

COURS DE TÉLÉDÉTECTION ET TRAITEMENT D'IMAGE SATELLITAIRE POUR MASTER 2

Préparés par Dr Hartani A

Crédits : 05

Coefficients : 02

Contenu du polycopié selon le canevas :

I. Introduction à la cartographie écologique

II. Bases physiques de la télédétection

II. 1 Le processus de la télédétection

II. 2 Rayonnement électromagnétique, interactions rayonnement – matière et quantités physiques utilisées en télédétection

II. 3 Propriétés optiques des surfaces naturelles : végétation, sols, eau...

II. 4 Les satellites et les capteurs

III. traitement des données de télédétection

III. 1 Prétraitement des données de télédétection : corrections atmosphériques et géométriques

III. 2 les traitements :

Classification non supervisée et supervisée

Principe et application des indices (NDVI,...)

Techniques de filtrage des images

III. 3 Sources documentaires (images satellitaires ; cartes...).

IV. Principes de la cartographie écologique :

IV. 1. Analyse, assemblage et synthèse des disciplines utilisées pour résoudre des problématiques écologiques (pédologie, bioclimatologie, écologie végétale, botanique, statistiques)

A.LES ECHELLES D'OBSERVATION

B.LES RELATIONS ESPACE – TEMPS

C.CARTOGRAPHIE BIO-CLIMATOLOGIQUE (PRECIPITATIONS ET TEMPERATURE DE SURFACE)

D.CARTOGRAPHIE PEDOLOGIQUE (LES SOLS)

E.CARTOGRAPHIE DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES (BASSINS VERSANTS)

F.CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION (HERBACEES, FORESTIERES)

IV. 2. Traitement des données : application sur logiciel ENVI4.7

En plus des exposés et des applications sur le logiciel (ENVI4.7) de traitement d'image satellitaires

Mode d'évaluation : Contrôle continu +examens.

...L'excellent manuel de cartographie écologique du professeur OZENDA : «Ecological Mapping and its Applications, Paris Masson 1986, 160p»

Le professeur OZENDA était initialement un botaniste alpin et saharien compétent, il est devenu un biogéographe justement renommé, il nous fait part dans un ouvrage en des conclusions auxquelles la rédaction de nombreuses cartes de végétation ou écologie végétale, ont lui amené et son équipe au cours de sa carrière. Le plan de ce récent manuel, tout en expliquant pourquoi les cartes sont irremplaçables et aucun géographe certes ne le contredira, puis il décrit le principe des cartes thématiques. Tels : des cartes biocénétiques des cartes écologiques (la répartition de séries végétales en montagne en fonction de la pluviométrie et de la température), cartes biocénétiques environnement réel anthropisé (pollutions atmosphériques ou ses pestes animales tiques moustiques), ce qui fait aborder tout naturellement le problème de la conservation de la nature. Allons au-delà encore et avec Ozenda, nous débouchons en pleine géographie humaine, puisque les cartes écologiques peuvent servir l'aménagement des espaces (constat brut d'occupation actuelle du sol interface ville-campagne).

En résumé selon Ozenda : Une carte doit être claire, parlante, informée et réalisée au moindre coût possible. L'informatique est un progrès mais il ne faut pas trop compter sur le traitement automatique ultérieur pour faire ressortir ce qu'on n'aura pas su voir sur le terrain.

cours de télédétection et traitement d'image satellitaire Pour MASTER 1 GCESE

- **télédétection**
 - ❖ Source d'énergie
 - ❖ Le rayonnement électromagnétique
 - ❖ Interactions avec la cible
 - ❖ Capteurs
- **Traitement d'image (TP et Exposés)**
 - ❖ Les satellites
 - ❖ Sys de Ref/ sys de Proj
 - ❖ Les correction géométriques
 - ❖ Téléchargement des image satellitaires
 - ❖ La classification (supervisée/non supervisée)
 - ❖ Les indices (sol/végétation)
 - ❖ Le masque
 - ❖ Les filtres

La télédétection

- Qu'est-ce que la télédétection ?
 - « 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. »

Source d'énergie

- Le rayonnement électromagnétique
 - Une source d'énergie sous forme de *rayonnement électromagnétique* est nécessaire pour illuminer la cible, à moins que la cible ne produise elle-même cette énergie.
 - Le soleil est très souvent cette source
 - Capteurs actif vs passif

Principe de la télédétection

Différentes étapes de la télédétection des surfaces naturelles

1. Une source d'énergie ou d'illumination (A) :

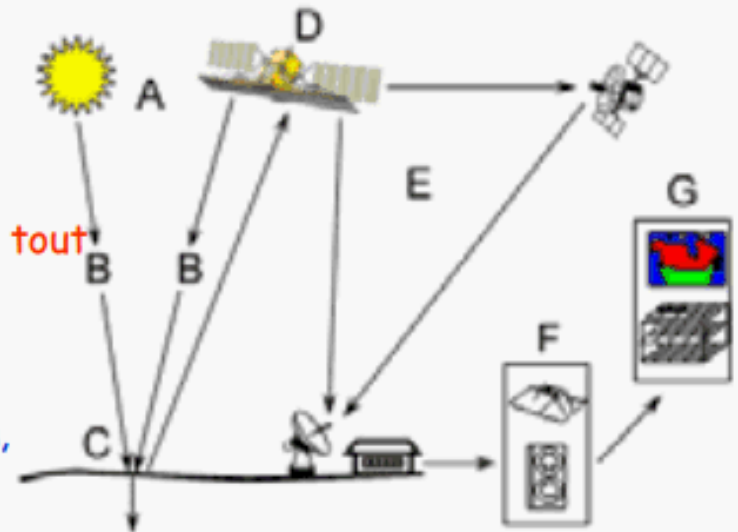
En télédétection dite passive, le soleil constitue la principale source d'énergie. En télédétection dite active, la source est fabriquée par l'homme.

2. Interactions entre le rayonnement et l'atmosphère tout au long du trajet source-cible et cible-capteur (B).

3. Interactions avec la cible (C) :

Ces interactions sont de trois types : la transmission, la réflexion et l'absorption.

