

INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION

La télédétection est une méthode qui permet d'obtenir des informations sur des objets en recueillant et en analysant des données sans contact direct entre l'instrument utilisé et l'objet analysé.

Les éléments essentiels en Télédétection sont:

1. une **PLATE-FORME** pour tenir l'instrument
2. un **OBJET** cible à observer
3. un instrument ou **CAPTEUR** pour observer la cible
4. L' **INFORMATION** obtenue à partir des données de l'image et la manière dont cette information est exploitée et stockée.

Lorsque les scientifiques parlent de télédétection, l'objet observé est la Terre. En général, pour eux, **la télédétection est un moyen pour observer la Terre, sa surface terrestre, ses océans, son atmosphère et sa dynamique depuis l'espace.**

Désormais, quand le terme de Télédétection sera utilisé, il le sera au sens que lui donnent les Scientifiques qui observent la Terre. La Télédétection est une technologie qui a pour objectif principal de découvrir et d'observer le système « Terre », l'environnement et sa dynamique à différentes échelles.

Les plates-formes

Quel que soit le degré de sophistication des instruments utilisés, en l'absence d'un moyen de quitter la surface de la Terre, la télédétection ne permet pas d'acquérir une vision d'ensemble acceptable de notre planète. C'est la raison pour laquelle la télédétection est une technologie relativement nouvelle.

Les Avions

De nos jours, l'une des méthodes les plus évidentes pour "prendre une photo" de la Terre à distance consiste à faire en s'éloignant de sa surface (en volant, par exemple). Pour pouvoir prendre des photos, les avions sont équipés d'appareils photo. Les avions se caractérisent (du point de vue de la télédétection) par le fait qu'ils volent à une altitude relativement faible (seulement quelques kilomètres au-dessus de la surface) et ne peuvent par conséquent prendre en photo que des portions de territoire limitées, avec de nombreux détails (voitures, personnes, arbres, etc.).

Pour que les avions d'étude puissent voler, les conditions météo doivent être suffisamment bonnes, de manière à ce qu'il soit possible de prendre de nombreuses photographies ; les photos prises par les appareils photos embarqués sur ces avions sont par conséquent généralement assez claires (peu de nuages). Cela étant, les avions ne peuvent pas voler à tout moment (durant la nuit ou par temps de brouillard ou de pluie, alors qu'il est possible que des images soient nécessaires à ces moments).



INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION

Les Satellites

- ⇒ En 1957, le premier satellite artificiel (Spoutnik) fut lancé par l'Union Soviétique.
- ⇒ **En astronomie, on entend par satellite, un corps céleste en orbite autour d'une planète ou d'un autre corps céleste. La Lune, par exemple, est un satellite connu de tous.**
- ⇒ "satellite naturel"
- ⇒ "satellites artificiels"

Les satellites ne volent pas. Ils se déplacent en suivant une orbite. L'orbite est la trajectoire suivie par un corps céleste autour d'un autre corps céleste plus grand. Généralement, l'orbite a une forme quasi-circulaire.

Aujourd'hui, les satellites sont des plates-formes utilisées communément en télédétection ; ils véhiculent des capteurs extrêmement variés, et souvent spécialisés dans l'observation de la météo, des paysages ou catastrophes naturelles, de la végétation,.... Certains capteurs sont même capables de "voir" à travers les nuages ou d'acquérir de l'imagerie de nuit. Deux grands avantages des satellites par rapport aux avions, c'est qu'ils peuvent prendre des images d'étendues extrêmement vastes et que la même surface peut être observée systématiquement à chaque passage du satellite.

Les satellites ont cependant leurs limites. Il est clair que, lorsqu'un satellite se trouve au-dessus de l'Australie, il ne peut pas prendre une image de l'Europe. En cas de besoin d'une telle image, deux solutions sont possibles : soit attendre que le satellite passe au-dessus de l'Europe (ce qui peut demander plusieurs jours), soit disposer d'un autre satellite. C'est l'une des raisons pour lesquelles tant de satellites sont nécessaires pour avoir une couverture plus ou moins complète de la Terre.



