

Beo Base

Exercices d'Introduction à la Téledétection

Observation de la Terre par satellite



Une initiative du Earth Observation Helpdesk
Service de Recherches et Applications aérospatiales
Politique scientifique fédérale belge (BELSPO)
<http://eoedu.belspo.be>
Ook beschikbaar in het Nederlands
Mai 2003



Partie I. Table des Matières

Partie I.

Description des Exercices _____ **I-2**

Les Satellites _____ **I-3**

Partie II.

Les images satellitaires _____ **II-7**

Résolution _____ **II-11**

Partie III.

Chiffres _____ **III-13**

Couleurs vraies _____ **III-16**

Partie IV.

Fausses couleurs _____ **IV-19**

Réponses _____ **IV-24**

Description des Exercices

Ces exercices sont la version papier des exercices intégrés dans BEO Interactif, le programme de traitement d'images du CD-Rom BEO (Belgian Earth Observation), réalisé en décembre 2000 par le Earth Observation Helpdesk des Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles.

BEO est un CD-ROM trilingue (français, néerlandais, anglais), adressé en premier lieu aux élèves du niveau secondaire. Il a été distribué dans toutes les écoles secondaires de Belgique et est disponible sur demande auprès de:
EODesk - Politique Scientifique Fédérale
Avenue Louise 231
1050 Bruxelles
Tél: 02/238 35 59 - e-mail: eodesk@belspo.be

Les exercices de BEO Base sont destinés à guider l'utilisateur au travers des principes de base de la télédétection et des propriétés des images satellites. Les exercices peuvent être effectués individuellement ou en équipe.

Cette version a été développée à la demande d'enseignants n'ayant pas la possibilité d'utiliser l'ordinateur à l'école. Si l'accès à un ordinateur est possible, il est évidemment fortement conseillé de réaliser les exercices à partir du programme BEO Interactif du CD-Rom BEO.

Ce document doit être imprimé en couleurs.

Pour obtenir plus d'information sur l'observation de la Terre par satellite, consultez le site Internet EO Edu <http://eoedu.belspo.be>

Les Satellites

Introduction

En astronomie, un satellite est décrit comme un corps céleste qui gravite autour d'une planète; ainsi la Lune est le **satellite naturel** de la Terre.

En astronautique, il s'agit d'un engin de fabrication humaine qu'on place en orbite terrestre: un **satellite artificiel**. Le premier satellite artificiel a été lancé en 1957 par l'Union Soviétique. Depuis, plusieurs milliers de satellites ont été lancés et aujourd'hui, environ 2800 satellites sont en orbite autour de notre planète.

Les applications des satellites sont très diversifiées:

- Les **satellites de communication** servent de relais pour les communications téléphoniques, les émissions de télévision, des échanges de données informatiques ou des contacts radio permanents avec des navires, plates-formes, avions, trains
- Les **satellites de navigation** permettent la localisation rapide et précise de n'importe quel point sur la Terre, par triangulation (recoupement des informations fournies par 3 satellites)
- Les **stations orbitales** permettent de mener de nombreuses expériences en micropesanteur
- Les **satellites d'observation de la Terre**, grâce aux capteurs qui sont à leur bord, permettent d'obtenir des données utiles en Météorologie, Océanographie, études environnementales, Cartographie...

Dans ce document, nous ne nous intéresserons qu'au domaine de l'observation de la Terre, ou Télédétection.



Représentation du satellite Envisat
© ESA

Principe général

De nombreuses personnes pensent qu'il y a moyen de diriger un satellite de télédétection et qu'il est donc possible de le faire apparaître à un moment déterminé au-dessus d'un endroit précis. Clic, clac, on prend une photo et le tour est joué! Mais la réalité est toute autre. Les images satellites ne sont pas des photos.

Il est impossible de 'piloter' un satellite à un moment déterminé au-dessus d'un endroit précis. Les satellites sont soumis aux lois de la mécanique.

Lorsque tu lâches une pierre, elle tombe tout droit vers la Terre. Si tu la lances, elle retombe également sur Terre mais en décrivant un arc de cercle. Plus tu la lances avec force, plus l'arc de cercle décrit sera grand. Imagine que ta force soit telle que l'arc de cercle atteigne la taille de la courbure de la Terre, la pierre atterrirait à ce moment-là juste devant la Terre. La pierre 'voudra tomber' sur la Terre, mais elle n'y arrivera pas. Si la pierre n'était pas ralentie par le frottement de l'atmosphère, elle continuerait à tourner pendant des siècles. C'est le principe d'un satellite: leur vitesse est telle qu'ils ratent la Terre à chaque passage.

Question 1- Quelle doit être à ton avis la force avec laquelle il faudrait jeter une pierre pour qu'elle tourne autour de la Terre?

- A. 500 km par heure
- B. 2000 km par heure

- C. 3600 km par heure
- D. 28800 km par heure

La hauteur à laquelle se trouve le satellite détermine le temps nécessaire pour qu'il effectue un tour complet autour de la Terre. Plus haut il se trouve au-dessus de la Terre, plus le temps nécessaire pour faire un tour sera long. Un satellite situé à 500 km tourne à une vitesse fixe et a besoin de 90 minutes pour parcourir un tour de la Terre, ni plus, ni

moins! Ainsi, selon sa hauteur au-dessus de la Terre, chaque satellite a besoin d'un temps déterminé pour effectuer un tour.

En fonction de leur altitude par rapport à la Terre, on peut distinguer les satellites

- à orbite basse, inférieure à 800 km (LEO, pour Low-Earth Orbits)
- à orbite moyenne, entre 800 et 30000 km (MEO pour Mid-Earth Orbits)
- à orbite géosynchrone, à 35800 km (GEO)
- à orbite au-delà de 35800 km (Deep Space Orbits)

Les satellites de télédétection utilisent deux types d'orbite:

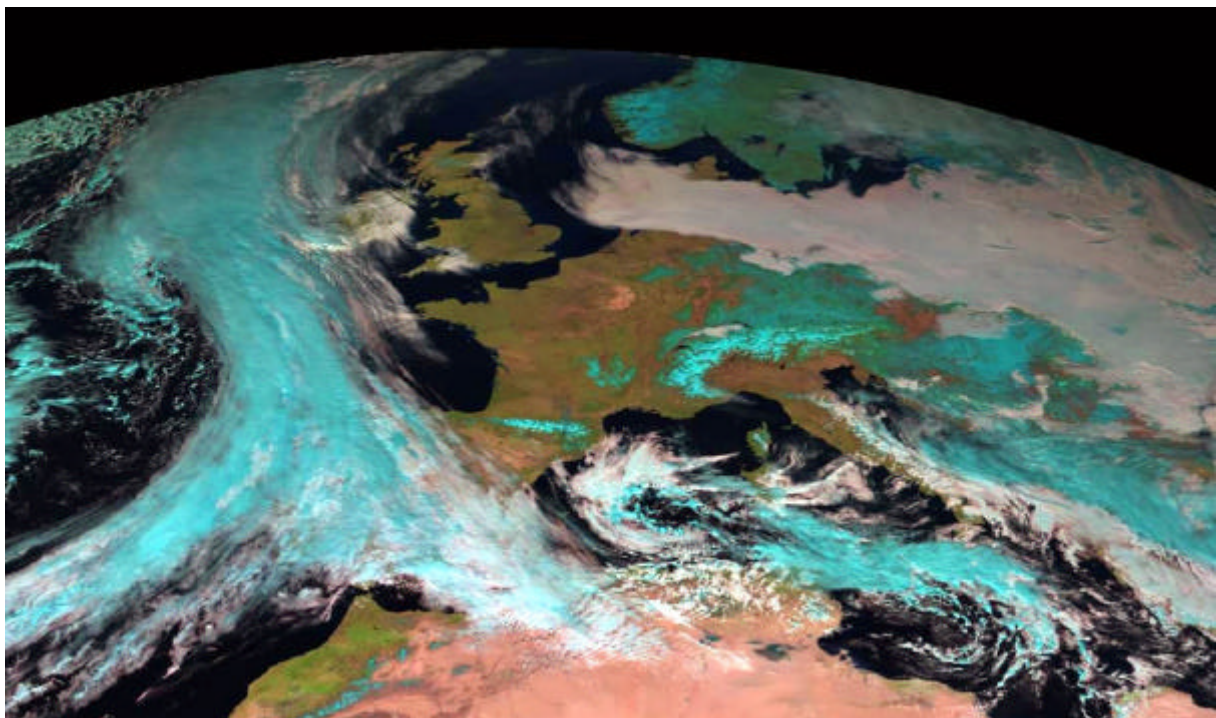
- ◆ **L'orbite géostationnaire:** un satellite sur une orbite géostationnaire reste stationnaire par rapport à un point fixe de la Terre. De ce point, il semble rester immobile par rapport à la Terre.
- ◆ **L'orbite polaire:** un satellite sur une orbite polaire gravite autour de la Terre en passant, comme son nom l'indique, au-dessus des pôles Nord et Sud.

Satellites géostationnaires

Un satellite géostationnaire est un satellite qui se trouve **toujours au-dessus du même point de la Terre**. Le satellite doit pour cela tourner sur une orbite circulaire et à la même vitesse que la vitesse de rotation de la Terre, ce qui ne peut se faire que dans le plan de l'équateur et à une distance de 35800 km environ de la Terre. On n'a tout simplement pas le choix, si l'on désire qu'un satellite reste 'immobile' par rapport à la Terre, il faut le placer à 36.000 km d'altitude.

Les satellites météorologiques d'observation globale, comme ceux de la famille Météosat sont des satellites géostationnaires. Ils sont 'suspendus' à 36.000 km au-dessus de l'équateur et, de là, semblent rester fixes. Mais ces satellites ne restent pas réellement immobiles! Ils tournent autour de la Terre avec une vitesse de 10.000 km par heure. En 24 heures, ils effectuent un peu plus d'un tour. Pendant le même laps de temps, la Terre accomplit une rotation complète, ce qui explique que nous ayons l'impression que le satellite reste immobile.

