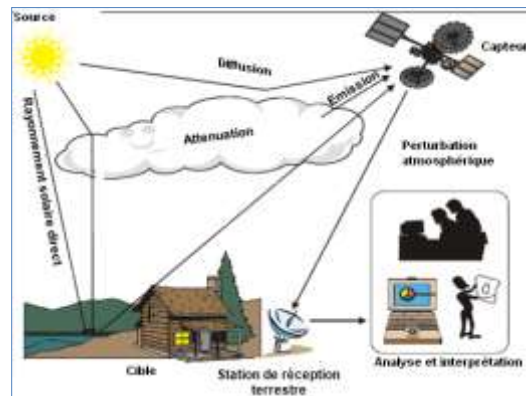


Département de géologie
Filière Licence Professionnelle Géo-information
et Modélisation du Territoire (LPGMT)
(SEMESTRE 6)

Cours de Télédétection

Pr. Ali ESSAHLAOU



Année universitaire 2019-2020

1. DEFINITIONS

Le mot télédétection désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'étudier à distance des objets ou des phénomènes.

« **La télédétection** est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre **sans contact direct avec celle-ci**.

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. »

Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept principales étapes que nous élaborons ci-après.

Notons cependant que la télédétection peut également impliquer l'énergie émise et utiliser des capteurs non-imageurs.

Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept principales étapes que nous élaborons ci-après.

Notons cependant que la télédétection peut également impliquer l'énergie émise et utiliser des capteurs non-imageurs.

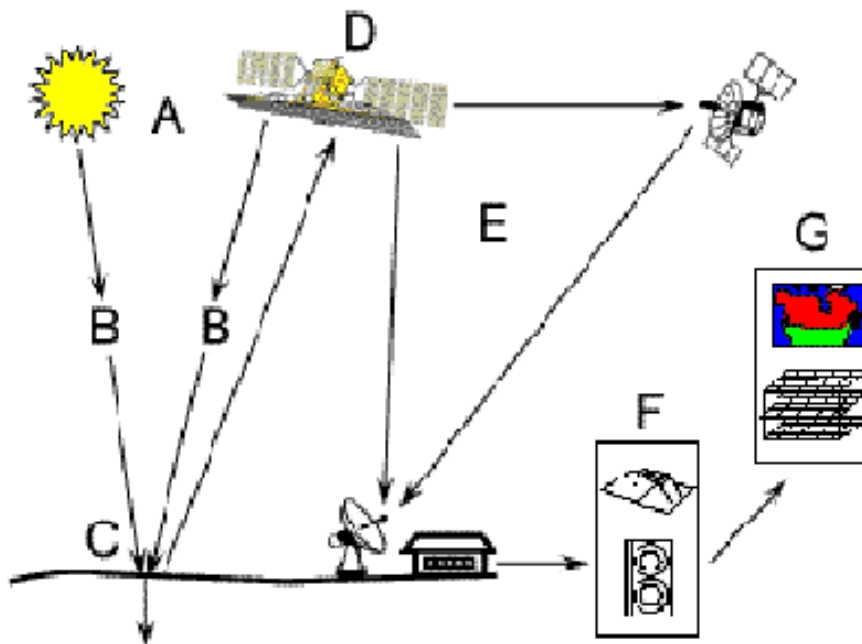


Figure 1 : les sept étapes de la télédétection

1. Source d'énergie ou d'illumination (A) -

À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.

2. Rayonnement et atmosphère (B)

Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

3. Interaction avec la cible (C) -

Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D)

Une fois l'énergie **diffusée ou émise par la cible**, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

5. Transmission, réception et traitement (E)

L'énergie enregistrée par le capteur est transmise (transférée), souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

6. Interprétation et analyse (F)

Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

7. Application (G)

La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

Ces sept étapes couvrent le processus de la télédétection, du début à la fin.

La télédétection est subdivisée en deux grands groupes

Télédétection passive

Le radiomètre (l'instrument de mesure) embarqué sur l'avion ou le satellite capte le rayonnement réfléchi par la surface de la Terre, lorsque le Soleil illumine la Terre. Le Soleil est la source d'énergie et le capteur (radiomètre) est un simple récepteur, «passif».

Dans ce cas, il n'est donc pas possible de réaliser des observations la nuit ou quand des nuages masquent le sol.

Les images des satellites SPOT, Landsat, NOAA ou Météosat appartiennent au domaine de la télédétection passive

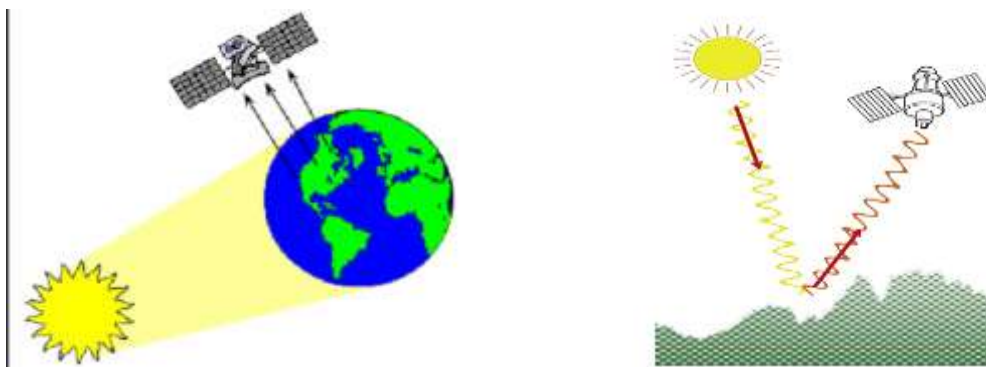


Figure capteur est un simple récepteur, «passif».

Télédétection active

Une source de rayonnement, artificielle, est embarquée à bord du satellite. Son émission s'effectue en direction des objets observés qui renvoient un signal que détecte le capteur du satellite.

Les images radar appartiennent au domaine de la télédétection active.

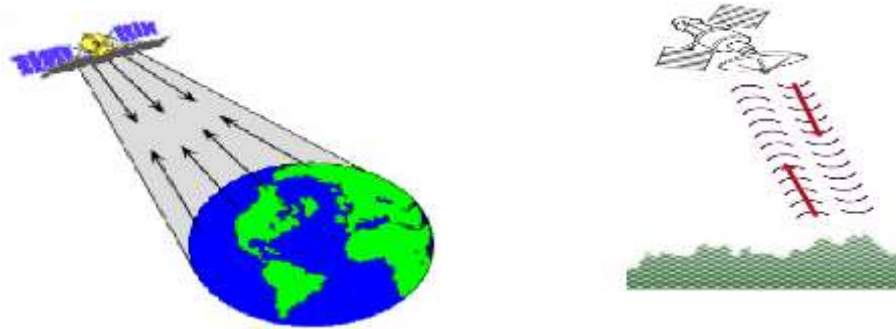


Figure capteur et émetteur dans la télédétection active

Ces rayonnements passent à travers la couverture nuageuse et il est donc possible d'obtenir des images quelles que soient les conditions météorologiques et de jour comme de nuit.

Les images obtenues sont plus difficiles à analyser, mais elles permettent d'obtenir des renseignements sur la topographie, sur la teneur en eau et la rugosité superficielles du sol, sur l'agencement des éléments du paysage ou de détecter la présence de nappes d'hydrocarbures en mer.

L'évolution technologique qui a permis de réaliser des capteurs sensibles à des rayonnements non perceptibles par l'œil humain a considérablement accru les domaines d'observation.

2- Le rayonnement électromagnétique

Chaque objet émet de l'énergie électromagnétique à cause de l'agitation des particules chargées qui sont présentes dans toute matière. Cette énergie est émise par les objets. Le soleil est une des principales sources naturelles d'énergie électromagnétique reçue sur terre.

Selon la théorie des ondes, tout rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible.

Le rayonnement électromagnétique est composé :

- ✓ d'un champ électrique (E)
- ✓ et d'un champ magnétique (M).

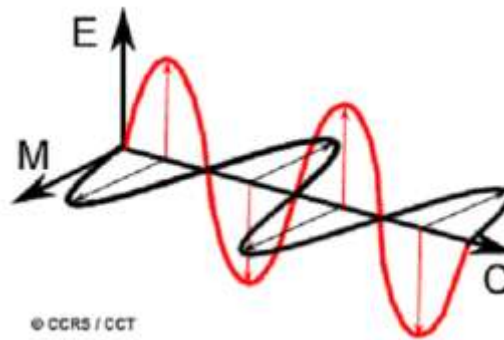


Figure : Le rayonnement électromagnétique

Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique.

Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (c).

Pour comprendre la télédétection, il est indispensable de saisir les deux composantes du rayonnement électromagnétique qui sont la longueur d'onde et la fréquence.

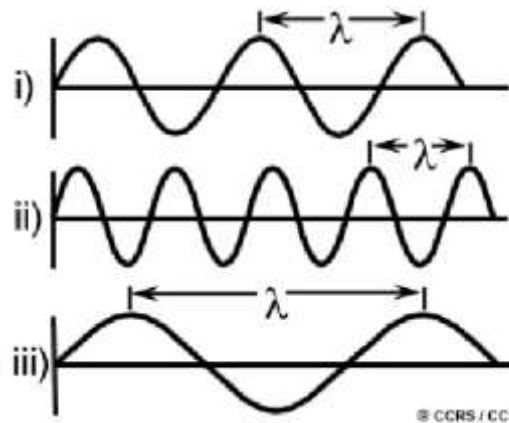


Figure longueur d'onde (λ) et fréquence

La longueur d'onde (λ) : Elle est mesurée en mètres (m) ou en l'un de ces sous-multiples tels que :

les nanomètres (1nm = m),

Les micromètres (1 μ m = m)

Les centimètres (1cm = m).

La fréquence (f ou n)

Elle représente le nombre d'oscillations par unité de temps.

La fréquence est normalement mesurée en Hertz (Hz) (c. a. d) en oscillations par seconde) ou en multiples de Hertz.

