



Cours préparé par :

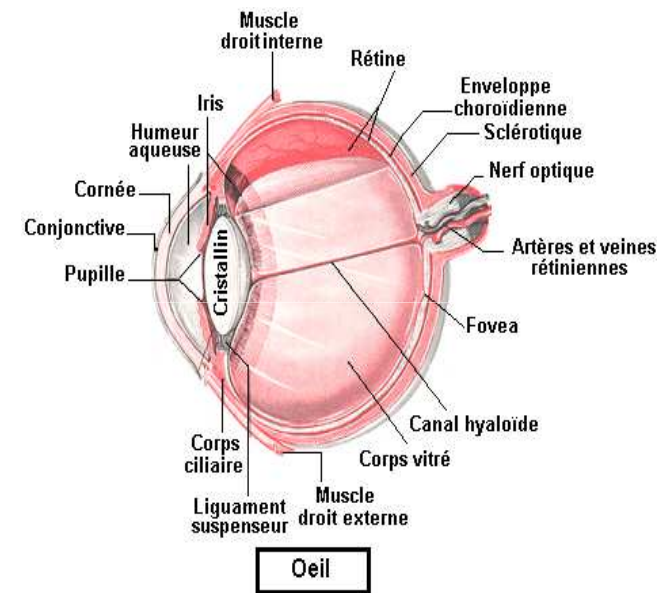
le Pr. A. EL ABOUDI

Qu'est-ce que la télédétection ?

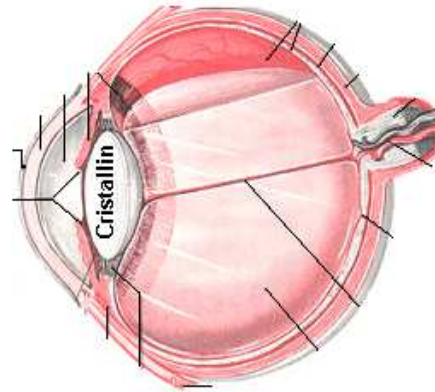
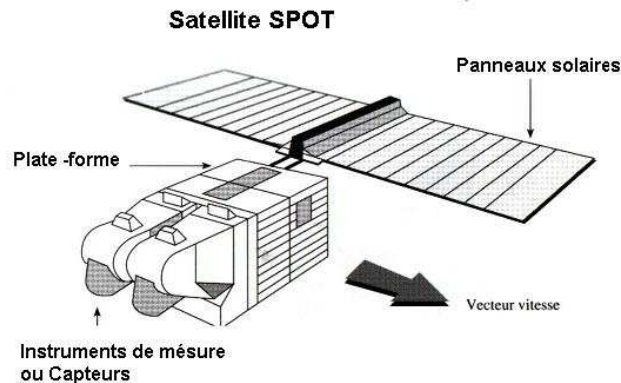
Le système visuel



- Le Système biologique qui nous permet de voir est un système de télédétection.
- La rétine est constituée par des cônes et des bâtonnets, ces cellules visuelles transforment l'énergie électromagnétique en influx nerveux sensible qui sera transmis au cerveau par le nerf optique par toute une série de réactions chimiques.
- L'œil envoie l'information au cerveau; ce dernier décompose la lumière en trois bandes de couleurs différentes et il refait la synthèse en combinant ces trois couleurs et en déduit une seule.
- Les satellites, eux, donnent une information générale, n'augmentant pas la quantité d'information sur le point intéressant.



c. Comparaison oeil-satellite



- Œil → Capteurs
- Cellules visuelles → Les canaux (XS et Pan)
- Cerveau → La station de réception
- ↓
- Cerveau
- En télédétection, on utilise les propriétés physique des objets observés, en particulier leurs propriétés optique, pour acquérir de l'information sur la nature de ces objets. Cette information est portée vers le système d'observation à l'aide d'un rayonnement électromagnétique, comme la lumière.



A. Notions fondamentales de la télédéttection

1. Définition

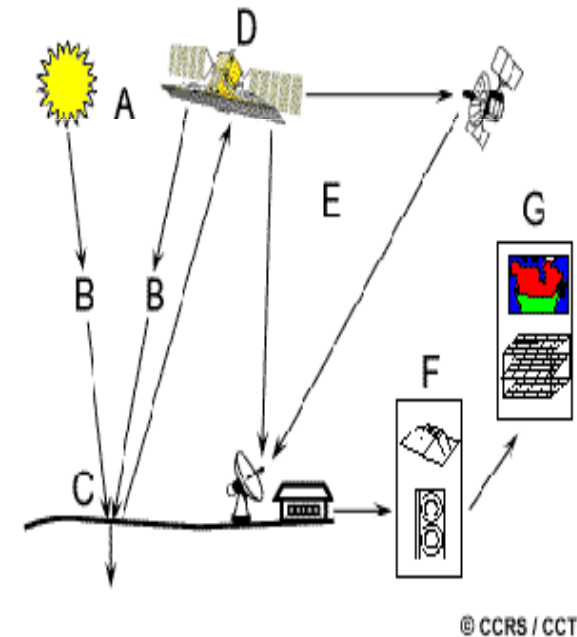


- «La télédétection est "*l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci*».
- Elle utilise les propriétés d'émission ou de rayonnement des ondes électromagnétiques par les objets.
- La télédétection est le plus souvent appliquée à l'observation de la Terre, mais peut aussi concerner d'autres planètes, étoiles, galaxies...
- Le processus de la télédétection comporte sept étapes que nous élaborons ci-après.

2. Notions fondamentales de la télédétection



- **1. Source d'énergie ou d'illumination (A)**
 - Tout processus de télédétection nécessite 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.



2. Notions fondamentales de la télédétection



- **5. Transmission, réception et traitement (E)**

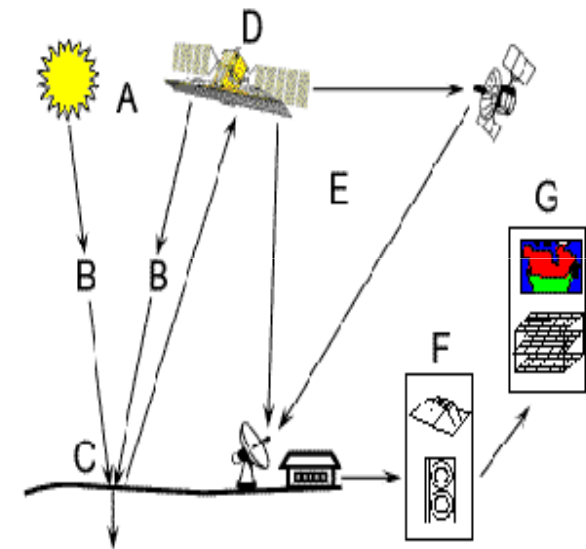
- L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

- **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.



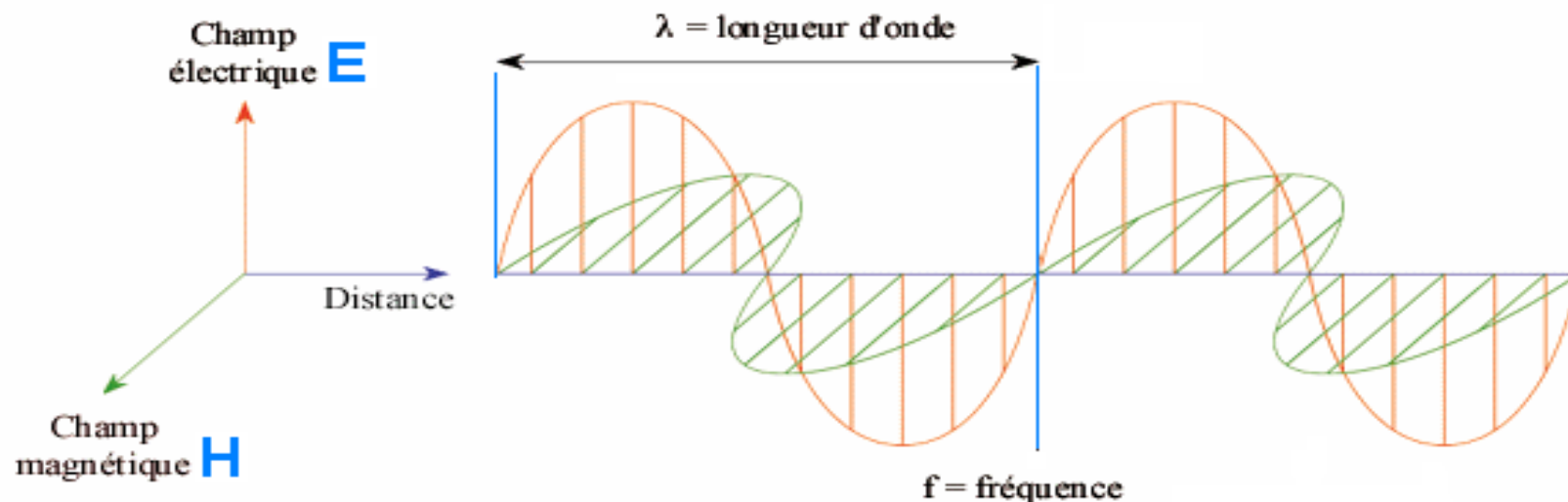
© CCRS / CCT

3. Propriétés physiques du rayonnement électromagnétique



3.1. Le rayonnement électromagnétique

- Un rayonnement électromagnétique est représenté par deux vecteurs perpendiculaires indissociables : le **champ électrique E** et le **champ magnétique H**.
- Le rayonnement électromagnétique se caractérise par :
- **La longueur d'onde λ** = distance parcourue par l'onde à la vitesse v pendant une période T . λ est mesurée en mètres ou en l'un de ces sous-multiples tels que les **nanomètres** (10^{-9} mètre), **micromètres** (10^{-6} mètre) ou **centimètres** (10^{-2} mètre).
- **Période T** = temps T durant lequel l'onde fait une oscillation complète
- **Fréquence (f)** = nombre d'oscillations par seconde avec $T = 1/f$. La fréquence est normalement mesurée en Hertz (Hz) (c.-à-d. en oscillations par seconde).
- $\lambda = vT = v / f$



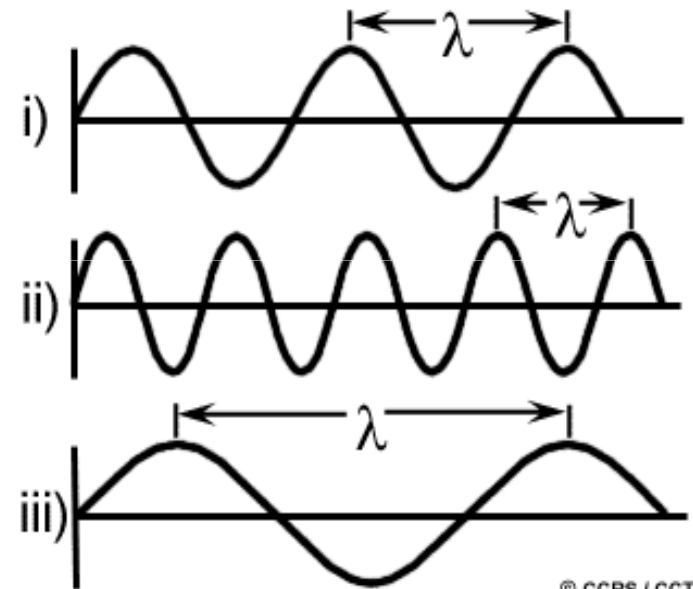
3.1. Le rayonnement électromagnétique



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

$$\lambda = v / f$$

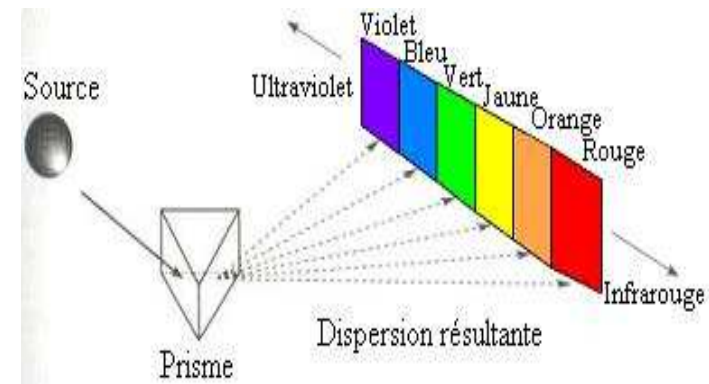
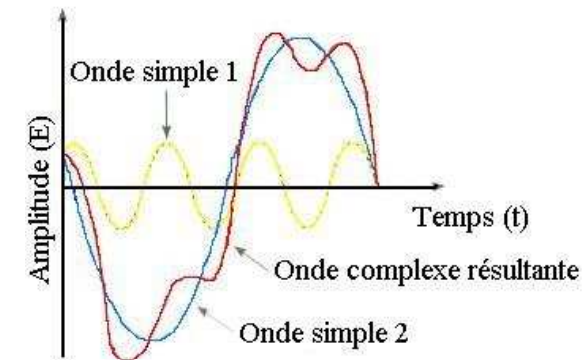
- f = fréquence
- λ = longueur d'onde
- v = vitesse de la lumière
- La longueur d'onde et la fréquence sont donc inversement proportionnelles, c'est-à-dire que plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et plus la longueur d'onde est grande, plus la fréquence est basse.



© CCRS / CCT

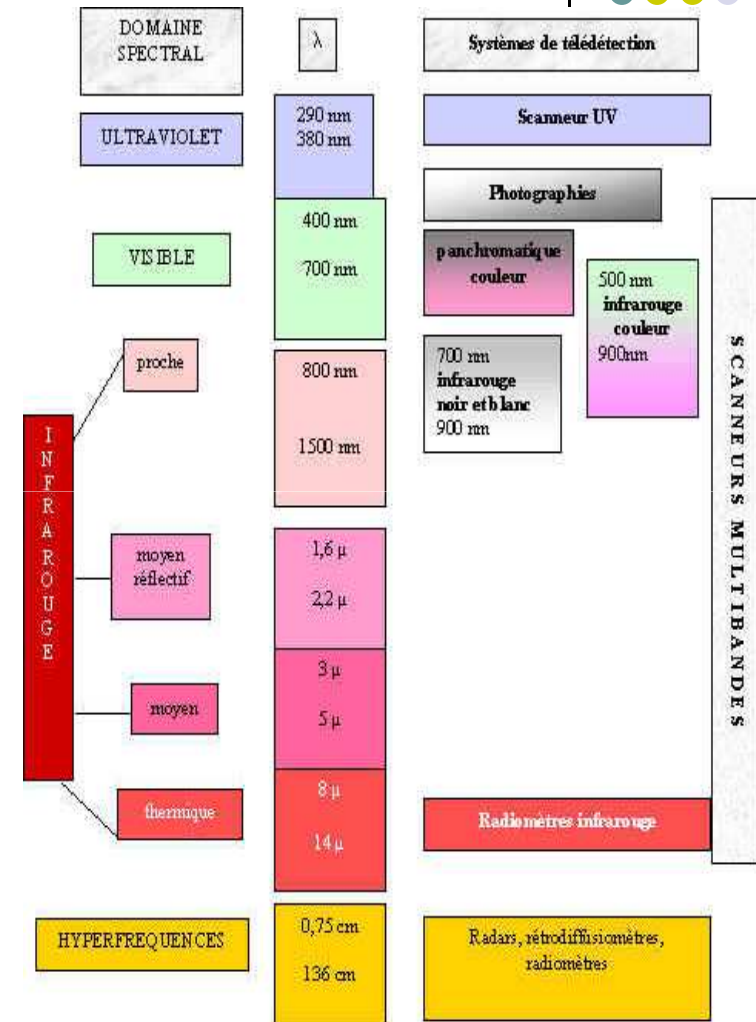
3.2. Le spectre électromagnétique

- Le rayonnement électromagnétique est un phénomène vibratoire constitué par un ensemble d'onde sinusoïdale appelé « **Bandes spectrales** ». , chaque bande est caractérisée par une amplitude et une fréquence différentes, et donc par des longueurs d'onde propres.
- Par exemple, lorsque la lumière blanche passe dans un prisme, on obtient un spectre composé de six ondes électromagnétiques dont les longueurs d'ondes sont situées entre 0,4 et 0,7 μm , ce qui correspond la partie visible.

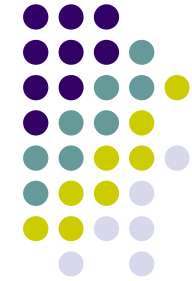


3.2. Le spectre électromagnétique

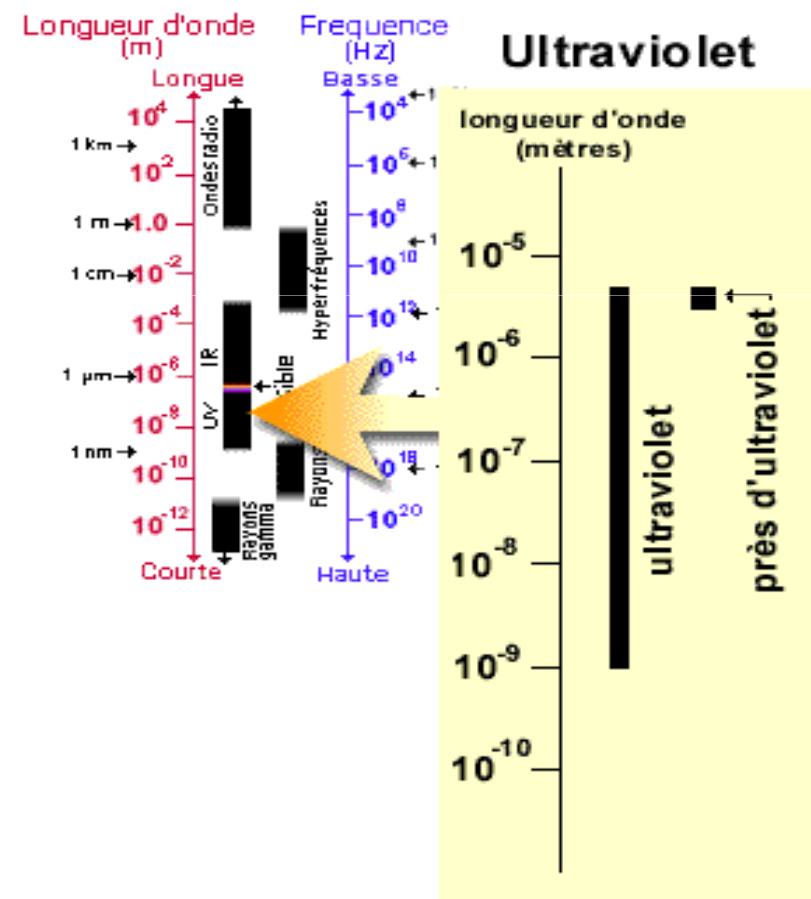
- Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio). La télédétection utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique.