Etant donné la grande distance séparant Météosat de la Terre, nous ne pouvons observer que peu de détails sur les images prises par Météosat. Sur l'image ci-dessous, un pixel représente une région de 1 sur 1 km.



Europe, Image composite du satellite MSG1 (Meteosat Second Generation) du 18 février 2003
Copyright © 2003 EUMETSAT

L'immobilité' des satellites géostationnaires présente naturellement un avantage: nous pouvons prendre autant de prises de vue que nous voulons de la même zone. Ce type de satellite convient donc parfaitement pour étudier l'évolution des conditions climatiques! Le dernier né de la famille Météosat, MSG1 peut prendre une prise de vue tous les quarts d'heure. En effet, pour faire un 'balayage' complet de la zone de la Terre que le satellite 'voit', il faut compter un quart d'heure.

Le fait qu'un satellite semble rester en suspension immobile au-dessus de la Terre nous renseigne sur le sens giratoire du satellite.

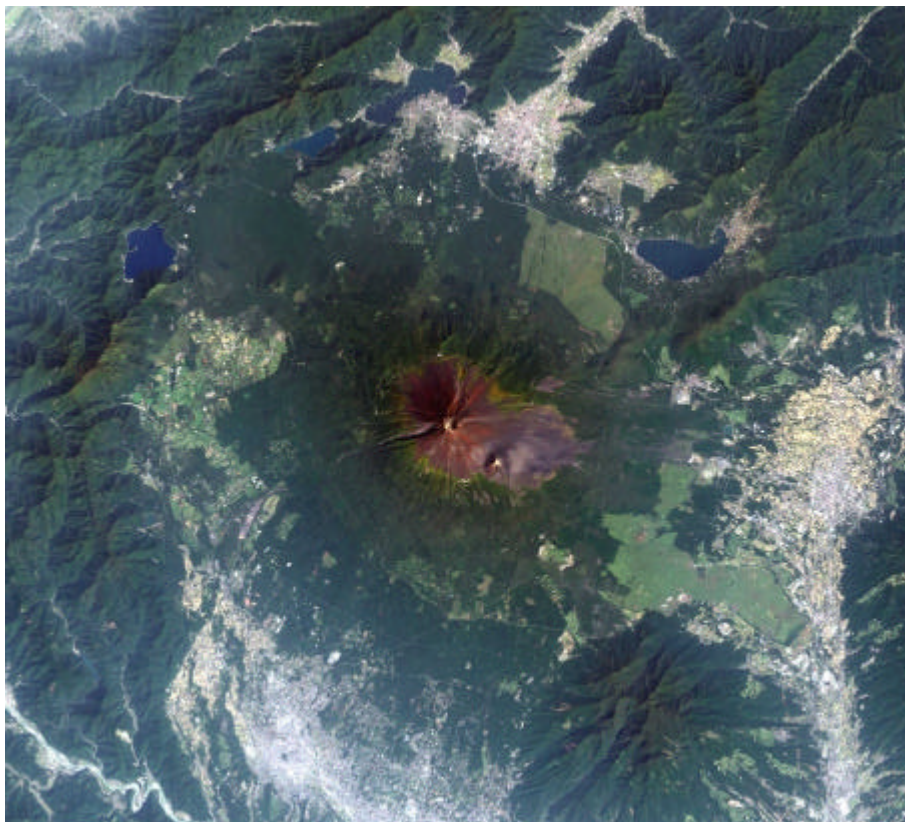
Question 2 - Comment doit se mouvoir un satellite géostationnaire pour sembler rester immobile au-dessus de la Terre ?

- A. Du nord au sud en passant au-dessus des pôles, ainsi il passe toujours au même endroit au-dessus de la Belgique
- B. Du sud au nord en passant par les pôles, ainsi il tourne dans le même sens que la Terre.
- C. D'est en ouest: le soleil aussi se lève à l'est et se couche à l'ouest.
- D. D'ouest en est.

Satellites polaires

Parfois, il arrive que l'on veuille obtenir des détails plus précis que 1 km et que l'on accorde moins d'importance à la possibilité d'observation permanente. Nous disposons pour ce faire d'un autre type de satellite : les satellites polaires.

Les satellites polaires gravitent autour du globe terrestre **en passant par les pôles Nord et Sud**. A chacun de leur passage, ils scannent une étroite bande de terre en allant du nord au sud ou du sud au nord. Après avoir effectué un tour de la Terre, cette dernière ayant elle-même tourné sur son axe, le satellite enregistre à ce moment-là les données d'une nouvelle bande de terre.



Mont Fuji et la région des cinq lacs, Japon
Image ETM+ du satellite Landsat 7 prise en octobre 2002
Copyright © 2002 USGS

A la page précédente, tu peux voir une image de Landsat, un satellite polaire. Compare cette image à celle de Meteosat MSG1. Cette image possède une résolution de 30 mètres. Ceci signifie qu'un pixel représente une surface au sol égale à 30 x 30 mètres.

Tu veux plus de détails? Il faut alors placer le satellite plus près de la Terre, par exemple à seulement 400 km de la Terre. Il n'est pas prudent de les placer plus près, car ils risquent alors d'entrer dans notre atmosphère. A ce moment-là, en raison du frottement dû à l'air, leur vitesse se réduit progressivement et ils finissent par s'écraser, ou en réalité à prendre feu dans l'atmosphère.

A cette altitude de 400 km, un satellite n'est jamais géostationnaire : il accomplit un tour de la Terre en quelque 90 minutes au lieu de 24 heures!

En passant d'un pôle à l'autre, les satellites polaires parcourent chaque degré de latitude. Ainsi, après un certain temps ils ont pris connaissance de l'ensemble du globe terrestre. Les satellites polaires se situent entre 200 (satellites espions à durée limitée) et 1000 km (satellites civils qui n'accordent pas une grande importance aux détails).

Question 3 - Complète la phrase suivante: Les satellites espions sont toujours...

- A. Polaires, ainsi ils enregistrent de nombreux détails et ils tournent par ailleurs toujours au-dessus d'une nouvelle région.
- B. Géostationnaires, car ainsi ils peuvent observer de nombreux détails.
- C. Polaires, car ainsi ils peuvent prendre de nombreuses images successives d'une même région.
- D. Géostationnaires, car ainsi ils peuvent chaque jour prendre plusieurs images d'une même région.

Les satellites de télédétection à usage civil les plus perfectionnés peuvent enregistrer des détails de 70cm x 70cm. Un satellite espion moderne, quant à lui, peut percevoir des détails d'environ 5 cm ! Mais ils se déplacent perpétuellement, ce qui par conséquent les rend moins utiles pour suivre le déplacement de troupes par exemple.

En résumé, il n'y a que deux possibilités en télédétection:

- Si on désire observer **continuellement la même zone** et que les **détails important peu**, on fait appel à un **satellite géostationnaire**.
- Si on est intéressé par les **détails** et que l'on veut pouvoir observer **l'ensemble du globe terrestre** (pas simultanément évidemment), il faut utiliser un **satellite polaire**.

Les satellites de télécommunication transmettent des signaux téléphoniques ou des canaux télévisés. Tu les utilises chaque jour car presque tous les canaux télévisés sont transmis par satellite.

Question 4 - Ces satellites de télécommunication sont-ils polaires ou géostationnaires?

- A. Polaires, ils doivent couvrir tout le globe terrestre.
- B. Géostationnaires, car ils doivent continuellement émettre un signal vers les mêmes régions.
- C. Géostationnaires, car ainsi ils ont un aperçu global de la Terre.
- D. Polaires, car ils doivent rester à proximité de la Terre étant donné que le signal ne peut couvrir une distance de 36.000 km.

Partie II. Les images satellitaires

Depuis l'espace, on peut observer la Terre et utiliser ces observations pour prévoir le temps, étudier l'évolution des climats, mesurer si le trou dans la couche d'ozone s'agrandit, détecter et suivre des feux de forêt ou des nappes de pétrole, créer des cartes...

A l'heure actuelle, on voit des images satellitaires partout: dans les informations météo à la TV, dans les journaux et même parfois dans les publicités.

Les images satellitaires, ou images de **télé-détection** sont des images prises à partir d'une 'lune artificielle' (un satellite) qui orbite bien au-dessus de la Terre.

On appelle également les images satellitaires des images '**Remote Sensing**':

Remote est le terme anglais pour éloigné ou à grande distance et **Sensing** signifie sentir ou balayer.

Tu trouveras ci-dessous quelques exemples d'images satellitaires:

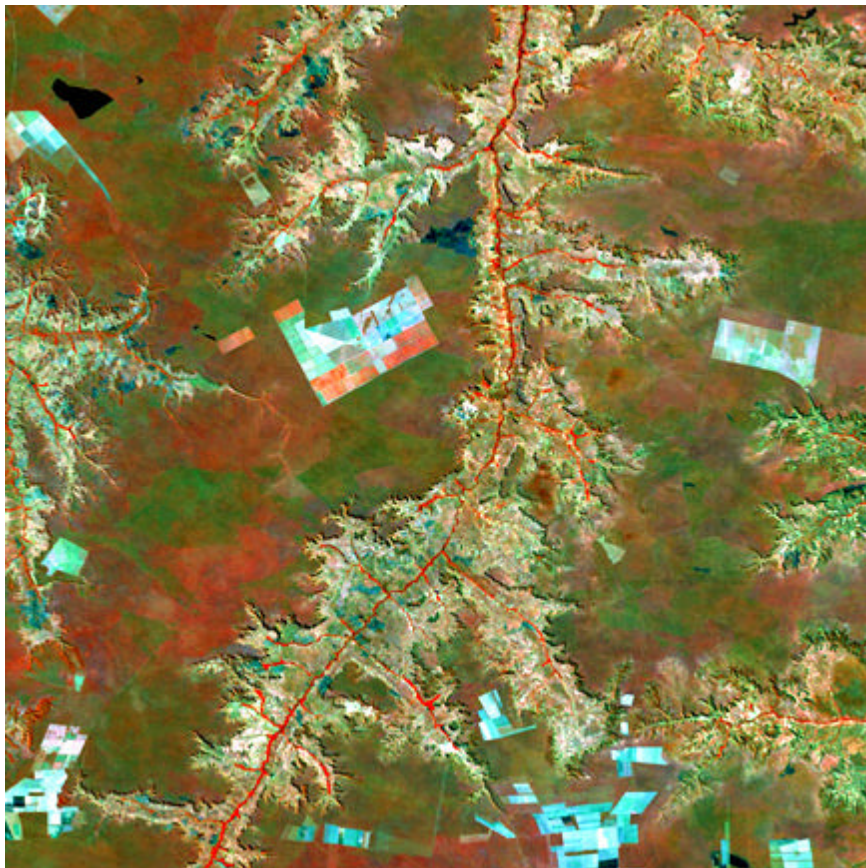
Question 5 - En observant ces images, qu'est-ce pour toi qu'une image satellitaire?