La formule suivante illustre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence :

$$c = \lambda \nu$$

λ : longueur d'onde

n : fréquence ($n = 1/T$ avec T : période en seconde)

C : Vitesse de la lumière (exactement 299 792 458 m/s $\sim 3 \cdot 10^8$ m/s)

La longueur d'onde et la fréquence sont donc inversement proportionnelles

Si λ est élevé alors la fréquence est faible et inversement

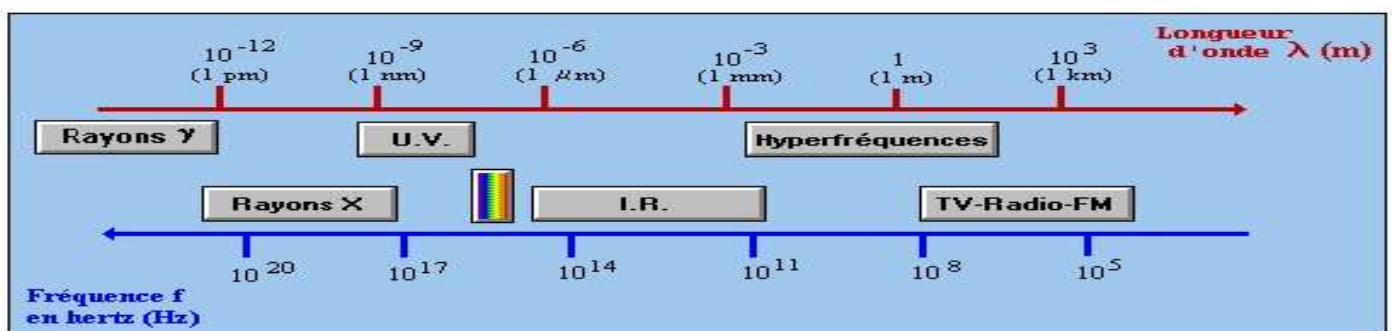
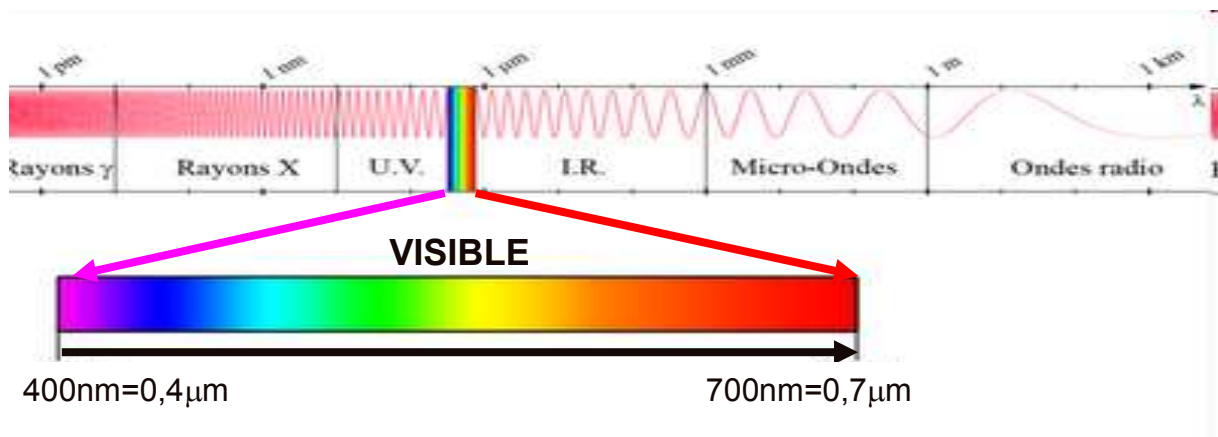
A fin de comprendre l'information en télédétection, Nous examinerons maintenant la

3- Le spectre électromagnétique

Les sources naturelles ne sont en général pas des sources quasi-monochromatiques. Ainsi, le soleil émet par émission thermique un rayonnement, dit "rayonnement solaire", qui est la superposition d'ondes électromagnétiques dont les fréquences couvrent un très large domaine. L'ensemble de ces ondes constitue **le spectre électromagnétique du rayonnement solaire**.

la décomposition du rayonnement solaire selon ses différentes composantes (ondes "monochromatiques") en termes de fréquence (ou période), de longueur d'onde ou encore d'énergie associé.

Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).



- Selon leurs longueurs d'onde (\Leftrightarrow leurs fréquences), les ondes électro-magnétiques portent des noms différents :

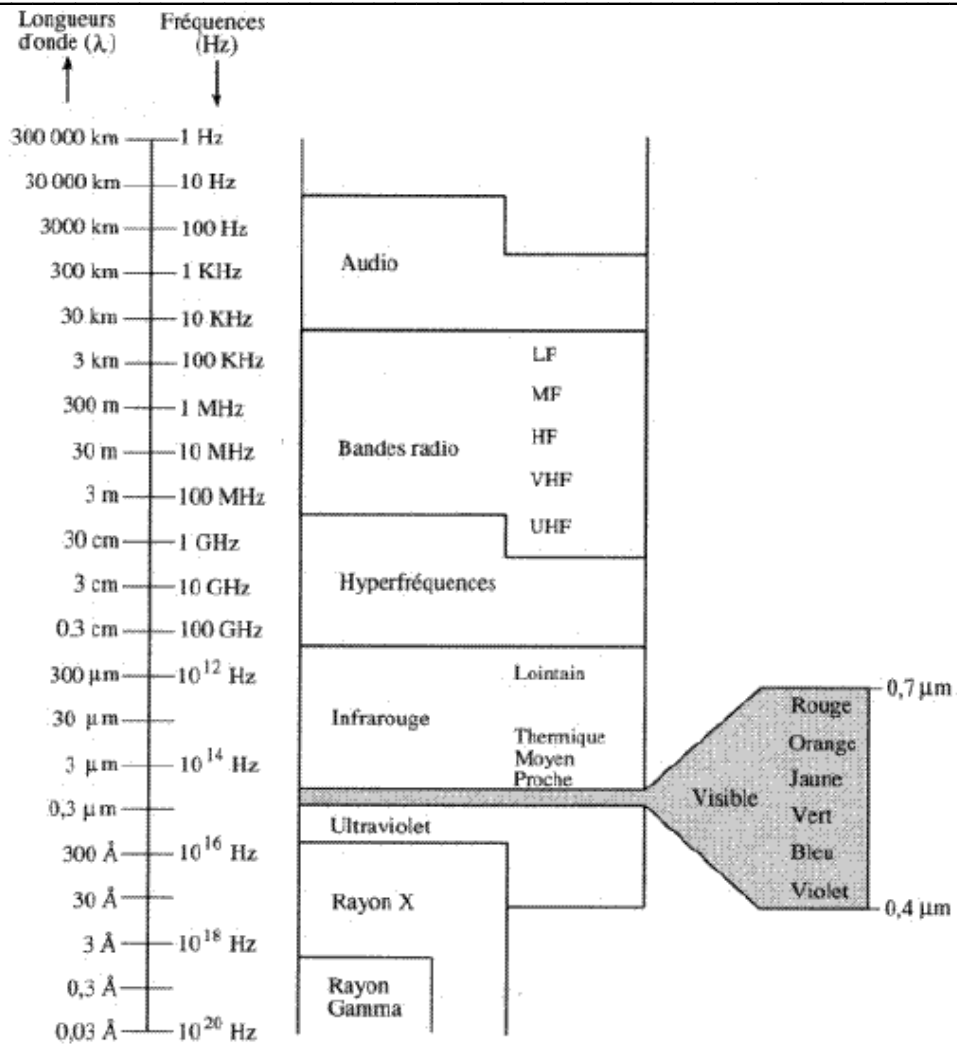
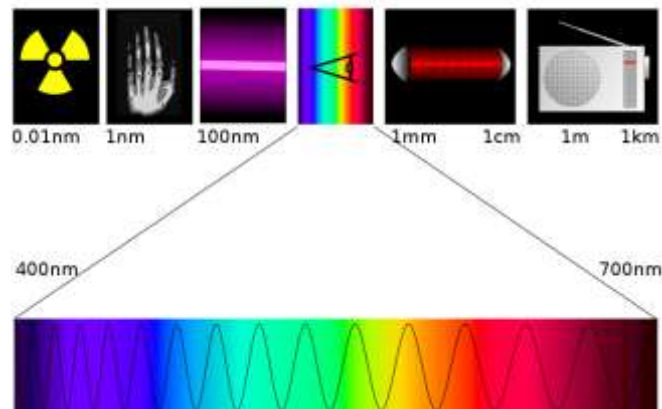
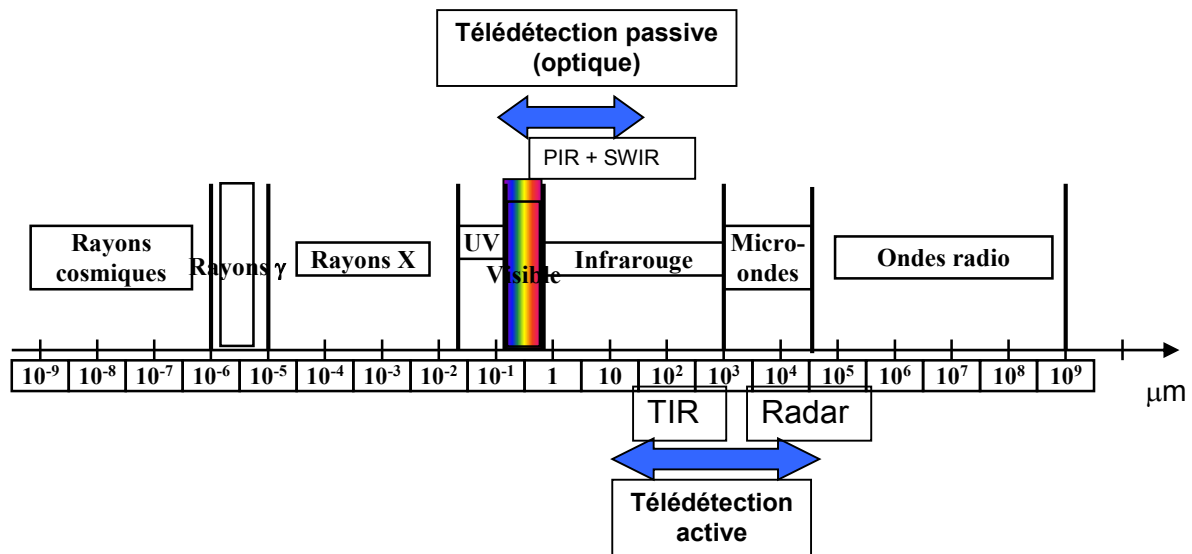


Figure : le spectre électromagnétique



La télédétection utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique.



Télédétection passive (Optique) : Seules les bandes Visible (rayonnement solaire) et Infrarouge (rayonnement terrestre) sont utilisées.

Télédétection active (Radar) : les bandes de l'infrarouge thermique et micro-ondes sont utilisées

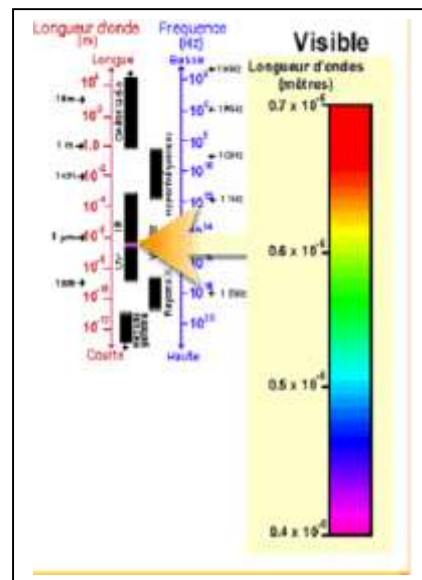
3.1 - LE SPECTRE VISIBLE

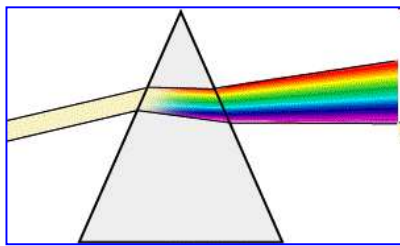
La lumière que nos yeux peuvent déceler se trouve dans ce qui s'appelle le "spectre visible" = petite partie de l'ensemble du spectre De 0,4mm à 0,7 mm

Une grande partie du rayonnement électromagnétique qui nous entoure est invisible à l'oeil nu, mais il peut cependant être capté par d'autres dispositifs de télédétection (capteurs).

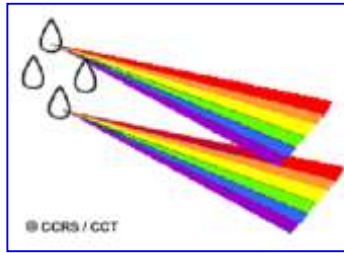
Les couleurs d'onde du spectre visible que nous percevons comme des couleurs communes sont :

- 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 - 0.7 mm





Expérience du prisme



Arc-en-ciel

Il est important de noter que c'est la seule portion du spectre que nous pouvons associer à la notion de couleurs.

3.2 - LE SPECTRE INFRAROUGE = IR

longueur d'onde allant de

~ de 0,7mm à 100 mm

Ce qui correspond à :

(~100 fois plus large

que le spectre visible).