3.2.1. l'ultraviolet



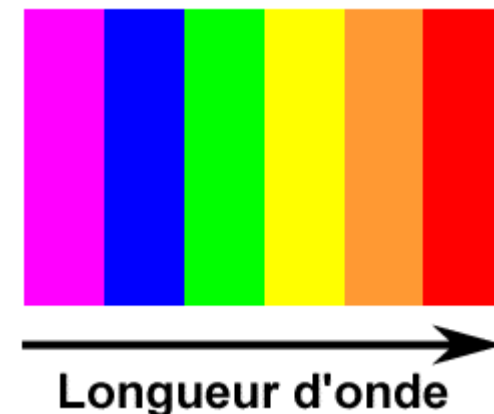
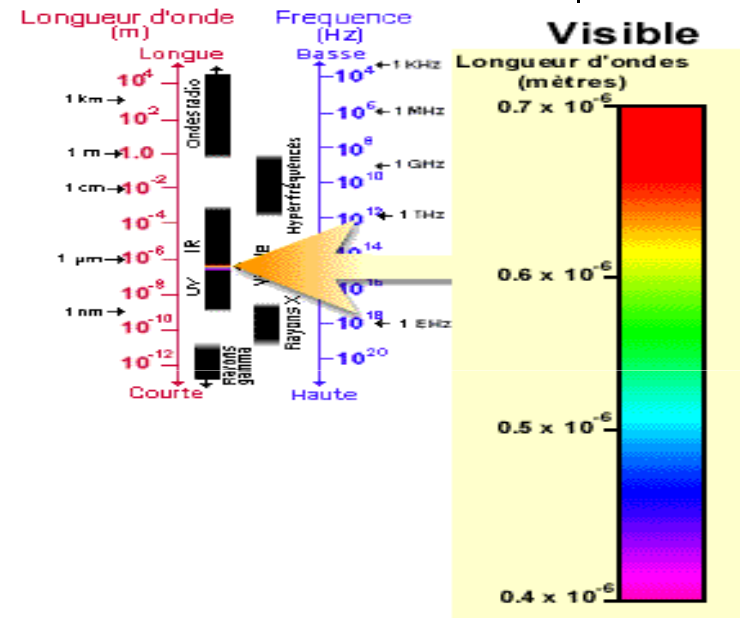
- Les plus petites longueurs d'onde utilisées pour la télédétection se situent dans **l'ultraviolet**. Ce rayonnement se situe au-delà du violet de la partie du spectre visible. Certains matériaux de la surface terrestre, surtout des roches et minéraux, émettent de la lumière visible quand ils sont illuminés par un rayonnement ultraviolet.



3.2.2. le visible

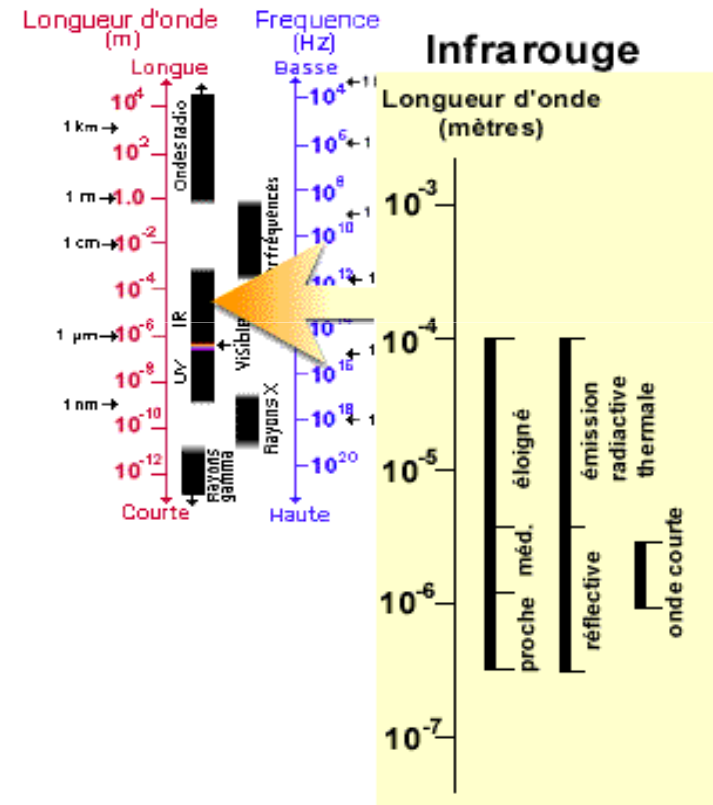
- La lumière que nos yeux peuvent détecter se trouve dans le "spectre visible". Il est important de constater que le spectre visible représente une petite partie de l'ensemble du spectre.
- Les longueurs d'onde visibles s'étendent de 0,4 à 0,7 μm . La couleur qui possède la plus grande longueur d'onde est le rouge, alors que le violet a la plus courte.

Violet	:	0.400 - 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 - 0.700 μm



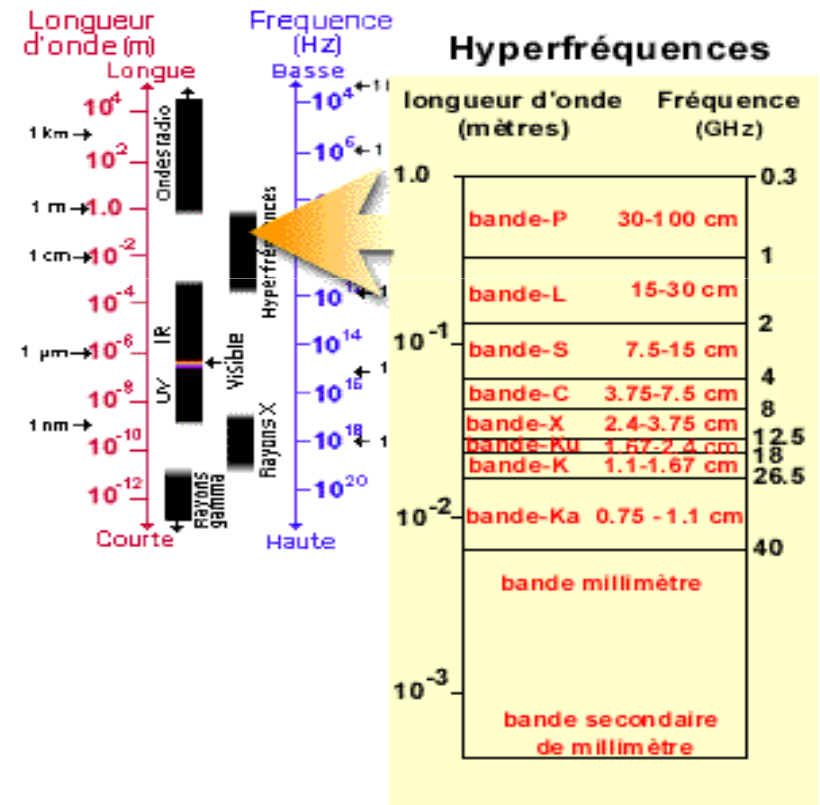
3.2.3. l'infrarouge (IR)

- L'infrarouge s'étend approximativement de 0,7 μm à 1 mm, cet intervalle est environ 100 fois plus large que le spectre visible. L'infrarouge se divise en deux catégories: **IR réfléchi** composé **IR proches (0,7-5 μm)**, **IR moyens (5-30 μm)** et **IR émis** ou **thermique** correspond **IR lointains (30-1 000 μm)** . Dans la région de l'infrarouge, le rayonnement 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. L'infrarouge thermique est émis sous forme de chaleur par la surface de la Terre.



3.2.4. les hyperfréquences

- 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 1 cm à 1 m. Les longueurs d'onde les plus courtes possèdent des propriétés semblables à celles de l'infrarouge thermique, tandis que les longueurs d'onde les plus grandes ressemblent aux ondes radio.

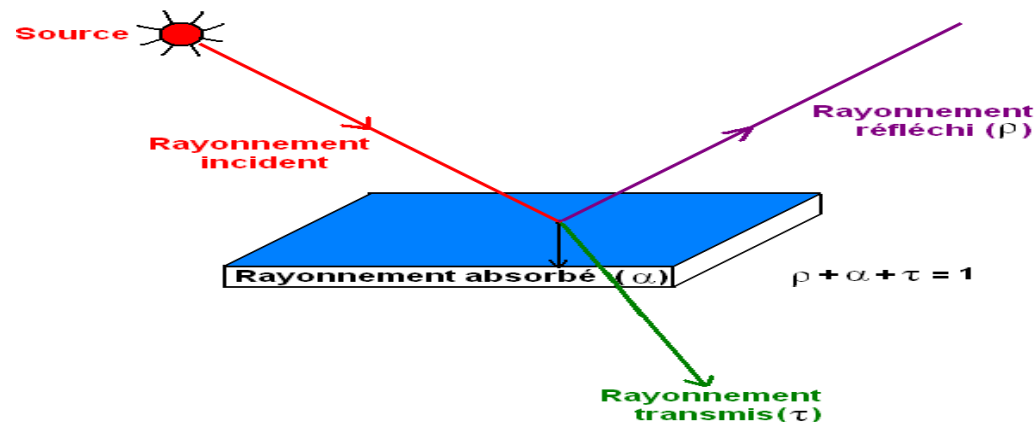


4. Propriétés physiques des ondes électromagnétiques



Émission. Tout corps dont la température thermodynamique est supérieure à 0K (273°C) émet un rayonnement électromagnétique. Le corps émetteur est appelé **Source**.

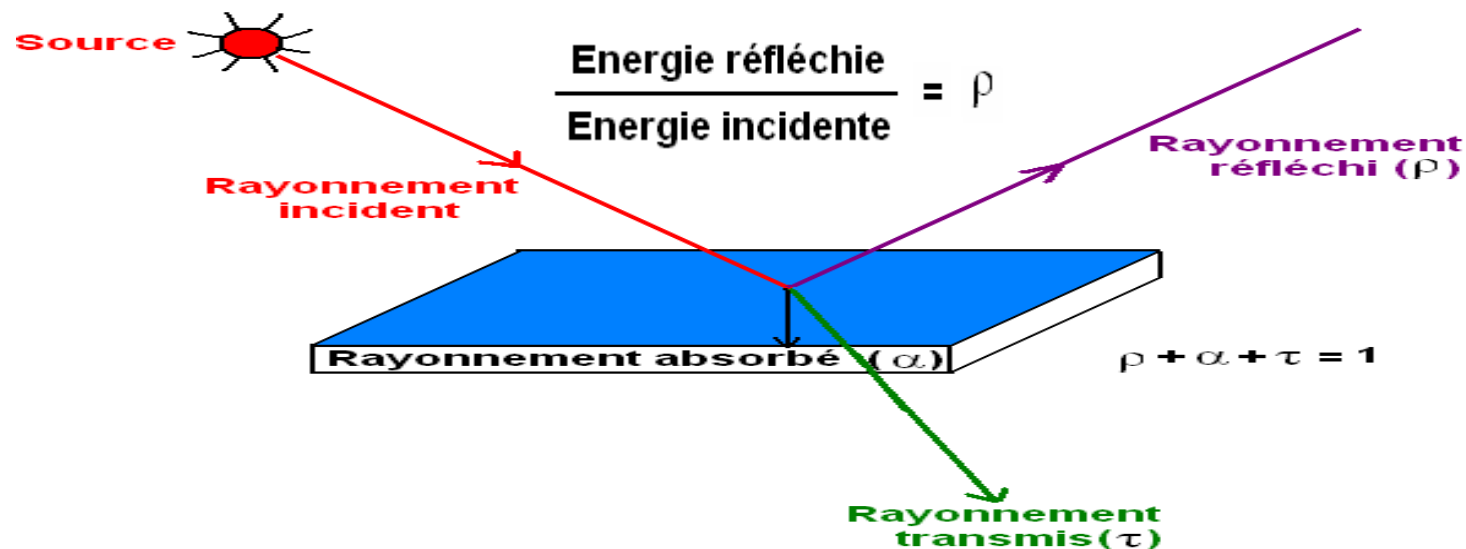
Absorption. Tout corps reçoit un rayonnement électromagnétique peut en absorber une partie. Cette partie absorbée sert à modifier l'énergie interne du corps en question en augmentant sa température, ce qui se traduit par une nouvelle émission. Le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue (incidente) est appelé **coefficient d'absorption ou absorptance**.



4. Propriétés physiques des ondes électromagnétiques



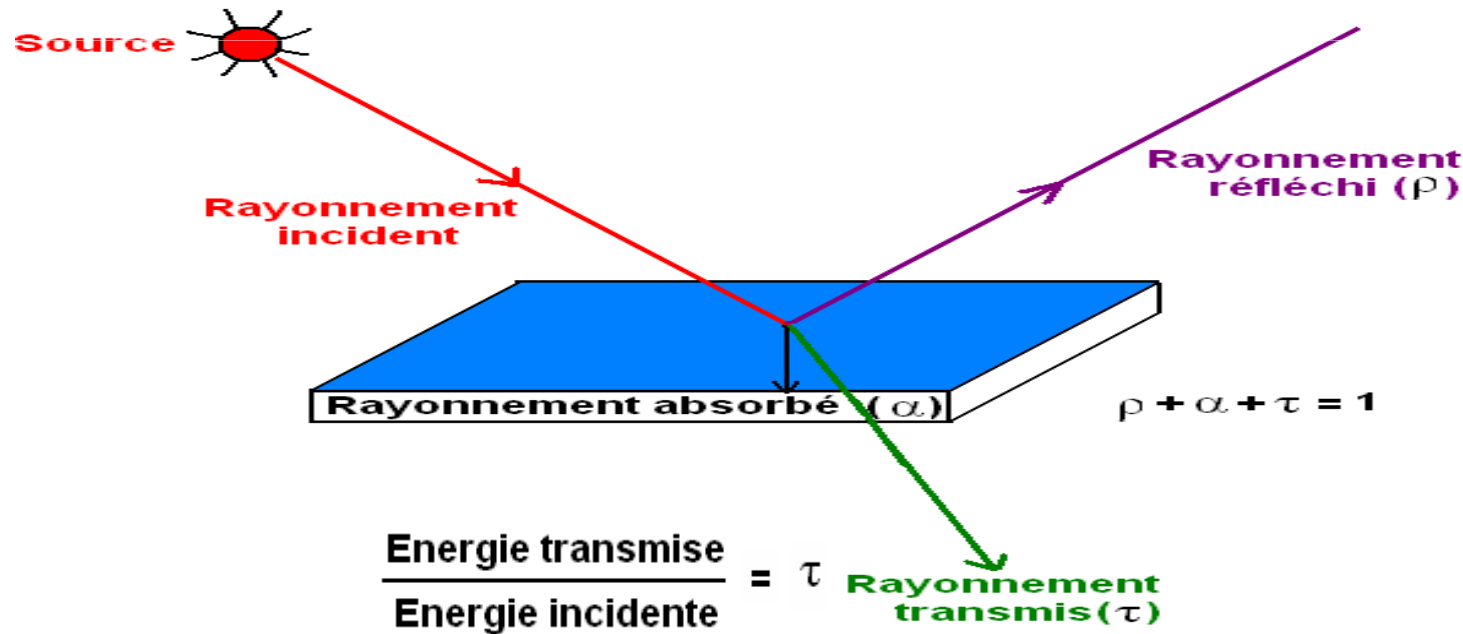
- **Réflexion.** Tout corps qui reçoit une certaine quantité d'énergie rayonnante d'une source extérieure peut en réfléchir une partie. Le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie incidente est appelé **coefficient de réflexion ou réflectance**. On distingue deux types de réflexion :
 - - **Spéculaire** : la réflexion est dirigée entièrement dans une seule direction comme le cas d'un miroir.
 - - **Diffuse** : la réflexion est dirigée dans toutes les directions, on parle d'une **surface diffusante** ou **Lambertienne**



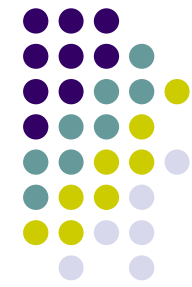
4. Propriétés physiques des ondes électromagnétiques



- **Transmission.** Tout corps qui reçoit une certaine quantité d'énergie rayonnante peut en transmettre une partie. Le rapport entre l'énergie transmise ou réfractée et l'énergie incidente est appelé **coefficient de transmission** ou **transmittance**. Un objet transparent a une transmittance élevée pour le rayonnement visible.