- A. Une photo très précise.
- B. Une photo de la Terre telle que vue par un astronaute depuis l'espace.
- C. Une image 'créée' par l'ordinateur d'une partie de la surface terrestre.

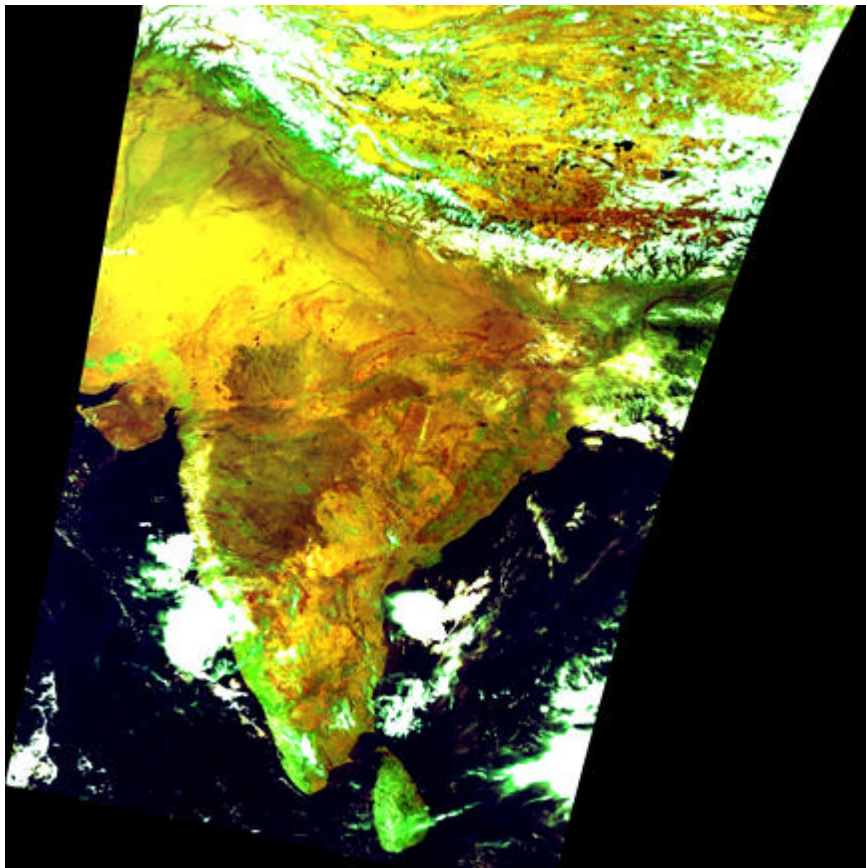


Grande Pyramide, Giza, Egypte.

Image obtenue par fusion d'une image panchromatique à 61 cm de résolution et d'une image multispectrale à 2.4m de résolution, prises par le satellite QuickBird en février 2002
Copyright © 2002 DigitalGlobe



Forêt amazonienne, Brésil
Composition couleur issue d'une image du satellite Landsat7 prise en janvier 2000
Copyright © 2000 USGS



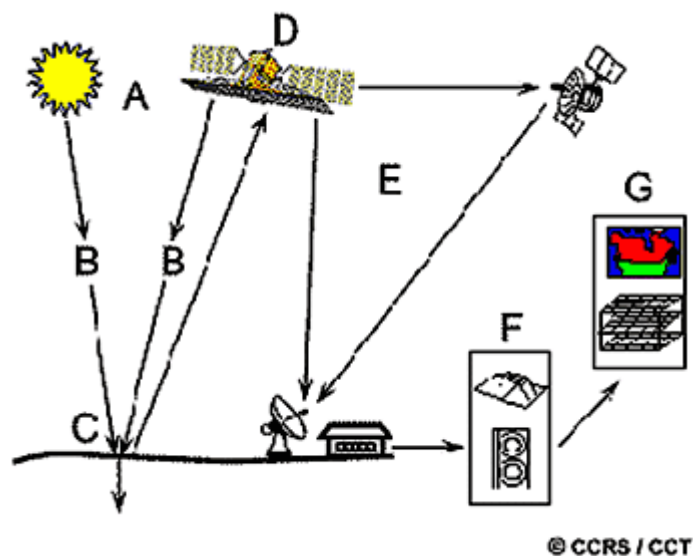
Inde
Image prise par le capteur VEGETATION 2 du satellite Spot 5 en mai 2002
Copyright © 2002 CNES

Les images satellitaires ressemblent en de nombreux points à des photos. Et pourtant ce ne sont pas des photos et ce ne sont pas non plus des cartes.

Mais en quoi les images satellite sont-elles différentes de photos ordinaires ?

Lorsque tu prends une photo, tu vois le monde sur cette photo comme tu le vois avec tes yeux, dans les mêmes couleurs. Un appareil photo regarde en effet la Terre de la même manière que tes yeux, il est 'sensible' à la portion de lumière qu'on appelle 'la lumière visible'.

Un satellite regarde la Terre d'une toute autre manière. Il n'a pas d'appareil photo à bord, mais des instruments qui sont 'sensibles' à la lumière visible, mais aussi à d'autres parties du 'spectre électromagnétique' comme l'infrarouge, l'ultraviolet ou les micro-ondes. Ces instruments (scanners) balayent la surface de la Terre et enregistrent des mesures de 'lumière' qui sont ensuite utilisées par des programmes informatiques pour créer des images.

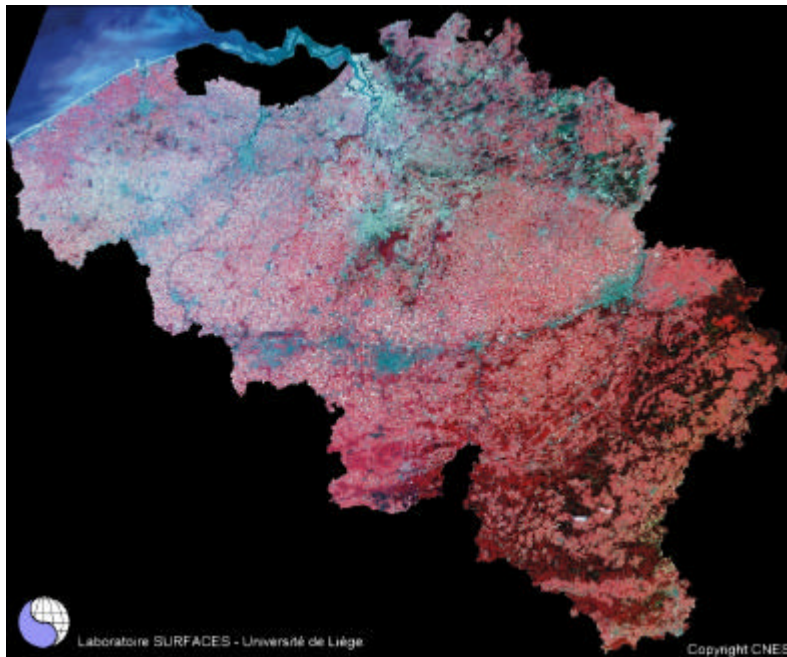


Les étapes de la télédétection.

Le rayonnement émis par une source d'énergie ou d'illumination (A) parcourt une certaine distance et interagit avec l'atmosphère (B) avant d'atteindre la cible (C). L'énergie interagit avec la surface de la cible, en fonction des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Le rayonnement est réfléchi ou diffusé vers le capteur (D), qui l'enregistre et peut ensuite transmettre l'énergie par des moyens électroniques à une station de réception (E) où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques). Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image (F) est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible. 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 (G).

A la page suivante, tu trouveras une image de la Belgique qui est en fait composée de différentes images satellitaires 'collées' les unes aux autres.

Question 6 - A quoi peux-tu reconnaître qu'il ne s'agit pas d'une photo couleur, mais bien d'une image de la Terre prise depuis l'espace ?



Assemblage de 16 scènes Spot HRV XS, mai 1992
Réalisation : copyright © SURFACES
Images : copyright © CNES

A. Depuis l'espace, on ne discerne pas beaucoup de détails. On ne distingue pas une ville comme Bruxelles.

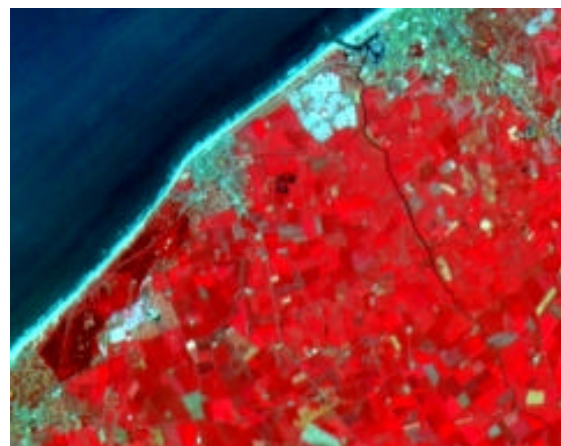
B. Depuis l'espace, on devrait TOUJOURS voir des nuages blancs sur la Belgique. Mais sur cette image il n'y a pas de nuages du tout.