L'infrarouge (IR) se divise en deux catégories:

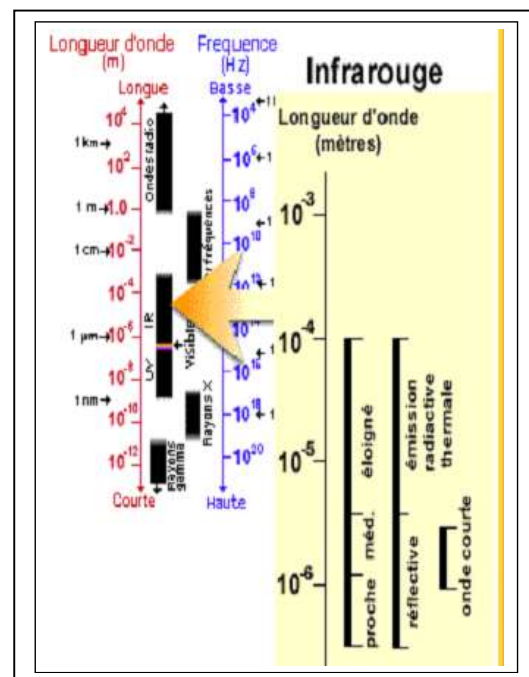
- IR réfléchi (~ 0,7 à 3 µm) :

PIR :

MIR :

- IR émis ou thermique

(3µm à 100 µm)



Le rayonnement dans la région de l'infrarouge réfléchi est utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible

L'infrarouge thermique est très différent du spectre visible et de l'infrarouge réfléchi. Cette énergie est essentiellement le rayonnement qui est émis sous forme de chaleur par la surface de la Terre.

3.3- HYPERFREQUENCES

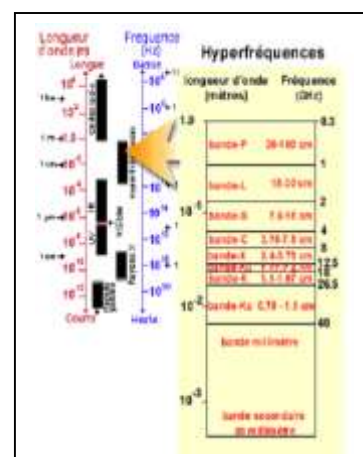
Depuis quelques temps, la région des

hyperfréquences suscite beaucoup

d'intérêt en télédétection

Cette région comprend les plus grandes longueurs

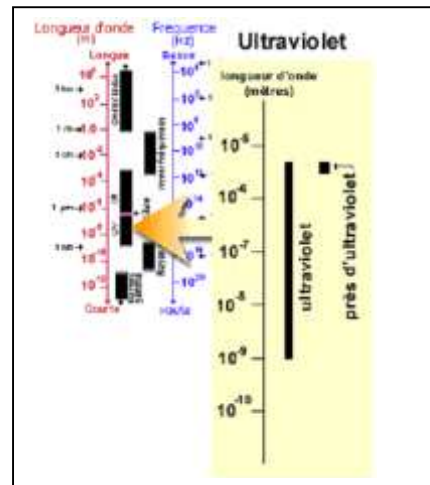
d'onde utilisées en télédétection et s'étend



approximativement de 1mm à 1 m.

3.3- ULTRAVIOLET

Les plus petites longueurs d'onde utilisées pour la télédétection se situent dans l'ultraviolet.



4- LE RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE ET LA MATIÈRE

4.1 - Interactions avec l'atmosphère

Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, celui-ci doit traverser une certaine épaisseur d'atmosphère. Les particules et les gaz dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident.

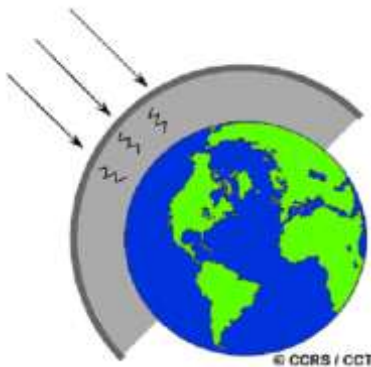


Figure Interactions du REM avec l'atmosphère

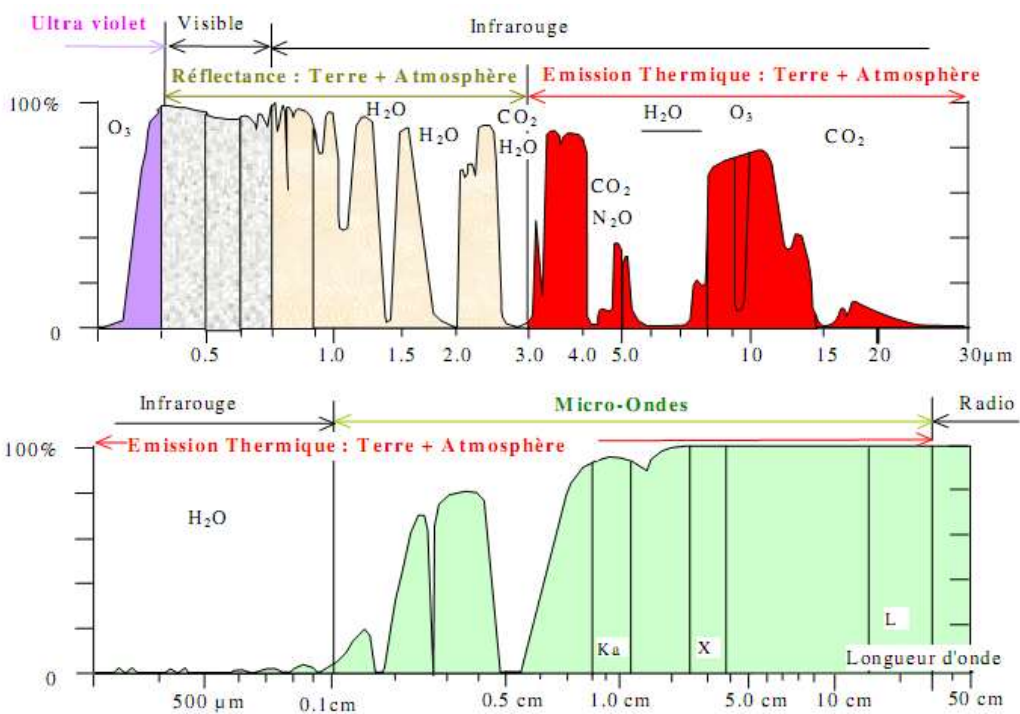
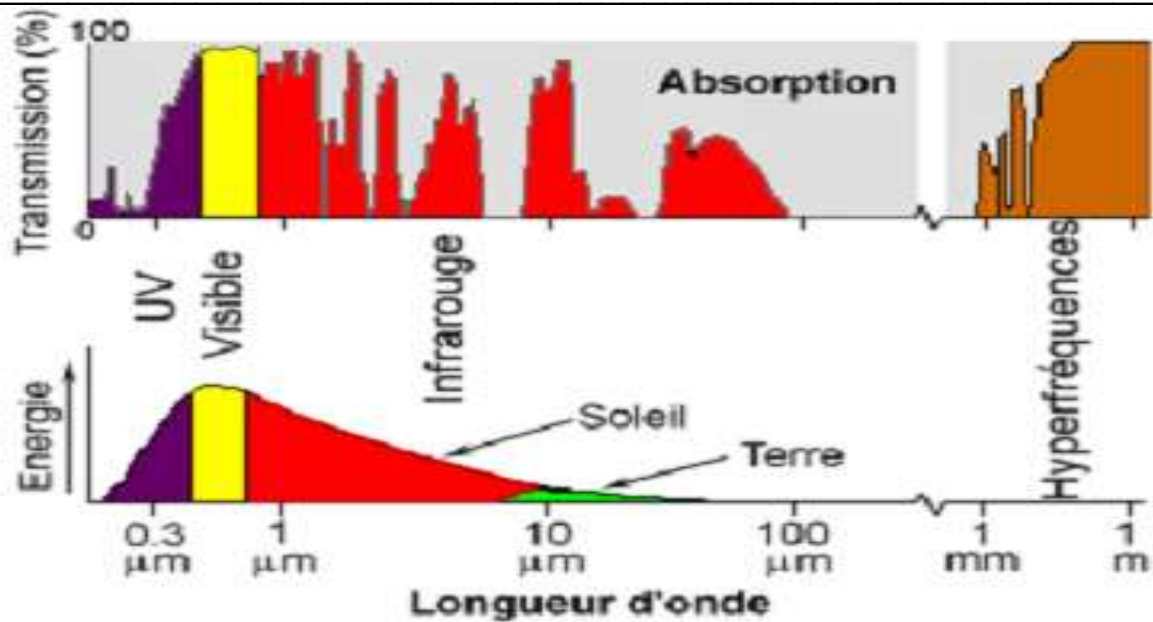
Exemple 1:

L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Sans cette couche de protection dans l'atmosphère, notre peau brûlerait lorsqu'elle est exposée au Soleil.

Exemple 2 :

le bioxyde de carbone (ou dioxyde de carbone : CO₂) est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère

Cet effet est reconnu par



La figure montre qu'une grande partie du rayonnement est absorbé par l'atmosphère et il n'atteindra pas la surface de la terre (cible)

Les principales bandes d'absorption :

dans le visible sont dues :

- à l'ozone (O₃) à 600 nm,
- à la vapeur d'eau à 718 nm
- à l'oxygène (O₂) à 760 nm.

Dans l'infra-rouge, on observe des bandes d'absorption dues :

au gaz carbonique (CO₂) à la vapeur d'eau de de 2.7 à 5 mm;

à l'ozone à une bande d'absorption à 9.6 mm

à l'azote (N₂) à 4.3 mm.

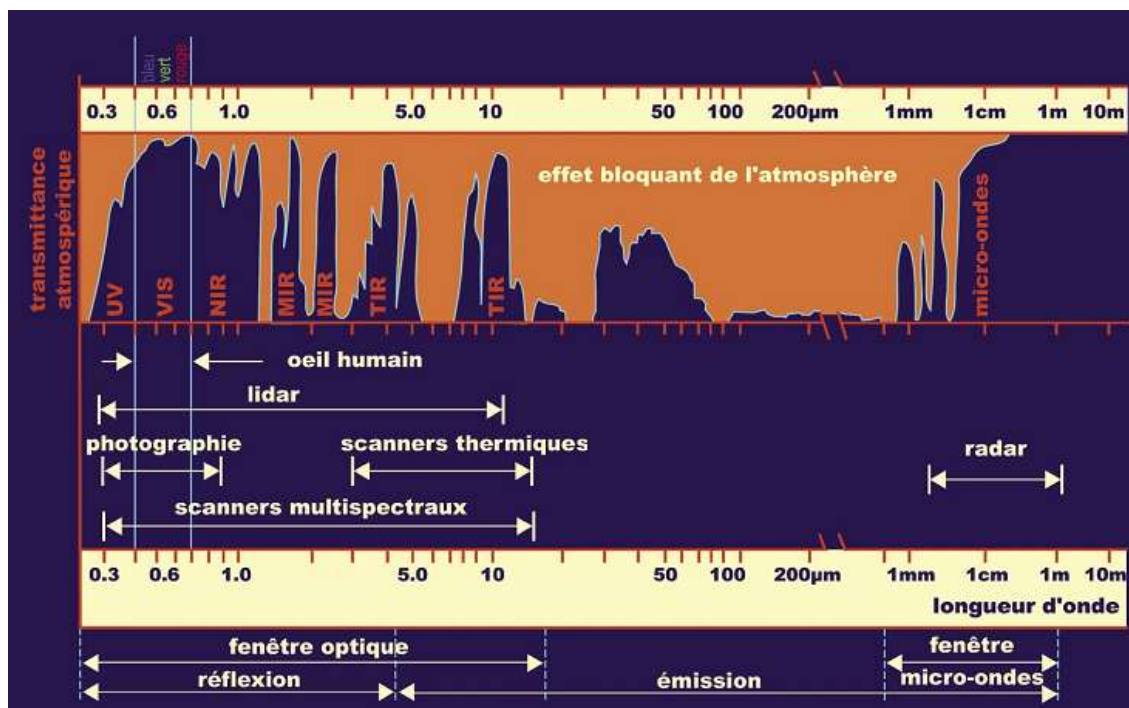
L'atmosphère est opaque pour le rayonnement infra-rouge de 22µm à 1 mm, ce qui explique la non-utilisation de cette portion du spectre en télédétection.

