 **SEASAT** - NASA, A été en orbite que quelques mois



- 1991-95 **ERS-1** – ESA (satellite européen), 30 mètres de résolution
- 1994 **ERS-2** - ESA, 30 mètres de résolution



- 1992 **JERS-1** - Japon, 18 mètres de résolution

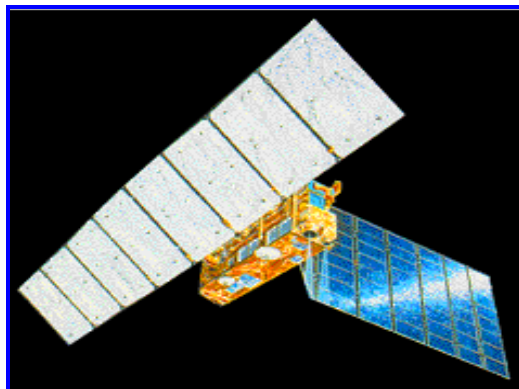


Figure5.6. : Types RADAR

5 Avantages Du Radar :

- IL a sa propre source de rayonnement pour illuminer la cible donc acquisition d'images en tout temps.
- IL Passe au travers de la couche nuageuse, de la poussière et de la pluie fine donc acquisition d'images sous toutes les conditions de jour comme de nuit.
- IL Permet une bonne vision de la topographie
- IL est Sensible à la rugosité du terrain
- IL Fournit des informations sur le taux d'humidité d'une cible.

6 Inconvénients Du Radar :

- La distorsion due à l'échelle oblique se produit parce que le radar mesure la distance des objets obliquement au lieu de mesurer la vraie distance horizontale au sol.
- Le chatoiement radar se manifeste comme une texture poivre et sel sur les images.
Perte considérable de données en régions montagneuses due à l'ombrage et au déplacement du relief

Partie -6-

LES IMAGES SATELLITAIRES



1 Généralité sur l'imagerie:

Une image est un support d'information. Elle présente les éléments d'une scène qui a été captée, soit par un appareil photographique, soit par un satellite. Les images de télédétection sont généralement issues de capteurs. **Figure 6.1**

Mathématiquement parlant, une image est une application F d'un sous ensemble :

$$(M \times N) \text{ de } (R \times R) \text{ vers l'ensemble des réels } (R), \text{ qui, à chaque couple de réels } (i,j) \text{ associe le réel } f(i,j). \quad F : (M \times N) \rightarrow R$$

$$(i,j) \rightarrow f(i,j).$$

Le sous ensemble $(M \times N)$ est constitué de couples d'entiers (i,j) tels que :

$$i \in [0,1,\dots,C_p] \text{ et } j \in [0,1,\dots,L_n],$$

Une image numérique est à la base un tableau à deux dimensions de l'image numérique, **C_p** et **L_n** représentent les dimensions de l'image numérique.

- **C_p** est le nombre de colonnes de l'image et
- **L_n** est le nombre de lignes de l'image.

La plupart des images utilisées en télédétection ont des niveaux de gris variant entre 0 et 255

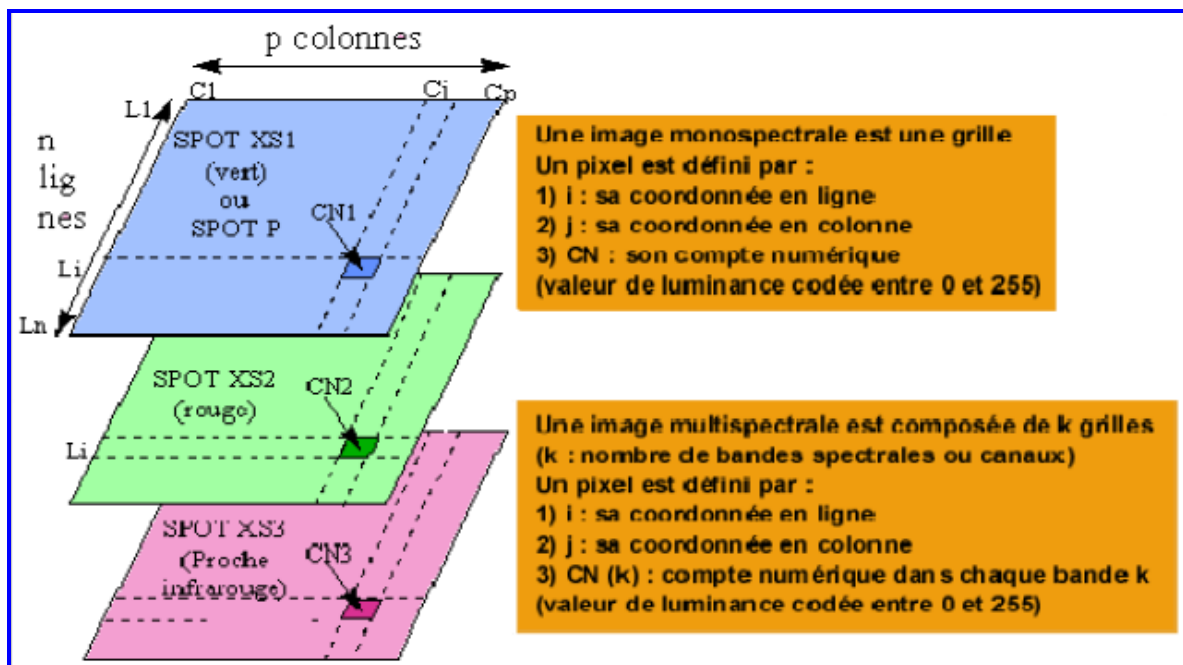


Figure 6.1. Structure d'une image satellite (cas d'une image SPOT XS multispectrales)

2 Mode De Représentation Des Images

- ❖ Une image est une représentation pictorielle obtenue dans n'importe quelle partie du spectre électromagnétique.
- ❖ L'image est un tableau bidimensionnel de mesures radiométriques. Le fichier qui contient l'image est une simple succession d'octets.
- ❖ La manière dont ces octets sont réorganisés, spécifie le format de l'image (JPEG GIF EPS BITMAP...).