C. Les couleurs sur cette image sont bizarres. Une photo couleur est différente.

Sur la carte ci-dessous à gauche sont représentées la plage et la zone des dunes entre De Haan et Wenduine. Comparons cette carte avec une image satellitaire de la même zone, à droite.



Extrait de carte topographique au 1 : 50.000
Copyright © IGN



Composition colorée SPOT HRV, juillet 1995
Copyright © 1995 CNES, Distribution Spot Image

Les couleurs de l'image satellitaire sont étranges par rapport à celles d'une photo normale. Comme tu peux le voir, les zones agricoles sont en blanc sur la carte.

Question 7 - Quelle est la couleur principale des terres agricoles sur l'image satellitaire?

A. jaune

B. bleu clair

C. rouge vif

D. bleu foncé/noir

Résolution

Tu vois ci-dessous une image de l'aéroport national de Zaventem.



Aéroport national de Zaventem
Image SPOT panchromatique, juillet 1997
Copyright © 1997 CNES, Distribution Spot Image

Si on agrandit 6 x la portion d'image entourée par un carré, on obtient l'image suivante:



Tu remarqueras que l'image est devenue 'cubique', ce qui semble peu naturel. Ces carrés que tu vois s'appellent '**pixels**'. Le mot 'pixel' provient d'une contraction des termes anglais 'picture' et 'element' c'est-à-dire 'élément de l'image'.

Un pixel est donc un point de l'image. Un tel point représente le plus petit détail encore 'visible' pour le satellite. Chaque carré a une teinte grisée ou une couleur. Il n'y a pas de différence visible au sein d'un même carré, même si on 'zoome' de très loin.

Observe maintenant une deuxième image de l'aéroport, qui couvre la même zone.



Aéroport national de Zaventem
Image panchromatique Landsat ETM+, octobre 1999
Copyright © 1999 USGS

Compare les deux images. Tu constates que tu reconnais nettement moins bien certains éléments sur la deuxième image, par exemple le réseau routier. En effet, un pixel dans une image Spot P couvre une zone de 10m x 10m, alors qu'un pixel d'une image Landsat couvre une zone de 30m x 30m.

Ceci veut dire qu'on peut déjà distinguer un objet de 100 m² sur l'image Spot P, alors que sur l'image Landsat TM, on ne distingue un élément qu'à partir de 900 m².

Autrement dit: Spot P a une **résolution** de 10 m et Landsat TM une résolution de 30 m.

En fonction de l'altitude à laquelle se trouve le satellite et du type de capteur qui est à son bord, la résolution des images fournies par les satellites commerciaux peut aller de 70 cm à plusieurs km (satellites météorologiques).

Nous allons maintenant voir quelle est la taille réelle de la zone que nous voyons sur l'image Landsat TM. Lorsque l'on connaît la résolution d'une image et son nombre de pixels, il est possible de déterminer la taille de la zone couverte par l'image.

Via un programme de traitement d'images, il est possible de connaître le nombre de pixels d'une image.

Question 8 - Si cette image a 200 x 200 pixels et qu'un pixel représente une zone de 30 mètres sur 30 mètres, quelle est la taille de cette zone de 200 x 200 pixels ?

- A. 60 mètres sur 60 mètres
- B. 6 kilomètres sur 6 kilomètres
- C. 600 mètres sur 600 mètres
- D. 60 kilomètres sur 60 kilomètres

Résumé:

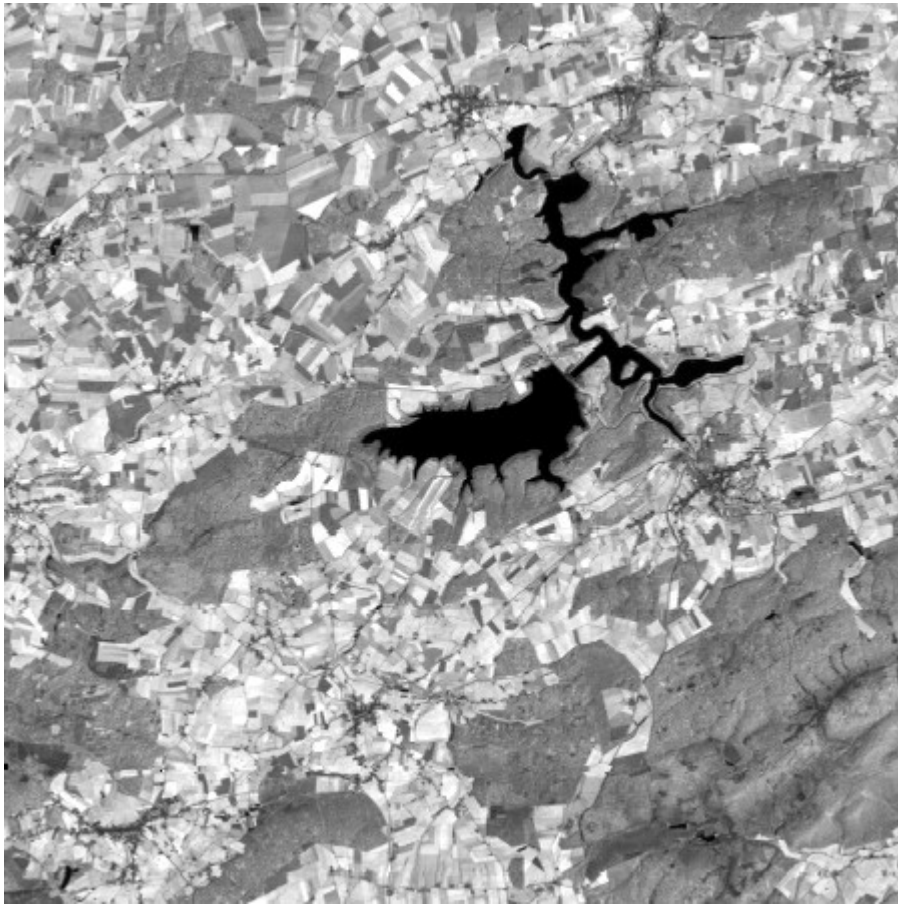
Une image satellitaire consiste en éléments d'image ou **pixels**.

Le plus petit détail encore reconnaissable sur une image satellitaire, ou la surface recouverte par un pixel, s'appelle la **résolution** de l'image satellitaire.

La résolution dépend du type de satellite. Dans certains cas, un même satellite a à son bord plusieurs instruments de mesure (ou capteurs), qui effectuent des mesures à des résolutions différentes.

Partie III. Chiffres

Dans l'exercice précédent, tu as pu voir qu'une image satellitaire consiste en pixels, nous allons maintenant regarder ce qu'un tel pixel peut nous apprendre. Pour ce faire, nous allons à présent analyser comment une telle image est construite.



Lacs de l'Eau d'Heure
Image Landsat TM IR, mai 1992
Copyright © 1992 ESA, Distribution by Eurimage

Cette image est une image infrarouge des Lacs de l'Eau d'Heure, au sud-ouest de Philippeville. La résolution est de 30m.

Dans un programme de traitement d'images, il est possible de visualiser la valeur de chaque pixel. L'image entière n'est en effet rien d'autre qu'une **série de chiffres**.

Que signifient ces chiffres ?

Le satellite n'a pas un appareil photo à bord, mais bien un 'scanner'. Ce scanner (ou balai) balaye une zone de la Terre et enregistre la quantité de lumière (ou éventuellement un autre rayonnement) que la zone renvoie vers l'espace. Il 'retient' cette quantité de lumière sous forme d'un chiffre entre 0 et 255. C'est de cette manière que le scanner peut mesurer pour une zone par exemple 40 et pour l'autre 80. Cela signifie que la quantité de 'lumière' mesurée dans la deuxième zone est deux fois plus importante que dans la première zone. Plus le scanner mesure de lumière, plus la valeur est élevée. Mais c'est tout ce que le scanner à bord du satellite sait faire!

Le satellite envoie toutes ces mesures vers une station de réception sur Terre via un émetteur. Là, ces chiffres sont mémorisés sous forme de fichier informatique et l'ordinateur convertit les séries de chiffres en une image. Pour ce faire, il convertit chaque chiffre en un pixel.