L'émission est à considérer comme un phénomène à part.



© CCRS

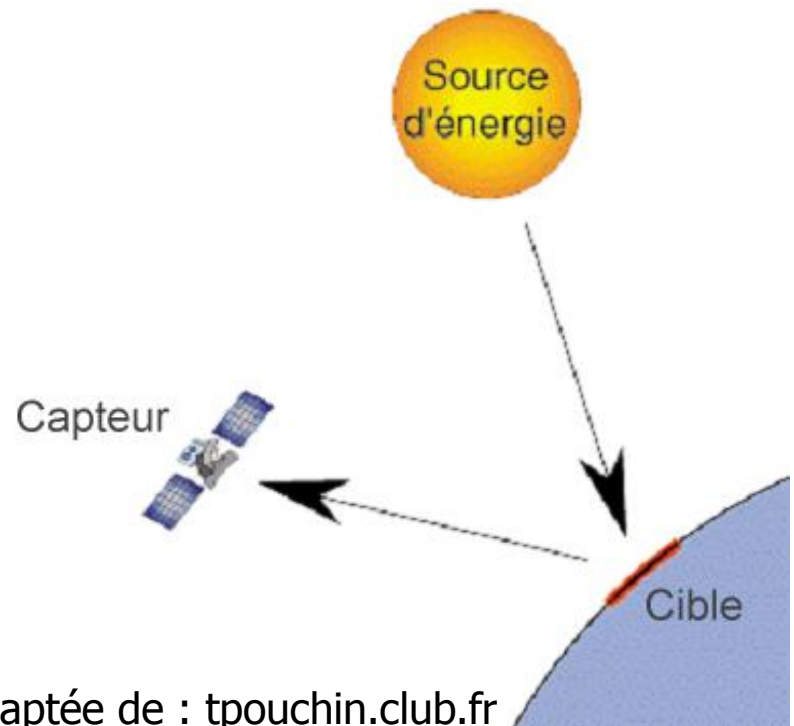
4. Enregistrement du signal par le capteur (D) : Le capteur enregistre le signal reçu.

5. Transmission, Réception, et Traitement (E) : Le satellite transmet les signaux vers des stations de réception au sol ou à des satellites relais. Au niveau de ces stations, les informations sont décodées et enregistrées sous forme d'images ou de photographies.

6. Traitements, analyses, interprétation et applications (F et G) : Les traitements se basent sur des théories et techniques souvent complexes et servent à extraire les informations utiles. Ces informations sont ensuite utilisées pour caractériser la cible étudiée.

Source d'énergie

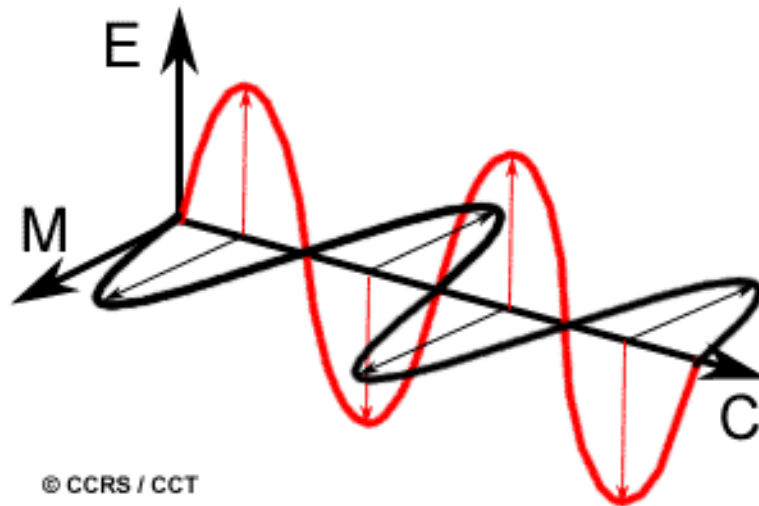
- L'acquisition d'images est l'interaction entre trois éléments fondamentaux
 - une source d'énergie
 - une cible
 - une plate-forme d'acquisition
 - Capteur



Adaptée de : tpouchin.club.fr

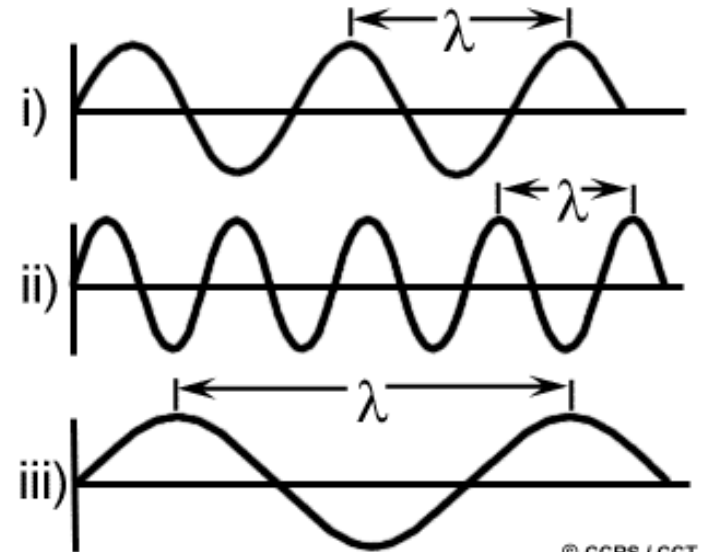
Source d'énergie

- Le rayonnement électromagnétique
 - énergie transportée dans l'espace sous forme d'ondes ou de particules
 - composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M)