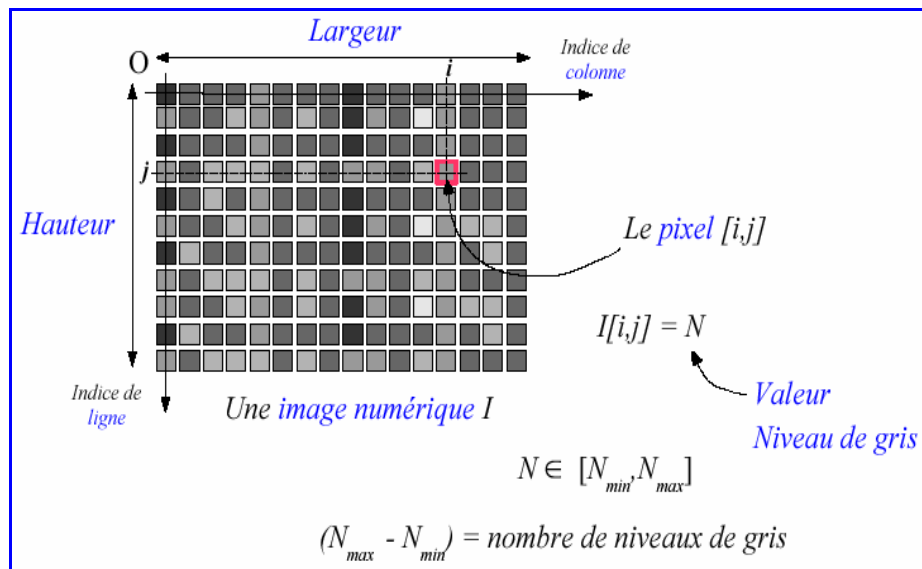


Figure6.2. : Mode de représentation des images

- ❖ Une image affiche généralement des données en format 8, 16 ou 32 bits. Le bit réfère aux niveaux exponentiels des composés binaires.
Exemple : 8 bit = 2^8 ou 256 niveaux de gris.
La valeur "0" correspond à du noir et "255" correspond à du blanc.
- ❖ Le résultat de cette représentation est une image numérique dont le volume en octet est :

Volume = nombre de ligne x nombre de colonne x nombre de canaux x nombre d'octets par pixel

3 La réalisation de l'image satellitaire

- Une image satellitaire est constituée de nombreux carrés appelés pixels.
- Le pixel représente la plus petite unité figurant sur une image satellitaire.
- Chaque pixel d'une image possède une valeur correspondant à l'intensité du rayonnement réfléchi par l'objet observé dans la gamme de longueur d'ondes auxquelles le capteur est sensible.
- Les pixels fournissent toute l'information qui constitue l'image dans son intégralité.

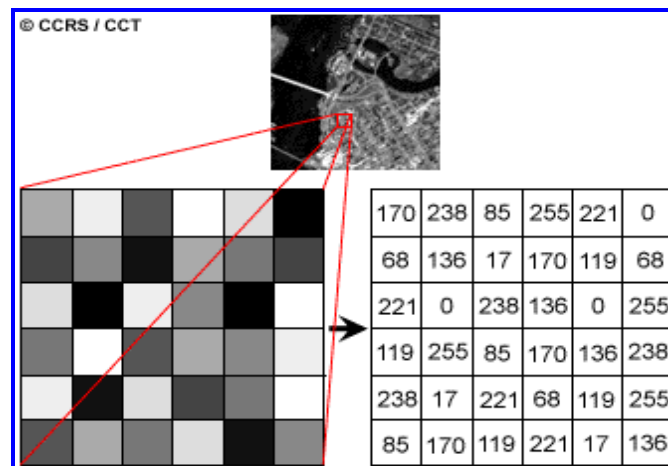


Figure6.3.

Image satellitaire

4 Résolution D'une Image:

La résolution d'une image est déterminée par la plus petite surface que le satellite peut détecter au sol, nommé **un PIXEL**. Plus on augmente la résolution, plus la superficie couverte par l'image est petite. Donc, ce qu'on gagne en précision, on le perd dans la vue d'ensemble.

5 Types de résolution :

- **La résolution spatiale:**

En télédétection, on ne parle pas d'échelle comme pour une photo aérienne, mais de résolution spatiale, qui donne la précision des images.

- **La résolution spectrale:**

La résolution spectrale indique le nombre de bandes spectrales dans lesquelles le capteur peut capturer radiations

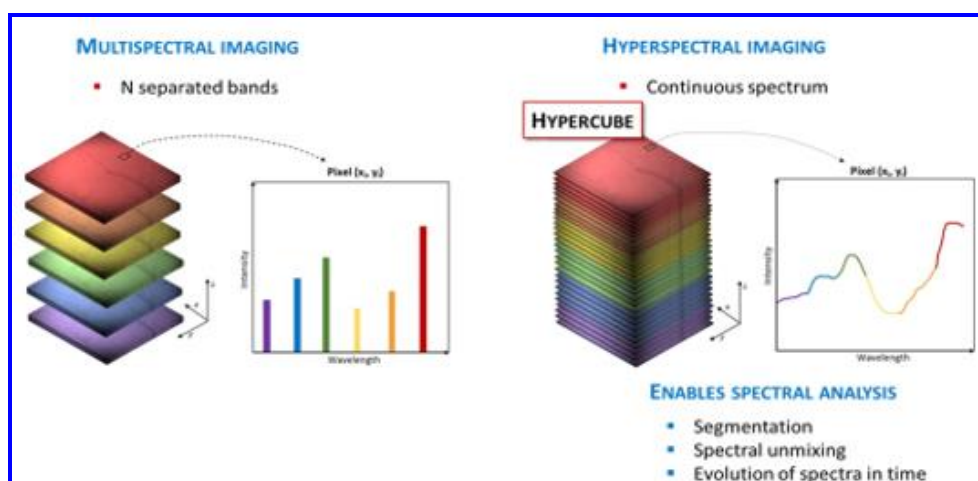


Figure6.4.