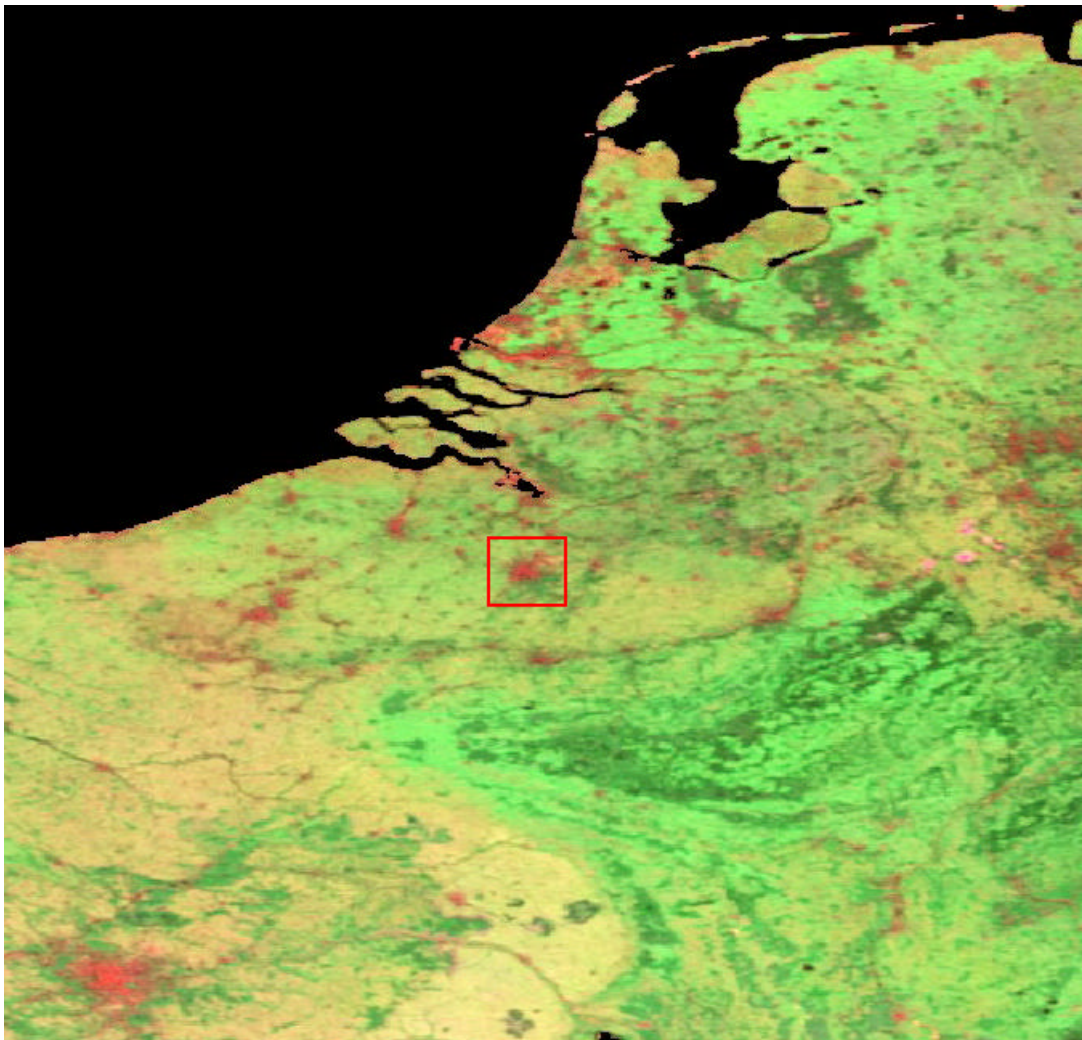
L'ordinateur donne une couleur blanche aux pixels ayant des valeurs élevées (environ 255) et une couleur noire aux pixels ayant des valeurs basses (environ 0). Un pixel ayant une valeur de lumière entre ces deux chiffres reçoit comme couleur une intensité de gris proportionnelle à cette valeur. C'est ainsi que l'on obtient une image comme celle ci-dessus. Le satellite n'envoie donc pas lui-même une image vers la Terre !

Question 9 - Quelles sont les valeurs des pixels de la tache noire au centre de l'image et que peut-on en déduire ?

- A. Des valeurs basses: indique de grandes surfaces d'eau.
- B. Des valeurs basses: indique que cette zone renvoie peu de lumière.
- C. Des valeurs élevées: indique de grandes surfaces boisées.
- D. Des valeurs élevées: indique que cette zone renvoie beaucoup de lumière.

Dans l'exercice 'Résolution', tu as appris que les détails qu'on peut reconnaître sur une image satellitaire dépendent de la résolution de l'image.

Maintenant tu sais également qu'une image satellitaire consiste en pixels qui représentent une certaine 'valeur de lumière'. Nous allons examiner à nouveau ces caractéristiques sur base d'une autre image, une portion d'une image satellitaire du capteur VGT du satellite SPOT4.



Belgique

Synthèse annuelle d'images SPOT VGT 2000

Composition colorée **Moyen Infrarouge** - **Proche Infrarouge** - **Rouge**

Copyright © CNES 2000 – Avec l'aimable autorisation de P. Defourny, UCL

Regardons la résolution d'une telle image: si, comme à l'exercice 'Résolution', nous agrandissons 6 x la portion d'image entourée par un carré, on obtient l'image suivante:



Tu vois à nouveau les carrés. Dans le cas de SPOT VGT, un tel carré couvre une surface de 1 x 1 km.

Essaye maintenant de retrouver l'aéroport de Zaventem sur l'image de la page précédente ! Impossible, non ?

Dans de grands pixels de 1 sur 1 km, tu ne vois pas de détails. Tu ne peux distinguer ni les maisons, ni les arbres, ni les routes, etc.

Comment cela se fait-il?

Lorsqu'au sein d'un grand carré comme celui-ci, il y a par exemple une serre horticole qui renvoie énormément de lumière et un petit bois qui ne renvoie que peu de lumière, le scanner mesure le rayonnement moyen dans ce carré et ne donne qu'un seul chiffre pour l'ensemble. C'est pourquoi il est impossible de distinguer des maisons individuelles sur des images SPOT VGT ou Météosat (résolution de 2,5 km dans le visible).

Question 10 - Est-ce que l'on distingue les fleuves et les rivières sur les images Météosat?

A. Oui, car l'eau renvoie beaucoup de lumière solaire. L'eau brille !

B. Non, car la lumière solaire disparaît dans l'eau; elle entre dans l'eau. Elle est 'absorbée'.

C. Oui, car sur des images satellitaires on peut voir les plus petits détails.

D. Non, car les fleuves et les rivières sont la plupart du temps beaucoup plus petits que 2,5 km.

Résumé:

Un capteur de satellite mesure de la 'lumière' ou plutôt un 'rayonnement'.

En fonction de l'appareil qui est à bord, le satellite peut également effectuer des **mesures de rayonnements** que nous ne pouvons voir à l'oeil nu, comme par exemple les rayonnements infrarouge et ultraviolet (voir exercice 'Fausses couleurs').

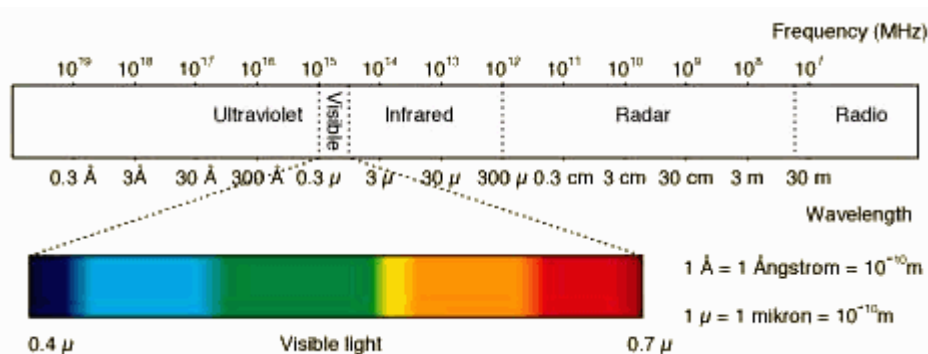
Le satellite envoie ces mesures sous forme d'une série de chiffres vers la Terre.

Sur Terre, les chiffres sont **convertis par l'ordinateur** en pixels ou éléments d'image, qui ensemble forment l'image.

Couleurs vraies

Nous avons vu dans les exercices précédents que les images satellites ont parfois d'étranges couleurs. L'utilisation et la signification des couleurs des images satellites peuvent, selon les cas, diverger considérablement. Ainsi, l'eau bleue peut très bien apparaître en rouge, par exemple.

La lumière émise par le soleil semble incolore mais ce n'est pas le cas. Cette lumière se compose en réalité de nombreuses couleurs, qu'on peut retrouver dans un arc-en-ciel. Ces couleurs forment la partie visible du **spectre électromagnétique**.



Mais la lumière visible ne représente qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique. En plus de la lumière rouge que nous voyons à l'aide de nos yeux, il existe une lumière solaire infrarouge, généralement désignée par l'abréviation 'IR'. Une faible proportion de cette 'lumière' est d'ailleurs perceptible: il s'agit de la chaleur du soleil! Il existe également un type de lumière mauve particulier qui n'est pas décelable à l'œil nu : la lumière solaire ultraviolette généralement désignée par l'abréviation UV. Tout comme la lumière infrarouge, nous ne voyons pas la lumière UV mais nous pouvons la sentir. Les lumières UV et IR ne peuvent pas être photographiées à l'aide d'un appareil photo et d'une pellicule ordinaires. Néanmoins, ces lumières peuvent être rendues visibles par des pellicules ou des capteurs appropriés.

En télédétection, on a souvent recours à d'autres rayonnements que la lumière visible. En fonction des capteurs dont il est pourvu, un satellite peut effectuer des mesures dans **certaines parties bien définies du spectre électromagnétique**. Certains capteurs ne sont en effet sensibles qu'au rouge, au bleu, au vert ou même à la lumière IR et UV. Un capteur sensible à la lumière bleue ne mesurera que la lumière bleue réfléctée par les objets sur Terre. Si le capteur est sensible à la lumière IR, il mesurera alors la quantité de rayonnement IR pour chaque pixel. Ces observations sont mémorisées séparément. On parle ainsi d'une **bande spectrale** bleue ou d'une bande spectrale IR (ou bande IR).



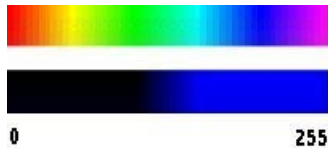
La Meuse, Anseremme
Bande bleue Landsat ETM+
Copyright © 1999 USGS

Observons à présent une seule bande. Comme tu l'as vu à l'exercice 'Chiffres', les valeurs de réflexion de l'image se situent entre 0 et 255.

L'image ci-contre est une image d'Anseremme, au sud de Dinant, enregistrée dans la bande comprenant les mesures de la lumière bleue.

Sur cette image, nous observons la quantité de lumière bleue mesurée à cet endroit le 18 octobre 1999.