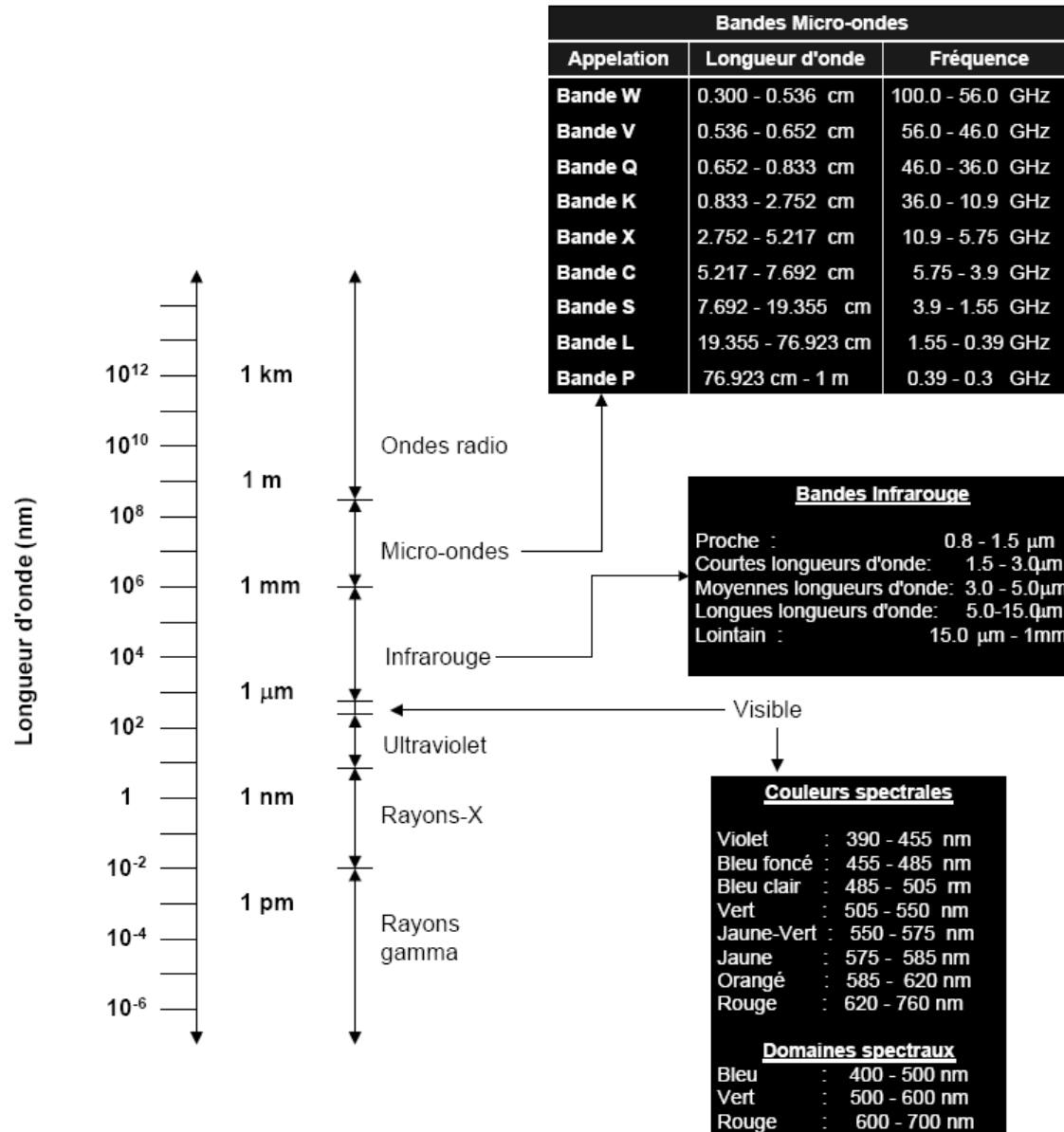


Source d'énergie

- Le rayonnement électromagnétique
 - Longueur d'onde (λ en m)
 - longueur d'un cycle d'une onde, distance entre deux crêtes successives d'une onde
 - mesurée en mètres ou sous-multiples
 - Fréquence (ν en Hz)
 - nombre d'oscillations par unité de temps
 - Inversement proportionnelles
 - $C = \lambda \nu$
 - $C = \text{vitesse de la lumière}$



LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



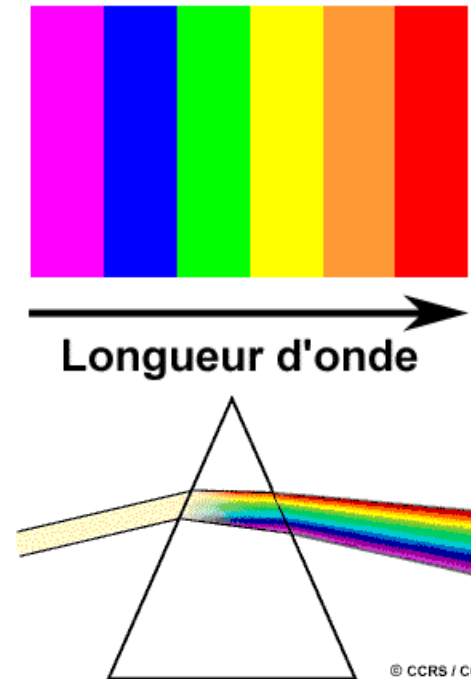
Source : Cavayas 2005

Source d'énergie

- Le rayonnement électromagnétique
 - Visible

- Le rouge à la plus grande longueur d'onde
- Le violet a la plus courte
- Le prisme *réfracte* la lumière de façon différente selon la longueur d'onde

Violet	: 0.4 - 0.446 μm
Bleu	: 0.446 - 0.500 μm
Vert	: 0.500 - 0.578 μm
Jaune	: 0.578 - 0.592 μm
Orange	: 0.592 - 0.620 μm
Rouge	: 0.620 - 0.7 μm



Source d'énergie

- Le rayonnement électromagnétique

- L'infrarouge (0,7 à 100 μm)