TIGER Initiative

Looking after water in Africa



INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION



Copyright Window on the UK 2000



TIGER Initiative

Looking after water in Africa



Objets observés

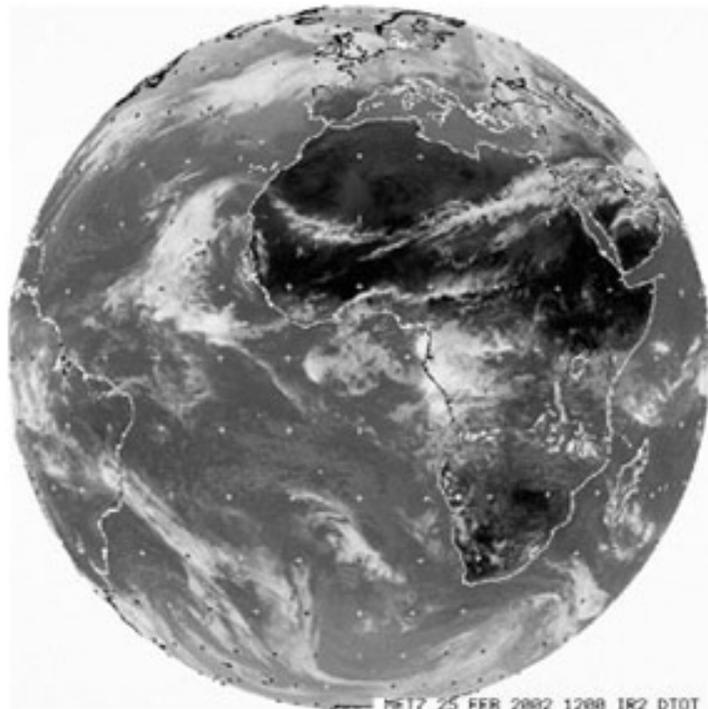
La mise en œuvre des techniques de télédétection dépend ce qui doit être observé. Par exemple, les paramètres orbitaux sont étroitement liés aux réquisits de l'observation. Ainsi, La Terre peut être observée à différentes échelles.

⇒ !! Orbites

Les scientifiques peuvent décider de s'intéresser à certains phénomènes affectant la surface de la Terre. Par exemple, ils peuvent décider de faire un "zoom avant" sur un cyclone, un feu de forêt ou une inondation. Lorsque l'on exploite l'imagerie satellitaire pour observer certaines caractéristiques ou certains événements particuliers, l'on peut parler d' **applications du satellite**.

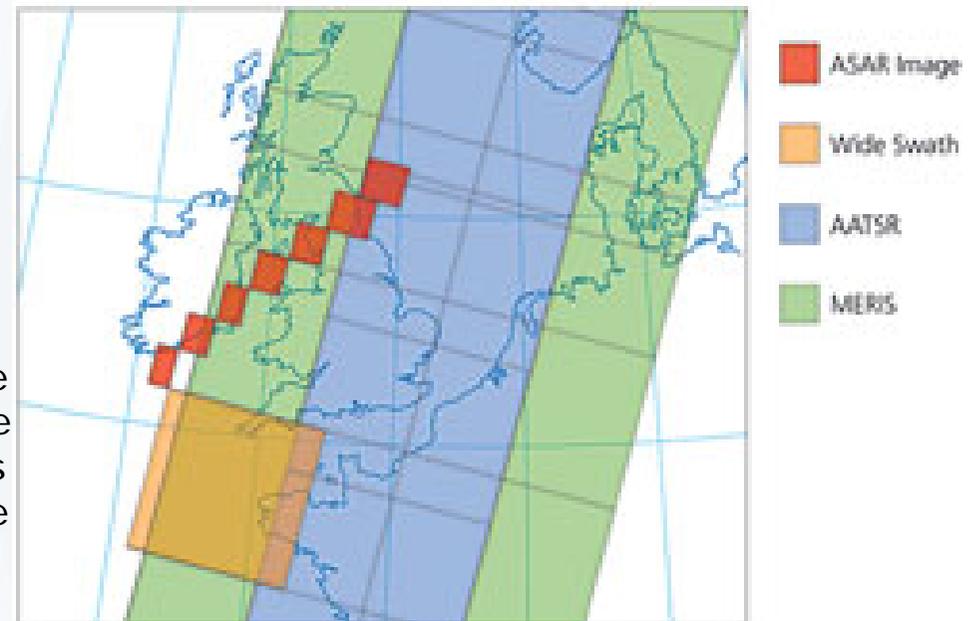


INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION



Sur cette image, le satellite est placé en orbite relativement loin de la Terre ($\pm 36\,000$ km). C'est la raison pour laquelle il est possible de voir "toute" la planète.

Sur celle-ci, le satellite est beaucoup plus proche de la Terre (± 800 km). Chaque carré et bande de couleur représente une image. Lorsque plusieurs images sont rassemblées pour former une image plus importante, les scientifiques parlent d'une "mosaïque".



Le spectre électromagnétique

En Télédétection, les capteurs peuvent acquérir des informations que l'œil humain ne peut pas voir normalement (en utilisant des rayonnements appartenant à des parties du spectre électromagnétique autres que le visible).

Les objets reflètent normalement une partie de la lumière qui les atteint. C'est généralement cette portion de lumière qui donne leur couleur aux objets.

Certains objets ne se contentent pas de refléter la lumière qui les atteint, ils émettent en outre des "rayonnements", surtout à cause de leur température.