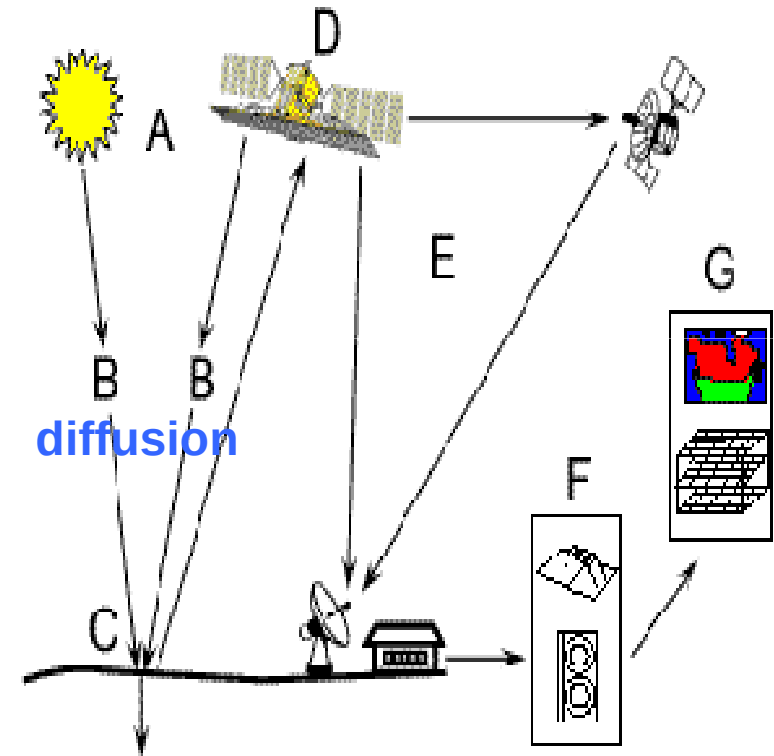


5. Atmosphère



5.1. Interactions avec l'atmosphère

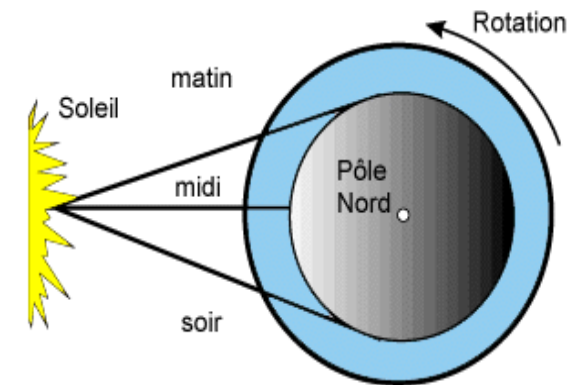
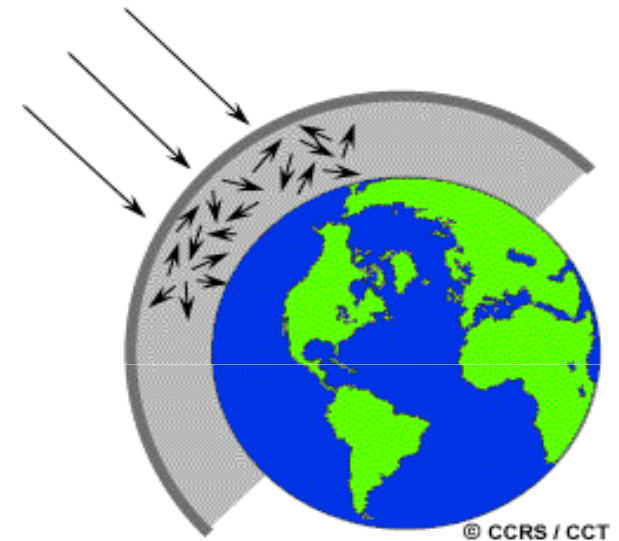
- Lors de son trajet, le rayonnement électromagnétique traverse une **certaine épaisseur d'atmosphère**.
- Les particules et les gaz qui sont présent dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident par le mécanisme de **diffusion** et **d'absorption**.
- La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz et de l'eau présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. la diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère.
- Il existe trois types de diffusion :
 - la diffusion de Rayleigh
 - la diffusion de Mie
 - la diffusion non sélective



3.1. La diffusion

a. La diffusion de Rayleigh

- La diffusion de Rayleigh se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. Celles-ci peuvent être soit des particules de poussière ou des molécules d'azote ou d'oxygène. La diffusion de Rayleigh disperse et dévie de façon plus importante les courtes longueurs d'onde. Cette forme de diffusion se passe dans les couches supérieures de l'atmosphère. Ce phénomène explique pourquoi nous percevons un ciel bleu durant la journée.



3.1. La diffusion

b. La diffusion de Mie

- **La diffusion de Mie** se produit lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produite par la **poussière, le pollen, la fumée et l'eau**. Ce genre de diffusion affecte les plus grandes longueurs d'onde et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont plus abondantes. Ce processus domine quand le ciel est ennuagé.



© CCRS / CCT



3.1. La diffusion

c. La diffusion non sélective

- Le troisième type de diffusion est celui de la **diffusion non sélective**. Ce genre de diffusion se produit lorsque les particules (les gouttes d'eau et les grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement. Nous appelons ce genre de diffusion "non sélective", car toutes les ondes 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 (lumière **bleue** + **verte** + **rouge** = lumière **blanche**). C'est pourquoi le brouillard et les nuages nous paraissent blancs.



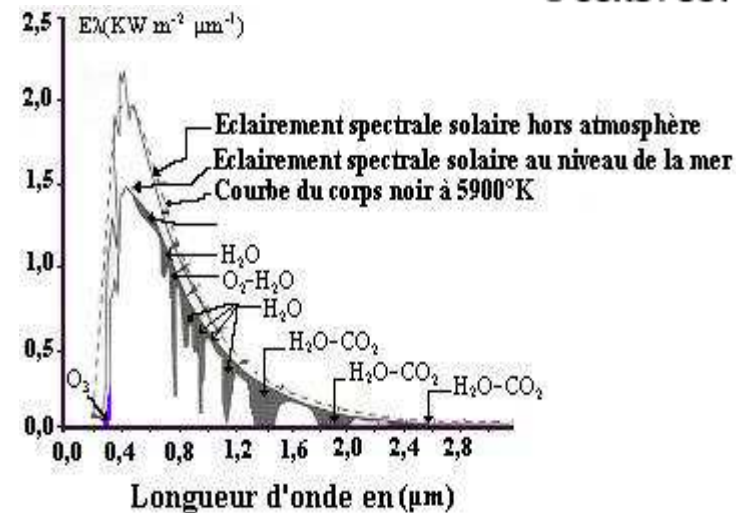
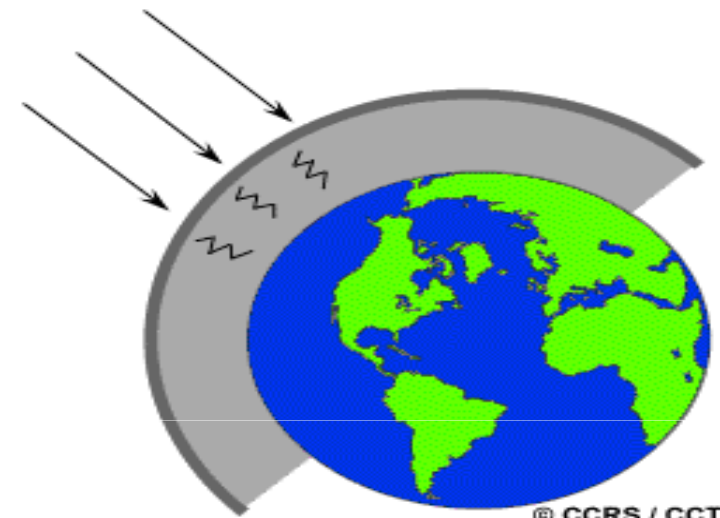
© CCRS / CCT



3.2. L'absorption



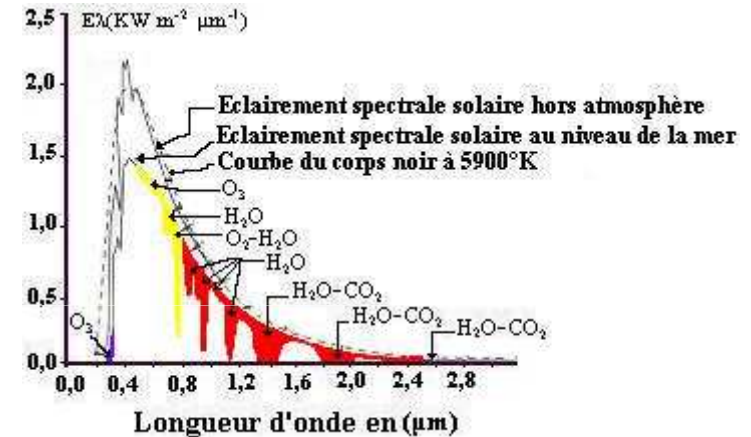
- Un autre phénomène entre en jeu lorsque le rayonnement électromagnétique interagit avec l'atmosphère : c'est l'**absorption**. L'absorption survient lorsque les grosses molécules de l'atmosphère (ozone O_3 , bioxyde de carbone CO_2 et vapeur d'eau H_2O) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde.
- **L'ultraviolet :**
- 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.



3.2. L'absorption



- Le visible;
- C'est dans la fenêtre du visible que se situe le maximum de l'énergie solaire arrivant sur terre. Environ 75% de l'énergie solaire atteignant les couche supérieures de l'atmosphère arrive à la surface de la terre. On constate cependant des bandes de faible absorption dues à l'ozone vers $0,6\mu\text{m}$, à l'oxygène et à la vapeur d'eau entre $0,69$ et $0,76\mu\text{m}$.



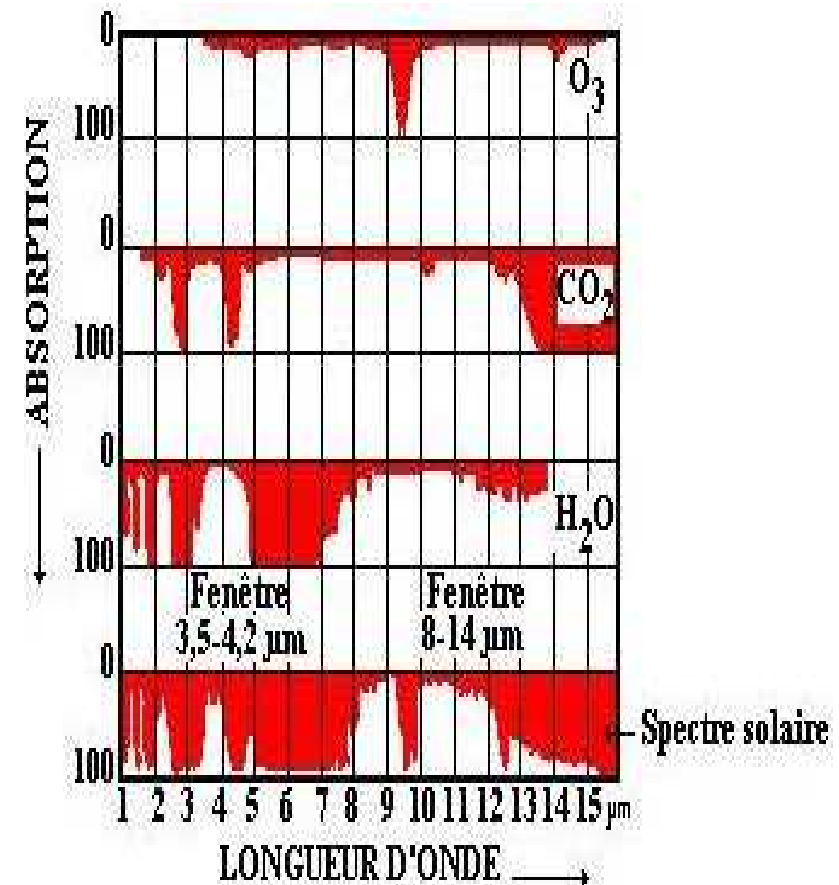
3.2. L'absorption



* L'infrarouge

Le 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.

Dans l'infrarouge thermique il existe des bandes d'absorption très fortes dues à la vapeur d'eau et CO₂. Entre 8,0 et 9,2 μm et entre 10,2 et 12,4 μm , ces deux fenêtres correspondent à la région d'émission normale de la terre. Ces deux fenêtres sont séparées par la bande d'absorption de l'ozone centré sur 9,6 μm . Pour une détection de basse altitude, on néglige cette bande d'absorption à cause de la localisation de l'O₃ dans les couches supérieures de l'atmosphère.

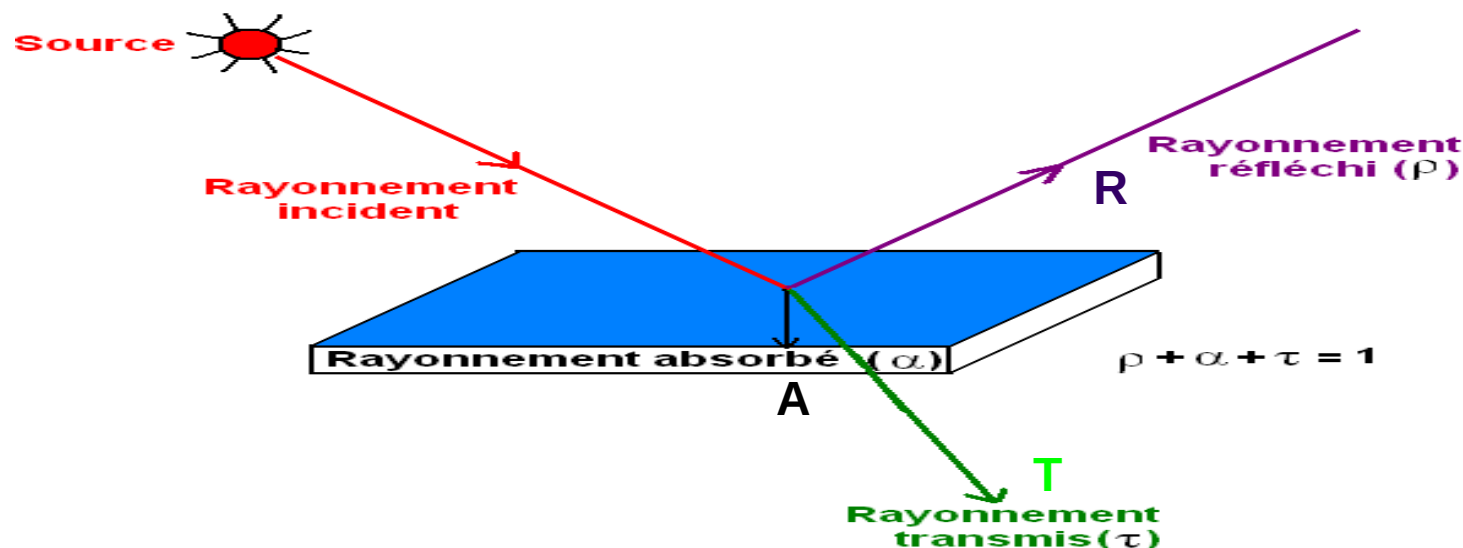
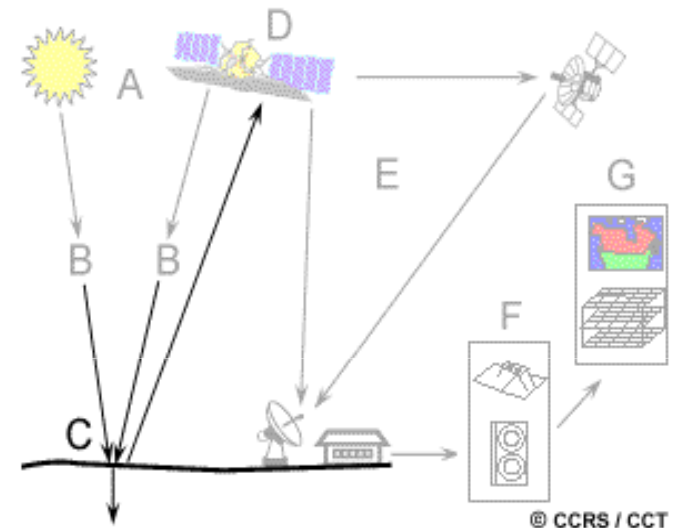


4. Interactions

a. Interaction rayonnement-cible



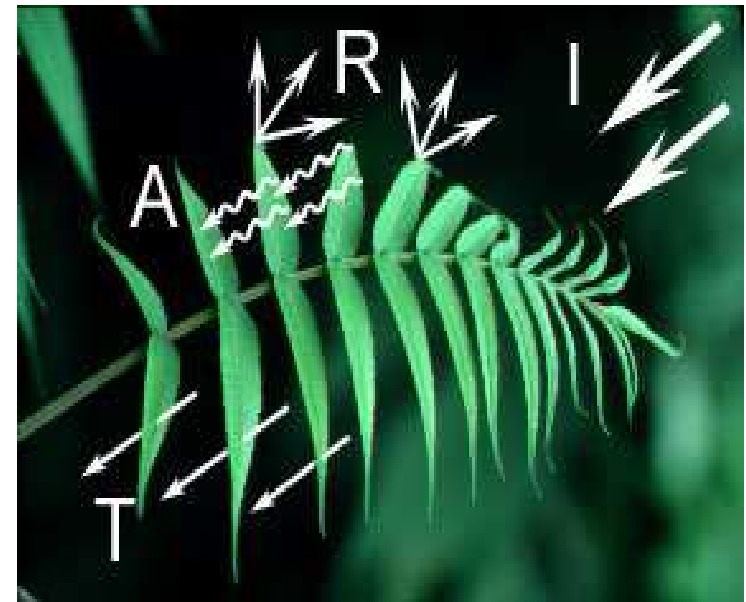
- Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagir avec la surface de la Terre. Lorsque l'énergie atteint la cible, la surface peut **absorber (A)** l'énergie, la **transmettre (T)** ou réfléchir (R) l'énergie incidente.