Dans les micro-ondes, l'atmosphère est transparente au-delà de 3cm, mais devient opaque pour des longueurs d'ondes supérieures à 30m, pour lesquelles il y a interaction avec l'ionosphère.

La partie qui reste, va arriver à la surface de la Terre où elle va être absorbée et/ou réfléchi par les corps situés à l'emplacement de son point d'impact (cible).

La télédétection ne peut pas donc utiliser toutes les régions du spectre électromagnétique, puisque l'atmosphère agit comme un filtre sur le R.E.M

Cette absorption atmosphérique influence le choix de longueurs d'onde utilisées en télédétection. Les régions du spectre qui ne sont pas influencées de façon importante par l'absorption sont donc très utiles pour la télédétection, sont appelées les **fenêtres atmosphériques**.



Une "Fenêtre atmosphérique" est le nom donné aux longueurs d'ondes où l'atmosphère est "translucide" et où l'émission et le réfléchissement sont les moins freinés.

Les bandes spectrales optiques utilisées en télédétection

■ Noms courants des bandes spectrales optiques :

– VIS (visible) ~ 0.40 - 0.75 µm

B0~0.40-0.50 µm Bleu

B1~0.45-0.55 µm Vert

B2~0.60-0.70 µm Rouge

PA ou PAN (panchromatique) bande large ~ 0.45-0.7 à 0.9 µm

- **PIR** (Proche Infrarouge) ou **NIR** (Near Infrared) ~ **0.75 - 1.3 µm**

B3~0.75-0.90 µm

- **MIR** (Moyen Infrarouge) ou **SWIR** (Short Wave Infrared) ~ **1.3-3 µm**

MIR SPOT : 1.52-1.75 µm

- **IRT** (Infrarouge thermique) : 3-50 µm

■ **Noms des bandes Radar : lettres (K, X, C, S, L, P)**

Nous allons examiner ce qu'il advient du rayonnement une fois qu'il atteint la surface terrestre.

4.2- Les interactions entre la matière et le rayonnement : réflexion

La propagation de l'énergie associée au rayonnement ne se fait de façon intégrale (sans perte) que dans le vide.

Soumise à un rayonnement émis par une source extérieure, la matière (solide, liquide ou gazeuse) : Absorbe, réfléchit et transmet le rayonnement

- coefficient d'absorption (α),
- un coefficient de réflectivité (r)
- et un coefficient de transmissivité (t),

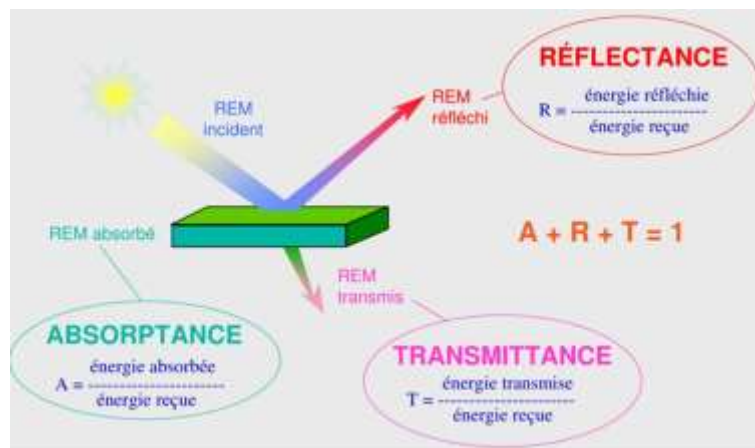


Figure Les interactions entre la matière et le rayonnement

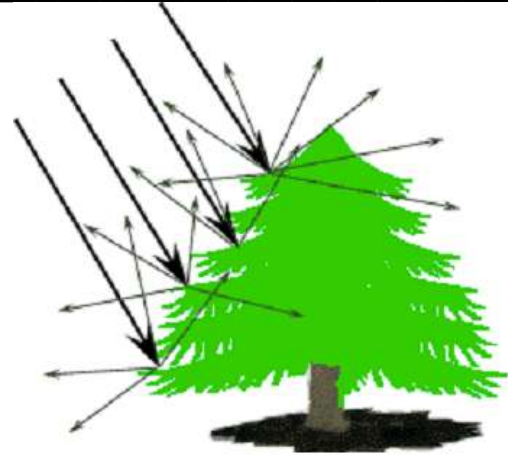
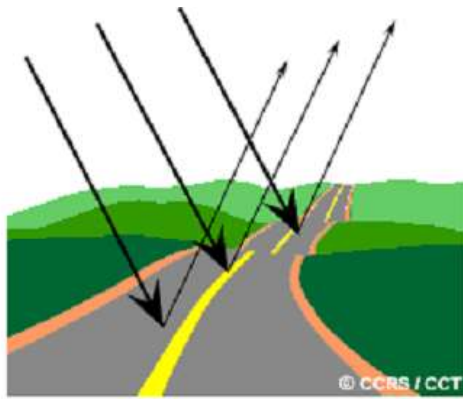
Selon le principe de conservation de l'énergie, la somme des coefficients est égale à 1 :

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Chaque objet réfléchit une partie des rayonnements qu'il reçoit.

En télédétection optique on parle de réflectance pour désigner la proportion d'énergie réfléchie dans une direction donnée, notamment dans la direction du capteur.

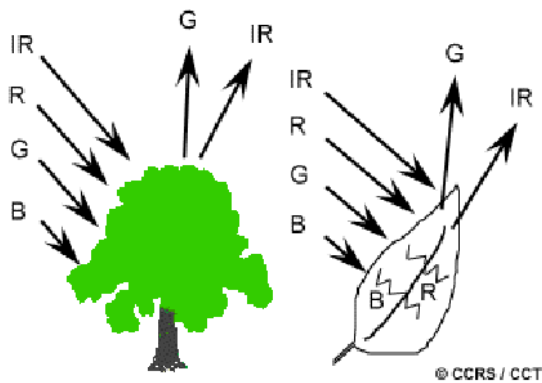
Quand l'énergie reçue est l'énergie solaire et que les surfaces irradiées sont des surfaces terrestres ou planétaires, **la réflectance est appelée**



Examinons quelques exemples de cibles de la surface de la Terre :

Question : Comment l'énergie (rayon électromagnétique) aux longueurs d'onde visible et infrarouge interagit avec celles-ci ?

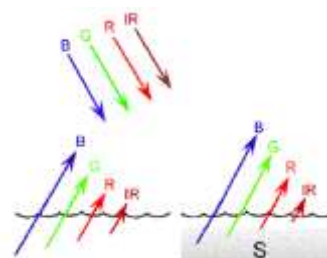
Exemple 1 : Cible = végétaux



Explication :

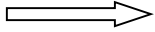
Exemple 2 : Cible =L'eau :

l'eau absorbe davantage les **grandes longueurs d'onde du rayonnement visible et du proche infrarouge (dans l'ordre IR-R-G-B)** .



Exemple 3 : le sable ou un sol nu

Explication : Le sable ou un sol nu sont réfléchissants pour tous les rayons bleus, verts, rouges et PIR :



En mesurant l'énergie réfléchi ou émise par la cible avec une variété de longueurs d'onde, nous pouvons construire la **signature spectrale pour un objet**

En comparant les **signatures de différents objets**, nous pouvons les distinguer les uns des autres, alors que **nous ne pourrions peut-être pas les distinguer si nous les comparions seulement avec une longueur d'onde.**

Par exemple, l'eau et la végétation peuvent avoir une signature spectrale similaire aux longueurs d'onde visibles, mais sont presque toujours différenciables dans l'infrarouge.

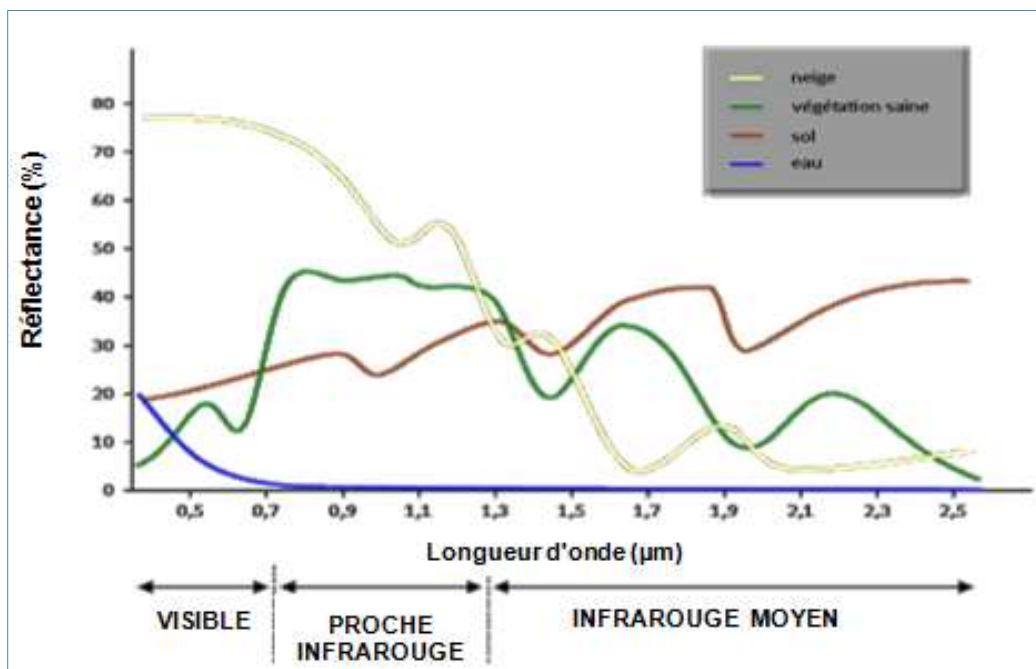


Figure : Illustration des quelques signatures spectrales de certains objets

Les signatures spectrales peuvent être très variables pour la même sorte de cible et peuvent aussi varier dans le temps et dans l'espace. Pour interpréter correctement l'interaction du rayonnement électromagnétique avec la surface, il est important de savoir où regarder dans le spectre et de comprendre les facteurs qui influencent la signature spectrale de la cible.

4-3 - Les interactions rayonnement - matière : l'émission

Tout corps dont la température diffère du zéro absolu (0 Kelvin, ou -273° Celsius) émet un rayonnement électromagnétique propre et le spectre d'émission de ce rayonnement est caractéristique de sa température.