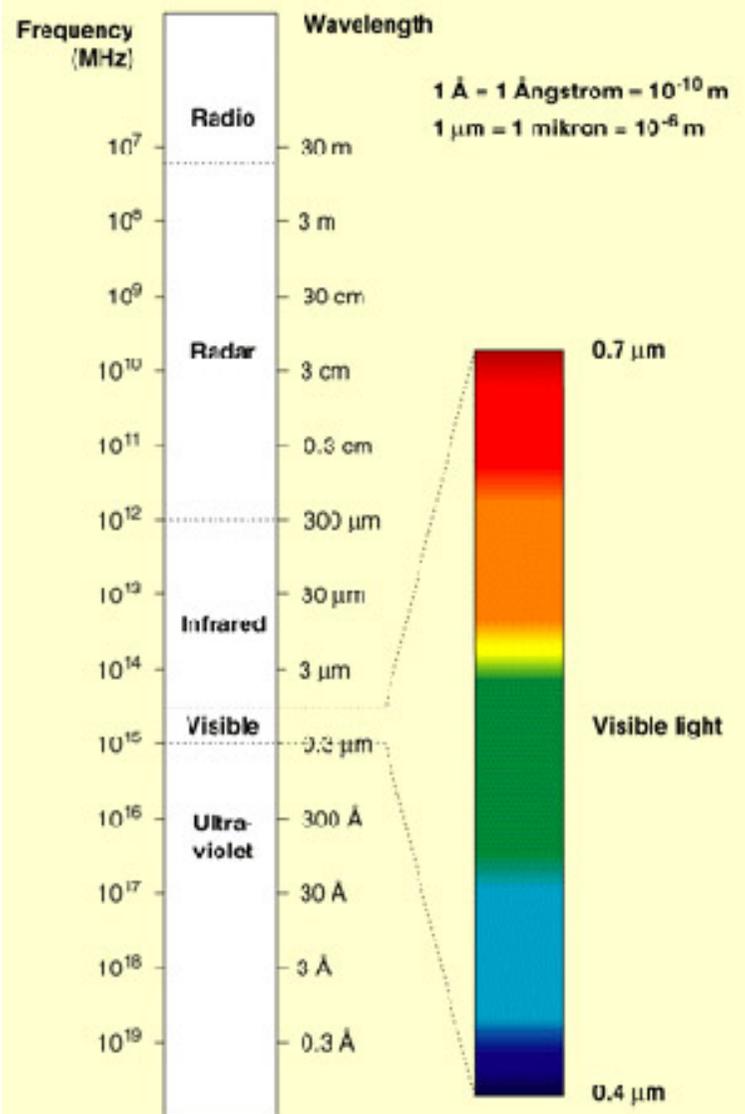
La lumière est émise et réfléchiée par les objets sous forme de rayonnement. **Un rayonnement, c'est de l'énergie qui se propage dans l'espace ou dans la matière sous forme de champs électriques et magnétiques perpendiculaires entre eux.** Il est appelé rayonnement électromagnétique.

Les ondes électromagnétiques sont caractérisées par différentes longueurs d'ondes. Pour mesurer le rayonnement émis ou réfléchi par les objets, on mesure leur énergie à différentes longueurs d'ondes.

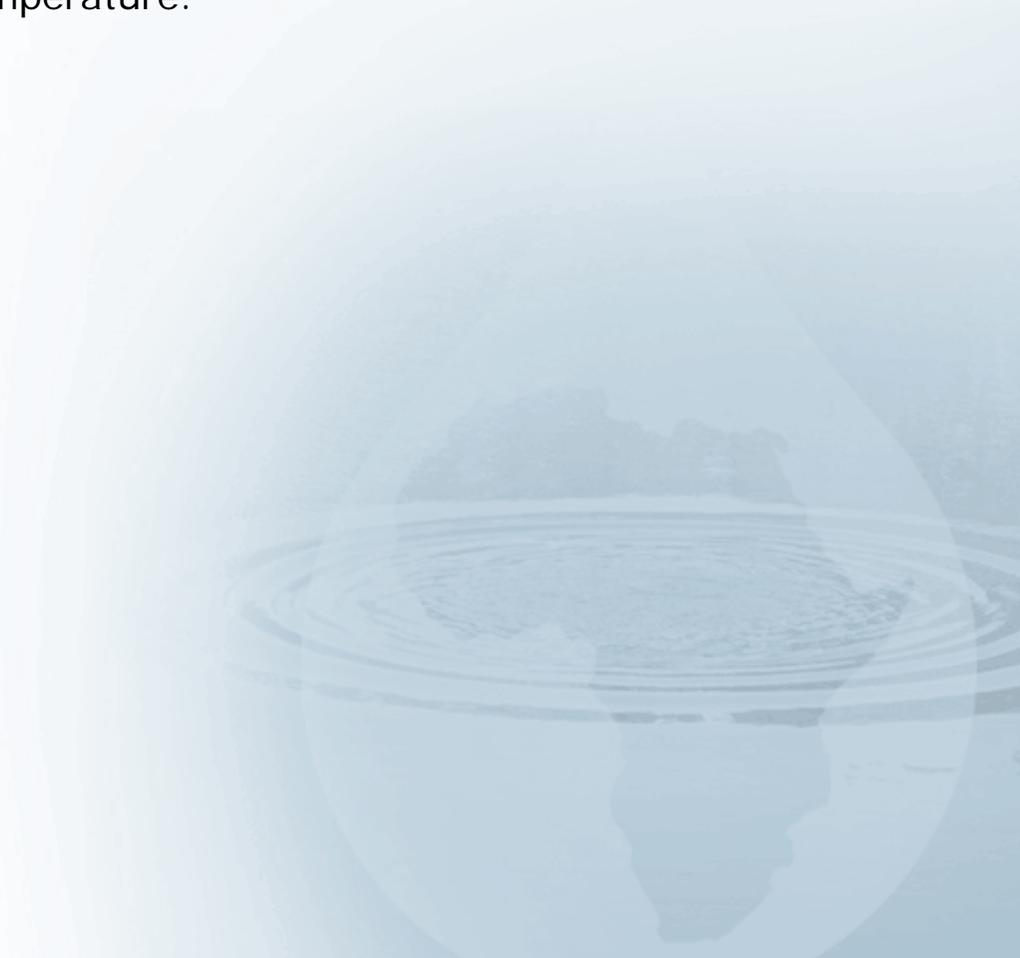
L'ensemble de toutes les longueurs d'ondes possibles constitue le "spectre électromagnétique".



INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION



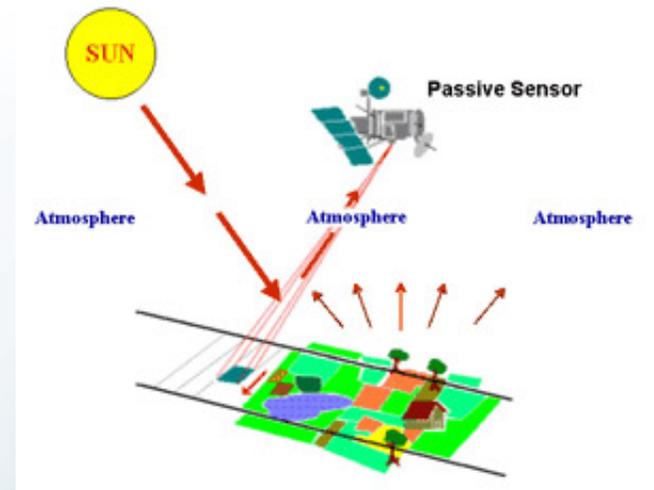
La thermodynamique nous apprend qu'un corps qui a une température supérieure à 0 degré Kelvin (par exemple un objet sur la Terre) émet un rayonnement proportionnel à sa température.



Capteurs passifs

En télédétection, l'on utilise de nombreux capteurs différents, présentant des sensibilités diverses au rayonnement dans les différentes longueurs d'ondes du spectre électromagnétique.

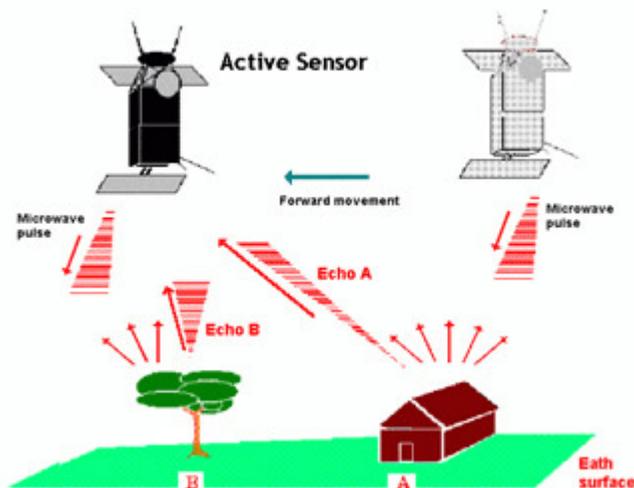
En général, les capteurs qui utilisent une source d'énergie externe pour observer les objets (par exemple qui utilisent la lumière solaire pour observer la Terre) sont appelés "capteurs passifs".



Capteurs actifs

Le principal inconvénient des capteurs passifs est que, si le ciel est nuageux ou s'il fait sombre, on ne peut plus les utiliser. Par conséquent, un autre type de capteurs doit être utilisé. Il s'agit des capteurs dit « actifs ». On les appelle capteurs actifs car ils émettent eux-mêmes les rayonnements pour « illuminer » les objets de manière à ce que l'énergie réfléchie puisse être mesurée.

Le capteur actif le plus couramment employé en télédétection est le "radar".



Analogique ou digital ?

Le format analogique est un format qui enregistre toutes les données de manière continue.

En revanche, le format numérique enregistre chaque bloc d'informations de manière discrète.

En fait, le format numérique est basé sur une procédure mathématique (appelée "système binaire"). La seule chose que "comprend" un ordinateur est l'impulsion électrique – celle-ci est soit présente, soit absente. Si elle est présente, cela correspond à 1, sinon, cela correspond à 0.

Le système décimal est celui dans lequel nous comptons de 0 à 9, pour ensuite entamer une nouvelle dizaine de 10 à 19, puis de 20 à 29, etc. Avec les ordinateurs, l'on compte de 0 à 1, puis l'on reprend une nouvelle série (0 en l'absence d'impulsion électrique, 1 en sa présence).