4. Interactions



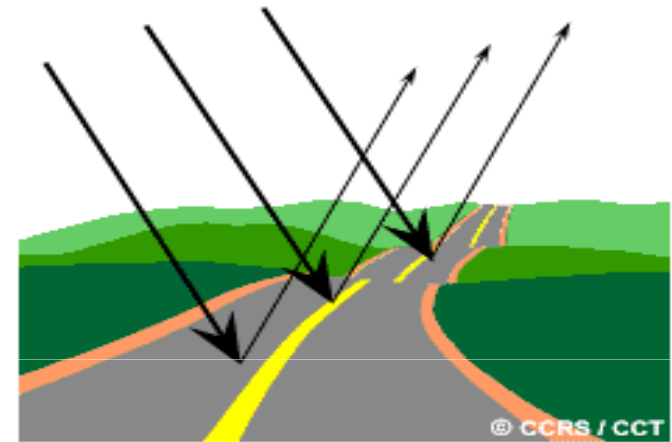
- L'absorption (A) se produit lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la cible, la transmission (T) lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible et la réflexion (R) lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement. En télédétection, nous mesurons le rayonnement réfléchi par une cible. On distingue deux types de réflexion selon la surface de la cible : La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse**



4. Interactions



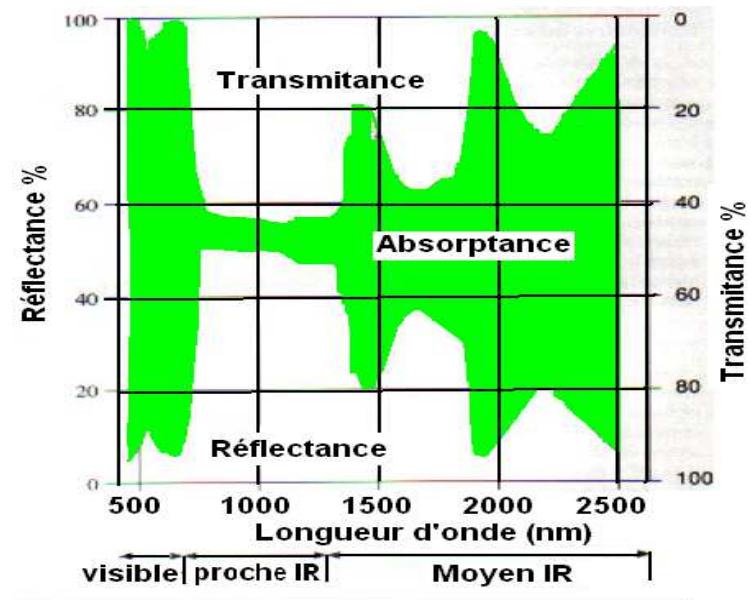
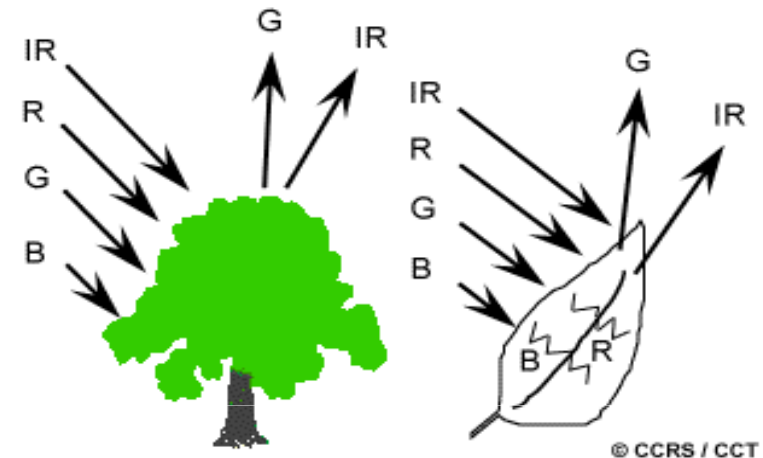
- Une surface lisse produit une **réflexion spéculaire**, c'est-à-dire que toute l'énergie est redirigée dans une même direction (comme c'est le cas d'un miroir). **La réflexion diffuse** se produit quand la surface est rugueuse, ce qui redirige l'énergie uniformément dans toutes les directions. La plupart des objets de la surface terrestre se situent entre ces deux extrêmes.



4. Interactions



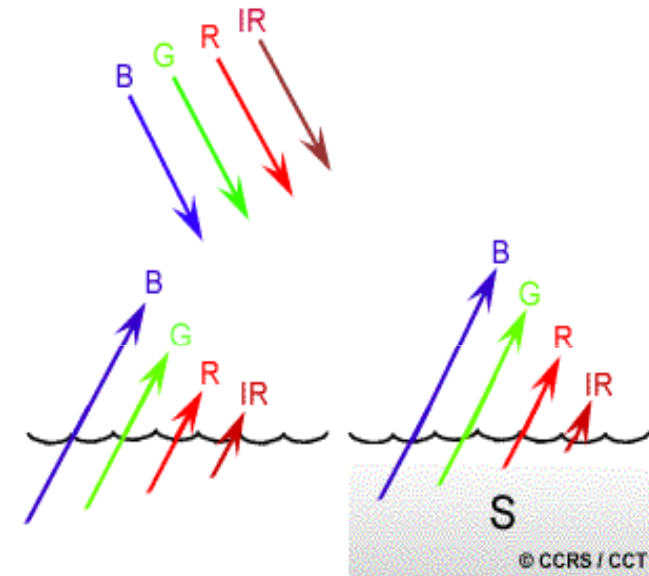
- **Dans les feuilles** : la chlorophylle, est une molécule qui absorbe fortement le rayonnement aux longueurs d'onde du rouge et du bleu, mais réfléchit le vert. Les feuilles, qui contiennent un maximum de chlorophylle en été, sont donc plus vertes pendant cette saison. En automne, les feuilles qui contiennent alors moins de chlorophylle, absorbent moins de rouge, et paraissent donc rouges ou jaunes (le jaune est une combinaison des longueurs d'onde du vert et du rouge). La structure interne des feuilles en santé agit comme un excellent réflecteur diffus pour les longueurs d'onde de l'infrarouge, c'est pour cela les scientifiques utilisent d'ailleurs l'infrarouge pour déterminer l'état de santé de la végétation.



4. Interactions



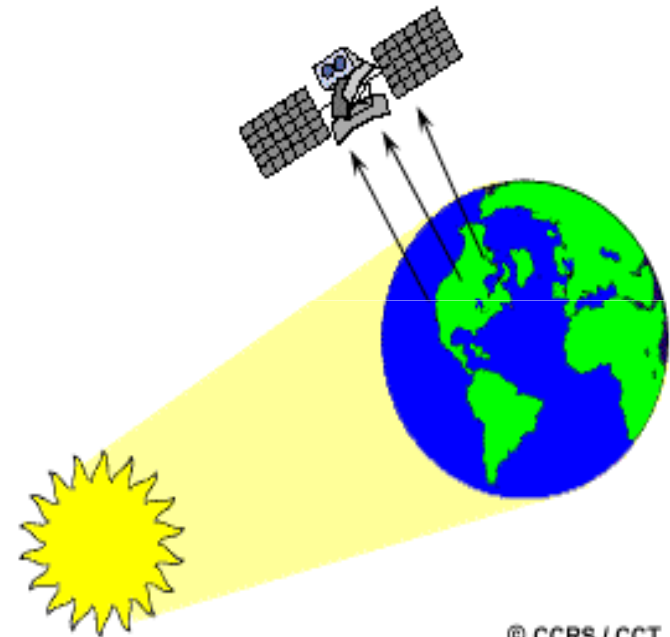
- **L'eau** : l'eau absorbe davantage les grandes longueurs d'onde du rayonnement visible et du proche infrarouge. Ainsi, l'eau paraît généralement bleue ou bleu-vert car elle réfléchit davantage les petites longueurs d'onde, elle paraît encore plus foncée si elle est observée sous les longueurs d'onde du rouge ou du proche infrarouge. Lorsque les couches supérieures de l'eau contiennent des sédiments en suspension, la transmission diminue, la réflexion augmente et l'eau paraît plus brillante. La couleur de l'eau se déplacera légèrement vers les plus grandes longueurs d'onde. Nous confondons parfois l'eau qui contient des sédiments en suspension avec l'eau peu profonde et claire. La chlorophylle dans les algues absorbe plus de bleu et réfléchit plus de vert. L'eau paraît donc plus verte quand elle contient des algues.



5. Télédétection passive et active



- 5.1. Télédétection passive
- Jusqu'à maintenant, dans ce chapitre, nous avons vu que le Soleil est une source d'énergie pour la télédétection. L'énergie du Soleil est soit **réfléchie** (la portion visible) ou **absorbée** et **retransmise** (infrarouge thermique) par la cible. Les dispositifs de télédétection qui mesurent l'énergie disponible naturellement sont **des capteurs passifs**. Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le Soleil illumine la Terre.

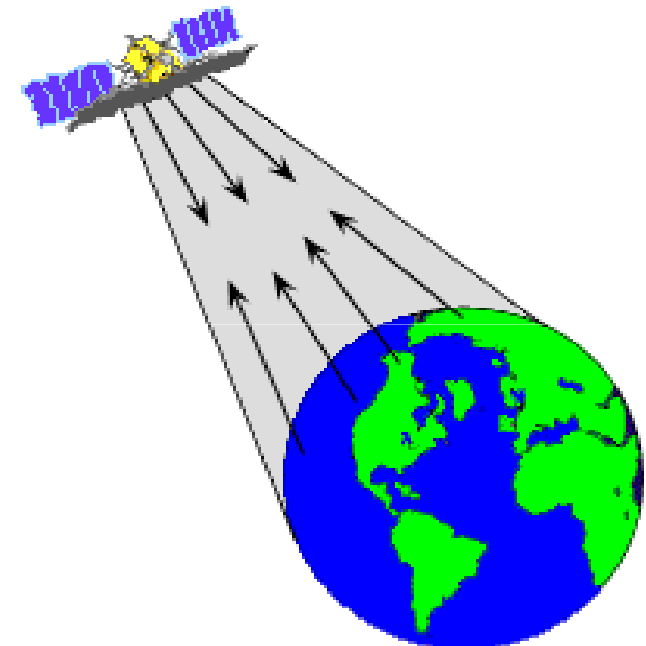


© CCRS / CCT

5. Télédétection passive et active



- **5.2. Télédétection active**
- **Un capteur actif** produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.



© CCRS / CCT

6. Les images

6.1. Caractéristiques des images



- L'énergie électromagnétique peut être perçue de façon photographique ou de façon numérique. Le processus photographique utilise une réaction chimique sur une surface sensible à la lumière pour capter et enregistrer les variations d'énergie par exemple **une pellicule photographique**. Il est important, en télédétection, de distinguer les termes "**image**" et "**photographie**". Une image est une représentation graphique, quels que soit la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui ont été utilisés pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique. Une photographie désigne spécifiquement toute image captée et enregistrée sur une pellicule photographique.



La photo noir et blanc, en haut, représentant une partie de la ville d'Ottawa au Canada, a été obtenue grâce à la partie visible du spectre.

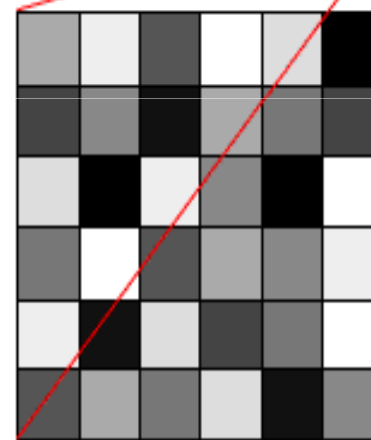
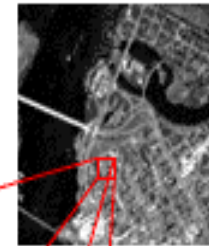
entre 0,3 et 0,9 mm (les portions visible et infrarouge réfléchi).

6. Les images



- Une **photographie** peut être présentée et affichée en format numérique en divisant l'image en petits morceaux de taille et de forme égales, que nous appelons **pixels**. La luminosité de chaque pixel est représentée par une valeur numérique. C'est exactement ce qui a été fait à la photographie de gauche. En effet, en appliquant les définitions présentées plus haut, nous déduisons que l'image est vraiment une image numérique de la photographie originale ! Cette photographie a été numérisée et subdivisée en pixels. Chaque pixel a été doté d'une valeur représentant les différents niveaux de luminosité. L'ordinateur affiche chaque valeur numérique comme un niveau de luminosité. Les capteurs enregistrent alors électroniquement l'énergie en format numérique (en rangées de chiffres).

© CCRS / CCT



170	238	85	255	221	0
68	136	17	170	119	68
221	0	238	136	0	255
119	255	85	170	136	238
238	17	221	68	119	255
85	170	119	221	17	136



II. Les capteurs

1. Les plates-formes

1.1. Les plates-formes terrestres



- Bras télescopique
- Ce type de plate-forme est utilisé principalement à des fins d'expérimentation et d'étalonnage. Ordinairement on se sert d'un bras télescopique fixé à un camion ou un véhicule tout-terrain et à l'extrémité duquel le capteur est installé.



1. Les plates-formes

1.2. Les plates-formes aériennes



- Les plates-formes **aéroportées** sont principalement situées sur des **avions** à ailes fixes, des hélicoptères et des ballons. L'utilisation des avions est fréquente pour avoir des couvertures aériennes détaillées de la surface de la Terre.
- Cependant, les avions ont trois limitations importantes :
 - La prise répétitive des données n'est pas garantie
 - Le territoire couvert, lors d'une mission, est limité
 - Les coûts des produits sont relativement élevés



1. Les plates-formes

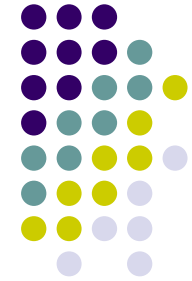
1.3. Les plates-formes spatiales



- Dans l'espace, la télédétection est parfois effectuée à partir de **la navette spatiale** ou plus fréquemment, à partir **de satellites**. **Les satellites** sont des objets qui sont en orbite autour de la Terre. Par exemple, la Lune est un satellite naturel de la Terre. Grâce à leur orbite, les plates-formes spatiales permettent une couverture répétitive et continue de la surface de la Terre. Le coût est souvent un facteur déterminant dans le choix des différentes plates-formes.

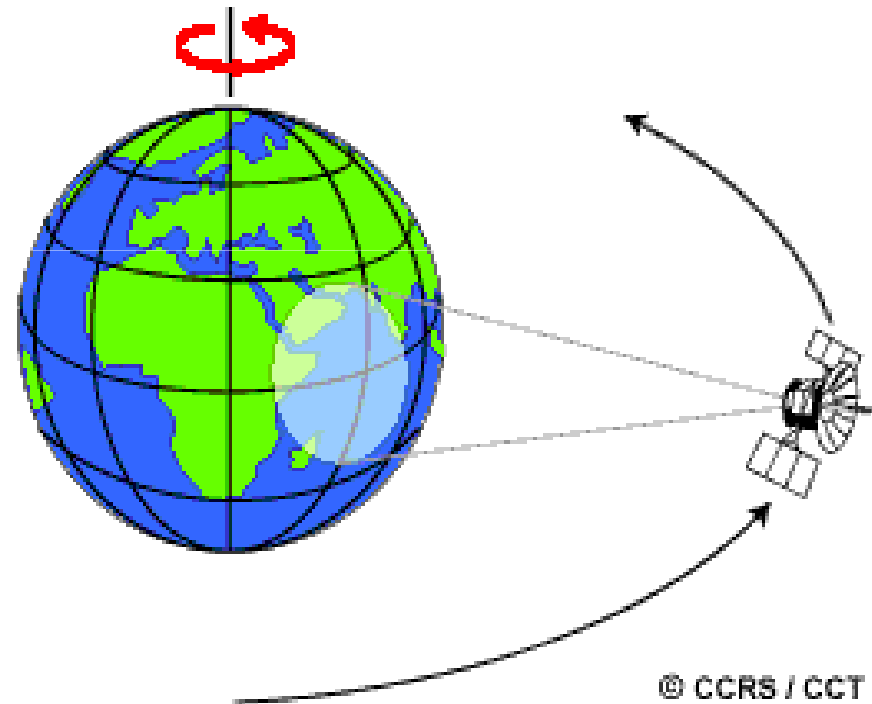


2. Caractéristiques du satellite



2.1. Orbite

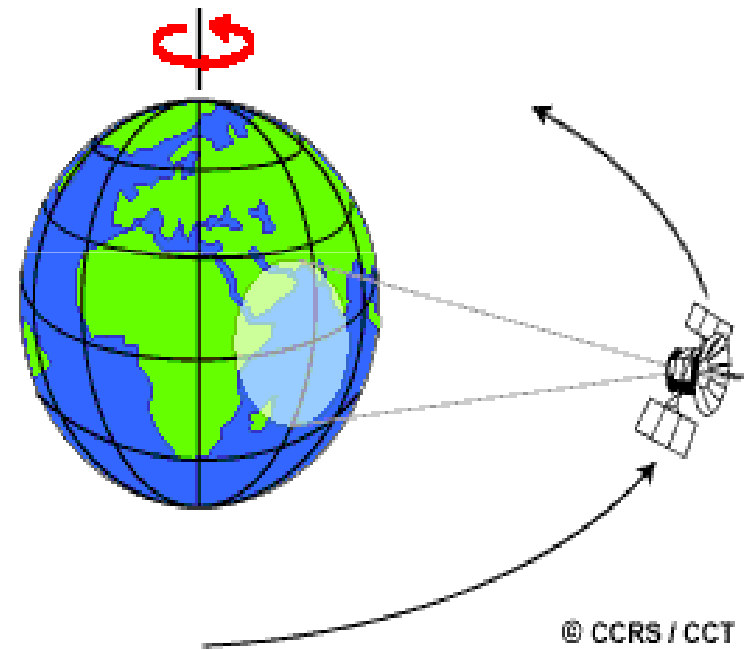
- La trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre est appelée **orbite**. Le choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre.



a. satellites géostationnaires



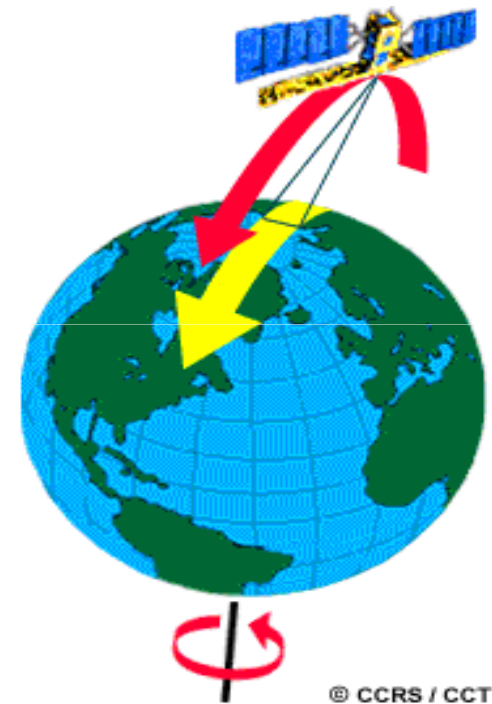
- On distingue deux types de satellites : certains ont une altitude très élevée et regardent toujours la même région de la surface de la Terre, ils ont une **orbite géostationnaire**. Ces **satellites géostationnaires** ont une altitude d'environ 36 000 kilomètres et se déplacent à une vitesse qui correspond à celle de la Terre, donnant ainsi l'impression qu'ils sont stationnaires. Cette configuration orbitale permet au satellite d'observer et d'amasser continuellement de l'information sur une région spécifique. Les satellites de communication et d'observation des conditions météorologiques sont situés sur de telles orbites.



b. Satellites quasi-polaires ou orbite héliosynchrone



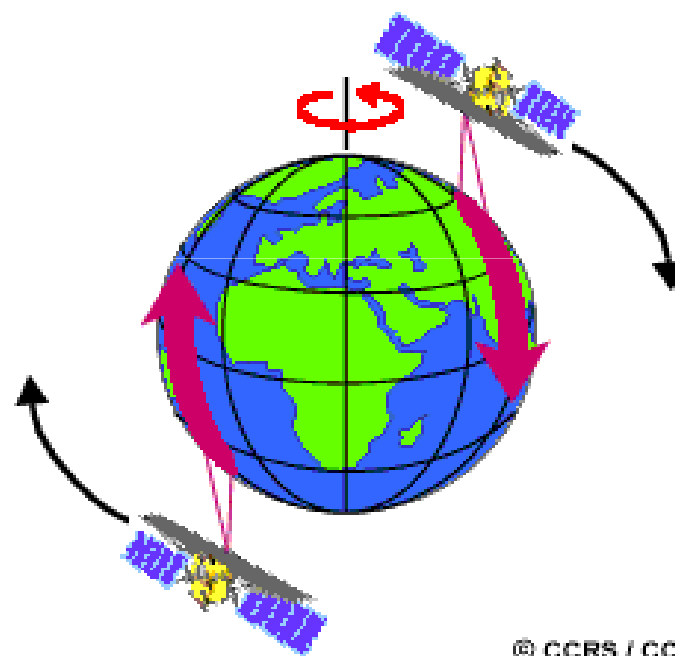
- des satellites à **orbite héliosynchrone** : ces plates-formes spatiales suivent une orbite allant pratiquement du nord au sud ou vice versa. Cette configuration, combinée à la rotation de la Terre (ouest-est), fait qu'au cours d'une certaine période, les satellites ont observé la presque totalité de la surface de la Terre. Ce type d'orbite est appelé **orbite quasi polaire** à cause de l'inclinaison de l'orbite par rapport à une ligne passant par les pôles Nord et Sud de la Terre. Ces satellites observent toujours chaque région du globe à **la même heure locale solaire**.





c. Orbite ascendante et orbite descendante

- La plupart des satellites sont placés sur orbite quasi-polaire. Ils se déplacent donc vers le nord d'un côté de la Terre, et vers le sud dans l'autre moitié de leur orbite. Ces deux types de passage du satellite se nomment respectivement **orbite ascendante et orbite descendante**. Si l'orbite est aussi héliosynchrone, l'orbite ascendante du satellite se fait du côté ombragé de la Terre, tandis que l'orbite descendante se fait du côté éclairé par le Soleil.