Tu peux constater que le capteur a mesuré de la lumière bleue partout, malgré le fait qu'il n'y ait que peu d'objets bleus dans le paysage. Ce phénomène provient du fait que le bleu est présent dans de nombreuses couleurs.

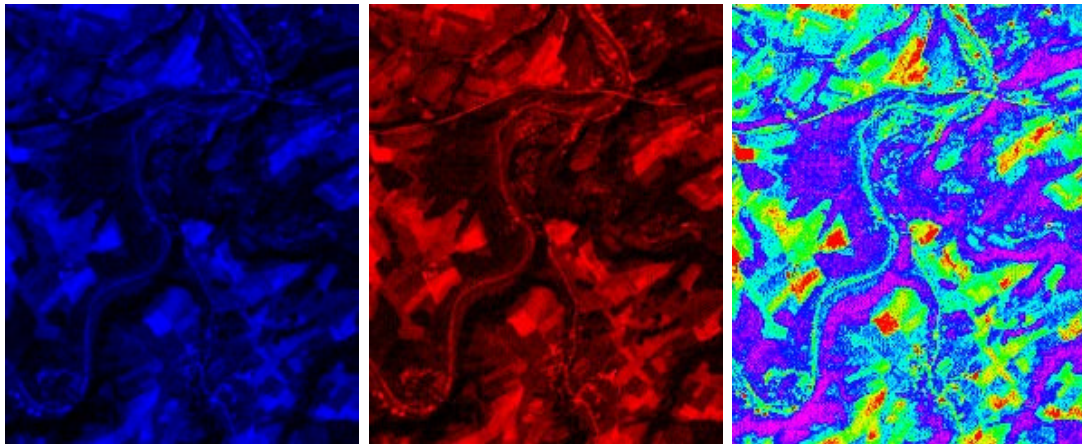


Cette figure indique la proportion de lumière bleue présente dans chaque couleur. Un capteur sensible à la lumière bleue mesure la proportion de lumière bleue dans tous les types de lumière et donc pas uniquement dans ce que nous percevons comme bleu.

La figure indique clairement que les objets bleus possèdent bien entendu une valeur élevée, mais c'est également le cas des objets mauves!

Les valeurs enregistrées sont représentées par des valeurs de grisés. Si la quantité de lumière bleue mesurée est faible, la valeur enregistrée est petite, et le pixel sera représenté en gris foncé.

Les programmes de traitement d'images permettent d'attribuer une couleur à ces tons gris. Il semble logique de colorer en bleu les mesures de la lumière bleue. Mais il est également possible d'attribuer à ces tons une couleur rouge ou verte, voire même différentes couleurs. Si on colore cette image en bleu, les valeurs peu élevées sont toujours noires (ou foncées) mais les valeurs élevées sont maintenant bleues. Plus l'endroit sur l'image était initialement blanc, plus sa couleur bleue sera claire. Même si l'image a pris un aspect totalement différent, il ne faut pas oublier que l'image satellite avec laquelle nous travaillons est la même.



Bande bleue de l'image d'Anseremme représentée en bleu, en rouge et en plusieurs couleurs

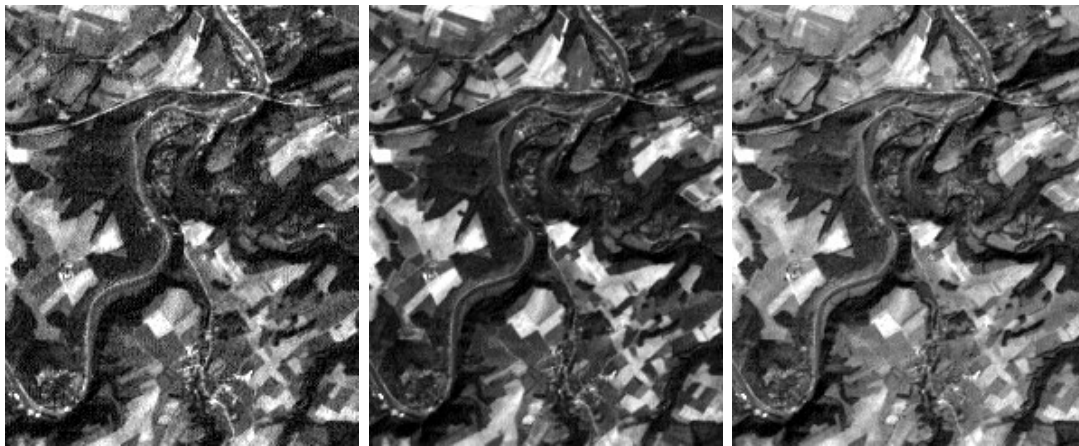
L' image multicolore est obtenue en utilisant le mauve pour les nombres peu élevés, le rouge pour les valeurs élevées, et l'ensemble des couleurs de l'arc-en-ciel pour les valeurs intermédiaires. Cette image est méconnaissable. Les couleurs ne correspondent pas à la réalité mais elles font davantage ressortir les différentes valeurs. Cependant, les valeurs de pixels sont toujours les mêmes.

Nous pouvons donc attribuer n'importe quelle couleur aux images. Nous pouvons attribuer à la bande la couleur de la bande à proprement parler (bande bleue dans une couleur bleue, bande rouge dans une couleur rouge), mais nous pouvons également lui attribuer d'autres couleurs.

Nous voulons à présent obtenir une belle image en couleurs sur laquelle les couleurs correspondent aux couleurs du paysage. Pour ce faire, nous avons besoin des enregistrements dans trois bandes spectrales.

A la page suivante, tu peux observer les trois bandes (respectivement bleu, rouge et vert). Tu vois clairement que chaque bande comprend d'autres éléments qui présentent des tons foncés et des tons clairs.

Grâce à un programme de traitement d'images, nous pouvons attribuer à chacune de ces bandes une des trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu) et combiner les trois bandes en une nouvelle image, une composition colorée.



Bande bleue, bande rouge et bande verte de l'image Landsat ETM+ d'Anseremme - Copyright © 1999 USGS

Pour chaque pixel, l'ordinateur mélange les proportions de rouge, de vert et de bleu ainsi obtenues et fournit une image en couleur. En effet, en combinant les lumières bleue, verte et rouge, on peut obtenir une lumière de n'importe quelle autre couleur. Par exemple, la combinaison des lumières bleue et rouge donne une lumière mauve, la combinaison des lumières verte et rouge donne une lumière jaune, la combinaison des lumières bleue, verte et rouge donne une lumière 'blanche'. Ces combinaisons donnent évidemment des résultats différents lorsque tu mélanges de la peinture.

Lorsque nous attribuons la **couleur rouge à la bande rouge**, la **couleur bleue à la bande bleue** et la **couleur verte à la bande verte** et que nous combinons ces trois bandes, nous voyons apparaître les couleurs 'réelles'. C'est la raison pour laquelle ces combinaisons sont appelées des **images en couleurs 'vraies'**.



Composition couleurs vraies

Cette image ressemble à une photo en couleurs. La différence n'est pas bien grande car, sur cette image, la plupart des couleurs correspondent à la réalité. Cependant, cette image n'a pas été produite de la même manière qu'une photo. On a utilisé trois fichiers différents de mesures et on a ensuite combiné ces fichiers en une seule image. Une photo n'est créée qu'à l'aide d'une seule pellicule photographique.

Outre les compositions en couleurs vraies, il existe également des compositions colorées qui utilisent d'autres couleurs. Dans la plupart des compositions colorées, les couleurs sont 'fausses' ou 'artificielles'. En d'autres termes, ce ne sont pas les mêmes couleurs que celles que nos yeux distinguent.



Composition fausses couleurs

Observons à présent les mêmes données recueillies à Anseremme dans une autre composition colorée à base de **'fausses' couleurs**. L'image est dominée par le rouge. Sur ce type d'image, les arbres verts apparaissent souvent en rouge. Une plage jaune peut être représentée en bleu, l'eau en noir...

Il est étonnant de constater que ces images 'bizarres' sont les plus utilisées.

Sur quelle image distingue-t-on la Meuse le plus clairement ? Exactement : sur l'image 'rouge'.

L'utilisation de la lumière infrarouge nous permet de rendre visibles certains éléments qui, en temps normal, ne le sont pas, tels que la chaleur par exemple, ou de distinguer plus nettement certains éléments.

Partie IV. Fausses couleurs

Sur la page suivante, nous avons placé l'une à côté de l'autre une composition en couleurs vraies et une composition en fausses couleurs. Il s'agit de compositions colorées représentant la Forêt de Soignes, dans la périphérie bruxelloise. La Forêt de Soignes est la grande tache au centre de l'image. Dans le coin supérieur gauche de l'image, on voit une partie de l'agglomération bruxelloise.

L'image de gauche est une composition en vraies couleurs; la forêt est donc représentée en vert foncé, les pâturages et les terres cultivables en vert, les sols nus en blanc et les zones habitées en gris. A droite par contre, l'image est une composition colorée 'fausse couleurs'. La forêt qui entoure la ville n'est pas représentée en vert mais en rouge! Les sols nus sont bleus et les zones habitées sont représentées en bleu gris. Sur le plan des couleurs, l'image de gauche semble beaucoup plus 'réelle' que celle de droite.

Cependant, les images de télédétection telles que l'image de droite sont les plus souvent utilisées. Cet exercice va nous apprendre pourquoi.