Résolution spectrale

- **La résolution radiométrique**

La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité à reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique

- **La résolution temporelle:**

La résolution temporelle précise la fréquence de révision du satellite pour un emplacement spécifique en fonction de la latitude et de la largeur du swath.

6 Manipulation de l'image satellitaire

Pour pouvoir traiter des données satellitaires il est nécessaire de retranscrire les informations issues des capteurs sous une forme intelligible et conviviale représentant l'image satellitaire.

La station au sol enregistre sur bande magnétique à haute densité (HDT), les données reçues correspondent à chaque trace observée.

On procède par la suite à une mise en forme de ces documents. C'est une opération qui a pour but de les mettre à la disposition des utilisateurs.

La manipulation des images satellitaires numériques suppose non seulement une connaissance en amont de la nature des documents, mais aussi une connaissance en traitement informatisé de l'imagerie numérique. C'est l'analyse et le traitement d'image.

La figure suivante illustre les étapes par lesquelles passent le traitement et l'analyse d'image.

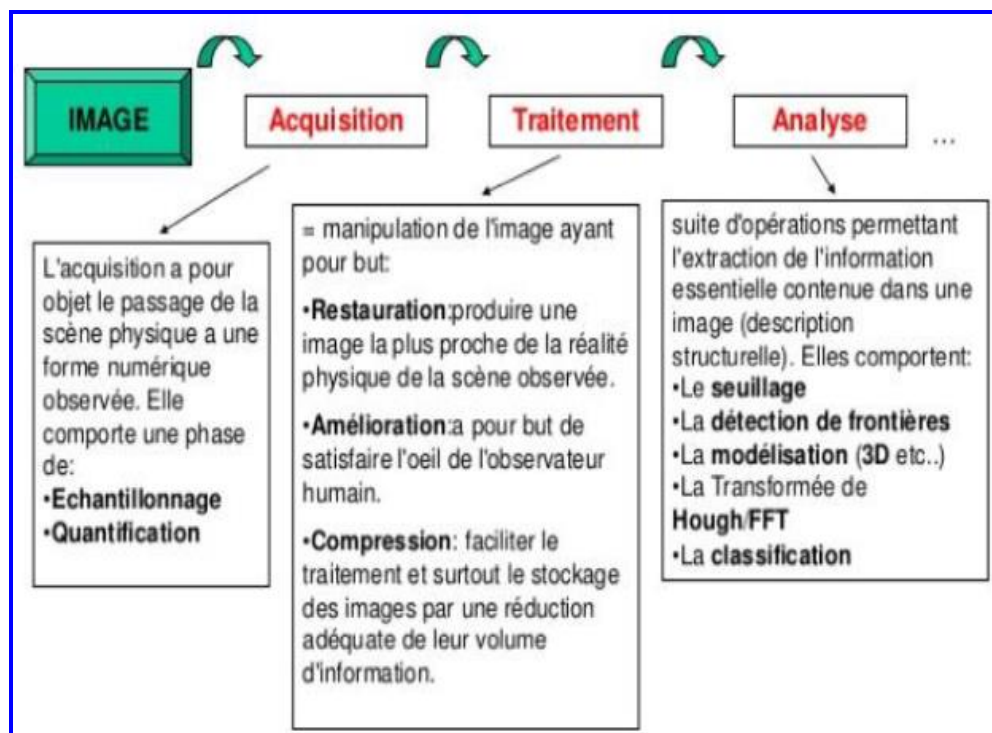


Figure6.5. Manipulation d'une image satellitaire

7 Technique de traitement numérique d'image :

Pour tirer avantage des données de télédétection, il faut être en mesure d'extraire de l'information significative de l'imagerie.

L'interprétation et l'analyse de l'imagerie de télédétection ont pour but d'identifier et de mesurer différentes cibles dans une image pour pouvoir en extraire l'information utile.

Il existe plusieurs fonctions de traitement d'images on peut citer :

- Prétraitement
- Rehaussement de l'image
- Classification et analyse de l'image

7.1 Techniques de prétraitement d'images satellitaires :

Ce sont des opérations effectuées sur les images en amont de toute analyse ou extraction d'information. Les images de télédétection nécessitent un certain nombre de corrections réalisées soit directement par les distributeurs, soit par les utilisateurs. On a deux types :

- Corrections Radiométriques
- Corrections Géométriques

7.1.1 Corrections radiométriques :

Un certain nombre de "bruits radiométriques" peuvent être présents sur l'image en raison soit de déficiences des capteurs, soit de problèmes de transmission des données, soit enfin d'interprétation (codage/décodage).

Ces corrections radiométriques sont réalisées directement à la réception de l'image par réaffectation de codes correspondants aux pixels voisins du ou des points défectueux.

Corrections radiométriques



Elles consistent à réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique au plus proche possible de celle mesurée sur le terrain.

7.1.2 Corrections géométriques :

Les effets des mouvements du satellite, les déformations dans les périphéries de l'image sont autant de facteur rendant nécessaire une correction géométrique de l'image afin de la rendre superposable soit à des cartes, soit à d'autres images sous des coordonnées communes.