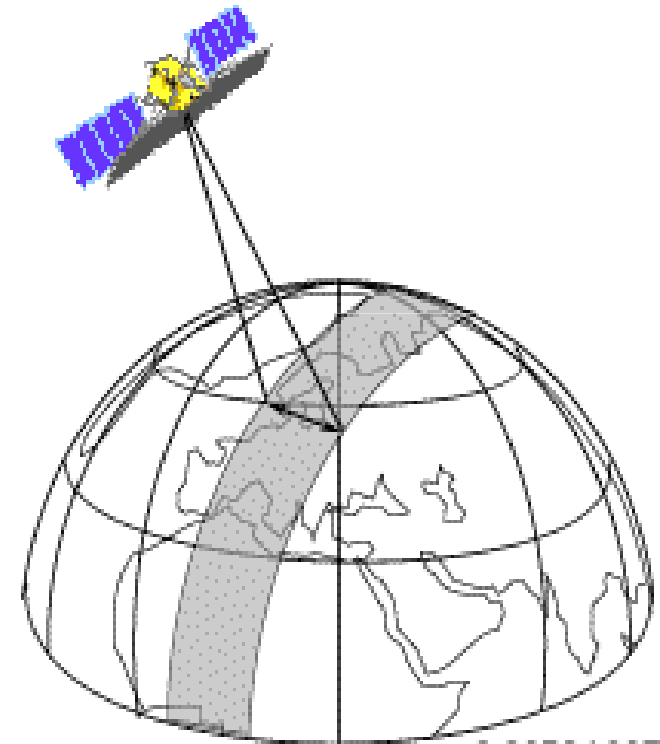


© CCRS / CCT

2.2. Couloir-couvert ou fauchée



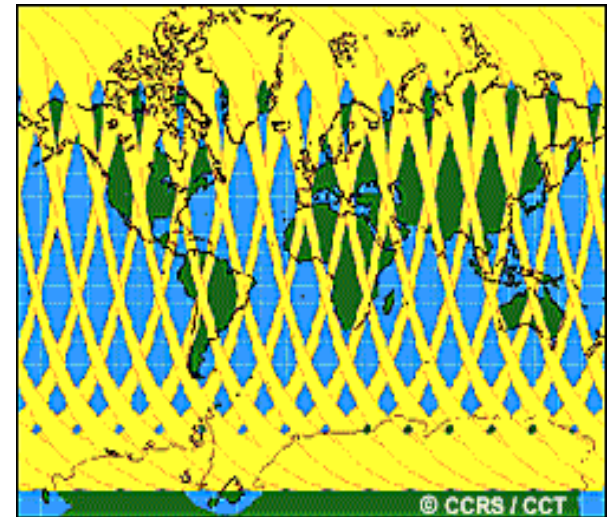
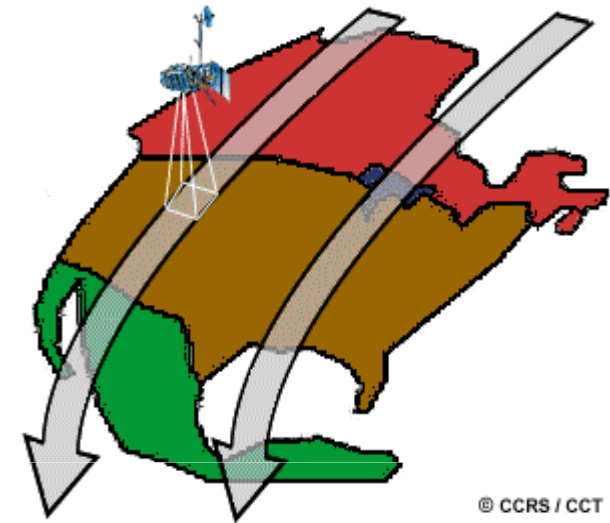
- Lorsqu'un satellite est en orbite autour de la Terre, le capteur "**observe**" une certaine partie de la surface. Cette surface porte le nom de **couloir-couvert ou fauchée**. La largeur de ce couloir-couvert ou cette fauchée varie généralement entre une dizaine et une centaine de kilomètres.



© CCRS / CCT

2.3. Les points nadir

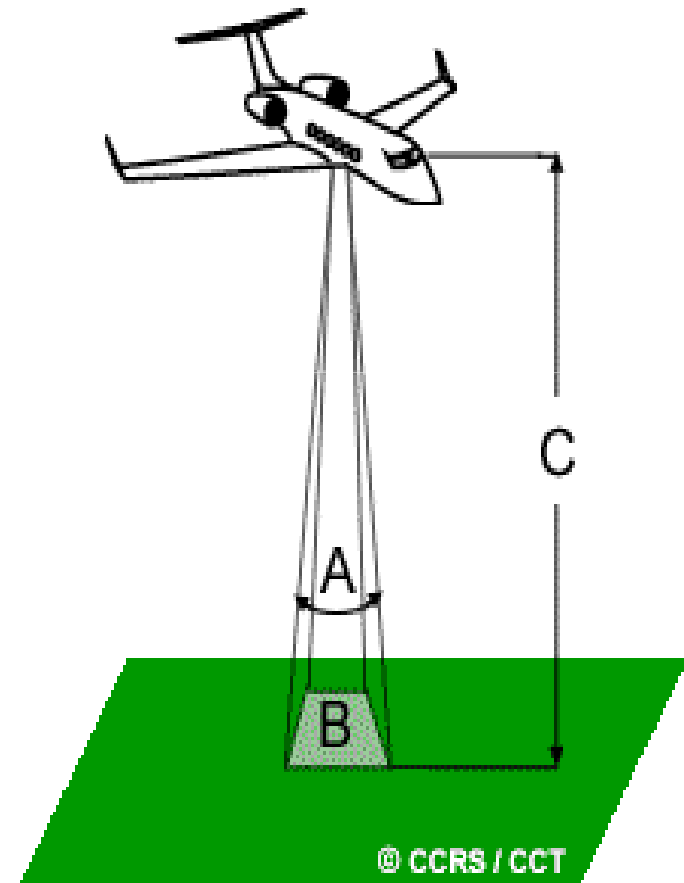
- Les points sur la surface de la Terre qui se trouvent directement en dessous de la trajectoire du satellite sont appelés **les points nadir**.
- Les satellites à orbite quasi-polaire ont une couverture plus fréquente des régions de latitude élevée par rapport à la couverture des zones équatoriales. Cette plus grande couverture est due à l'élargissement, vers les pôles, de la zone de chevauchement entre deux fauchées adjacentes.



3. Résolution spatiale, espacement des pixels et échelle



- Pour certains instruments de télédétection, la distance entre la cible observée et la plate-forme joue un rôle important puisqu'elle détermine la grandeur de la région observée et le détail qu'il sera possible d'obtenir. Un capteur placé sur une plate-forme éloignée de la cible pourra observer une plus grande région, mais ne sera pas en mesure de fournir beaucoup de détails.

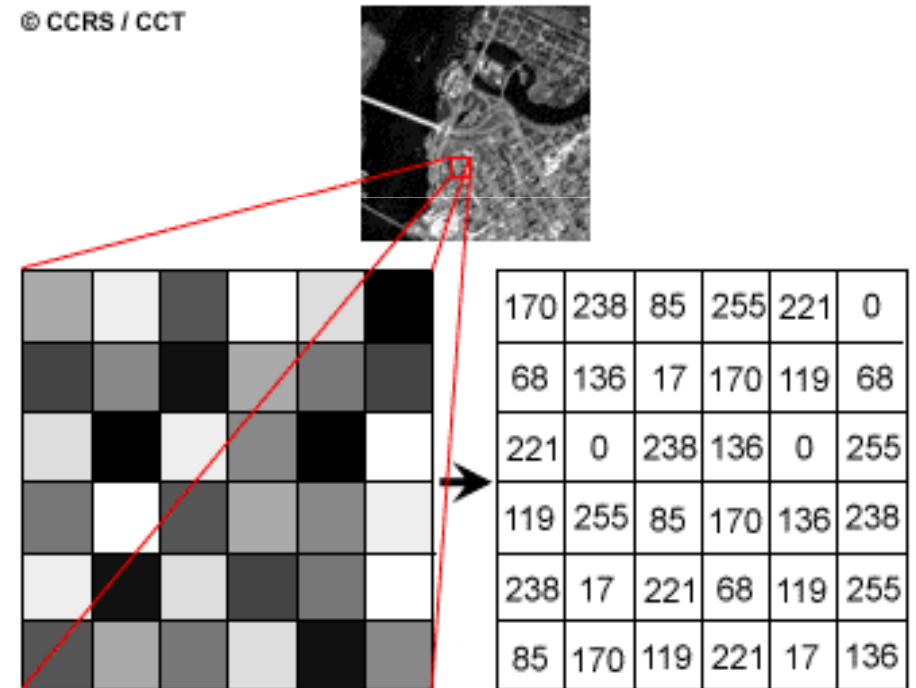


3. Résolution spatiale, espacement des pixels et échelle



- les images de télédétection sont composées d'une matrice d'éléments appelés **pixels**. Le pixel est le plus petit élément d'une image. Il est normalement carré et représente une partie de l'image. Pour pouvoir différencier un élément de la surface observée, l'élément en question doit être de dimension égale ou supérieure à la cellule de résolution. Si l'élément est plus petit, il ne sera généralement pas différencié puisque c'est l'énergie moyenne des éléments de la cellule de résolution qui sera captée.

© CCRS / CCT



3. Résolution spatiale, espacement des pixels et échelle



- Les images sur lesquelles seuls les grands éléments sont visibles ont **une résolution "grossière" ou "basse"**. Les images qui nous permettent l'identification d'éléments de plus petites dimensions ont une **résolution fine ou élevée**. Les capteurs utilisés par les militaires par exemple, sont conçus pour obtenir le plus de détails possible. Ils ont donc une résolution très fine. Les satellites commerciaux ont une résolution qui varie de quelques mètres à plusieurs kilomètres. De façon générale, **plus la résolution augmente, plus la superficie de la surface visible par le capteur diminue**.



3. Résolution spatiale, espacement des pixels et échelle



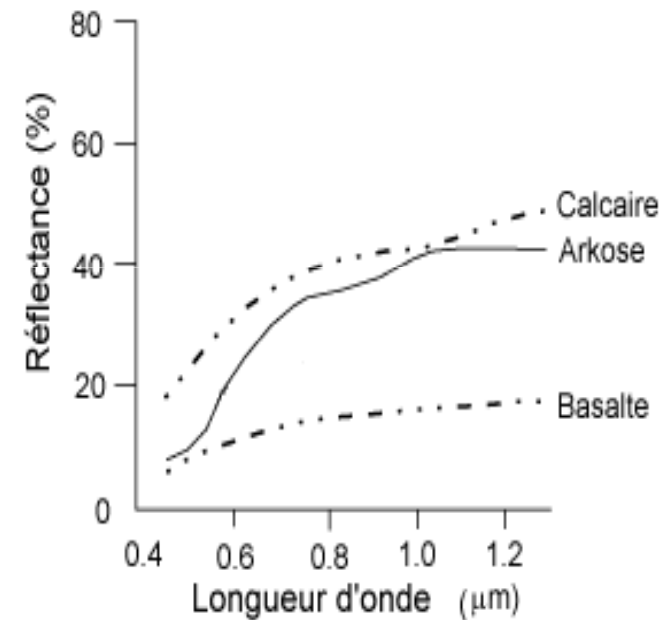
Echelle

- Le rapport entre la distance que l'on mesure sur une image ou une carte, et la distance correspondante au sol est appelée **échelle**. Une carte ayant une échelle de **1:100 000** représente un objet au sol de **100 000 cm (1 km)** par **un objet de 1 cm**. Les cartes pour lesquelles le rapport est petit (1:100 000) sont des cartes à petite échelle, tandis que les cartes pour lesquelles ce rapport est plus grand (1:5 000) sont des cartes à grande échelle.

4. Résolution spectrale

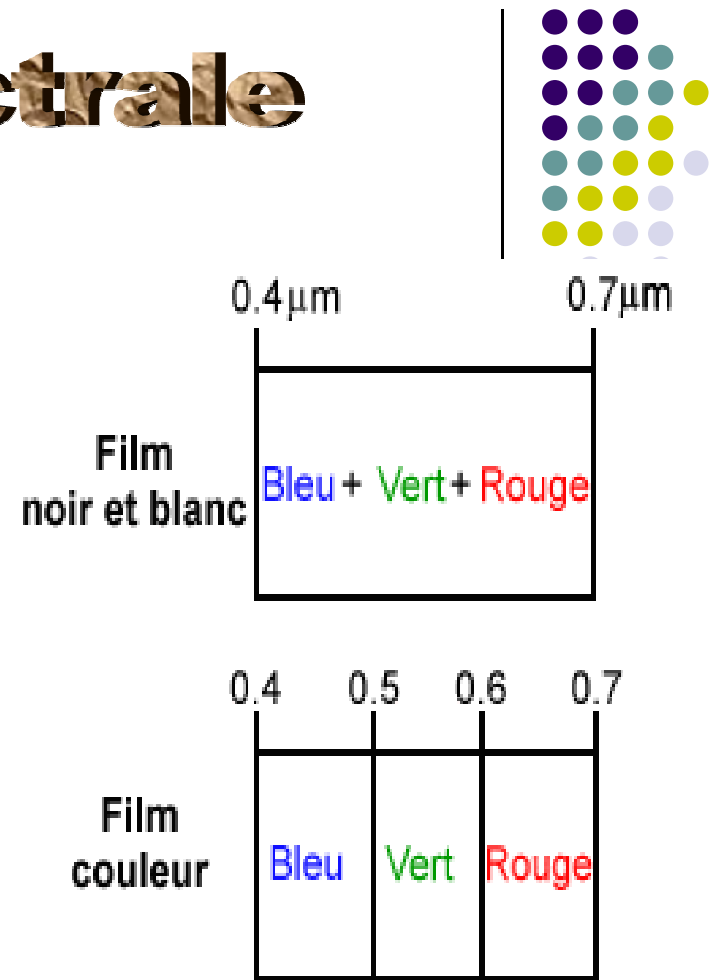


- Chaque objet au sol se caractérise par une **réponse spectrale** et une **courbe d'émissivité** sur l'ensemble de longueurs d'onde. Il est souvent possible de distinguer des différentes classes dans une image en comparant leurs réponses spectrale sur un ensemble de longueurs d'onde. Des classes bien différenciées, comme l'eau et la végétation, peuvent être séparées en utilisant un intervalle de longueurs d'onde assez grand (le visible et l'infrarouge par exemple). Des classes très proches comme par exemple **différents types de roche** ne sont pas aussi faciles à différencier et nécessitent l'utilisation d'un intervalle de longueurs d'onde beaucoup plus fin.
- « La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites ».



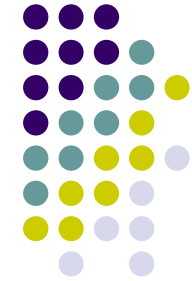
4. Résolution spectrale

- Un film noir et blanc utilisée dans un appareil photographique enregistre les longueurs d'onde sur presque toute la fenêtre du spectre visible. Sa **résolution spectrale est assez grossière**, car les différentes longueurs d'onde ne sont pas différenciées par la pellicule qui n'enregistre que l'ensemble de l'énergie lumineuse captée par l'objectif.
- Un film couleur est sensible lui aussi à l'ensemble des longueurs d'onde visibles, mais elle possède **une résolution spectrale plus élevée** puisqu'elle peut distinguer les longueurs d'onde dans le **bleu**, le **vert** et le **rouge**. Cette pellicule peut donc caractériser l'intensité lumineuse détectée selon ces intervalles de longueurs d'onde.