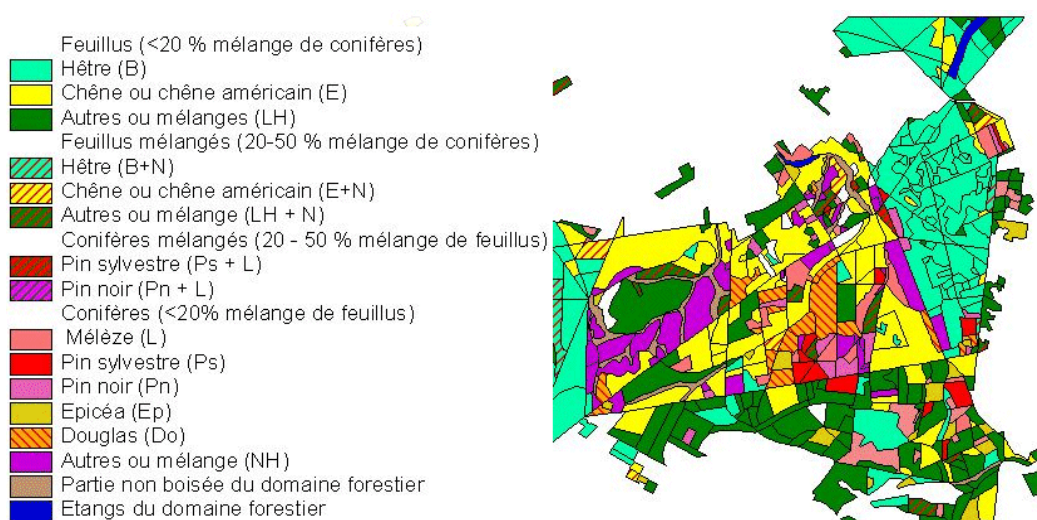
Imagine que tu doives dresser une carte de la Forêt de Soignes et de ses environs. Quels éléments devraient figurer sur cette carte?

Les routes qui traversent la forêt doivent être représentées. Mais cela ne suffit pas. On doit savoir, d'une part, si la forêt contient des rivières ou des étangs et, d'autre part, à quels endroits se trouvent les différentes sortes d'arbres (hêtres, chênes, pins, etc.) qui peuplent la forêt.

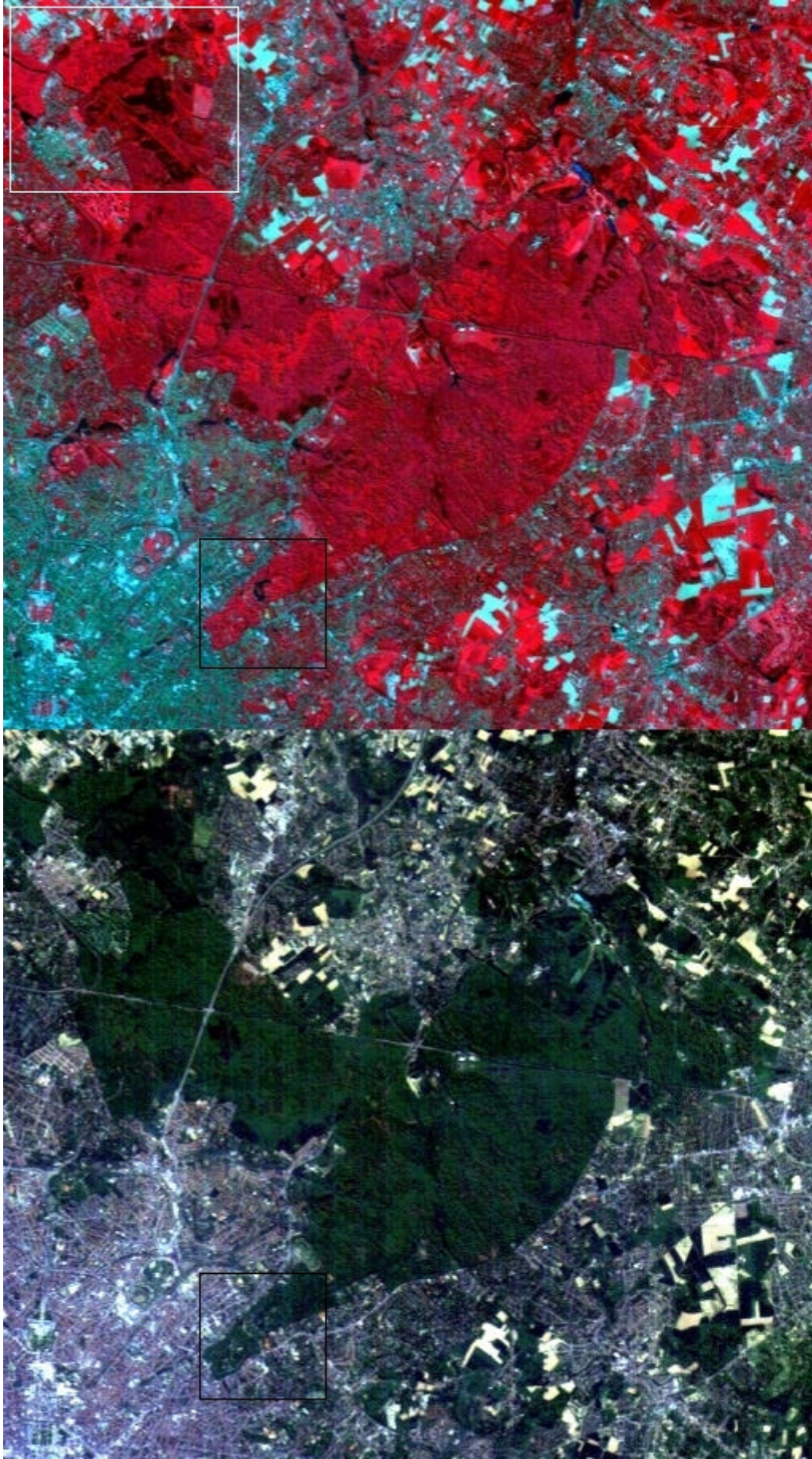
En examinant attentivement les deux images au niveau du Bois de la Cambre (zone entourée d'un carré noir), à l'aide de quelle image le cartographe dressera-t-il la carte de la forêt?

A l'aide de l'image de droite, la composition en fausses couleurs. En effet, sur cette image, il peut également distinguer l'étang dans la forêt: une petite tache noire se dessine nettement. Par conséquent, le cartographe pourra utiliser cette image pour dresser la carte des étangs situés dans la forêt, comme c'est le cas ici. Mais cette image lui permettra également de distinguer d'autres différences présentes dans la forêt. Examine les zones rouges de l'image. On peut y voir des tons rouges plus clairs et plus foncés. Ces différences de couleur représentent les différentes sortes d'arbres. Pour beaucoup d'applications, les images fausses couleurs fournissent davantage d'informations que les images couleurs vraies.

Compare la carte des peuplements ci-dessous avec la zone entourée en blanc de l'image.



Carte des peuplements (Tervueren)
Copyright © Vlaamse Gemeenschap



Forêt de Soignes - Landsat 5 TM

A gauche, composition vraies couleurs: bande 3 rouge – bande 2 vert – bande 1 bleu

A droite, composition fausses couleurs : bande 4 IR – bande 3 rouge – bande 2 vert

Copyright © 1992 ESA, Distributed by Eurimage

As-tu pu retrouver des similitudes?

Question 11 - Sur quelle partie de la carte trouve-t-on le pin appelé Douglas ? Dans quelle couleur ce type d'arbre est-il représenté sur l'image satellitaire?

- A. Orange B. Bleu pâle C. Bleu foncé-noir D. Rouge foncé

Comment expliquer le fait que ces images en fausses couleurs nous permettent d'observer davantage que les images en couleurs vraies?

Pour obtenir une image en couleurs vraies, on combine trois bandes: on attribue

- la couleur bleue aux mesures de la lumière bleue;
- la couleur verte aux mesures de la lumière verte;
- la couleur rouge aux mesures de la lumière rouge.

L'image créée ressemble fortement à une photo en couleurs. C'est la raison pour laquelle nous désignons ce type d'images par le terme 'composition en vraies couleurs'.

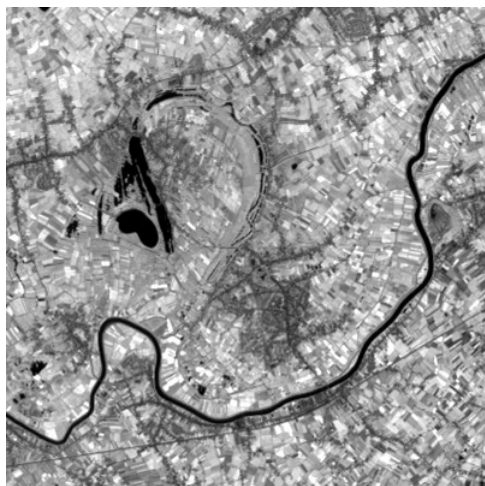
Nous avons vu qu'il était possible d'attribuer n'importe quelle couleur aux bandes. Cela peut paraître bizarre mais, dans de nombreux cas, cela permet de rendre visibles certains éléments que nous ne pouvons pas distinguer à l'œil nu ou que nous voyons particulièrement mal. Toute image satellite qui possède des couleurs étranges est appelée image en fausses couleurs ou composition en fausses couleurs.

Une composition en couleurs vraies ne pourra jamais rendre que l'information enregistrée pour les bandes bleues, vertes et rouges. Cependant, la plupart des satellites sont équipés de capteurs qui sont également sensible à des types de lumière invisibles pour l'homme (comme par exemple la lumière infrarouge ou ultraviolette). Comment peut-on par exemple utiliser l'information de la bande infrarouge ?

Tout comme pour les autres types de lumière, le capteur mesure la lumière infrarouge de chaque pixel. Pour chaque pixel, un nombre donné correspond à la lumière infrarouge. Plus le nombre est élevé, plus la proportion de lumière infrarouge mesurée est importante. Ainsi, les nombres mesurés pour l'eau par le satellite seront radicalement différents des nombres se rapportant aux forêts. De même, les prairies réfléchissent des quantités de lumière infrarouge différentes de celles réfléchies par les forêts, même si leur couleur (le vert) est identique.