- deux catégories

- IR réfléchi

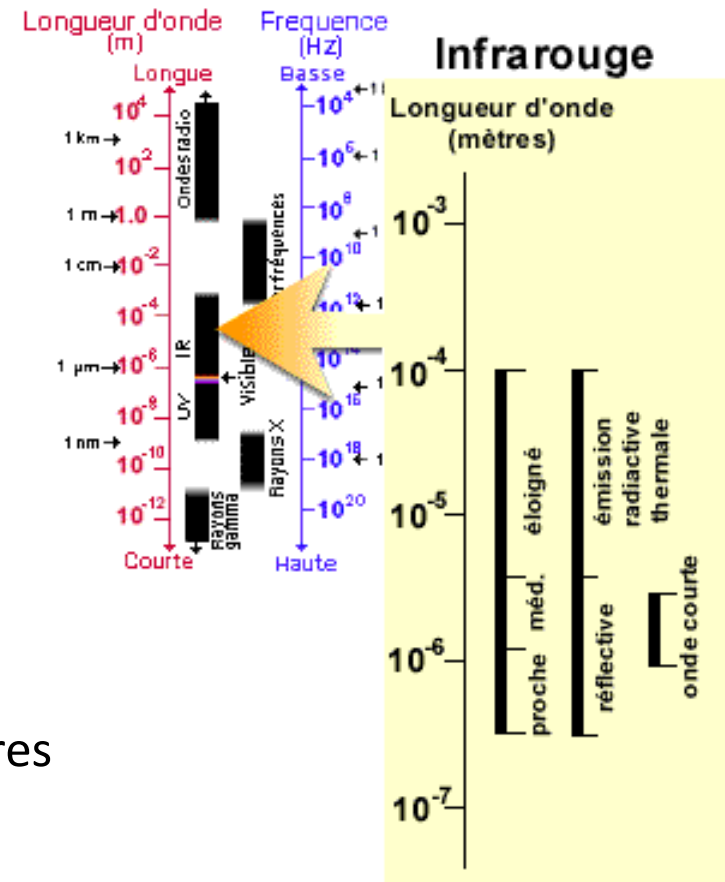
- » utilisé de la même façon que le visible

- » de 0,7 à 3 μm

- IR émis ou *thermique*

- » rayonnement émis sous forme de chaleur par la surface de la Terre et autres

- » de 3 à 100 μm



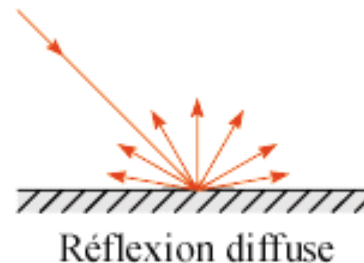
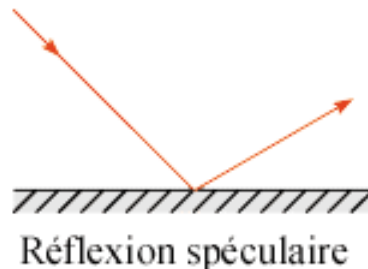
Source : CCT

Source d'énergie

- Propriétés des ondes électromagnétiques
 - fondamentales en télédétection
 - la réflexion
 - l'absorption
 - la transmission
 - la diffusion
 - l'émission

Source d'énergie

- Propriétés des ondes électromagnétiques
 - la réflexion
 - un corps qui reçoit un REM peut en réfléchir une partie
 - *albédo* : énergie *solaire* réfléchiée par une portion d'espace terrestre (% réfléchiée)
 - spéculaire ou diffuse



Source d'énergie

- Propriétés des ondes électromagnétiques
 - l'absorption
 - un corps qui reçoit un REM peut en absorber une partie
 - cette énergie absorbée est transformée et modifie l'énergie interne du corps
 - peut augmenter la température interne du corps
 - les grosses molécules de l'atmosphère (ozone, bioxyde de carbone et vapeur d'eau) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde

Source d'énergie

- Propriétés des ondes électromagnétiques
 - la transmission
 - un corps qui reçoit un REM peut en transmettre une partie
 - un objet transparent à une transmittance élevée dans les longueurs d'ondes visibles
 - une surface d'eau pure ou le feuillage d'arbres sont des exemples de surfaces susceptibles de transmettre une partie du REM

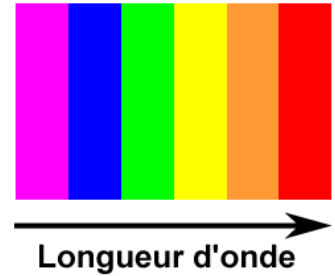
Source d'énergie

- Propriétés des ondes électromagnétiques
 - la diffusion
 - très grande importance en télédétection
 - des particules microscopiques dans l'atmosphère amènent la diffusion dans toutes les directions d'une partie du REM
 - le REM traversant ce milieu peut alors être considérablement transformé.
 - environ 25% du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère est diffusé
 - peut être beaucoup plus important lorsque l'atmosphère est chargé en aérosols et vapeur d'eau

Source d'énergie

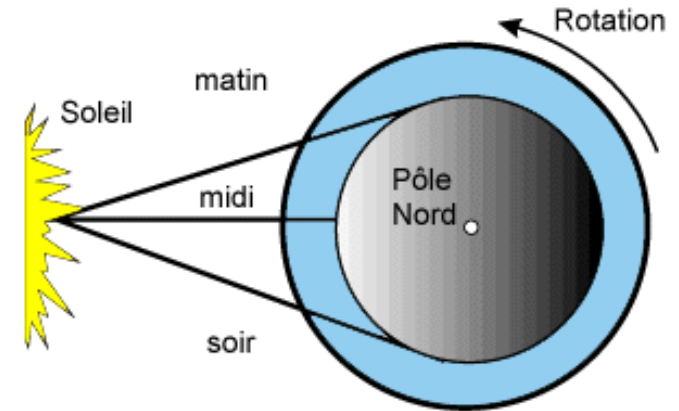
- Propriétés des ondes électromagnétiques
 - trois types de diffusion
 - diffusion de Rayleigh
 - diffusion de Mie
 - diffusion non-sélective

Source d'énergie



– diffusion de Rayleigh

- lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement
 - particules de poussière ou molécules d'azote ou d'oxygène
- disperse et dévie de façon plus importante les courtes longueurs d'onde
- c'est pourquoi le ciel est bleu
- forme de diffusion prédominante dans les couches supérieures de l'atmosphère.