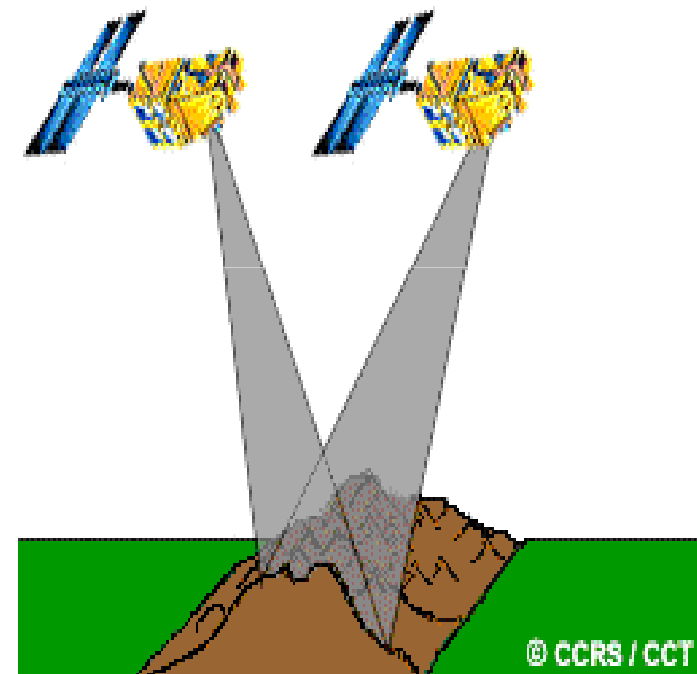


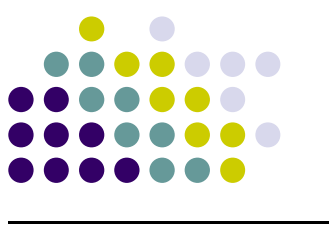
Les instruments de télédétection fonctionnent de la même façon : on distingue des **capteurs panchromatiques** et des **capteurs multispectraux**

6. Résolution temporelle



- **La résolution temporelle**, c'est le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet. Cette période est généralement de quelques jours. Mais, certaines régions de la terre peuvent être observées plus fréquemment puisqu'il y a chevauchement entre les couloirs couverts adjacents, ces zones de chevauchement sont de plus en plus grandes en s'approchant des pôles.
- La résolution temporelle est très importante quand on veut suivre les changements qui surviennent à la surface de la terre. qu'ils soient naturels (comme l'évolution de la végétation ou l'évolution d'une inondation) ou de source humaine (comme le développement des milieux urbains ou la déforestation).



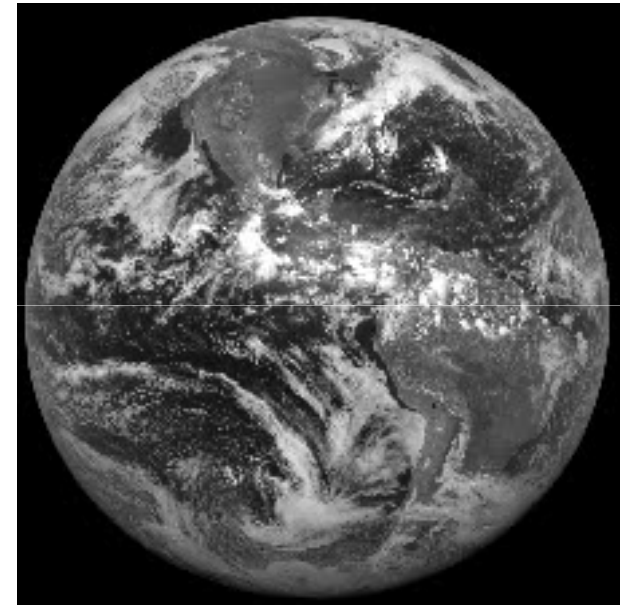


III. Les plates-formes utilisées en télédétection

1. Satellites et capteurs météorologiques



Généralement, ces satellites utilisent des capteurs à résolution spatiale grossière et couvrent de grandes surfaces du globe. Leur résolution temporelle, généralement élevée, fournit des observations fréquentes de la surface de la Terre, de l'humidité atmosphérique et de la couverture de nuages, ce qui permet de surveiller et de prédire les conditions climatiques de l'ensemble du globe.



1. Satellites et capteurs météorologiques

Satellite NOAA AVHRR



Bande	Domaine spectral (μm)	Résolution spatiale	Application
1	0,58 - 0,68 (rouge)	1,1 km	surveillance des nuages, de la neige et de la glace
2	0,725 - 1,1 (proche IR)	1,1 km	surveillance de l'eau, de la végétation, et de l'agricole
3	3,55 - 3,93 (IR moyen)	1,1 km	température de la surface des océans, volcans, feux de forêts
4	10,3 - 11,3 (IR thermique)	1,1 km	température de la surface des océans, humidité du sol
5	11,5 - 12,5 (IR thermique)	1 km	température de la surface des océans, humidité du sol

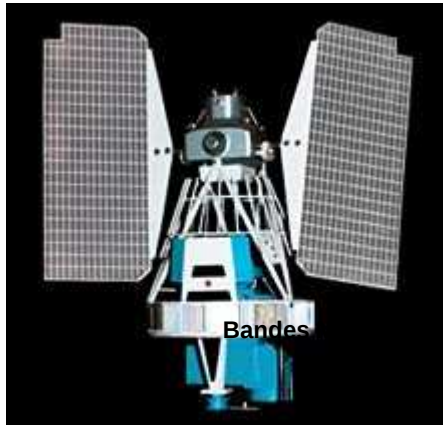
1. Satellites et capteurs météorologiques



Satellite GOES

Bande	Domaine spectral (microns)	Résolution spatiale	Application
1	0,52 - 0,72 (visible)	1 km	Nuages, pollution, identification de tempêtes sévères
2	3,78 - 4,03 (proche IR)	4 km	Identification de la brume durant la nuit, différenciation des nuages de pluie et de neige ou glace durant le jour; détection de feux et d'éruptions volcaniques, détermination de la température de la surface des océans durant la nuit
3	6,47 - 7,02 (vapeur d'eau au niveau supérieur)	4 km	évaluation de l'advection et du contenu en humidité des couches Atmosphériques intermédiaires. Suivi du mouvement des masses atmosphériques intermédiaires. Suivi du mouvement des masses atmosphériques
4	10,2 - 11,2 (IR à Longue longueur d'onde)	4 km	identification des vents qui entraînent les nuages, les tempêtes sévères, la Pluie Torrenentielle
5	11,5 - 12,5 (fenêtre De l'IR qui est sensible à la vapeur d'eau)	4 km	identification de l'humidité dans la couche inférieure de l'atmosphère, détermination de la température de la surface des océans, détection de Poussière et de cendre volcanique dans l'atmosphère

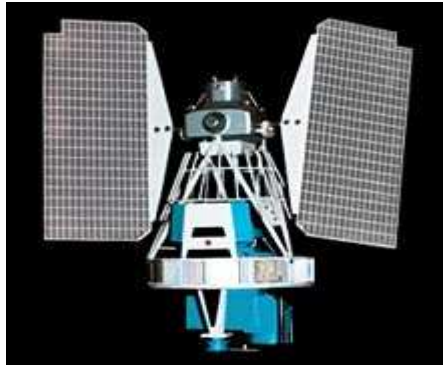
2. Satellites et capteurs d'observation de la terre



Satellite Landsat MSS (Multi Spectral Scanner)

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)

2. Satellites et capteurs d'observation de la terre

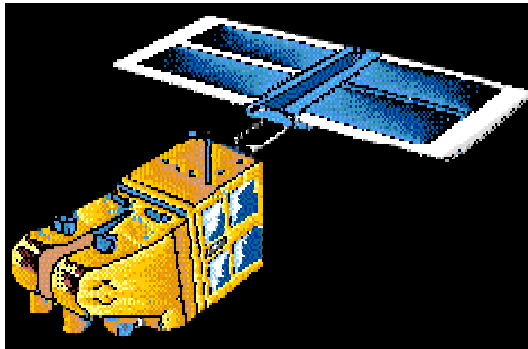
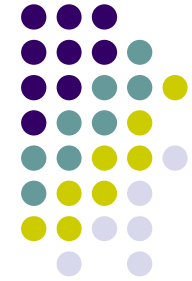


Satellite Landsat

TM (Thematic Mapper)

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 longue longueur d'onde)	discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

2. Satellites et capteurs d'observation de la terre



Satellite SPOT

Le système SPOT (Système pour l'observation de la Terre) est une série de satellites d'observation de la Terre qui ont été conçus et lancés par le Centre National d'Études Spatiales (CNES) de la France, avec l'aide de la Belgique et de la Suède. SPOT-1 a été lancé en 1986, et a été suivi d'autres satellites lancés à tous les trois ou quatre ans. Tous les satellites sont en orbite héliosynchrone polaire à une altitude de 830 km, ce qui produit une répétitivité de 26 jours. Ils croisent l'équateur vers 10h30 heure solaire locale. Conçu dans le but d'acquérir des données de télédétection à des fins commerciales, SPOT et a été le premier satellite à utiliser la technologie du balayage à barrettes ou balayage longitudinal.

2. Satellites et capteurs d'observation de la terre



Satellite SPOT

Tous les satellites SPOT ont deux balayeurs multibandes HRV (haute résolution visible) à barrettes, qui peuvent être opérés indépendamment ou simultanément. Chaque HRV peut capter en mode panchromatique (une seule bande) et offre une excellente limite de résolution spatiale de 10 m. Ils peuvent aussi capter en mode multibande (MLA) (trois bandes) qui offre une résolution spatiale de 20 m. Chaque balayeur à barrettes est composé de quatre rangs linéaires de détecteurs : un de 6 000 éléments pour l'enregistrement en mode panchromatique, et un de 3 000 éléments pour chacune des trois bandes multispectrales. La fauchée pour les deux modes est de 60 km à partir du nadir.

2. Satellites et capteurs d'observation de la terre



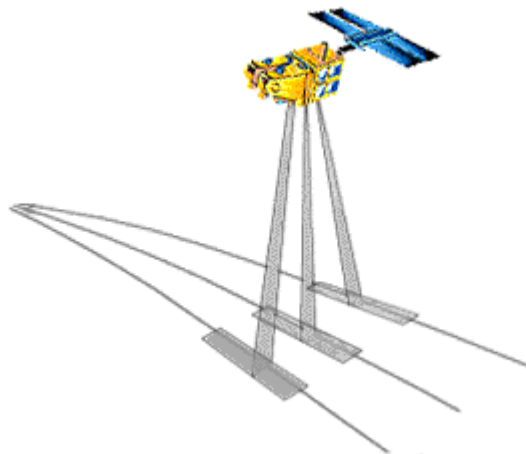
Satellite SPOT

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)

Satellite SPOT



L'angle de dépointage des capteurs peut être ajusté pour regarder des deux côtés de la ligne nadir. Ceci permet des visées obliques, ce qui augmente la répétitivité des satellites. Cette capacité de dépointage (jusqu'à 27 degrés à partir du nadir) permet aux satellites SPOT d'accéder à un couloir d'acquisition de 950 km et permet une répétitivité de plusieurs fois par semaine. Lorsque le capteur s'éloigne du nadir, la fauchée augmente de 60 à 80 km de large. En plus d'améliorer la capacité de surveillance d'un site spécifique et d'augmenter les chances d'acquérir une scène sans nuages, la visée oblique permet aussi l'acquisition de données en stéréoscopie.



3. Satellites et capteurs d'observation marine



Les océans recouvrent plus des deux tiers de la surface de la Terre et jouent un rôle important dans le système climatique de la planète. Ils contiennent aussi une grande variété d'organismes vivants et de ressources naturelles qui sont sensibles à la pollution et aux autres dangers créés par les humains. Les satellites et capteurs de météorologie et d'observation de la Terre que nous avons décrits dans les deux sections précédentes peuvent être utilisés pour la surveillance des océans, mais il existe d'autres systèmes de satellites et de capteurs qui ont été construits à ces fins.

3. Satellites et capteurs d'observation marine

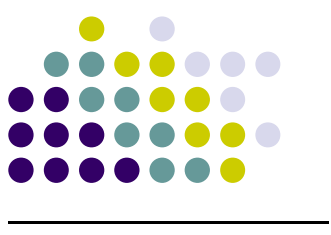
Le satellite Nimbus-7



Le satellite Nimbus-7, lancé en 1978, portait le CZCS (Coastal Zone Colour Scanner).

Bandes spectrales CZCS

Bandes	Domaine spectral (microns)	Paramètre primaire mesuré
1	0,43 - 0,45	Absorption de chlorophylle
2	0,51 - 0,53	Absorption de chlorophylle
3	0,54 - 0,56	Gelbstoffe (substance jaune)
4	0,66 - 0,68	Concentration de chlorophylle
5	0,70 - 0,80	végétation de surface
6	10,5 - 12,50	température de surface

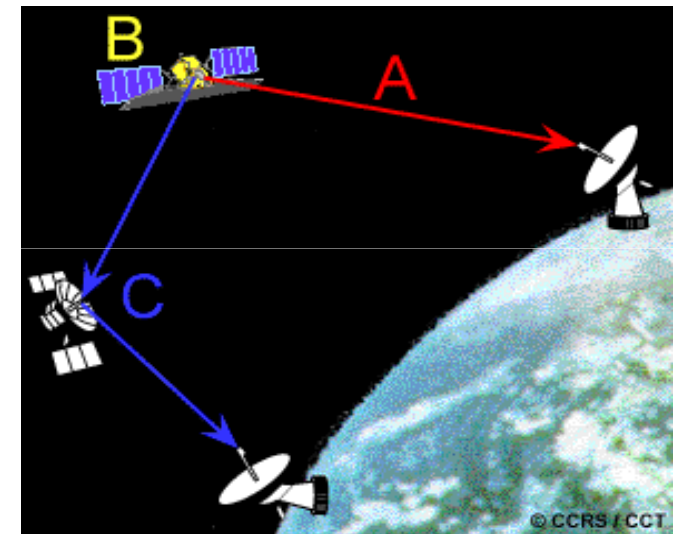


IV. Transmission, Réception et Traitement des données

1. Transmission

On utilise trois méthodes de transmission des données :

- A.** Les données peuvent être transmises directement à une station de réception sur Terre, si le satellite se situe dans le cercle de réception de la station.
- B.** Si le satellite n'est pas dans le cercle de réception d'une station, les données peuvent être stockées par un enregistreur à bord du satellite.
- C.** Les données peuvent être aussi retransmises à la station de réception par des satellites de communication qui sont en orbite géostationnaire autour de la Terre. Les données sont transmises de satellite à satellite jusqu'à ce qu'on puisse les retransmettre à la station.



2. Réception et traitement des données



- Les données brutes parviennent à la station de réception sous forme numérique. Elles sont alors traitées pour corriger les distorsions atmosphériques, géométriques, et systématiques lorsque nécessaire. Elles sont ensuite converties dans un format standard et sont sauvegardées sur bandes magnétiques, disquettes ou CD-ROM.

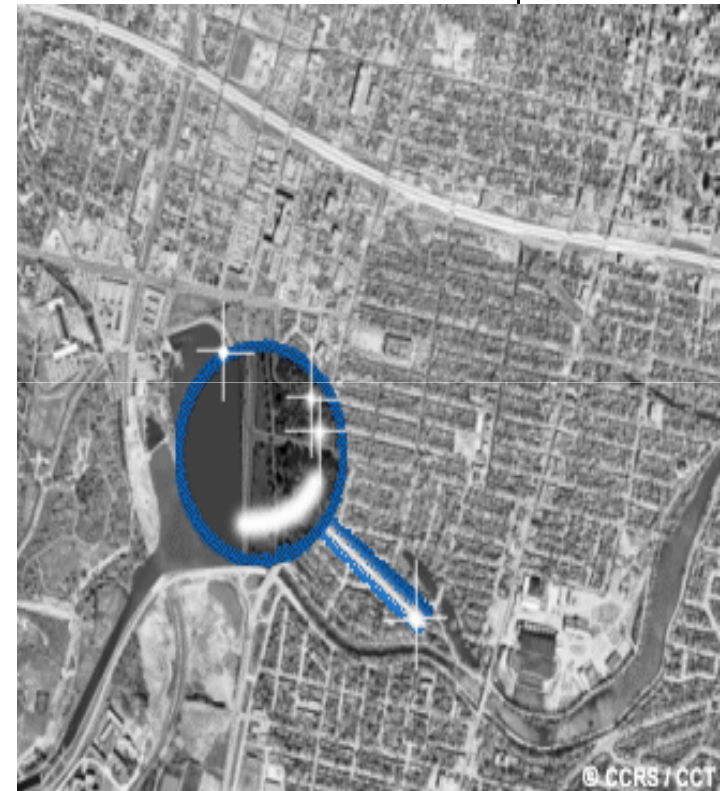
V. Analyse et interprétation d'images



V. Analyse et interprétation d'images



- L'interprétation et l'analyse de l'imagerie de télédétection ont pour but d'identifier et de mesurer les différentes cibles dans une image pour pouvoir en extraire l'information utile. En télédétection, une cible est définie comme étant toute structure ou objet observable dans une image.
- Les cibles peuvent se présenter sous des formes variées qui peuvent être des points, des lignes ou des surfaces.
- La cible doit être distinctive, c.-à-d. qu'elle doit contraster avec les structures avoisinantes.



V. Analyse et interprétation d'images



- L'interprétation et l'identification des cibles en télédétection sont souvent faites de façon visuelle. Dans ce cas, l'imagerie est présentée dans un format photographique ou **format analogique**, indépendamment du type de capteurs et de la manière dont les données sont acquises.
- Les images de télédétection peuvent être représentées au moyen d'un ordinateur par une matrice de pixels, où chaque pixel correspondant à un **nombre**, représentant le niveau d'intensité du pixel. Dans ce cas, les données sont en format **numérique**.
- Les imageries analogique et numérique peuvent toutes deux être représentées en noir et blanc (images **monochromatiques**) ou en composés couleurs (image **multispectrales**) en combinant différents canaux ou bandes représentant différentes longueurs d'onde.

V. Analyse et interprétation d'images



- L'identification des cibles en télédétection basée sur 7 caractéristiques visuelles qui nous permet de mieux interpréter et analyser les images. Qui sont : **ton, forme, taille, patron, texture, ombre et association.**



1. Le ton

- Le **ton** réfère à la clarté relative ou la couleur (teinte) des objets dans une image. Généralement, la nuance de ton est l'élément fondamental pour différencier les cibles et les structures. Les variations de ton permettent aussi la différenciation des formes, textures et patrons des objets.