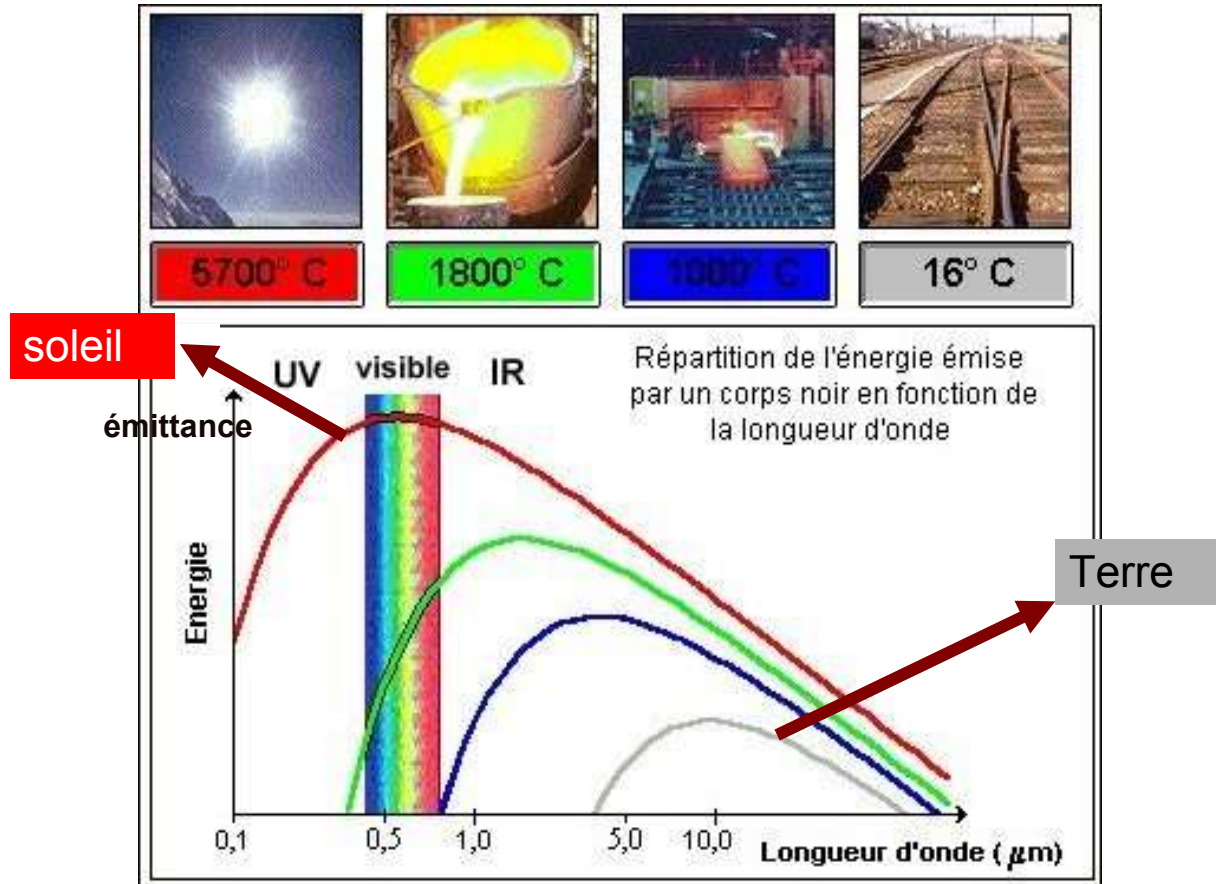
Le maximum d'émission du corps noir dépend de la température de celui-ci.

Loi de Wiem :

Formule

Avec :

- λ_{max} est la longueur d'onde (en μm).
- T est la température absolue (en K)



Les courbes ci-dessus traduisent les propriétés de la matière :

- plus la température d'un corps est élevée, plus son maximum d'émission se situe vers les courtes longueurs d'ondes.

Exemple : Soleil ($T= 5700\text{ }^{\circ}\text{C} = 5900\text{k}$)

Exemple : Terre ($T= 16^{\circ}\text{C} = 290\text{k}$)

Exemple 3 : lave volcanique 1800°C

5- Capteurs et vecteurs

5- 1-vecteurs ou plateformes)

Le terme vecteur ou plate-forme (en télédétection) désigne le véhicule sur lequel sont embarqués les capteurs, les instruments de mesure du rayonnement électromagnétique.

Le véhicule peut être aérien ou spatial, mais également terrestre pour les spectroradiomètres ponctuels.

En fonction de la distance au sol on distingue différents types de vecteurs :

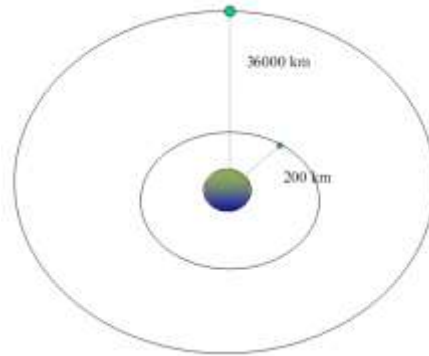
- ceux qui opèrent à quelques mètres du sol : grues, ou véhicules qui supportent des radiomètres ou appareils photographiques ;
- ceux qui opèrent entre la dizaine de mètres et la dizaine de kilomètres : avions, hélicoptères et ballons
- ceux qui opèrent entre la dizaine et la centaine de km : ballons stratosphériques ou véhicule spatial
- ceux qui opèrent entre 200 km et 40 000 km : satellites



Aérienne (avion : de qq 10 à qq 1000 m



Spatiale (Satellite : > 200 km) orbite autour de la terre

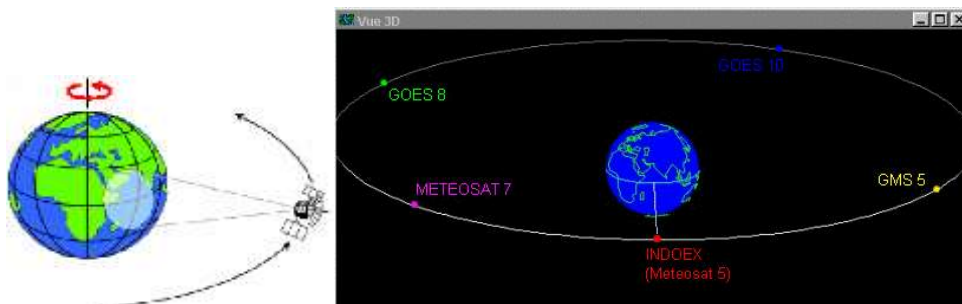


Des plateformes qui opèrent entre 200 km et 40 000 km : satellites



a- Satellite Géostationnaire

- Satellite Géostationnaire : Toujours au dessus du même point sur une orbite circulaire;
- Orbite équatoriale : Évolution dans Le Plan Équatorial
- Altitude d 'environ 36 000 kilomètres.
- Vitesse égale à celle de la rotation de la Terre (stationnaire pour un observateur au sol).

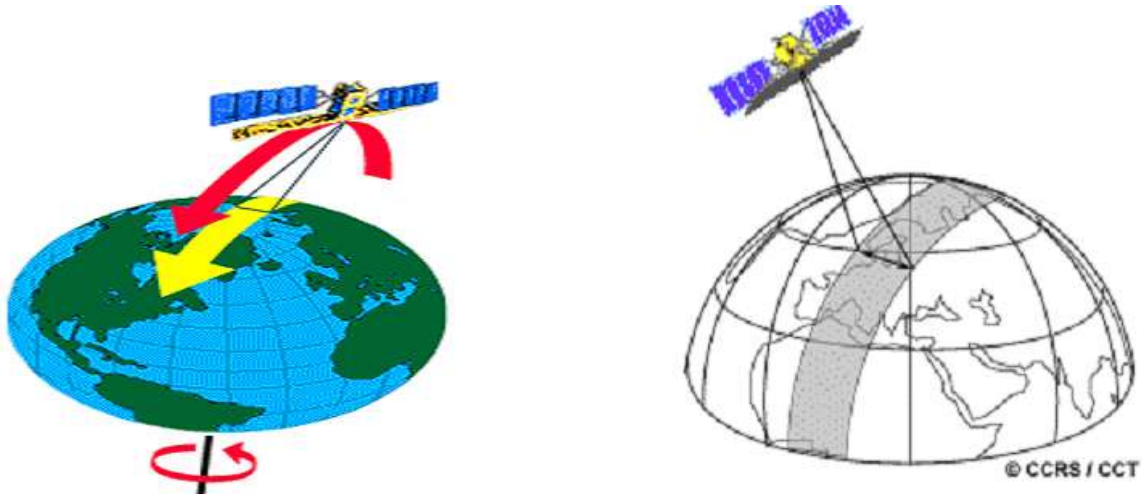


B. Satellites à défilement

- Orbite quasi-polaire ou Orbite héliosynchrone

(# 90 °) : allant pratiquement du nord au sud ou vice versa (Combinés à la rotation de la Terre (ouest-est), les satellites observent la presque totalité de la surface de la Terre).

- Basse altitude (200 à 1500 km)
- Période nodale ou révolution < 2h, (exemple : SPOT : 101mn)
- Satellites pour l'observation de la terre : ex : SPOT, NOAA, LANDSAT,.....



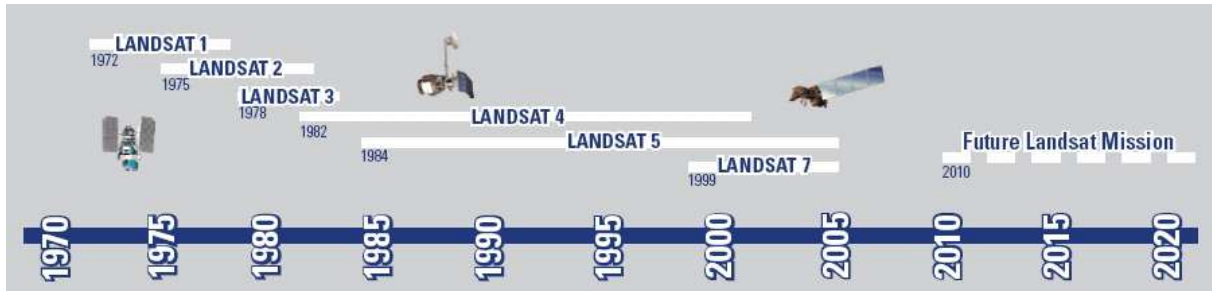
- ces satellites Observent toujours chaque région du globe à la même heure locale : la position du Soleil au moment où le satellite survole la zone au-dessus du Maroc cours d'une saison donnée est la même. (SPOT passe au-dessus du Maroc vers 10h30 mn environ)

Ex. SPOT croise la même latitude chaque 101mn, Donc répétitivité en 26 jours

2.1 Caractéristiques de LANDSAT

Satellite	date de lancement	altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs, canaux et résolution spatiale
Landsat 1	juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 5	janvier 1984	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 6	oct. 1993	détruit après lancement			
Landsat 7	avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM + (7 canaux, 30 m, plus canal panchro, 15 m)

Landsat 1, lancé le 23 juillet 1972, retiré le 6 janvier 1978.
 Landsat 2, lancé le 5 novembre 1975, retiré le 27 juillet 1983.
 Landsat 3, lancé le 5 mars 1978, retiré le 7 septembre 1983.
 Landsat 4, lancé le 16 juillet 1982.
 Landsat 5, lancé le 1^{er} janvier 1984.
 Landsat 6 lancé et détruit en oct 93
 Landsat 7 TM lancé en avril 99



Landsat 8 : ce satellite a été lancé le 11 février 2013

2.1.1 Caractéristiques orbitales

Les landsats 1, 2 et 3 (tableau) tournaient autour de la terre à une altitude nominale de 900 km (880 - 940), une fois toutes les 103 min (14 rotations /jour), avec un angle d'inclinaison de 9° dans la direction Nord sud. Chaque orbite résultait dans un balayage de 185 km par rapport à l'Equateur, où la distance entre 2 orbites consécutives était de 2760 km. Les orbites se déplaçaient progressivement vers l'Ouest, provoquant un recouvrement de la terre en 18 jours (LILLESAND / KIEFER ,1987).