Remarque concernant le système binaire :

- ⇒ Un groupe de 2 chiffres (également appelés "digits") est ce qu'on appelle un "bit";
- ⇒ Un groupe de 8 bits est appelé "octet" (=256 dans le système décimal)
- ⇒ 1 Ko égale 1 000 octets; 1 Mo égale 1 000 000 octets
- ⇒ Si votre ordinateur a une mémoire de 64Mo, cela signifie qu'il peut gérer des données contenant jusqu'à $(64 \times 1,000,000 \times 8)$ soit 512 000 000 bits ou impulsions électriques
- ⇒ Si votre ordinateur possède un disque dur de 2Go, cela signifie qu'il peut contenir des données correspondant à $(2 \times 1 000 000 000 \times 8)$ soit 16 000 000 000 bits ou impulsions électriques.

Le pixel

Une image satellite est constituée de nombreux carrés appelés pixels. Le pixel représente la plus petite unité figurant sur une image satellite, il est extrêmement important. Réunis, les pixels fournissent toute l'information qui constitue l'image dans son intégralité.

Résolution (spatiale)

Le premier fait important à connaître concernant une image satellite est sa résolution spatiale.

Imaginez l'image satellite d'une petite ville comportant un stade de football en son centre. Le plus petit carré ou pixel sur cette image peut représenter la totalité du stade de football, ou encore le centre du terrain. Dans le premier cas, l'on dira que la résolution de l'image n'est pas très bonne. Dans le second cas, l'on aura une image plus détaillée, dont on dira que sa résolution est meilleure.

La résolution spatiale d'une image est la plus petite distance entre deux objets adjacents que le capteur puisse identifier.





TIGER Initiative

Looking after water in Africa



INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION



Copyright Window on the UK 2000



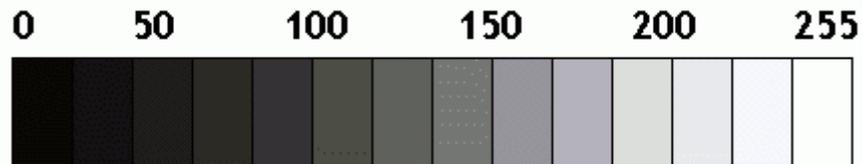
Window on the UK 2000



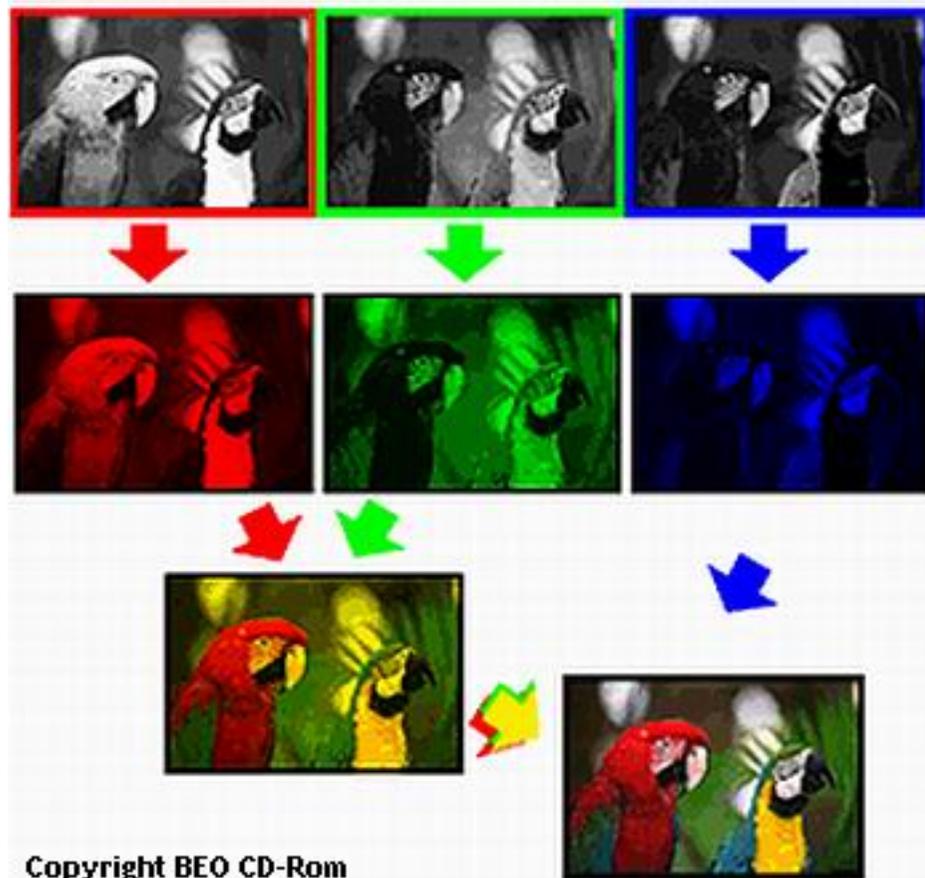
Valeur des pixels

Chaque pixel d'une image a une valeur. Cette valeur correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi par l'objet observé dans la gamme de longueur d'ondes auxquelles le capteur est sensible.