Ces corrections peuvent être réalisées par le distributeur, mais aussi par l'utilisateur directement sous logiciel de traitement d'image.

Corrections géométriques



Le processus consiste à identifier différentes coordonnées de l'image et à les assortir à leurs coordonnées au sol

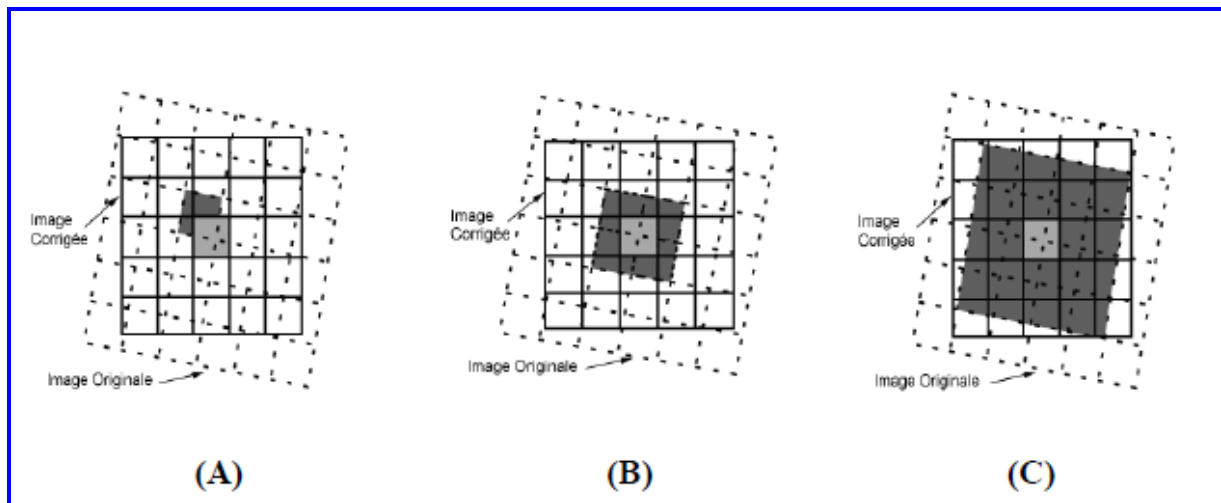


Figure 6.6.

Correction géométrique

7.1.3 Le rehaussement du contraste

Le rehaussement du contraste a pour but :

1. Amélioration de l'apparence de l'imagerie pour aider l'interprétation et l'analyse visuelles.
2. Les fonctions de rehaussement permettent l'étirement des contrastes pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène.

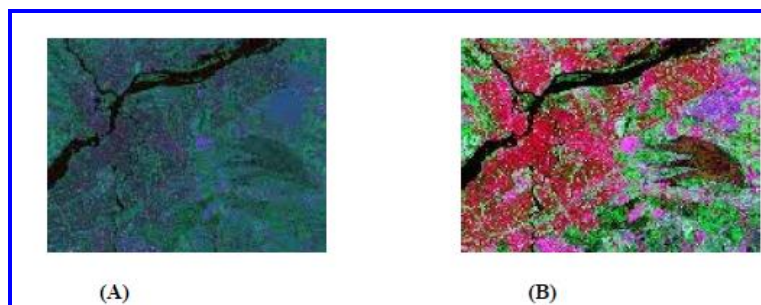


Figure 6.7.

Améliorer l'apparence de l'imagerie

7.1.4 La Composition colorée

La composition colorée de l'image combine plusieurs bandes de données multi spectrales ou multi temporelles pour former une "nouvelle" image. Cette image montre plus clairement certains éléments de la scène.

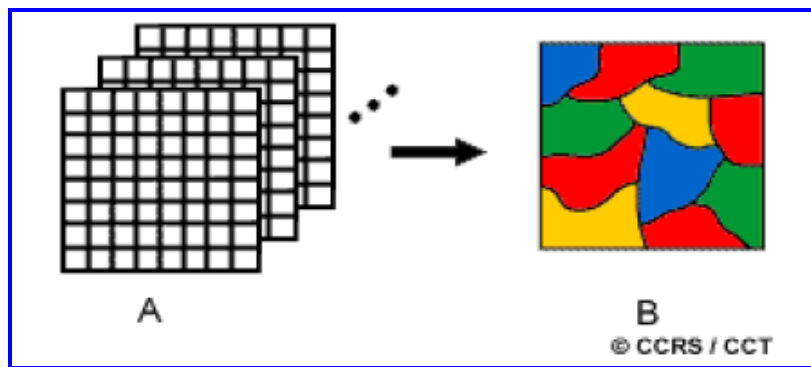


Figure 6.8.

Classification d'images

On associe aux trois couleurs fondamentales (Rouge, Vert et Bleu ou RVB) trois images satellitaires dont la superposition, construira une composition colorée autrement dit une image en couleur.