2.2 Caractéristiques de SPOT

2.2.1 Orbite du SPOT

Comme LANDSAT, SPOT est un satellite héliosynchrone (tableau 1). Le temps solaire de passage à l'Equateur est 10:30 a.m., avec un peu de retard pendant le passage au Nord et un peu d'avance au sud. Le satellite tourne à une altitude de 832 km, avec une inclinaison de 98.7° par rapport à l'Equateur.

Bien que la répétitivité des orbites ne se produise qu'après 26 jours, SPOT est doté d'un miroir orientable qui peut être programmé selon les besoins du client.

Tableau 1 Caractéristiques principales des capteurs LANDSAT et SPOT

	LANDSAT		SPOT
	MSS	TM	HRV
Temps local de passage à l'Equateur	9h42	9h45	10h30
Hauteur nominale	900 (880-940) : Landsat 1 - 3 705 pour Landsat 4 et 5		832
Nombres d'Orbites par jour	14 pour Landsat 1 - 3 14.5 pour Landsat 4 et 5		
Inclinaison à l'Equateur	99°	98°	98.7°
Distance entre orbites et Equateur	2760 pour Landsat - 1 - 3 2752 pour Landsat - 4 et 5		
Largeur de balayage	185 km		2x60 (117)
Résolution spatiale	80m	30m	20 m (XS)
	240 : Therm.	120-- Therm	101 m (P)
Résolution temporelle	18 jours : Landsat-1- 3 16 jours : Landsat-4 et 5		26 jours
Résolution spectrale	0.5-1.1 µm	0,45-12,5µm	0,5-0,9µm
Résolution radiométrique	0.5-0.6 MSS4 0.6-0.7 MSS5 0.7-0.8 MSS6 0.8-1.1 MSS7	0.45-0.52 TM1 0.52- 0.60 TM2 0.63-0.69 TM3 0.76-0.90 TM4 1.55-1.75 TM5 10.4-12.5 TM6 2.10-2.35 TM7	0.50-0.59 XS1 0.61-0.69 XS2 0.79-0.90 XS3 0.51-0.73 P

5- 2- les capteurs

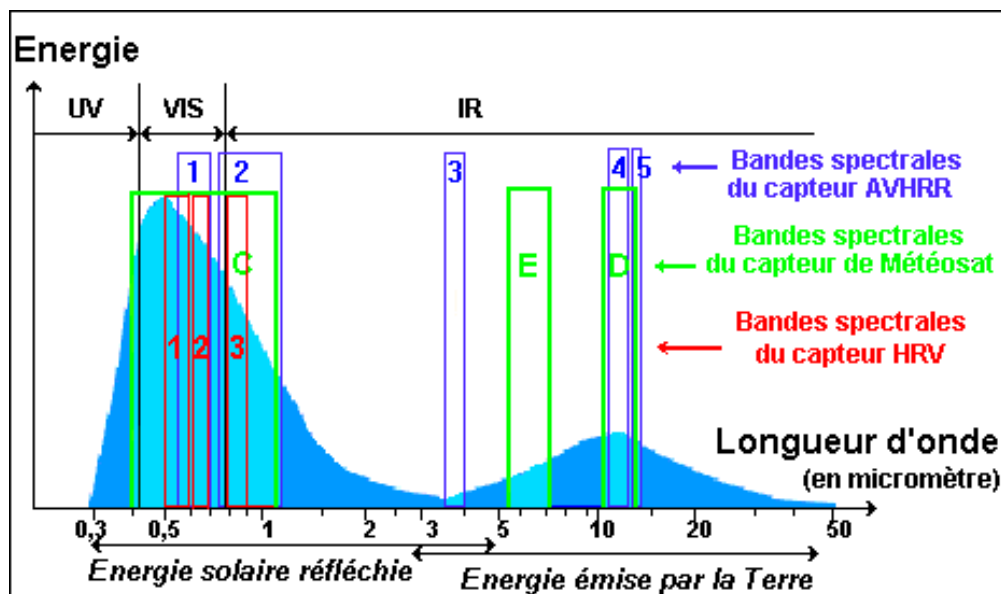
Dispositif capable de détecter l'intensité du signal électromagnétique réfléchi ou émis par un objet dans une bande spectrale donnée

A- Les radiomètres sur terre

Se sont des radiomètres pédagogiques ; ils mesurent les réflectances d'une roche ou d'un objet dans plusieurs bandes spectrales

B- Les radiomètres embarqués à bord des satellites

Les bandes spectrales des capteurs embarqués sont judicieusement choisies en fonction des objectifs de la mission, mais aussi en fonction des caractéristiques spectrales des sources de rayonnement (le Soleil et la Terre) et de l'atmosphère.



La figure présente les bandes spectrales du :

1. capteur HRV des satellites SPOT,
2. capteur AVHRR des satellites NOAA
3. capteur du satellite Météosat

ainsi que les domaines d'émission ou de réémission de l'énergie par la Terre et l'atmosphère.

NB : Remarquer les canaux 4 et 5 du capteur AVHRR de NOAA et le canal D de Météosat

Intérêt ??:

6- Images satellites

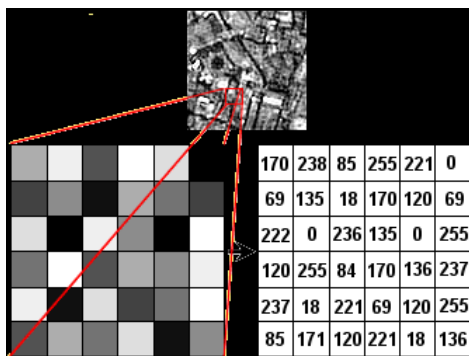
- Cas d'une image monochromatique (Monocanal)

Exemple : image Landsat ou SPOT (Un seul canal)

6--1- Les niveaux de gris

Les valeurs de la réflectance sont de $2^8 = 256$ niveaux (entre 0 et 255). À chaque valeur correspond un niveau de gris

Ainsi on obtient une image de niveaux de gris, **mais l'œil humaine n'arrive à distinguer qu'une vingtaine de niveau de gris** et par conséquent, beaucoup d'objets ne seront pas distingués ce qui va influencer l'interprétation. Par suite les faibles différences de niveaux de gris, favorise l'utilisation des couleurs.



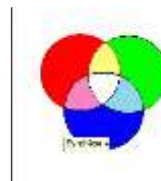
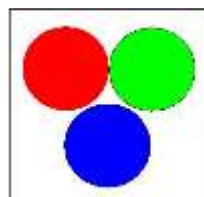
6-1-2. Cas d'une image multispectrale

2-1- Principe des couleurs

a- Synthèse additive : RVB

$$\text{Couleur} = r \cdot R + v \cdot V + b \cdot B$$

Au point de départ, il y a absence de couleurs: il fait noir. La combinaison des trois couleurs primaires: le ROUGE, le VERT et le BLEU, permet l'obtention de toutes les couleurs



b-Synthèse soustractive : CMY : cyan, Margenta, Yellow (Ou cyan, magenta, jaune)

2-2- image multispectrale

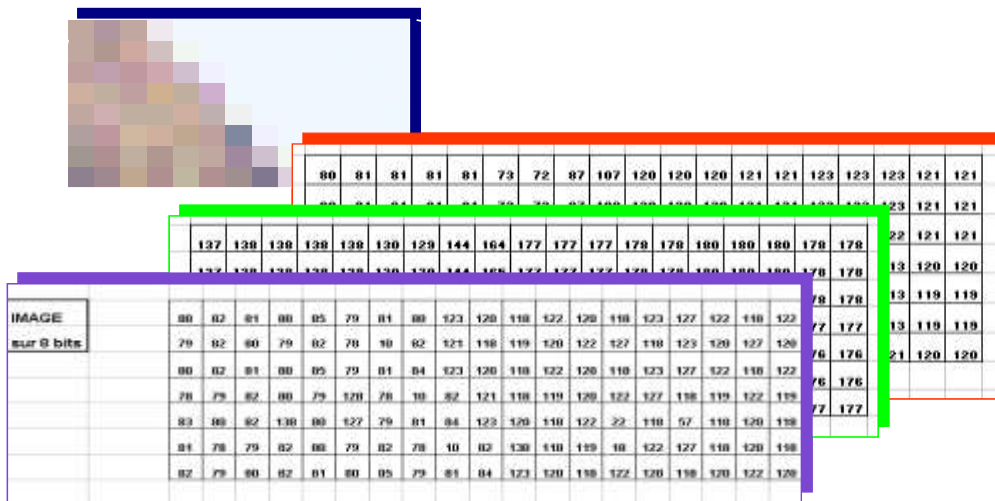
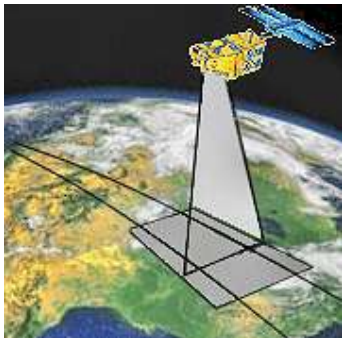


Figure Image numérique couleur sur 24 bits (3 fois 255 niveaux de gris)

7- Performances des capteurs

7-1- Caractéristiques spatiales

7-1-1 Champ global d'observation : Taille de la scène (**fauchée**) par rapport à l'angle de la prise de vue : Couverture géographique



7-1-2- Tâche échantillon - pixel : unité élémentaire perceptible Résolution spatiale : taille élémentaire ou pixel dans l'image

Pour pouvoir différencier un élément de la surface observée, celui-ci doit être de **dimension \geq à la cellule de résolution (taille du pixel)**.

Une même image peut être représentée par un nombre plus ou moins élevés de pixels

En augmentant le nombre de pixels d'une même image, on réduit la taille de chaque pixel

NB :

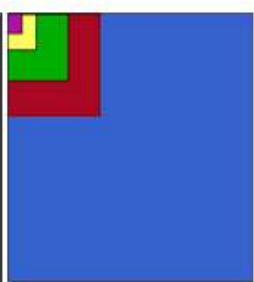
7-1-3. Résolution spatiale de l'image et échelle cartographique

Schématiquement, un **rapport de 3 est appliqué** pour évaluer l'adéquation d'une résolution spatiale à une échelle cartographique donnée.