Source : CCT

Source d'énergie

– diffusion de Mie

- les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement
 - poussière, pollen, fumée et eau
- affecte les plus grandes longueurs d'onde
- surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont plus abondantes

Source d'énergie



– diffusion non-sélective

- lorsque les particules sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde
 - gouttes d'eau et grosses particules de poussière
- "non-sélective" car toutes les longueurs d'onde sont dispersées
- les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc
- c'est pourquoi le brouillard et les nuages nous paraissent blancs.

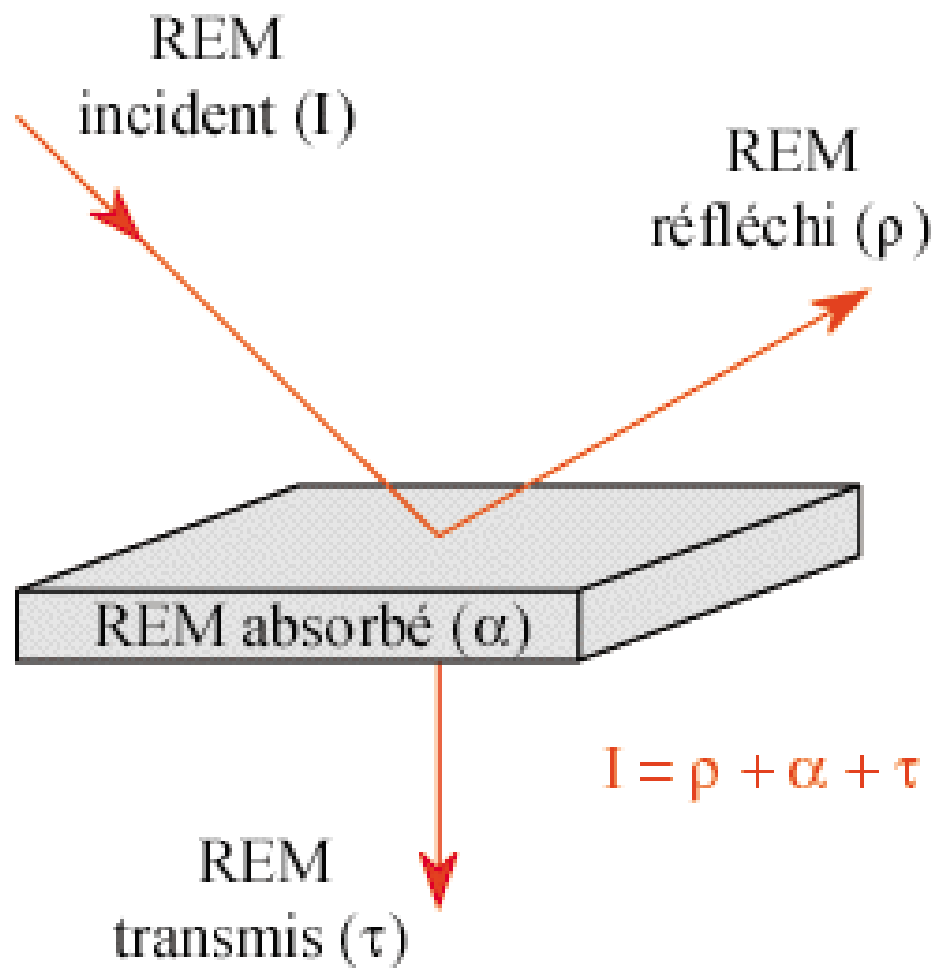
Interactions avec la cible

- En télédétection, l'interaction du REM avec les objets se résume donc à trois phénomènes :
 - Absorptance
 - Transmittance
 - Réflectance