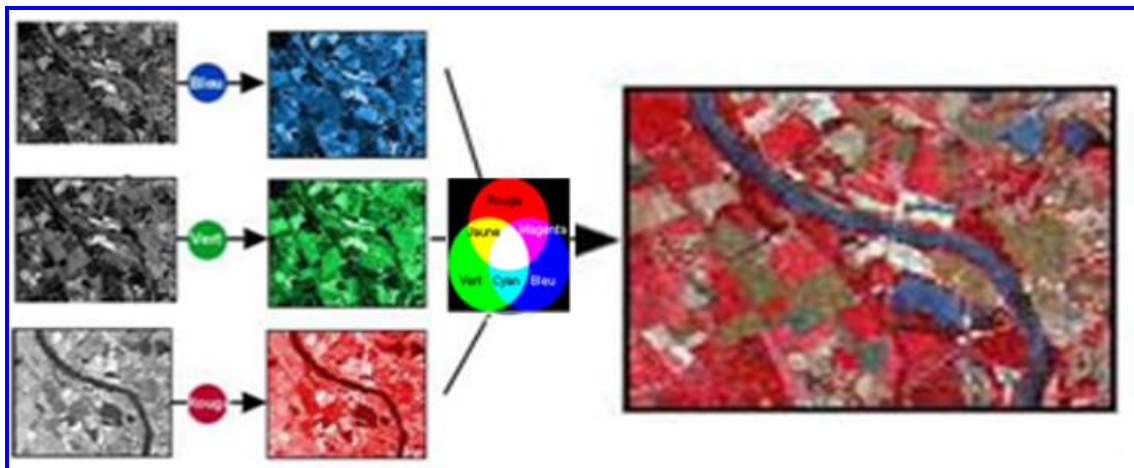


Figure 6.9. Composition colorée

8 Techniques de traitement d'images satellitaires

Le traitement des images satellitaire, ou de l'image en général, est un domaine en continuel développement. Afin d'améliorer l'aspect visuel de l'image et d'en extraire des informations jugées pertinentes, différents traitements numériques ont été proposés.

Parmi ces traitements on cite le Rehaussement de l'image, la Transformation de l'image, la segmentation, Classification, etc... Dans ce qui suit-on donne un aperçu sur la classification

9 La classification:

La classification consiste à regrouper des objets en un ensemble fini de catégories ou de classes, selon un ou plusieurs critères de similarité ou de similitude à l'aide d'un classifieur.

En télédétection, les objets à classer dans une image, peuvent être ponctuel (pixels) dans le cas des images à moyenne et à haute résolution spatiale ou structurel (segments) dans le cas des images à très haute résolution spatiale.

Les critères de similarité (couleur, texture, forme) dépendent de la nature des objets à classer et de l'application envisagée. On distingue deux types de classification :

La classification supervisée et la classification non supervisée

9.1 Classification supervisée ou dirigée

Ces sont des méthodes dans lesquelles les classes sont connues à priori avant d'effectuer l'opération d'identification des éléments de l'image.

Les algorithmes cités dans la littérature pour cette catégorie sont Maximum de vraisemblance

9.2 Classification non supervisée ou non dirigée

Elle vise à séparer automatiquement l'image en clusters sans aucune connaissance à priori sur les classes. Elle se base sur une mesure de distance entre les vecteurs d'attributs.

Les algorithmes les plus fréquemment cités dans la littérature pour cette catégorie sont K-means, Isodata.

Exemple de classification.

- La donnée est une image multi-spectrale composée de trois bandes.
- Le critère de similarité est le vecteur couleur
- Le classifieur est l'algorithme k-moyennes avec cinq classes.



Figure6.10. Exemple de classification

10 Conclusion:

Un des principaux buts de la télédétection est l'extraction des informations significatives de l'image ; afin de les appliquer dans différents domaines d'application.

QUESTIONS DE COURS

Partie I :

- Q1.** Donnez la définition exacte de la télédétection.
- Q2.** Donnez le schéma du processus de la télédétection et expliquez le principe de son fonctionnement.
- Q3.** Donner la définition de la signature spectrale
- Q4.** Citer les aspects de la télédétection
- Q5.** Y a-t-il une différence entre l'interaction REM-ATMOSPHERE et celle du REM- MATIERE. Justifier votre réponse.
- Q6.** Donnez les caractéristiques d'un capteur
- Q7.** Y a-t-il une équivalence entre une image numérique et une image analogique ? Justifiez votre réponse.
- Q8.** Citez trois types de satellites à votre choix
- Q9.** Citez quatre domaines d'application de la télédétection.
- Q10.** Une image radar couvre un territoire de 100 km x 100 km avec un pixel de 12,5m x 12,5 m au sol. L'échelle de gris est de 16 bits. Si le disque dur de votre ordinateur possède 100 Mo de libres, est-ce que vous pouvez emmagasiner cette image?

TRAVAUX PRATIQUES DE TRAITEMENT D'IMAGES NUMÉRIQUES « TÉLÉDÉTECTION »

Avant-propos

Ce manuel contient des exercices à réaliser pendant les séances de travaux pratiques de traitement d'images satellitaires, ces tps permettent de présenter les fondements du domaine du traitement, d'analyse d'images, plus particulièrement sur les techniques appliquées sur les images satellitaires.

TRAVAUX PRATIQUES:

Dans le cadre de ce TP, vous serez initié à la pratique de la télédétection. En particulier, à la fin de ce TP, vous serez capable de réaliser les opérations suivantes :

- Lire et afficher une image : (binaire, en niveau de gris, image satellitaire)
- Enregistrer une image
- Etirement et égalisation d'histogramme.
- Filtrage de bruit. Amélioration et restauration d'une image bruitée
- Détection de contours
- Classification

A la fin de chaque séance, il y a un compte-rendu à rendre. Ce compte-rendu est à envoyer par E-mail sous format pdf.

Environnement de travail :

Nous utiliserons un environnement de calcul numérique matriciel sous Windows. Cet environnement nommé MATLAB.

MATLAB est l'abréviation de MATrixLABoratory. C'est un logiciel pour le calcul numérique et la visualisation optimisé pour le calcul matriciel. Il peut être considéré comme un langage de programmation, il dispose d'une syntaxe spécifique mais elle est simple et intuitive.

Après le lancement de Matlab, une fenêtre de commande apparaît qui permet à l'utilisateur de taper une commande.

MATLAB est un interpréteur, les instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne. ">>" symbole/prompt apparaissant à gauche et indiquant que l'interpréteur est prêt à recevoir une commande.