Tableau des correspondances taille des pixels et échelle cartographique (à compléter lors de la séance du cours)

Tableau : quelques capteurs utilisés en télédétection avec la résolution spatiale et l'échelle cartographique correspondant

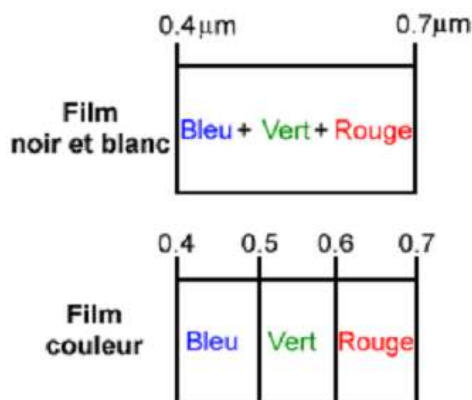
Capteurs	Résolution	Échelle max
Photos aériennes	dm < 4m	1 : 5 000 à 1 : 50 000
IRS-1C P	5,8 m	1 : 12 500
SPOT P	10 m	1 : 25 000
SPOT VS	20 m	1 : 50 000
LANDSAT TM	30 m	1 : 100 000
LANDSAT MSS	80 m	1 : 250 000
NOAA	1 km	1 : 1.000 000



7-2-- Résolution spectrale :

aptitude du capteur à séparer des signaux de longueurs d'onde différentes : Largeur et nombre de bandes spectrales du capteur

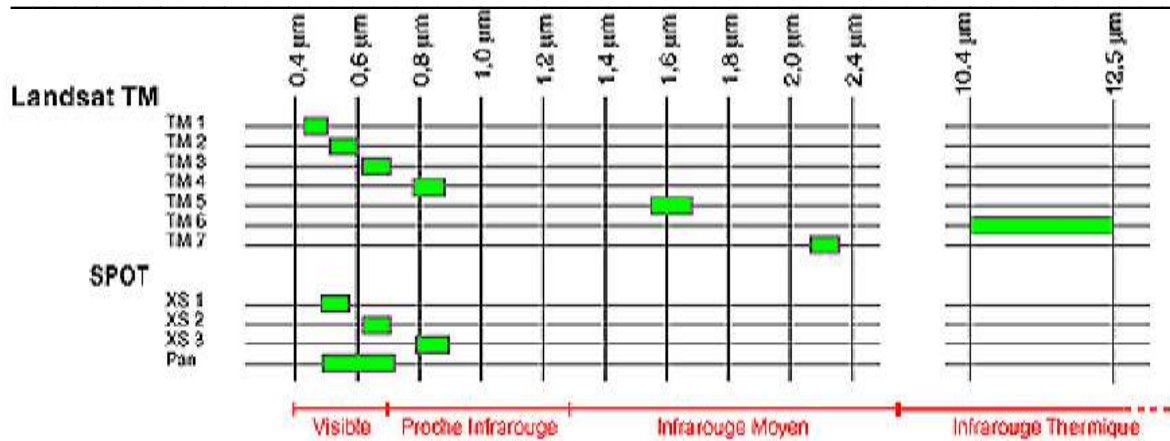
Elle décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'ondes.



Les capteurs (radiomètres) de télédétection peuvent enregistrer l'énergie reçue selon des intervalles de longueurs d'ondes à différentes résolutions spectrales.


Ces instruments sont appelés **capteurs multispectraux**

Les bandes spectrales des satellites **Landsat et SPOT**



Les bandes spectrales des satellites Landsat et SPOT

Enhanced Thematic Mapper Plus



Lancement de LANDSAT 7 le 15 avril 1999
Satellite hélio-synchrone

Répétitivité (Cycle) : 16 jours
Altitude : 705 km
Fauchée : 185 km

Landsat 7 instrument ETM+

Bleu	30 m	0.45 - 0.515 µm
Vert	30 m	0.525 - 0.605 µm
Rouge	30 m	0.63 - 0.69 µm
PIR	30 m	0.75 - 0.90 µm
MIR	30 m	1.55 - 1.75 µm
MIR	30 m	2.09 - 2.35 µm
IRT	60 m	10.4 - 12.5 µm
PAN	15 m	0.52 - 0.90 µm

<http://geo.arc.nasa.gov/sgc/landsat/landsat.html>

Caractéristiques des bandes spectrales du satellite Landsat 8

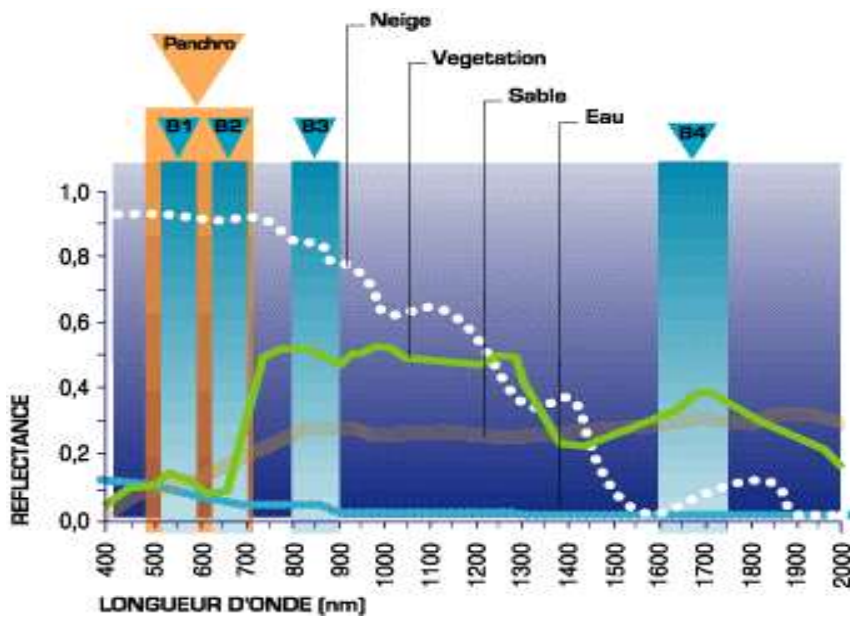
Les bandes spectrales de l'instrument OLI[®]

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

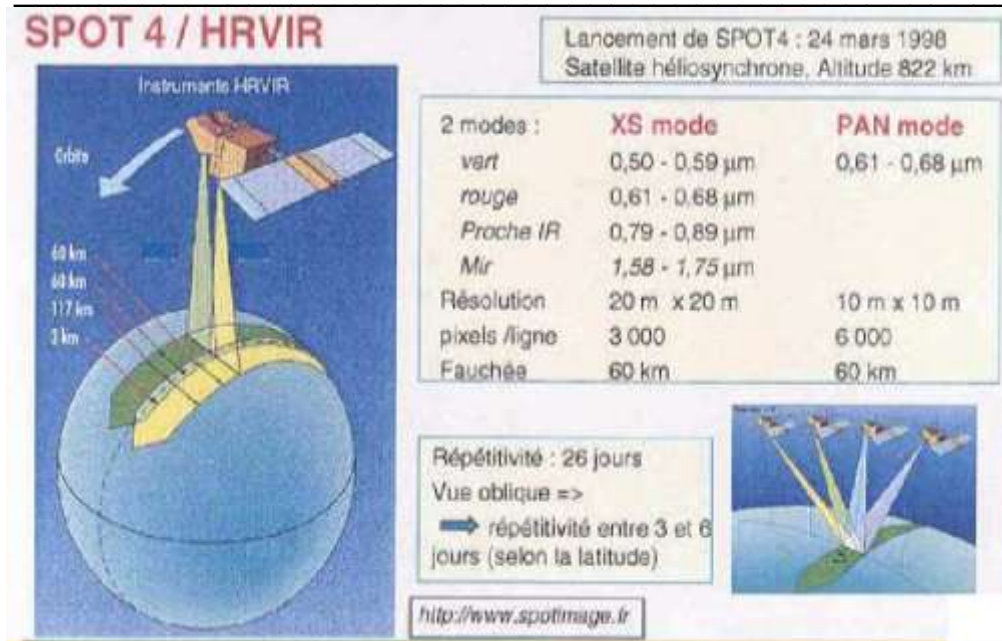
Bandes spectrales de l'instrument TIRS[®]

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 10 - Infrarouge moyen	10,30 - 11,30 μm	100 m
Bande 11 - Infrarouge moyen	11,50 - 12,50 μm	100 m

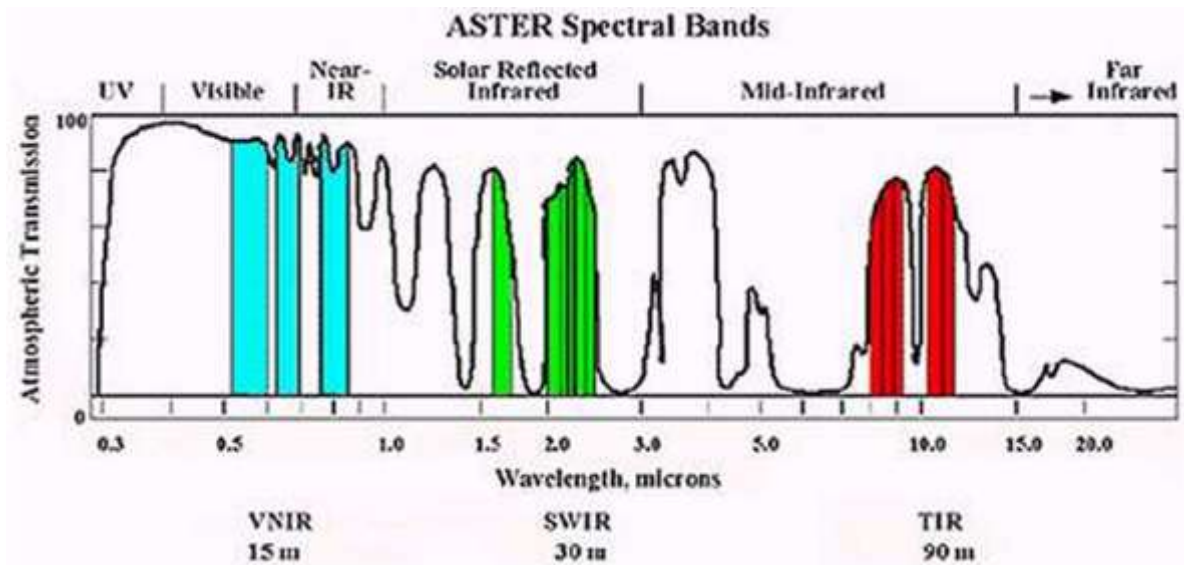
Satellite SPOT :



Les bandes spectrales de SPOT



Caractéristiques des images ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

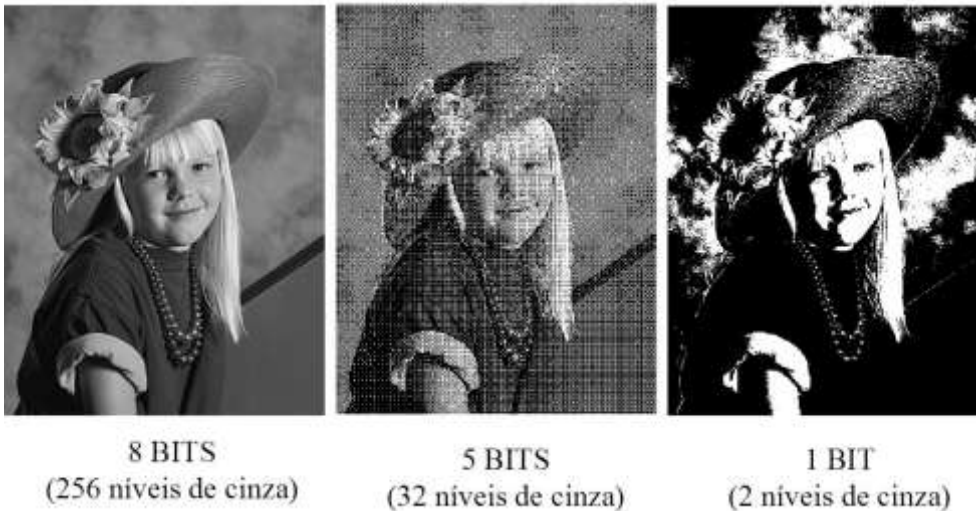


Características	VNIR	SWIR	TIR
Faixa espectral	Band 1: 0.52 - 0.60 μm Visada no Nadir	Band 4: 1.600 - 1.700 μm	Band 10: 8.125 - 8.475 μm
	Band 2: 0.63 - 0.69 μm Visada no Nadir	Band 5: 2.145 - 2.185 μm	Band 10: 8.125 - 8.475 μm
	Band 3: 0.76 - 0.86 μm Visada no Nadir	Band 6: 2.185 - 2.225 μm	Band 11: 8.475 - 8.825 μm
	Band 3: 0.76 - 0.86 μm Visada traseira	Band 7: 2.235 - 2.285 μm	Band 12: 8.925 - 9.275 μm
		Band 8: 2.295 - 2.365 μm	Band 13: 10.25 - 10.95 μm
		Band 9: 2.360 - 2.430 μm	Band 14: 10.95 - 11.65 μm

7-3 - Résolution radiométrique : sensibilité du capteur :

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

Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue.