Source : CCT

Interactions avec la cible



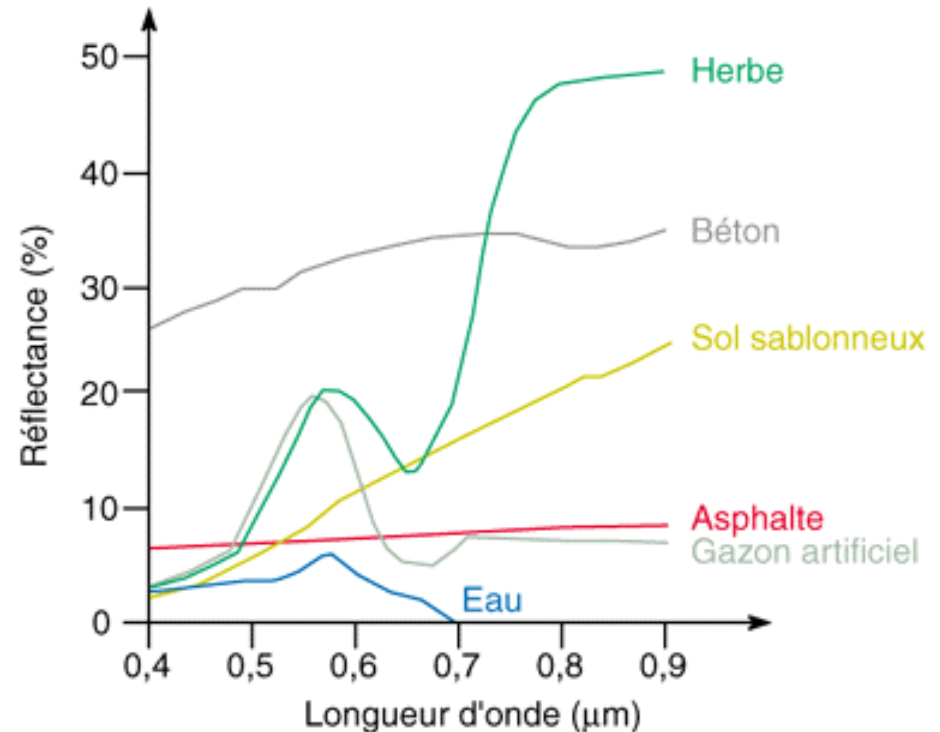
Interactions avec la cible

- Chaque objet possède des propriétés spécifiques
 - Identification



Source : CCT

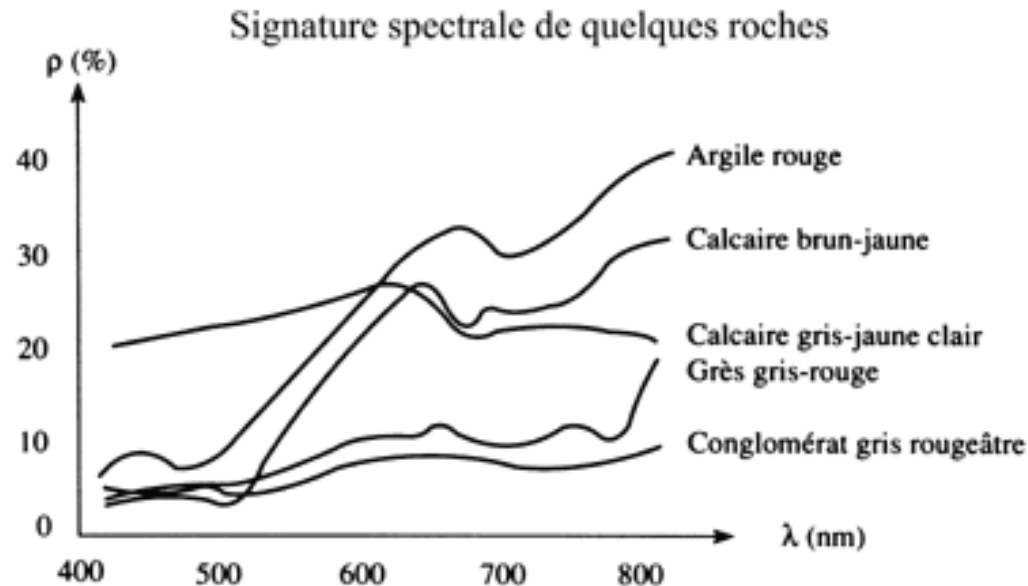
Signatures spectrales comparées



Source : tpouchin.club.fr

Interactions avec la cible

- Chaque objet possède des propriétés spécifiques
 - Identification



Pour bien mettre en évidence la complexité d'une interprétation de la réflectance d'un sol, voici un tableau qui résume les effets de chacun des paramètres mentionnés :

parametres	reflectance
Humidité	
Texture fine	
Texture rugueuse	
Matière organique	
Oxyde de fer	

Les capteurs

- Capteurs
 - instruments qui permettent de transformer le rayonnement électromagnétique en informations perceptibles et analysables par l'humain
 - *"un instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant mesurable"* (source : ?)
 - trois grands types de capteur:
 - les systèmes photographiques
 - les radiomètres imageurs
 - les capteurs actifs

Les capteurs

- les systèmes photographiques
 - systèmes optiques "classiques" dont le fonctionnement de base est similaire aux appareils photographiques communs
- les radiomètres imageurs
 - transformation du rayonnement électromagnétique en un signal électrique stocké sur un support numérique
- les capteurs actifs
 - éclairent artificiellement la cible avant de mesurer l'énergie qu'elle renvoie

Les capteurs

- les radiomètres imageurs
 - ils sont appelés "imageurs" pour les distinguer des radiomètres et spectroradiomètres ponctuels utilisés au sol (un seul point de l'espace)
 - La grande diversité des capteurs permet de mesurer le rayonnement électromagnétique dans de très nombreuses longueurs d'ondes. En général, les capteurs passifs vont de l'ultraviolet-visible à l'infrarouge lointain.

Les capteurs

- Plate-formes
 - Pour enregistrer adéquatement l'énergie réfléchie ou émise par une surface ou une cible donnée, on doit installer un capteur sur une plate-forme distante de la surface ou de la cible observée
 - 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.

Les capteurs

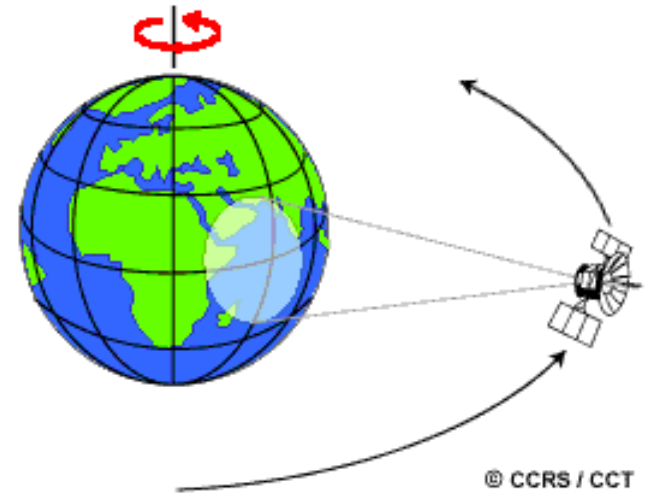
- Plate-formes



Source : CCT, www.asdi.com

Les capteurs

- Satellites
 - fournissent la majeure partie des données recueillies par télédétection de nos jours
 - Orbite
 - trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre
 - géostationnaire
 - quasi polaire
 - héliosynchrone



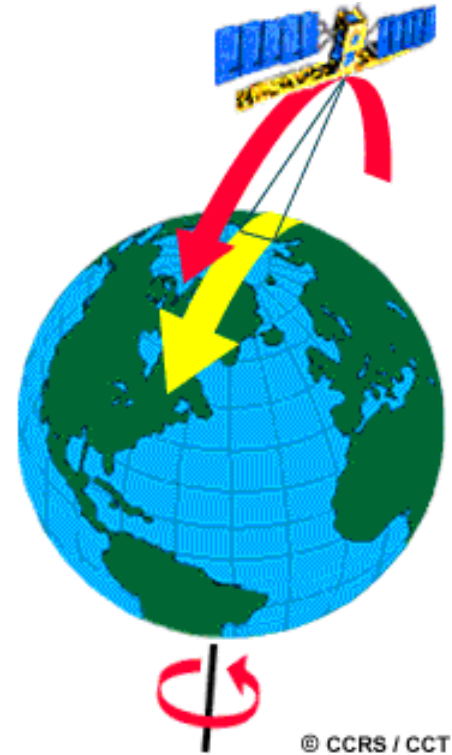
Source : CCT

Les capteurs

- Orbite géostationnaire
 - altitude très élevée
 - regardent toujours la même région
 - altitude d'environ 36,000 kilomètres
 - vitesse qui correspond à celle de la Terre, donnant l'impression qu'ils sont stationnaires
 - permet d'observer et d'amasser de l'information sur une région spécifique
 - satellites de communication
 - observation des conditions météorologiques
 - certain couvrent un hémisphère complet de la Terre