Les variables définies par l'utilisateur sont rangées dans l'espace mémoire de Matlab, ces variables sont dites globales.

Le "Workspace browser" permet d'observer les variables existantes. Matlab permet d'ouvrir, de créer, de modifier etc... des fichiers.

Matlab sauvegarde tous les fichiers créés dans le répertoire par défaut qu'il est possible de modifier à l'aide de la commande "cd" ou en lançant le "path browser".

Une image Matlab est une matrice bidimensionnelle de valeurs entières ou réelles. Les principales fonctions de traitement d'images sous Matlab se trouvent dans la boîte à outils (toolbox) image processing.

TP N°1

Nous utiliserons MATLAB. C'est un très bon outil pour la validation de méthodes de traitement d'images. Matlab est capable de lire les fichiers images JPEG, TIFF, BMP , PNG, HDF,PCX, XWD. Une image sous Matlab est représentée sous forme d'une matrice.

Avant de traiter une image il faut la lire et décoder son format afin de la transformer en une matrice de valeurs.

➤ Travail pratique 1 : (Lire et Afficher une image binaire)

Une image binaire est formée de 0 et de 1, en mémoire elle est stockée sous la forme d'une matrice dont les composantes sont 0 ou 1.

Dans cet exercice Matlab permet de lire une image de type PNG de la décoder dans la variable `im1` et de l'afficher à l'écran dans une figure

```
im1=imshow('text.png');  
figure(1); imshow(im1);
```

Dans cet exemple `im1` indique qu'en mémoire est stockée une matrice dont les composantes sont 0 ou 1. Le fait qu'il n'y ait que deux valeurs est la raison pour laquelle on appelle cela une image binaire

Exercice:

- A votre avis quel serait le contenu de chaque case de l'image?
- Quel est alors le nombre de couleurs dans ce cas?
- Quelle est alors la qualité de l'image dans ce cas?

Réponse:

- Le contenu de chaque case de la matrice est soit un 0 (noir) soit 1 (blanc).
- Le nombre de couleurs n'est que de 2
- Le rendu de l'image le moins performant, mais parfois suffisant dans le cadre par exemple de documents scripturaux.

TP N°2

Travail pratique 2 : (Lire une image en niveau de gris)

Les images en niveaux de gris permettent d'afficher des images qui contiennent différentes teintes entre le noir et le blanc.

Le codage dit en niveaux de gris permet d'obtenir plus de nuances que le simple noir et blanc.

Une image en niveau de gris contient différentes teintes entre le noir et le blanc. Elle est mémorisée sous la forme d'une matrice dont les composantes peuvent des entiers entre 0 et 255.

```
im2=imread('trees.tif');  
figure(1); imshow(im2);
```

Elles sont mémorisées sous la forme d'une matrice dont les composantes peuvent des entiers entre 0 et 255.

Dans cet exercice Matlab permet de lire une image de type TIF de la décoder dans la variable im2 et de l'afficher à l'écran dans une figure.

Les commandes suivantes permettent d'afficher une courbe des les valeurs prises sont les valeurs des pixels de l'image lorsqu'on parcourt cette image de haut en bas puis de gauche vers la droite.

```
val=im2(:);  
figure(1); plot(val);
```

Les images en niveaux de gris peuvent aussi être composées de réels entre 0 et 1.

```
im2Bis=double(im2)/255;  
figure(1); imshow(im2Bis);  
val=im2Bis(:);  
figure(2); plot(val);
```

Exercice:

- A votre avis quel serait le contenu de chaque case de l'image?
- Quel est alors le nombre de couleurs dans ce cas?
- Comment évolue le « contenu » de l'image avec le nombre de couleurs?

Réponse:

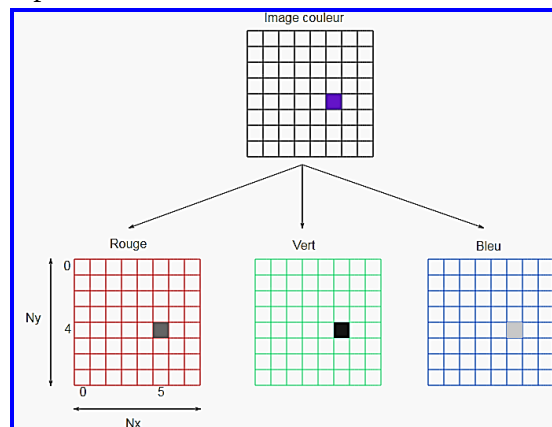
- des valeurs variant de 0 à 255
- 256 couleurs (Niveaux de gris)
- Plus le niveau de gris est élevé, meilleur est la distinction des détails sur l'image.

TP N°3

➤ Travail pratique 3 : (Lire une image en couleur)

Une image couleur est en réalité composée de trois images, afin de représenter le rouge, le vert, et le bleu. Chacune de ces trois images s'appelle un canal. Cette représentation en rouge, vert et bleu mime le fonctionnement du système visuel humain.

Chaque pixel de l'image couleur contient ainsi trois nombres (r,v,b), chacun étant un nombre entier entre 0 et 255. Si le pixel est égal à (r,v,b)=(255,0,0), il ne contient que de l'information rouge, et est affiché comme du rouge. De façon similaire, les pixels valant (0,255,0) et (0,0,255) sont respectivement affichés vert et bleu.



Une image couleur

Les images colorées sont parfois mémorisées sous la forme d'un tableau de chiffres chaque chiffre correspondant à un index dans une table de couleurs.

```
img=imread('sat.tif');
figure;imshow(img);
axis on
colorbar
```

Dans cet exercice Matlab permet de lire une image de type TIF de la décoder dans la variable `img` de l'afficher à l'écran dans une figure. La commande `axis('image')` rend l'image affichée carrée. L'appel à `axis on` permet d'afficher des graduations des axes. `colorbar` permet d'afficher la barre des couleurs de l'image.