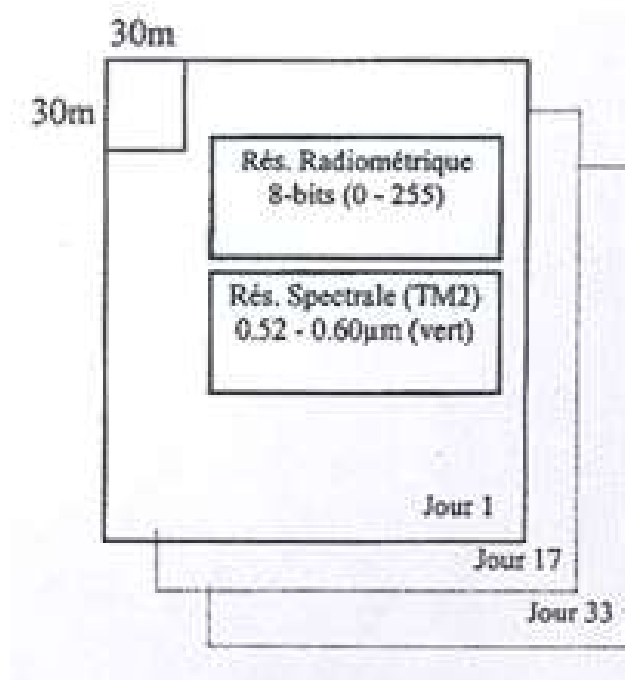
images affichées avec différents niveaux de gris (4, 8, 16, 32, 64, 128)

L'oeil humain voit seulement 20 à 30 niveaux de gris

7-4 Résolution temporelle (Répétitivité) :

C'est le temps nécessaire pour que le satellite prend l'image sur le même endroit.

C'est une Caractéristiques temporelles : quelques heures à quelques jours)



8- Visualisation et Traitement et analyse des images satellites (voir TP)

L'interprétation des images satellites peut être subdivisée en trois principales étapes :

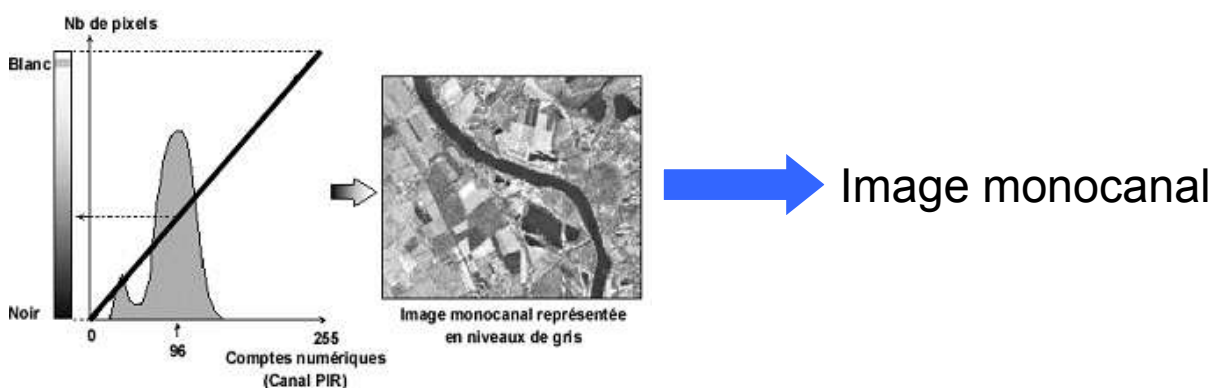
- Photo-interprétation manuelle (produits analogiques);
- Traitement numérique;
- Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur (PIAO)

(il faut des logiciels adaptés : ERDAS; ENVI; GEOMATA, IDRISI, etc.

8-1- Visualisation des images

1-1- Principe de visualisation

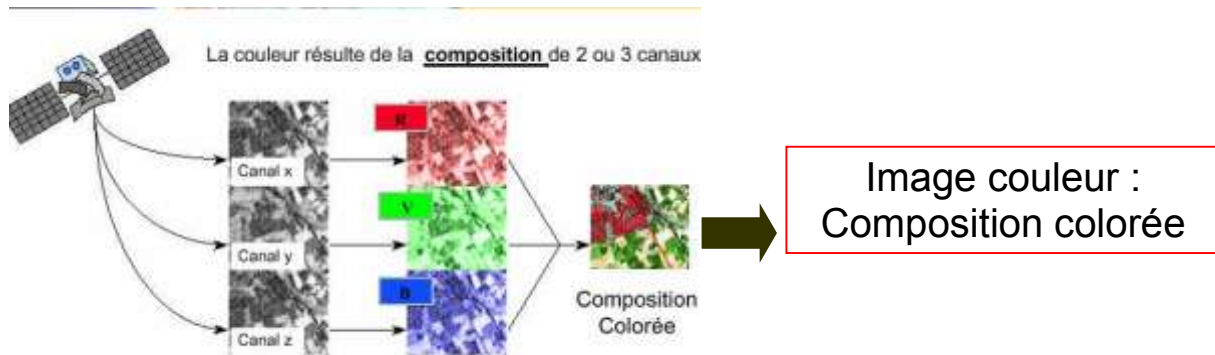
Passage d'une image numérique [0,255] via la Table couleur



8-2- Composition colorée

si bon nombre d'images satellite post-traitées (finies) semblent très colorées, les valeurs brutes des pixels appartiennent toutes à l'échelle des gris (de 0 à 255).

Par conséquent, durant le traitement, plusieurs images satellites (du même capteur mais appartenant à des bandes différentes) sont souvent combinées pour créer une image colorée on parle de **compositions colorées**



Composition coloré 3R2V1B : permet de voir les couleurs réelles, voir le paysage tel perçu par l'œil humain et la profondeur des eaux claires

8-2- ANALYSE ET INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITES

L'interprétation des images satellites peut être subdivisé en trois principales étapes

- Photo-interprétation manuelle (produits analogiques);
- Traitement numérique;
- Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur (il faut des logiciels adaptés : ERDAS; ENVI; GEOMATA, IDRISI, etc.

8-2-1 Traitement des images satellitaires (voir séances de TP)

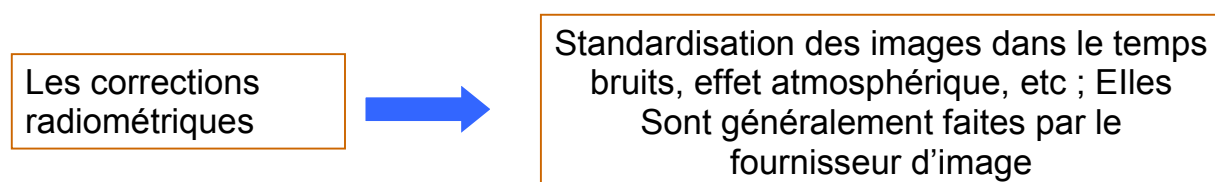
Le traitement d'images numériques nécessite évidemment un système informatique (ou **système d'analyse d'images**) ainsi que l'équipement et les logiciels pour traiter les données.

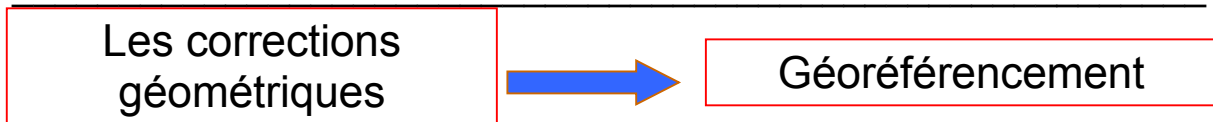
nous regrouperons les fonctions de traitement des images communément disponibles en analyse d'images en quatre catégories :

1. Prétraitement
2. Rehaussement de l'image
3. Transformation de l'image
4. analyse de l'image

a- Prétraitement

Les opérations de pré-traitement se divisent en corrections radiométriques et en corrections géométriques.

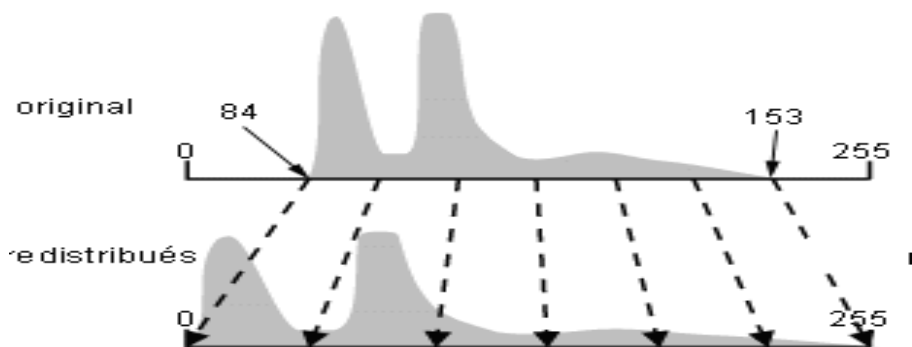




b- Rehaussement de l'image

Le rehaussement (ou le traitement) de l'image est le processus qui permet de rendre une image plus facile à interpréter pour une application donnée.

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



c- Transformation de l'image

La transformation d'images est un procédé qui implique la manipulation de plusieurs bandes de données, que ce soit :

- ✓ pour transformer une image provenant d'un capteur multispectral
- ✓ ou pour transformer plusieurs images de la même région prises à des moments différents (données multi-temporelles).

Les transformations de base font usage d'opérations arithmétiques simples.

Exemple :

La soustraction d'images est souvent utilisée pour identifier les changements qui sont survenus entre des images obtenues à des dates différentes.



D'autres transformations :

rajouter une constante

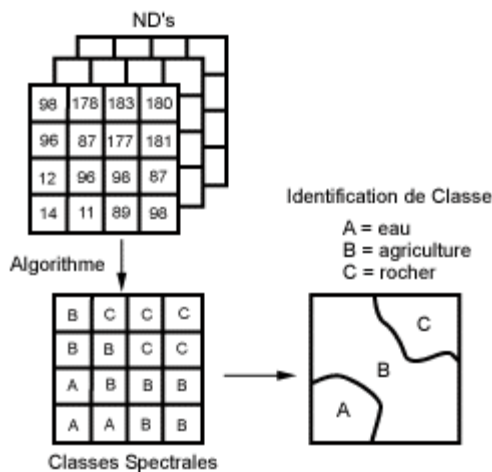
faire une analyse en composante principale sur l'ensemble des bandes pour ne faire apparaître que les trois premiers axes (ACP)

d- Classification et analyse de l'image

Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories : les méthodes de classification supervisée et les méthodes de classification non supervisée.

➤ **La classification non supervisée**

Dans ce cas, Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite associées, par un analyste, à des classes d'information utile (si possible). Des programmes de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels.

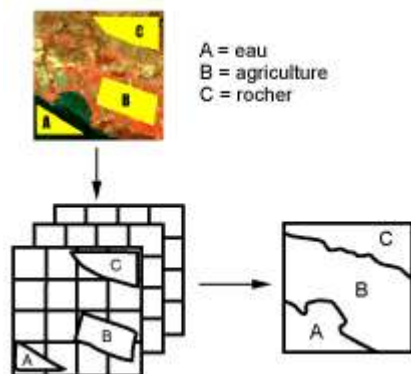


Classification supervisée

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests.

La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image.

Une classification supervisée commence par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.



Les étapes de visualisation, traitement, analyse et interprétation des images satellitaires seront traitées lors des séances de TP.