Les capteurs

- Orbite quasi polaire
 - allant pratiquement du nord au sud ou vice versa
 - combinée à la rotation de la Terre (ouest-est) au cours d'une période les satellites ont observé la presque totalité de la Terre
 - appelé quasi polaire à cause de l'inclinaison de l'orbite



© CCRS / CCT

Source : CCT

Les capteurs

- Orbite héliosynchrone
 - observent toujours chaque région du globe à la même heure locale solaire
 - assure des conditions d'illumination solaire similaires, facteur important lorsqu'on compare deux images successives ou lorsqu'on produit une mosaïque avec des images adjacentes
 - La plupart des satellites sur orbite quasi-polaires ont aussi une orbite héliosynchrone

Les capteurs

- Nombre de « bandes »
 - Multibande
 - 3 ou 4 bandes larges
 - visible au proche IR
 - Multispectral
 - plusieurs bandes fines
 - visible au IR thermique
 - Hyperspectral
 - des centaines de bandes encore plus fines
 - visible au IR moyen

Les capteurs

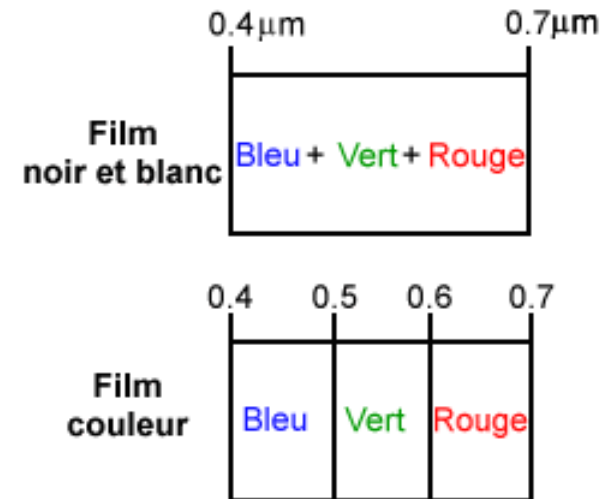
- Résolution spatiale
 - Satellites commerciaux
 - du mètre à plusieurs kilomètres
 - Échelle
 - 1:100,000
 - un objet au sol de 100,000 cm (1 km) représenté par un objet de 1 cm sur l'image



Source : CCT

Les capteurs

- Résolution spectrale
 - capacité d'un capteur à différencier la réflectance à divers longueurs d'onde
 - Plus la résolution spectrale est fine, plus les différents canaux du capteur sont étroits
 - Plusieurs instruments peuvent enregistrer l'énergie à différentes résolutions spectrales
 - Multispectraux
 - Hyperspectraux



Source : CCT

Les capteurs

- Résolution radiométrique
 - sensibilité à l'intensité de l'énergie électromagnétique
 - capacité du capteur à reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique
 - la gamme de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible se nomme *plage dynamique*.

Les capteurs

- Résolution radiométrique
 - En numérique = Nombre de bit
 - nombre maximum de niveaux d'intensité

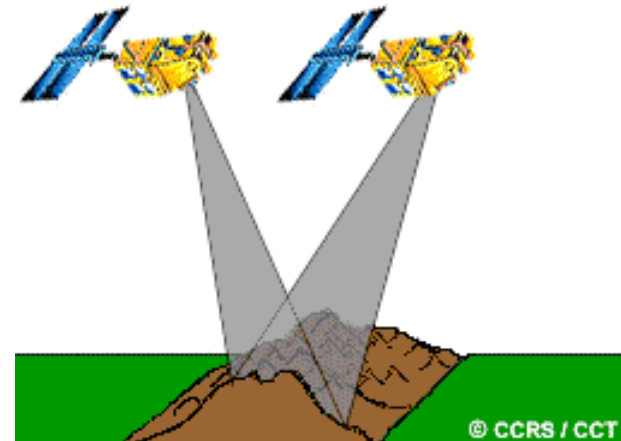
2 bits (4 tons)
versus
8 bits (256 tons)



Source : CCT

Les capteurs

- Résolution temporelle
 - généralement le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet (retour au Nadir initial)
 - normalement quelques jours
 - certains satellites peuvent pointer leurs capteurs en direction du même point pour différents passages du satellite !
 - Résolution effective plus fine



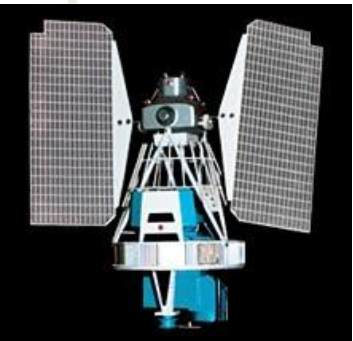
Source : CCT

Les capteurs

- Satellites et capteurs d'observation
 - Landsat-1
 - premier satellite d'observation
 - lancé par la NASA en 1972
 - à l'origine sous l'acronyme ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite)
 - Landsat à été conçu pour tester la faisabilité d'une plate-forme multispectrale d'observation de la Terre non habitée
 - Programme commercial depuis 1995

Les capteurs

- Landsat
 - orbite héliosynchrone polaire
 - Landsat-1 à 3 à une altitude de 900km
 - répétitivité de 18 jours
 - Landsat-4 et après à une altitude de 700km
 - répétitivité de 16 jours
 - plusieurs capteurs
 - RBV (Return Beam Vidicon)
 - MSS (Multi Spectral Scanner)
 - TM (Thematic Mapper)
 - fauchée de 185km, une scène de 185km*185km