Pixel values



La valeur du pixel varie de 0 (= noir) à 255 (= blanc). Vous avez par conséquent 256 possibilités, ce qui correspond à 1 octet. Cela représente la « quantité » de rayonnement détectée par un capteur, allant du minimum au maximum. Le nombre de niveaux donne une indication quant à la précision de la mesure : plus il y a de niveaux (donc plus il y a de bits), plus détaillée sera la mesure et donc plus précise sera la mesure de la variation du rayonnement.



Copyright BEO CD-Rom

RGB (Rouge, Vert, Bleu)

Paradoxe de ce système d'acquisition d'images : 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 satellite (du même capteur mais appartenant à des bandes différentes ou acquises à des dates différentes) sont souvent combinées pour créer une image colorée.

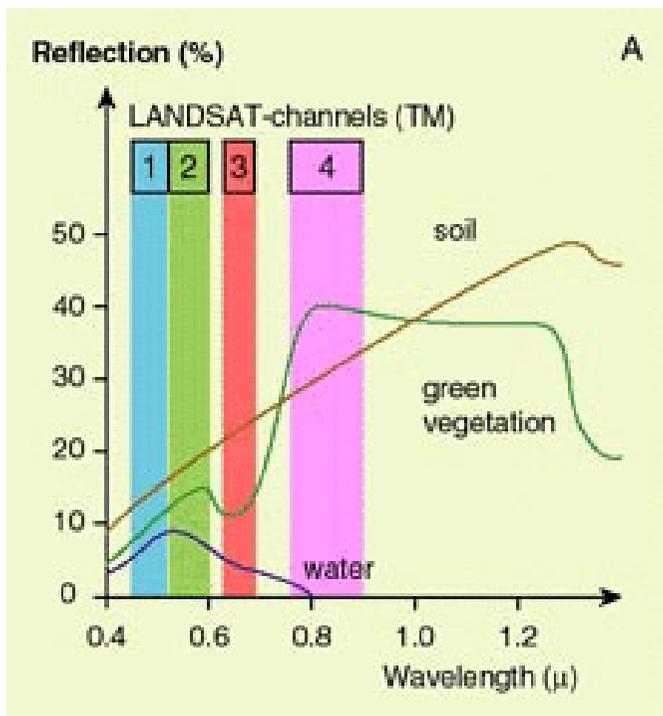
Par exemple, trois images peuvent être prises dans trois bandes différentes (autrement dit, dans trois plages de longueurs d'ondes différentes) par le même capteur, puis réunies. A chacune des bandes est attribuée une couleur (le Rouge, le Vert ou le Bleu) pour produire une image en couleur.



Signatures spectrales

Différents types de surfaces tels que l'eau, un terrain nu ou de la végétation, reflètent les rayonnements différemment dans différents canaux. Les rayonnements réfléchis en fonction de la longueur d'onde sont appelés signature spectrale de la surface.

Graphique de signatures spectrales de l'eau, du sol et de la végétation.



La signature spectrale des plantes vertes est très caractéristique. La chlorophylle d'une plante en développement absorbe la lumière visible, surtout la rouge, pour l'utiliser en photosynthèse, tandis que la lumière du proche infrarouge se réfléchit très efficacement car la plante n'en a aucune utilité. Ainsi, les plantes évitent tout réchauffement inutile ou perte de sève par évaporation. Par conséquent, le réfléchissement de la végétation dans le proche infrarouge et dans les plages visuelles du spectre, varie considérablement. Le niveau de différence révèle l'ampleur de la zone couverte par des feuilles vertes en croissance (index de zone de feuilles).