Exercice :

Dans le cas du codage RGB, le principe consiste à mélanger les 3 couleurs : rouge, vert et bleu. A l'aide de ces 3 couleurs, on obtient toute une palette de nuances allant du noir au blanc. A chaque couleur est associé un octet (donc 256 niveaux de luminosité) de chacune des couleurs fondamentales. Un pixel 'couleur' est alors codé avec 3 octets.

- Quel est le nombre de couleurs que l'on peut obtenir dans ce cas-là?

TP N°4

Travail pratique 4 : Résolution d'une image

La résolution de l'image est le nombre de pixels par unité de longueur. Elle s'exprime en dpi (dot per inch).

Exercice : une image de taille 21 x 27 est numérisé avec une résolution de 300 dpi. Donnez le nombre de pixels par ligne et par colonne, ainsi que sa taille.

Réponse :

1- nombre de pixels par ligne : $21 \times 300 / 2,54 = 2480$ pixels

2- nombre de pixels par colonne : $27 \times 300 / 2,54 = 3188$ pixels

3- taille de l'image : $2480 \times 3188 = 7906240$ pixels

Remarque:

Pour choisir la bonne résolution, il faut connaître l'utilisation de l'image :

- Est-elle destinée à être simplement visualisée
- Doit-elle servir pour des mesures scientifiques ?
- Sera-t-elle vue sur un écran d'ordinateur personnel ou dans une salle de cinéma ?
- La qualité de l'image est-elle primordiale pour l'application visée ou une qualité limitée suffit-elle?

TP N°5

Travail pratique 5 : Exportation d'images

Matlab autorise l'exportation d'images sous divers formats, la commande qui permet de sauvegarder une figure est **print –dFORMAT fichier**.

On affiche une image dans une figure et grâce à la commande **print** on exporte le résultat dans le format (JPEG, TIFF, BMP , PNG, HDF,PCX, XWD.) avec un nom de fichier.

Lors de son enregistrement une image est stockée suivant un format d'image précis. Ce format doit permettre de stocker l'information de l'image avec un minimum de perte d'informations. Il existe ainsi différents formats qui pourront favoriser soit la conservation de la qualité soit la diminution de la taille du fichier informatique.

Le tableau suivant donne les principales caractéristiques des principaux standards utilisés.

Format	Type	Compression données	Nombre couleurs	Affichage progressif	Usage
BMP	Matriciel	non	2 à 16 M	non	Image non dégradée; Taille fichier importante
JPG	Matriciel	oui	16 M	oui	Taux de compression réglable ; Perte de qualité.
GIF	Matriciel	oui	2 à 256 couleurs	oui	Pas de perte de qualité ; Usage pour Internet.
TIFF	Matriciel	oui	16 M	non	Pas d'usage Internet
SVG	Vectériel	oui	16 M	non	Usage cartographie, animations

TP N°6

Travail pratique 6 : (Lire une image satellitaire)

Vous allez travailler sur une image satellitaire. Afin de réaliser une coloration, sélectionnez trois bandes de l'image satellitaire. Ces dernières doivent apparaître dans une nouvelle fenêtre de visualisation.

Il s'agit d'une « composition fausses couleurs » si les longueurs d'ondes que vous avez attribuées aux 3 canaux RGB, ne correspondent pas à ces 3 couleurs. Les couleurs apparaissant à l'écran ne correspondent pas aux couleurs réelles de la scène observée.

Ouvrez maintenant une « composition vrais couleurs » de cette même image. Quelle bande TM choisissez-vous pour les 3 canaux RGB ?

TP N°7

Travail pratique 7 : Quelques fonctions sous Matlab

Matlab offre une possibilité d'afficher plusieurs images dans la même figure ; grâce à la commande **subplot** nous pouvons réaliser ça.

Pour fermer une figure sous Matlab on tape **close**, pour fermer toutes les figures on utilise la commande **all**.

Afin de sélectionner une figure, on demande l'affichage de celle-ci à l'aide de la commande **figure** qui prend en paramètre le numéro de la figure.

TP N°8

Travail pratique 8 : (LUT, étirement et égalisation d'histogrammes)

L'histogramme d'une image donne la répartition de ses niveaux de gris. Ainsi pour une image qui possède 256 niveaux de gris, l'histogramme représente le niveau de gris en fonction du nombre de pixels à ce niveau de gris dans l'image.

Sous Matlab, il est possible de créer ses propres **LUT** et de les appliquer aux images, à l'aide de la fonction **colormap**. Les valeurs de la LUT doivent cependant être normalisées sur l'intervalle $[0, 1]$.

- Appliquer cette LUT à une image satellitaire.

Pour appliquer une LUT à l'image affichée. Utiliser la LUT créée comme paramètre de la fonction **colormap** de Matlab pour **afficher** l'image en couleurs.

1) Étirement / linéarisation d'histogramme ou expansion de la dynamique

- a. Créer la **fonction** « **étirement** » réalisant cette opération.
- b. On pourra également afficher l'allure de la **transformation linéaire T**.

2) Égalisation d'histogramme

- a. Créer la **fonction** « **égalisation** » réalisant cette opération.
- b. On pourra également afficher l'allure de la **transformation T**.
- c. **Comparer** les deux traitements (étirement et égalisation).

3) Spécification d'histogramme (généralisation de l'égalisation d'histogrammes)

Ecrire une fonction Matlab « **spécification** », prenant comme paramètres deux images **Ix** image de source et **Iz** Image **de référence**. A l'aide d'affichages adéquats, vérifier les résultats obtenus.

TP N°9

Travail pratique 9: (Filtrage d'une image)

Le filtrage peut être vu comme une opération transformant une image en une autre image ayant des propriétés spatiales et fréquentielles différentes.