2. La forme

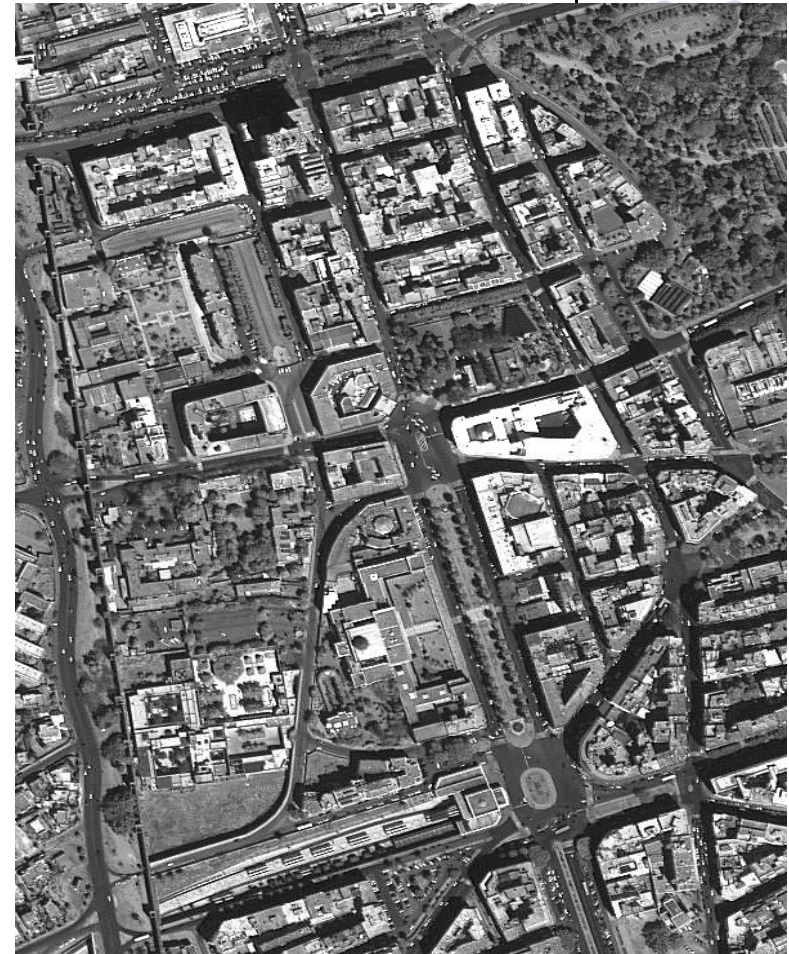


- La **forme** réfère à l'allure générale, la structure ou le contour des objets Pris individuellement. La forme peut être un indice très important pour l'interprétation. Les formes aux bordures rectilignes se retrouvent généralement dans les régions urbaines ou sont des champs agricoles, alors que les structures naturelles, telles que les bordures des forêts, sont généralement plus irrégulières, sauf dans les endroits où l'homme a construit une route ou effectué une coupe à blanc.



3. La taille

- La **taille** d'un objet sur une image est fonction de l'échelle. Il est important d'évaluer la taille d'une cible par rapport aux autres objets dans une scène. Une évaluation rapide de la taille approximative d'une cible facilite souvent l'interprétation. Par exemple, dans une image on peut distinguer différentes zones d'utilisation du sol et identifier une aire comportant des bâtiments, les grosses structures telles que les usines ou les entrepôts suggéreraient des propriétés commerciales, etc.



Centre de Rabat par IKONOS



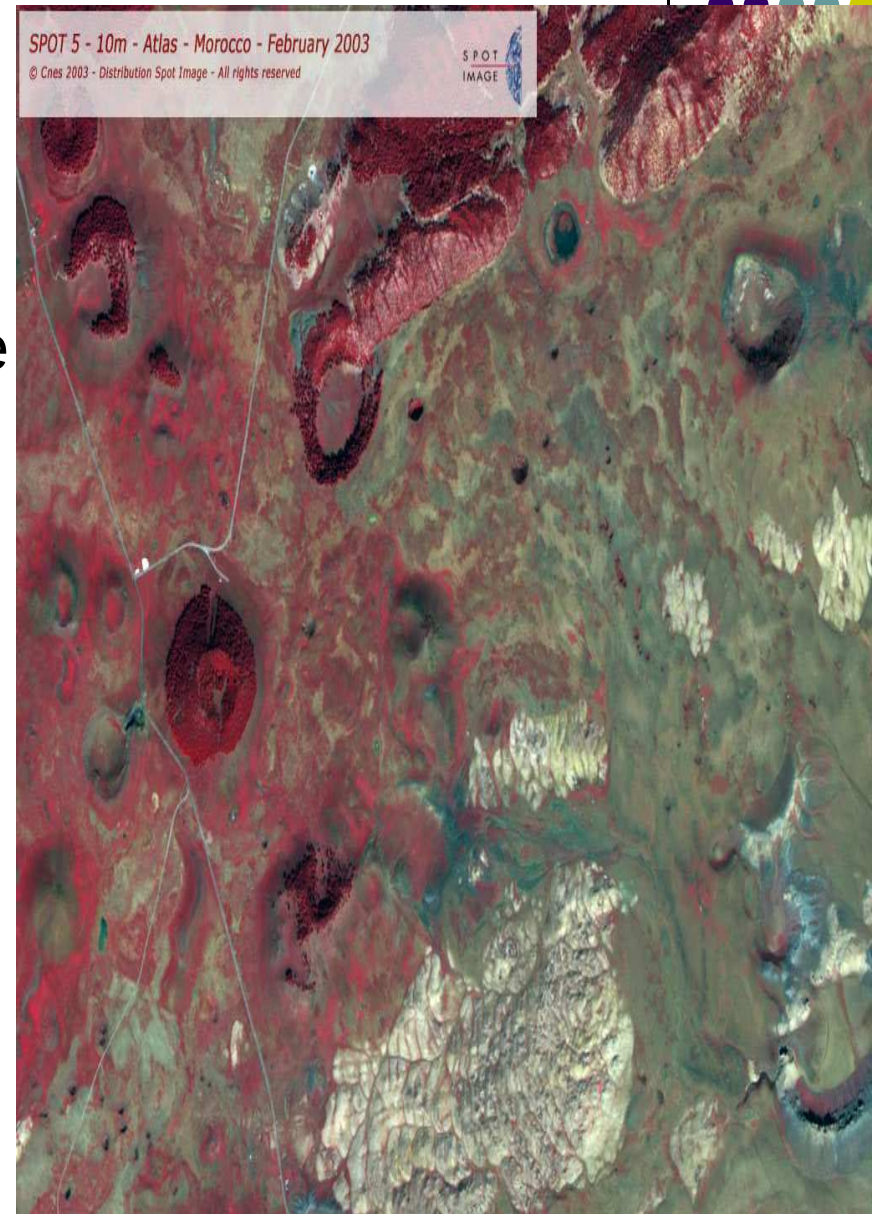
4. Le patron

- Le **patron** réfère à l'agencement spatial des objets visiblement discernables. Une répétition ordonnée de tons similaires et de textures produit un patron distinctif et facilement reconnaissable. Les vergers avec leurs arbres régulièrement disposés, ou les rues régulièrement bordées de maisons sont de bons exemples de patrons.



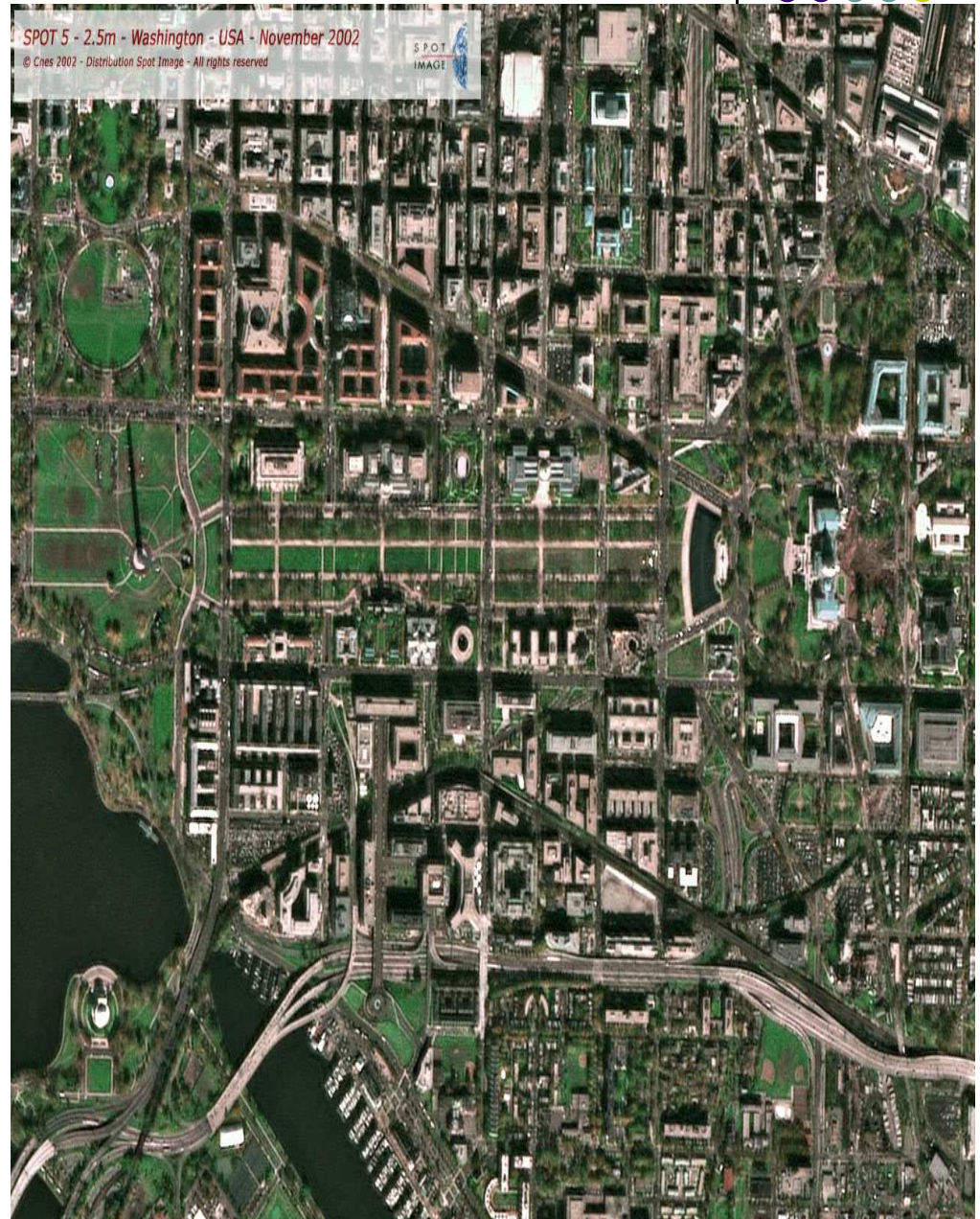
5. La texture

- La **texture** réfère à l'arrangement et à la fréquence des variations de teintes dans des régions particulières d'une image. Une cible avec une surface rugueuse et une structure irrégulière, exemple : une forêt, résulte en une texture d'apparence rugueuse. Les textures lisses sont souvent le résultat de surfaces uniformes telles que des champs, du pavement ou des terrains gazonnés.



6. Les ombres

- Les **ombres** sont aussi utiles pour l'interprétation puisqu'elles donnent une idée du profil et de la hauteur relative des cibles pouvant être identifiées facilement. Les ombres peuvent cependant réduire, voire éliminer l'interprétation dans leur entourage, puisque les cibles situées dans les ombres sont moins, ou pas du tout discernables.

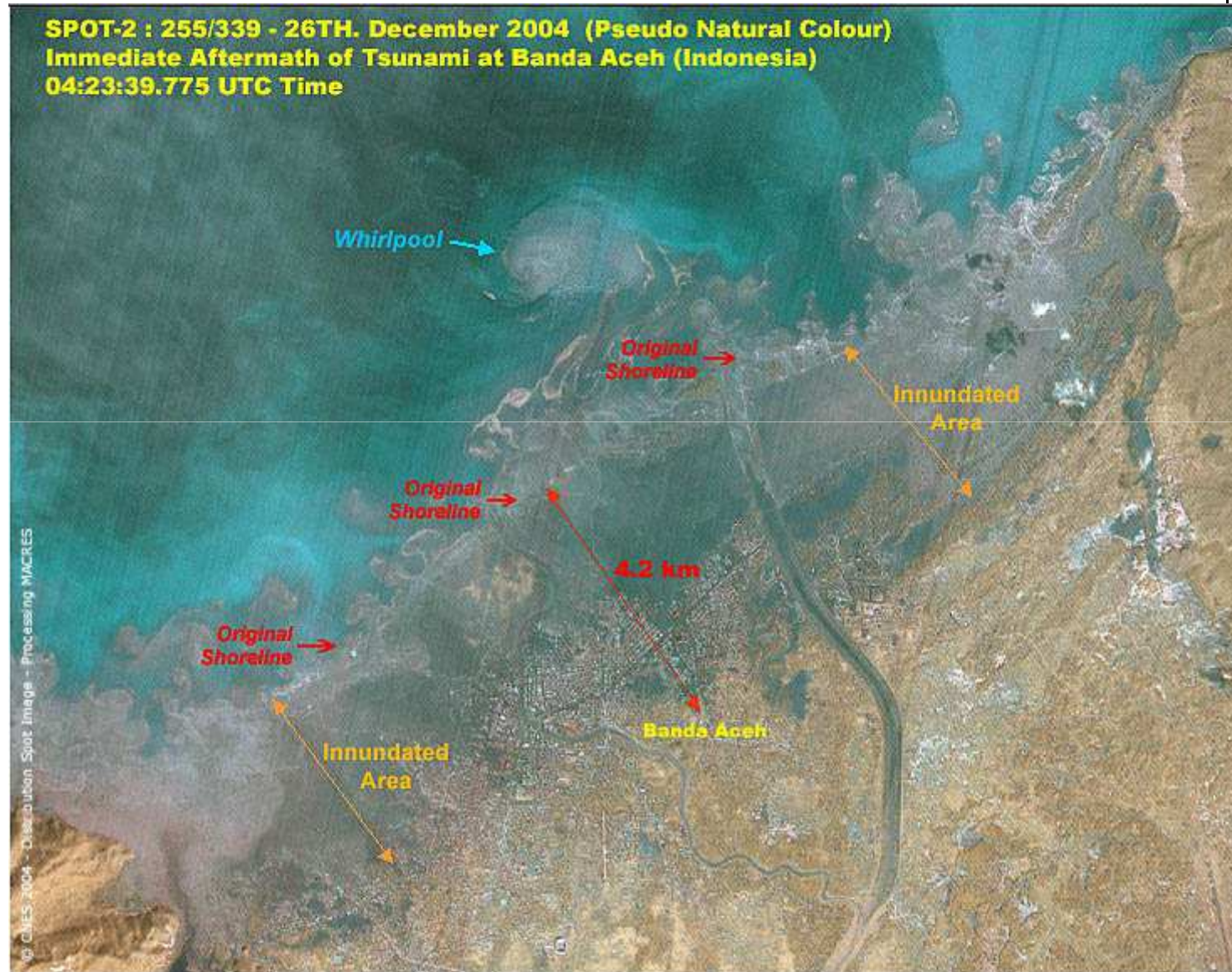


7. L'association

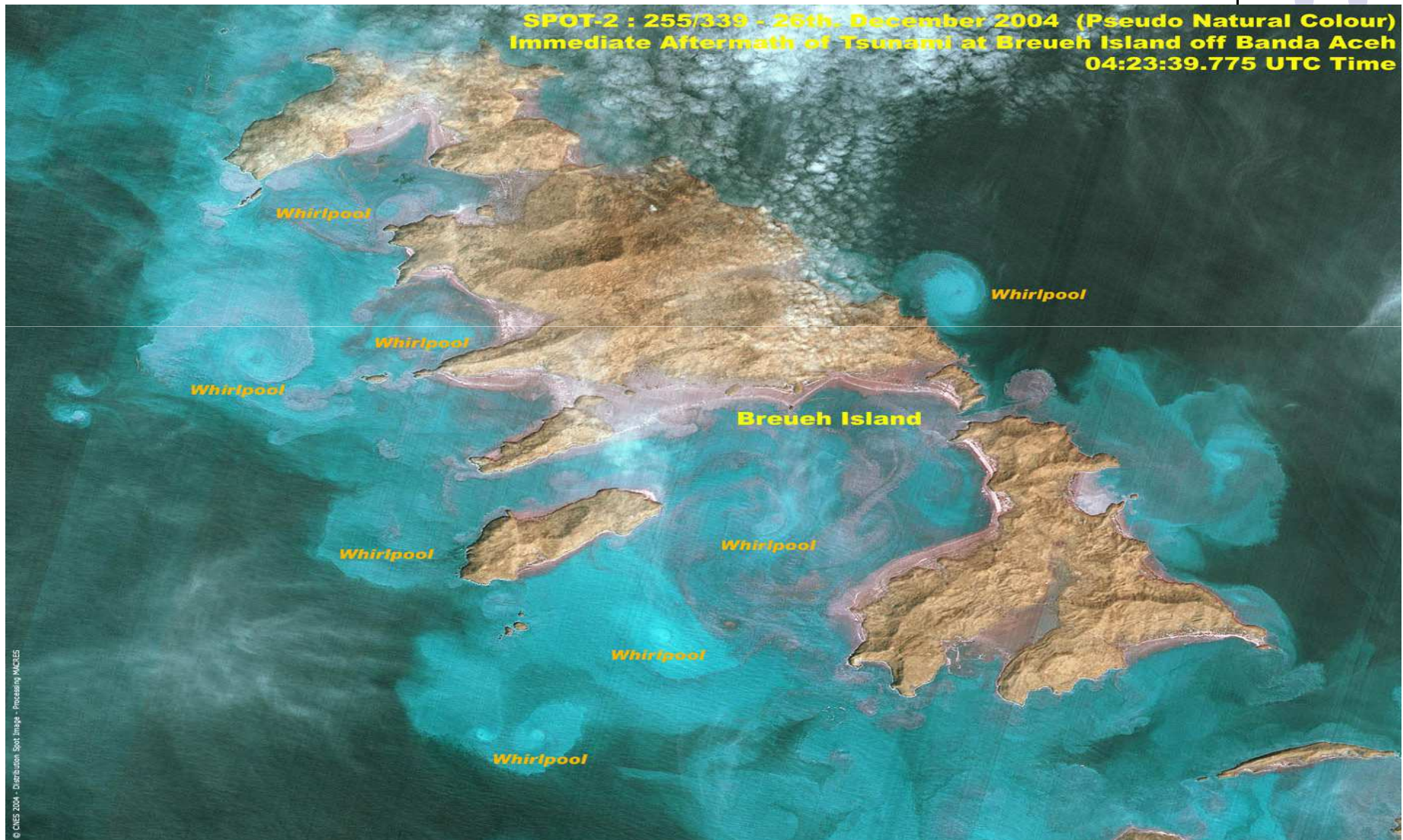
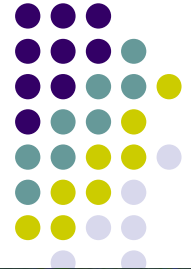
- L'**association** tient compte de la relation entre la cible d'intérêt et d'autres objets ou structures reconnaissables qui sont à proximité. L'identification d'éléments qu'on s'attend normalement à retrouver à proximité d'autres structures peut donner de l'information facilitant l'identification. Dans l'exemple ci-dessous, le littorale est associé à des bateaux, à une marina et à un parc récréatif tout près.