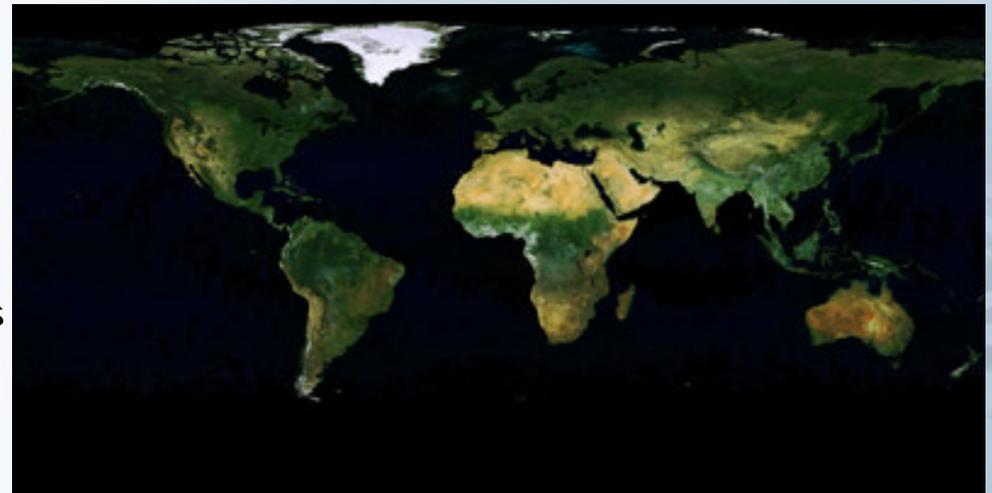
Cartographie de la végétation

La végétation réfléchit fortement dans la plage des 0,7-0,9 micromètres, tandis qu'elle réfléchit peu dans la région des 0,6-0,7 micromètres. La signature spectrale de la végétation étant très caractéristique, la distinction entre terrain nu et verdure ne pose généralement aucun problème. La différence entre le réfléchissement dans le visible et dans le proche infrarouge peut, comme nous l'avons déjà indiqué, aider à déterminer la photosynthèse et la croissance des plantes.

L'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, soit indice de différence normalisée de la végétation) se calcule généralement comme suit:

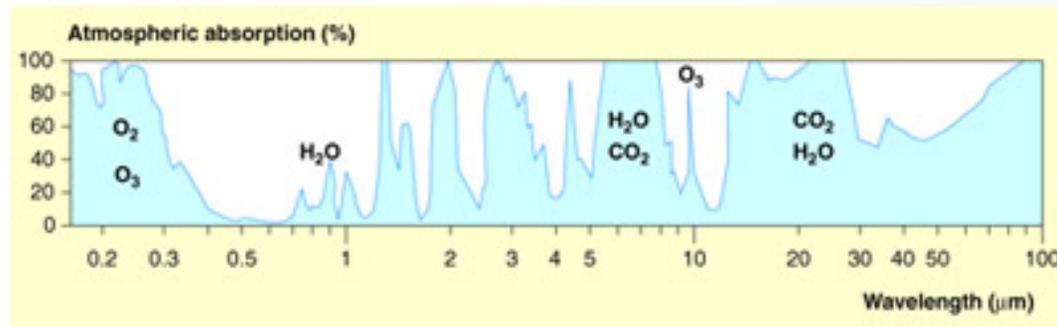
$$\text{NDVI} = \frac{\text{Proche Infrarouge} - \text{Rouge}}{\text{Proche Infrarouge} + \text{Rouge}}$$

C'est sur la base de cette simple formule qu'a été cartographiée la répartition mondiale de la végétation dans le passé. Aujourd'hui, plusieurs algorithmes existent et sont utilisés en fonction de ce que l'on veut observer (biomasse, superficies, etc.) .



A droite: Image MERIS montrant la végétation mondiale en août 2004.

Les perturbations atmosphériques



Les rayons émis par le soleil et leur réfléchissement par la surface de la Terre traversent l'atmosphère avant d'atteindre le capteur du satellite. Le contenu atmosphérique des gaz à effet de serre absorbe une partie des rayons émis par la Terre. L'ozone agit comme une barrière presque totale contre les rayons ultraviolets. Les vapeurs aqueuses et le gaz carbonique sont des gaz à effet de serre qui absorbent très efficacement les rayons de différentes longueurs d'ondes.

"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.

Bien que la télédétection passe par les fenêtres atmosphériques, elle est néanmoins quelque peu perturbée par la diffusion et l'absorption dans l'atmosphère.

Les résultats de la télédétection peuvent par conséquent souvent être légèrement déformés et doivent de ce fait être ajustés par un processus de traitement numérique de l'image.

Les orbites

Un satellite peut conserver la même orbite pendant une période prolongée, dans la mesure où l'attraction gravitationnelle de la Terre vient équilibrer la force centrifuge. Les satellites étant en orbite hors de l'atmosphère, ils ne rencontrent pas la résistance de l'air. Par conséquent, du fait de la loi d'inertie, la vitesse du satellite reste constante, ce qui entraîne une orbite stable autour de la Terre pendant de nombreuses années.

L'attraction gravitationnelle diminue à mesure que l'on s'éloigne de la Terre, tandis que la force centrifuge augmente en même temps que la vitesse orbitale. Par conséquent, un satellite en basse orbite, soit à environ 800 km de la Terre, est exposé à une immense attraction gravitationnelle et doit avancer à une vitesse considérable pour générer une force centrifuge correspondante. Par conséquent, il existe un lien direct entre la distance à la Terre et la vitesse orbitale du satellite. A une distance de 36 000 km, le temps de parcours de l'orbite est de 24 heures, ce qui correspond au temps que prend la Terre pour tourner sur elle-même. A cette distance, un satellite situé au-dessus de l'Equateur reste stationnaire par rapport à la Terre.

Les orbites géostationnaires

Meteosat et d'autres satellites en orbite géostationnaire surveillent les conditions météo aux quatre coins du globe, à l'exception des Pôles.

Les orbites géostationnaires à 36 000km de l'Equateur sont les plus connues pour les nombreux satellites utilisés pour différentes formes de télécommunication, notamment la télévision. Les signaux émis par ces satellites peuvent être envoyés tout autour de la terre. Les signaux de télécommunication avancent en ligne droite. Il est par conséquent nécessaire que les satellites restent stationnaires, c'est-à-dire qu'ils conservent la même position, par rapport à la surface de la Terre.