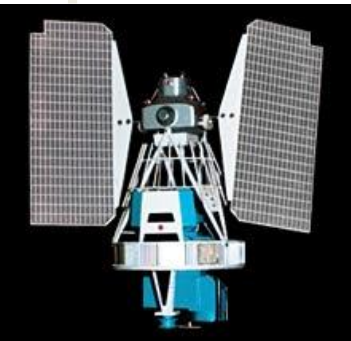


Les capteurs

- Landsat - MSS (Multi Spectral Scanner)
 - ~ à la retraite depuis 1982

Bandes MSS

Bandes		Longueurs d'ondes (microns)
Landsat 1,2,3	Landsat 4,5	
MSS 4	MSS 1	0,5 - 0,6 (vert)
MSS 5	MSS 2	0,6 - 0,7 (rouge)
MSS 6	MSS 3	0,7 - 0,8 (proche infrarouge)
MSS 7	MSS 4	0,8 - 1,1 (proche infrarouge)



Les capteurs

- Landsat – TM (Thematic Mapper)

Bandes TM

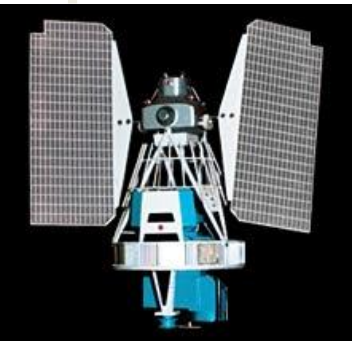
Bandes	Domaine spectral (microns)	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie/cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

Source : CCT



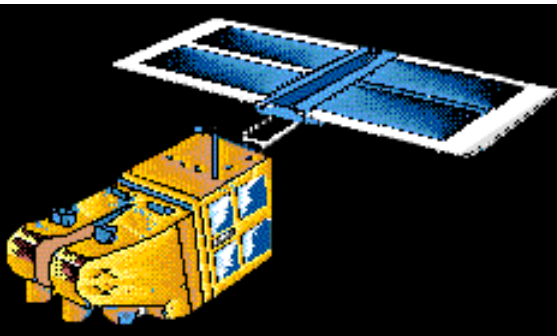
Les capteurs

- Landsat - TM (Thematic Mapper)
 - Résolution spatiale
 - 30 m pour toutes les bandes
 - 120 m pour l'infrarouge thermique
 - Résolution radiométrique
 - 8 octets
 - Utilisations
 - gestion des ressources, cartographie, surveillance de l'environnement et détection du changement
 - ex: surveillance des coupes à blanc



Les capteurs

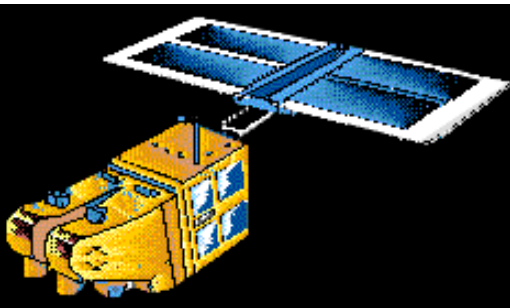
- **Spot** (Système pour l'observation de la Terre)
 - Centre National d'Études Spatiales (Fr)
 - SPOT-1, lancé en 1986
 - suivi d'autres lancements à tous les 3-4 ans
 - orbite héliosynchrone polaire
 - altitude de 830 km
 - répétitivité de 26 jours
 - premier satellite à balayage à barrettes



Source : CCT

Les capteurs

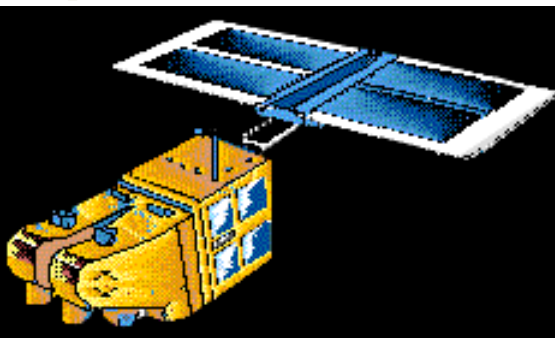
- **Spot** (Système pour l'observation de la Terre)
 - résolution spatiale
 - 10 m en mode panchromatique (1 bande)
 - 20 m en mode multibande (3 bandes)
 - Fauchée
 - Normalement de 60 km
 - peut être ajusté pour regarder des deux côtés de la ligne nadir. Ceci permet des visées obliques, ce qui augmente la répétitivité des satellites
 - permet aux satellites d'accéder à un couloir d'acquisition de 950 km et permet une répétitivité de plusieurs fois par semaine.



Les capteurs

- **Spot** (Système pour l'observation de la Terre)

Mode / bande	Domaine spectral (microns)
Panchromatique (PLA)	0,51 - 0,73 (bleu-vert-rouge)
Multispectrale (MLA)	
Bande 1	0,50 - 0,59 (green)
Bande 2	0,61 - 0,68 (red)
Bande 3	0,79 - 0,89 (proche infrarouge)



Source : CCT

Les capteurs

- Ikonos
 - Ikonos-2 lancé en 1999
 - Premiers clichés commerciaux début 2000
 - Nouvelle génération haute résolution
 - Résolution spatiale:
 - 4 m avec 4 canaux
 - 1 m en panchromatique
 - Premier satellite commercial avec résolution photographique !



Les capteurs

- Ikonos

	Band Width	Spatial Resolution
Panchromatic	0.45 - 0.90µm	1 metre
Band 1	0.45 - 0.53µm (blue)	4 metres
Band 2	0.52 - 0.61µm (green)	4 metres
Band 3	0.64 - 0.72µm (red)	4 metres
Band 4	0.77 - 0.88µm (near infra-red)	4 metres

Traitement d'image (TP et Exposés)

- ❖ Les satellites
- ❖ Sys de Ref/ sys de Proj
- ❖ Les correction géométriques
- ❖ Téléchargement des image satellitaires
- ❖ La classification (supervisée/non supervisée)
- ❖ Les indices (sol/végétation)
- ❖ Le masque
- ❖ Les filtres
- ❖ Cartographie: sol, végétation, risques naturels...