Tsunami en Asie du Sud-Est



Tsunami en Asie du Sud-Est



Tsunami en Asie du Sud-Est

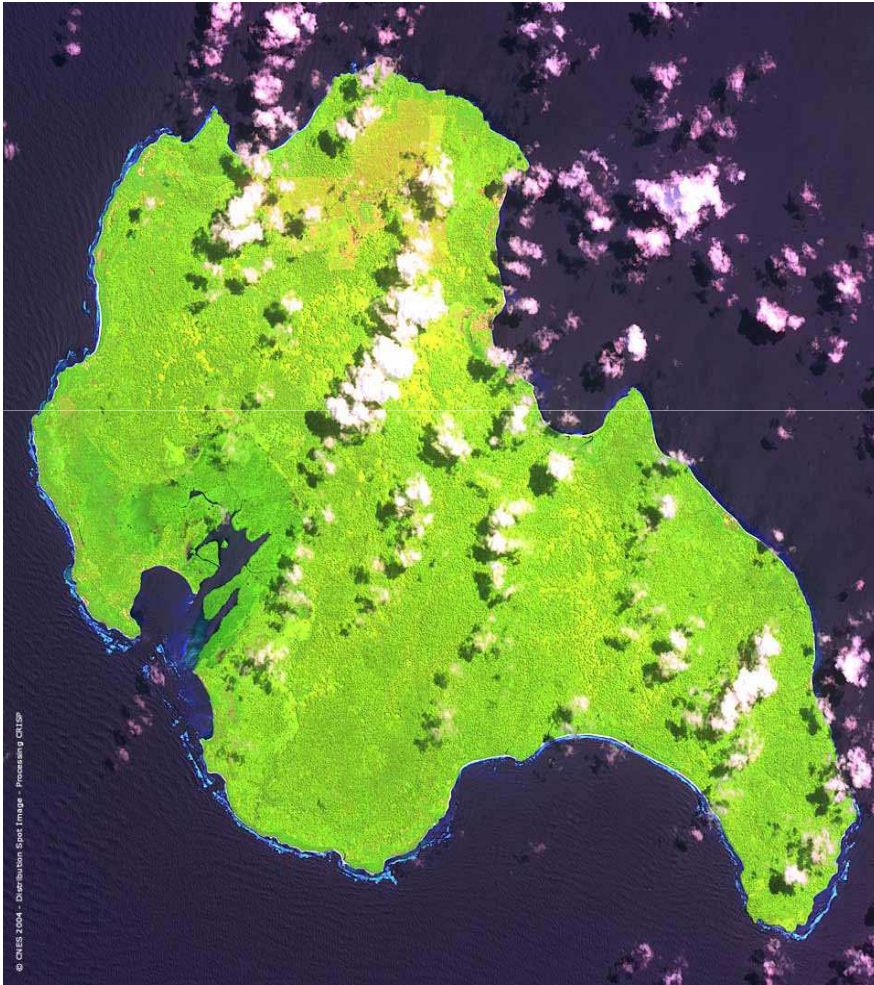


Image du 10 juillet 2004

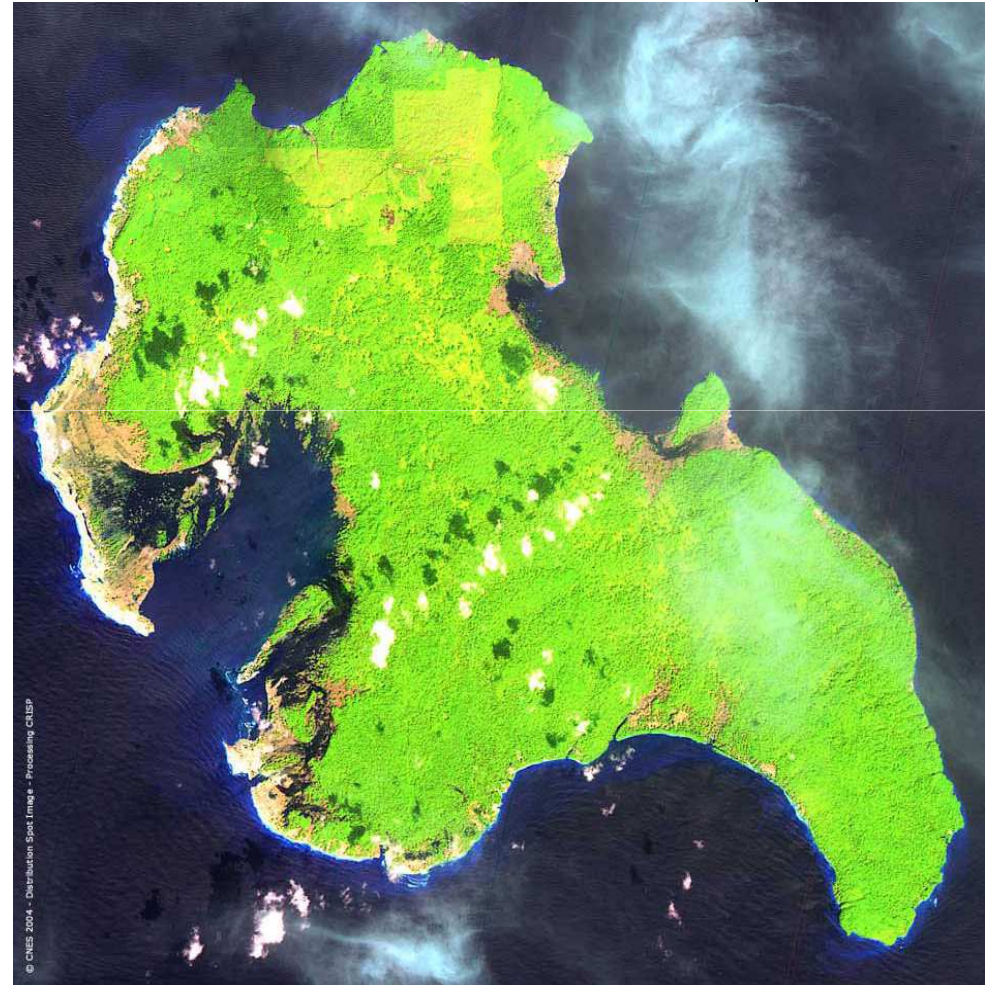


Image du 28 Décembre 2004

Tsunami en Asie du Sud-Est



Image du 8 Décembre 2004

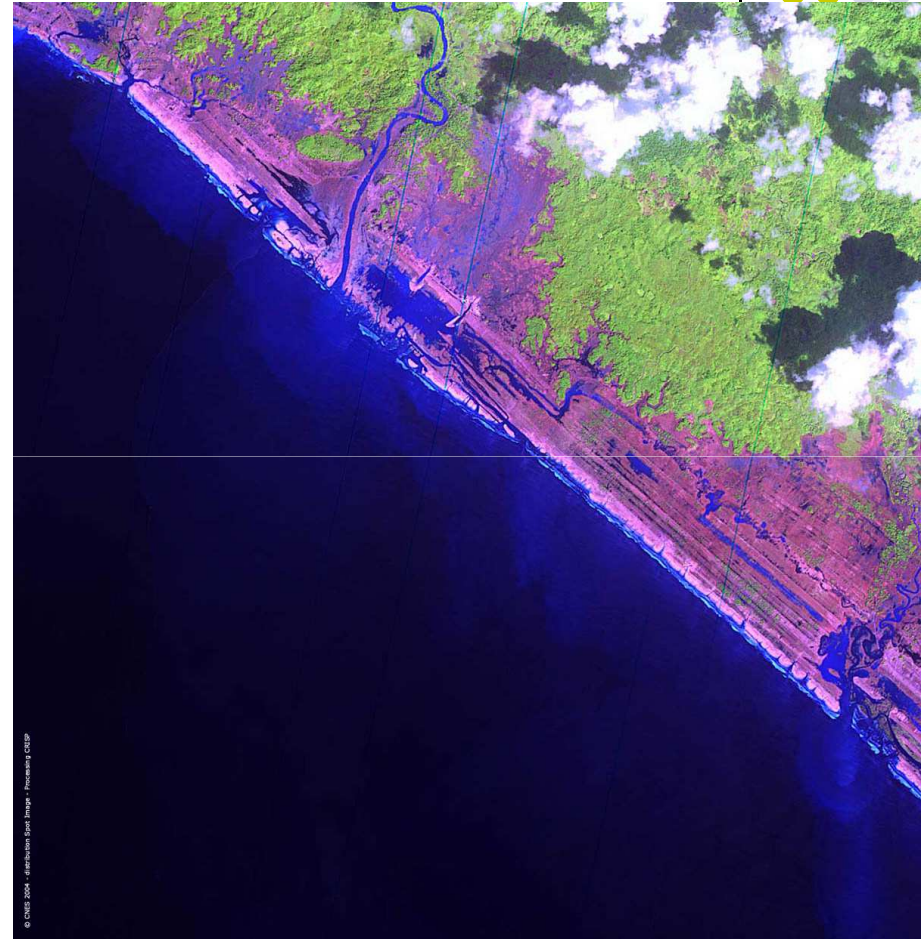
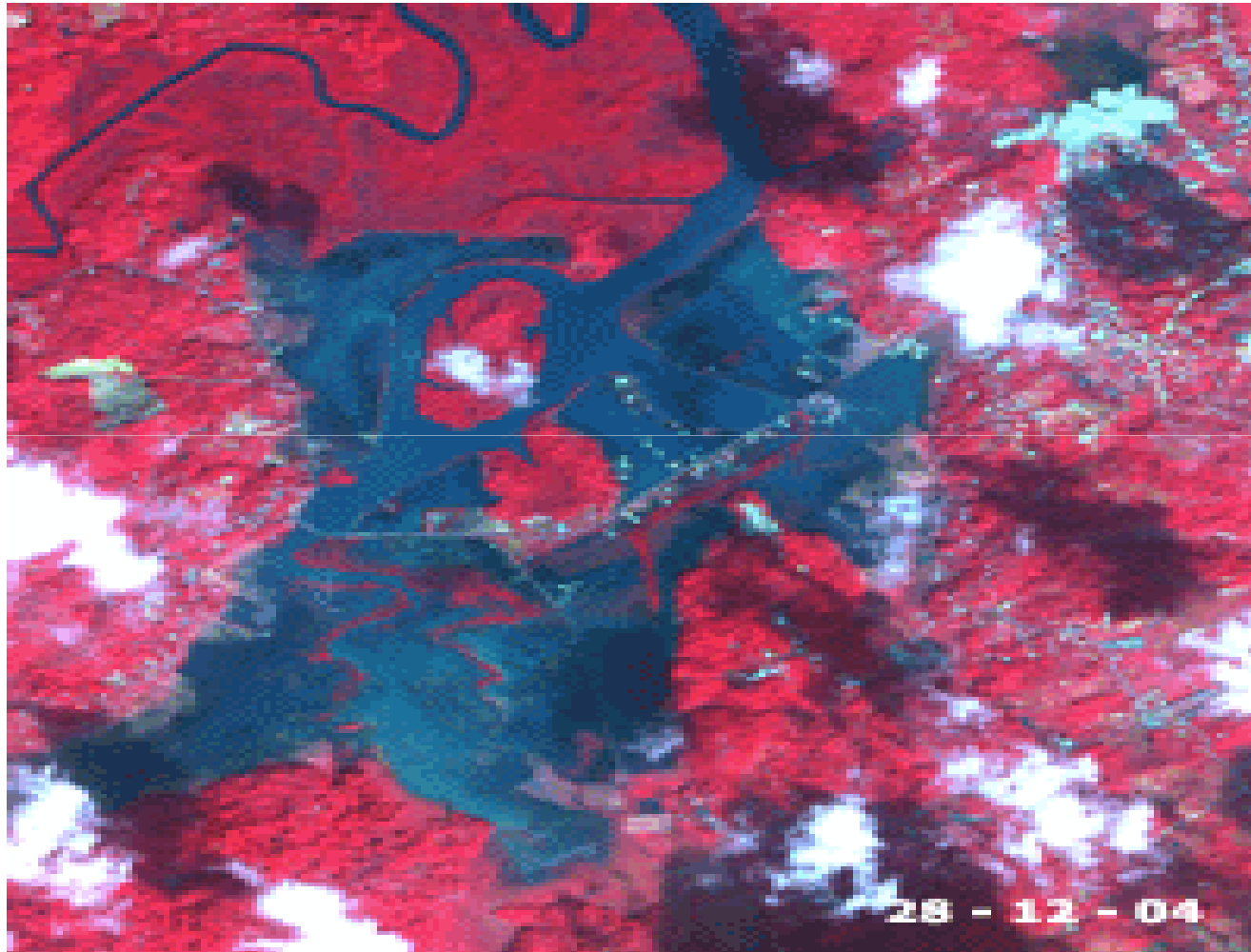


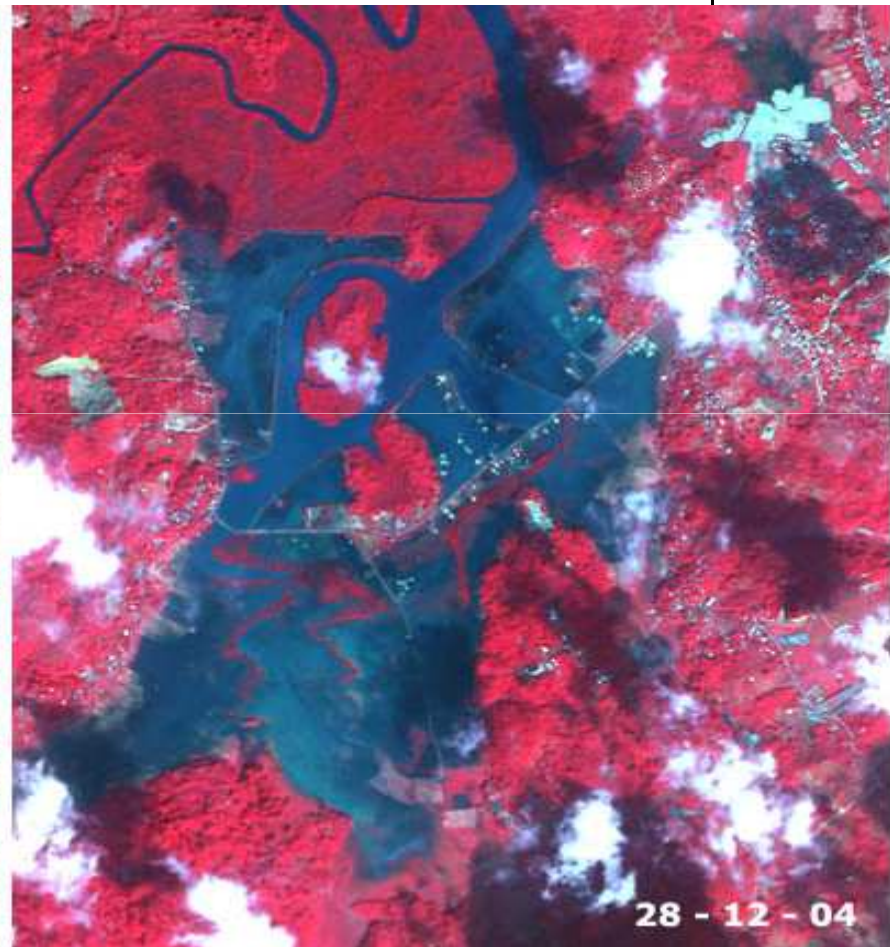
Image du 29 Décembre 2004

Tsunami en Asie du Sud-Est



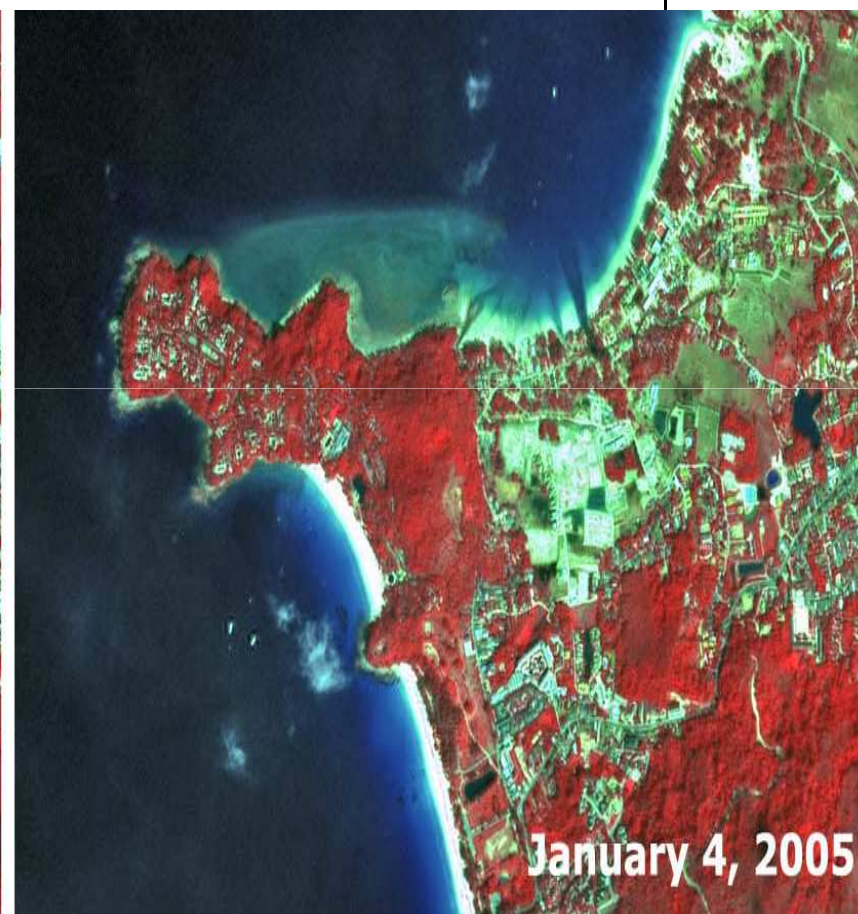
Andaman, Inde

Tsunami en Asie du Sud-Est



Andaman, Inde

Tsunami en Asie du Sud-Est



Région Phuket - Thaïlande