On distingue deux types de filtrage :

- **Le filtrage linéaire**
- **Le filtrage non-linéaire**
- Créer sous MATLAB un script vide.
- Appliquer un filtre moyenneur de taille 3×3 sur une image et stocker le résultat. Afficher sur la même figure. Le bruit a-t-il été atténué ?
- Appliquer un filtre médian de taille 3×3 sur la même image et stocker le résultat. Afficher sur la même figure. Le bruit a-t-il été atténué ?
- Afin de pouvoir quantifier la qualité du dé bruitage, utilise une mesure objective appelée Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)
- Appliquer un filtre Gaussien sur la même image et stocker le résultat. Afficher sur la même figure. Le bruit a-t-il été atténué ?
- Tester les trois filtres. Lequel donne les meilleures performances sur cette image.

TP N°10

Travail pratique 10: (Classification d'images)

Il existe différents types de méthodes de classifications :

- Supervisée : l'opérateur définit lui-même les classes à produire (nombre,

Caractéristique spectrale...)

- Non-supervisée : le logiciel définit lui-même les classes

1. Réalisez 2 classifications non-supervisées de votre image. Une classification « Iso-Data » et une classification « K-means »
2. Visualisez les 2 classifications dans deux nouvelles fenêtres, et commentez-les (nombre de classes, type d'occupation du sol reconnus, ...etc).
3. Réaliser une classification supervisée d'une image satellite sous entend que vous possédez une très bonne connaissance de l'occupation du sol réelle.
4. Ouvrir une image classifiée dans une fenêtre de visualisation. Comparaison d'une bande par rapport à une classification.

comparer les deux résultats (La classification Supervisée et la non supervisée)

GLOSSAIRE :

Bit : Unité élémentaire de stockage de l'information pouvant prendre deux valeurs distinctes, notées 0 et 1.

Canal : une des trois images élémentaires qui composent une image couleur.

Bords : zone d'une image où les valeurs des pixels varient beaucoup, qui correspond aux contours des objets qui forment l'image.

Bruit : petites perturbations qui dégradent la qualité d'une image.

Contraste : quantité informelle qui indique la différence entre les zones claires et les zones sombres d'une image.

Image couleur : ensemble de trois images en niveau de gris, qui peut être affiché à l'écran en couleur.

Image numérique : tableau de valeurs que l'on peut afficher à l'écran en assignant un niveau de gris à chaque valeur.

Luminance : moyenne des différents canaux d'une image, qui indique la puissance lumineuse du pixel.

Médiane : valeur centrale lorsque l'on classe par ordre croissant un ensemble de valeurs.

Moyenne : la moyenne d'un ensemble de valeurs est leur somme divisée par leur nombre.

Niveaux de gris : nuances de gris utilisées pour afficher à l'écran une image numérique.

Nombres entiers : nombres 0, 1, 2, 3, 4 ...

Octet : ensemble de huit bits consécutifs.

Ordre croissant : classement d'un ensemble de valeurs de la plus petite à la plus grande.

Pixel : une case dans un tableau de valeurs correspondant à une image numérique.

Résolution : taille d'une image (nombre de pixels).

Synthèse additive : règle permettant de construire une couleur quelconque à partir des trois couleurs rouges, vert et bleu. C'est la règle qui régit le mélange des couleurs de faisceaux lumineux utilisés pour l'éclairage d'un mur blanc.

Synthèse soustractive : règle permettant de construire une couleur quelconque à partir des trois couleurs cyan, magenta et jaune. C'est la règle qui régit le mélange des couleurs en peinture.

BIBLIOGRAPHIES

1. Rees W.G. : Physical principles of remote sensing, Cambridge University Press, 2nd édition, 2001.
2. Cours de télédétection. Cours N° 4645(2001). Université de Genève. Département de géographie, Centre canadien de télédétection, Ressources naturelles Canada Technologies Ltd
3. Philipson W.R. (2000), «Manual of photographic interpretation », 2nd éd., Science and engineering series, American society for photogrammetric and remote sensing, USA.
4. Lillesand T.M. & Kiefer R.W. (2000), «Remote sensing and image interpretation », 4th ed., USA, John Wiley & Sons, Inc., 724p.
5. Girard M.C. et Girard C.M.. Traitement des données de télédétection, 530 pages + 1 cédérom, Dunod, 1999.
6. Girard Michel-Claude, Girard Colette. (1999) Traitement de données de télédétection. Dunod, Paris.
7. Bonn F. (dir). Précis de télédétection Volume 2 : Applications, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, 1995.
8. Richards J.A.: Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag 1986, 2nd edition 1993.
9. Bonn F. et Rochon G. Précis de télédétection Volume 1 : Principes et Méthodes, Presses de l'Université du Québec/AUPELF, 1992.
10. Le site web officiel du gouvernement du Canada : <https://www.canada.ca/fr.html> section interprétation des photographies aériennes
11. Canada Centre for Remote Sensing/Natural Resources Canada (1997). GlobeSAR2 Radar Image Processing and Information Extraction Workbook Version 1.2. Ottawa, Ontario, Canada.
12. Claude Kergomard, support de cours : « La télédétection Aéro-spatiale : une introduction », Ecole Normale Supérieure, Paris, France.
13. Précis de télédétection. L. Provencher, J. M. Dubois. Presse Université de Québec. 2007.
14. Traitement des données de télédétection. M-C Girard, C-M Girard. Technique et Ingénieur. Dunod. 2010.
15. Evaluation des données de télédétection pour l'identification et la caractérisation des continuités écologiques. Julie Betbeder. Thèse de doctorat. Université de Rennes 2. 2015.

**Pr. Hadria FIZAZI****USTO**