Pour la télédétection, un satellite stationnaire présente l'avantage de toujours visualiser la Terre sous le même angle. Autrement dit, il peut enregistrer la même image à intervalles rapprochés. Cette propriété est particulièrement utile pour l'observation des conditions météorologiques. L'un des inconvénients des orbites géostationnaires est leur grande distance par rapport à la Terre, qui réduit la résolution spatiale possible. De nombreux satellites météorologiques sont répartis de manière uniforme en orbite géostationnaire autour du monde, pour donner une vision globale de la situation.

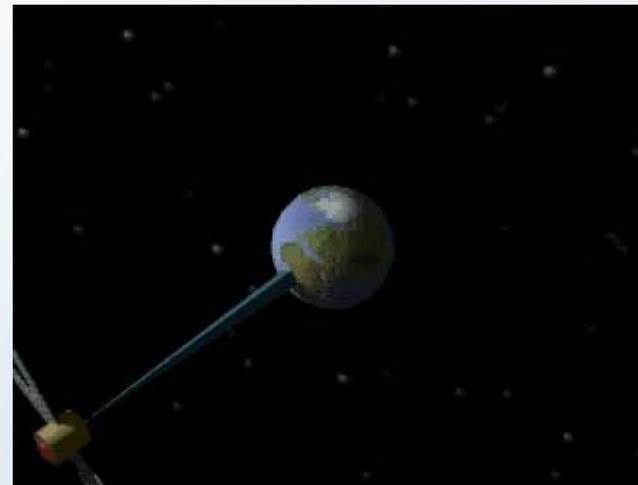
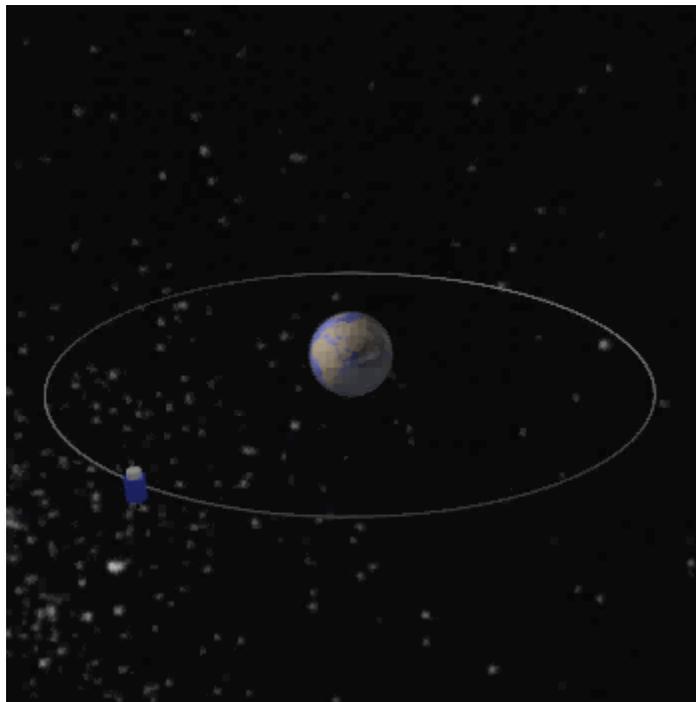


TIGER Initiative

Looking after water in Africa



INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION



Les orbites solaires synchrones.

Bon nombre de satellites sont équipés de systèmes passifs de détection qui dépendent de la luminosité du soleil. Par conséquent, ces satellites sont en orbite autour de la Terre. Tandis qu'ils mesurent la manière dont la lumière solaire se réfléchit depuis la Terre, leurs orbites doivent être ajustées selon le cycle du jour et de la nuit. Il est important de comparer des images enregistrées sur une période de temps prolongée. Pour qu'elles puissent être comparables, les conditions de luminosité doivent être identiques. Les enregistrements doivent se faire à la même heure locale de la journée, de manière à ce que le soleil ait la même altitude par rapport à l'horizon et à ce que le plan de l'orbite du satellite conserve un angle constant par rapport à la lumière solaire. Ces conditions peuvent être remplies en plaçant le satellite en orbite polaire.

Tandis que le satellite tourne dans son orbite, la Terre tourne en-dessous, sur son axe. Chaque fois que le satellite effectue un tour complet, une nouvelle bande de surface de la Terre est scannée et, au bout d'un certain nombre de rotations, toute la surface de la Terre est acquise. Certains satellites scannent une bande très large à chaque fois. Par conséquent, ils couvrent la totalité de la Terre en quelques rotations. En revanche, les satellites haute résolution ne scannent qu'une étroite bande à la fois. Il leur faut par conséquent plusieurs jours pour couvrir toute la Terre.



TIGER Initiative

Looking after water in Africa



INTRODUCTION À LA TÉLÉDÉTECTION