Lorsque nous transposerons ces nombres en images via l'ordinateur, la couleur des prairies sera différente de celle des forêts. Parfois, la différence est telle que les valeurs IR mesurées sur des arbres feuillus malades diffèrent de celles mesurées sur les arbres sains. Voilà comment l'invisible devient visible.

L'image ci-dessous est une représentation en valeurs de grisés des mesures dans la bande infrarouge de la région qui entoure le Donkmeer, un lac en Flandre orientale



Donkmeer Berlare
Bande IR de l'image Spot HRV, juillet 1995
© 1995 CNES, Distribution by Spot Image

Question 12 - Le Donkmeer est très sombre sur l'image. Qu'est-ce que cela signifie?

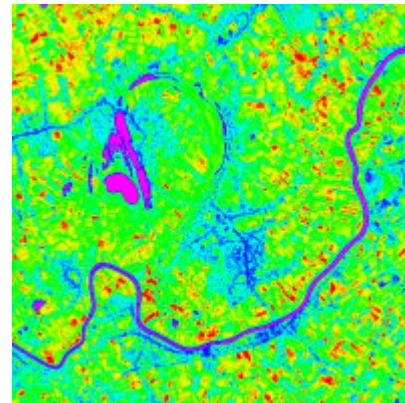
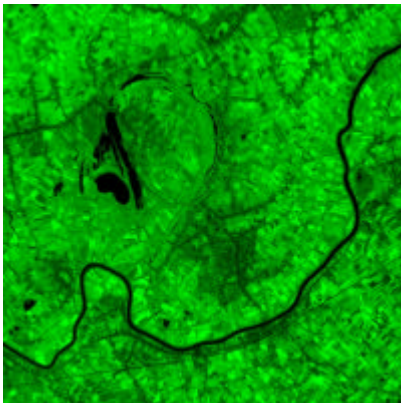
A. La rivière et le lac dégagent énormément de lumière infrarouge: une quantité importante de lumière infrarouge est réfléchie.

B. La rivière et le lac ne dégagent que peu de lumière infrarouge: une faible quantité de lumière infrarouge est réfléchie.

C. Comme l'eau est bleue, la quantité de lumière infrarouge dégagée est bien entendu nulle.

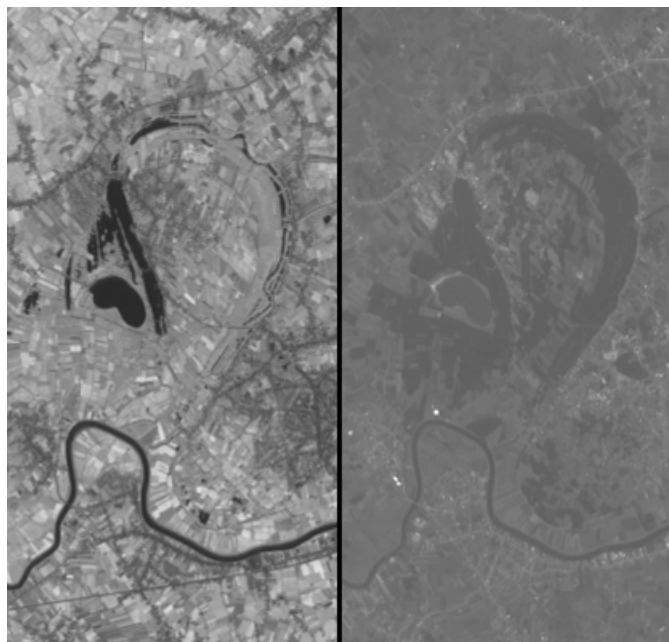
D. Ici, la quantité de lumière infrarouge n'est pas mesurée. La photo indique simplement l'endroit où se trouve le lac

Les couleurs sombres signifient en général qu'un phénomène est très présent, mais, pour les images de télédétection, c'est justement l'inverse. Pour ces images, il faut penser: plus c'est sombre, moins il y en a. La même image peut très bien être représentée en valeurs de vert ou en pseudo-couleurs, plutôt qu'en valeurs de grisés:



Bande IR de l'image SPOT HRV du Donkmeer représentée en tonalités de vert et en plusieurs couleurs

Comparons maintenant une partie de la bande infrarouge avec la bande verte. Sur l'image infrarouge (ci-dessous à gauche), on distingue nettement l'Escaut et le Donkmeer. Sur l'image représentant la lumière verte (à droite), le contraste entre la rivière et l'environnement est moins marqué.



Bande IR et bande verte de l'image SPOT HRV du Donkmeer

Donc, si on souhaite obtenir une image sur laquelle l'eau doit être visible, l'image infrarouge sera beaucoup plus utile.

Qu'en est-il des autres 'objets'? Sur une photo en couleurs ou sur une image satellite en couleurs vraies, il sera extrêmement difficile de trouver une grange verte dans une prairie verte, pour la bonne et simple raison qu'elles sont toutes les deux vertes. Par contre, une image infrarouge permettra de distinguer nettement la différence entre une prairie verte et une grange verte (ou un bunker militaire vert). Sur l'image infrarouge, la grange verte et la prairie verte seront représentées par des couleurs différentes parce qu'il s'agit de matériaux différents, qui réfléchiront différemment la lumière infrarouge. De même, différents types de végétaux tels que le maïs et les pommes de terre peuvent apparaître dans des couleurs différentes sur une image IR, malgré le fait que le maïs et les pommes de terre soient deux végétaux et qu'ils soient tous deux verts. Les images infrarouges sont notamment utilisées dans le secteur de l'agriculture, par exemple dans

le cadre de subventions octroyées par l'Union européenne. L'UE offre des subventions aux agriculteurs s'ils cultivent le maïs, et l'objectif consiste bien entendu à vérifier si un agriculteur qui prétend cultiver le maïs le cultive effectivement. Grâce aux images de télédétection, ces contrôles peuvent être effectués rapidement et de façon peu onéreuse.

A l'aide d'un programme de traitement d'images, on peut facilement créer une image fausses couleurs dans laquelle les données enregistrées dans la bande infrarouge sont utilisées. Si on attribue

- la couleur bleue aux mesures de la lumière verte;
- la couleur verte aux mesures de la lumière rouge;
- la couleur rouge aux mesures de la lumière infrarouge,

on obtient l'image ci-dessous, qui, comme tu peux le constater fournit davantage de détails.

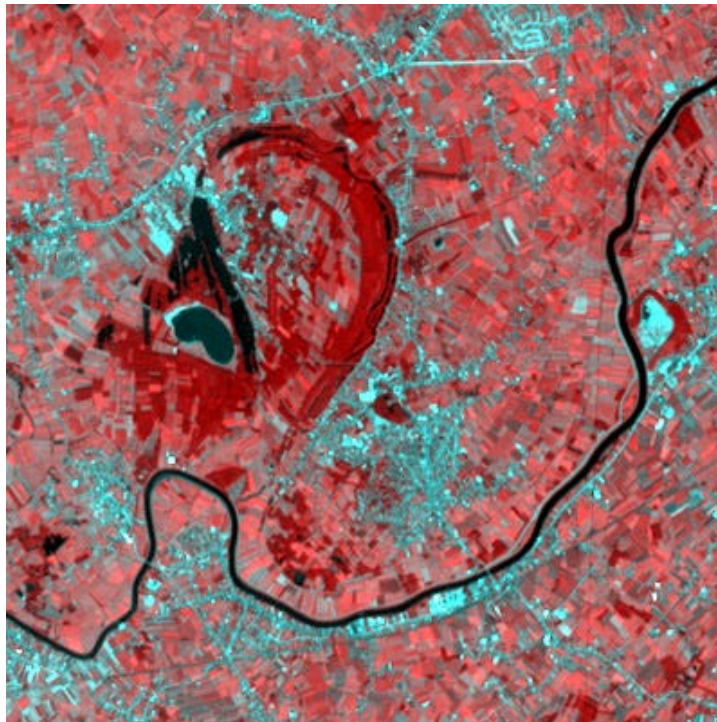


Image SPOT HRV Donkmeer - Composition fausses couleurs

Nous avons recours à cette sorte d'images en fausses couleurs pour déterminer l'utilisation du sol. En effet, une image en fausses couleurs permet une observation beaucoup plus claire qu'une image en vraies couleurs.

On peut évidemment créer d'autres combinaisons de couleurs, mais les spécialistes de la télédétection utilisent souvent cette méthode de glissement des couleurs.

Résumé

Nous avons appris à distinguer trois types d'images de télédétection en couleurs:

- ◆ Les images de télédétection avec la palette arc-en-ciel. Ces images sont créées à partir des données stockées sur une bande donnée. Ces couleurs de l'arc-en-ciel sont parfois appelées '**pseudo-couleurs**'.
- ◆ **Images en vraies couleurs**: il s'agit de compositions colorées qui ressemblent à des photos en couleurs. Sur ces images, la lumière rouge est tout simplement rouge, la lumière bleue est bleue et la lumière verte est verte.
- ◆ **Images en fausses couleurs**: il s'agit des compositions colorées dont toutes les couleurs ont subi un 'glissement'. Une des compositions en fausses couleurs fréquemment utilisée est composée de la bande proche infrarouge, de la bande rouge et de la bande verte, représentées respectivement en rouge, vert et bleu. Ce type d'images permet par exemple la distinction entre les pommes de terre et les betteraves dans un champ.

Réponses

- 1 D. 28800 km/heure càd 8 km par seconde.**
Ce qui équivaut à Amsterdam-Paris en 1 minute!
Finalement, nous pouvons comparer les satellites à des sortes de bolides filant sans chauffeur.
- 2 D. D'ouest en est.**
Le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest ce qui signifie que la Terre tourne d'ouest en est. Pour maintenir un satellite 'immobile' au-dessus de la Terre, il doit tourner dans le même sens que la Terre.
- 3 A. Les satellites espions sont toujours polaires.**
Ils enregistrent ainsi de nombreux détails et ils tournent par ailleurs toujours au-dessus d'une nouvelle région. Voilà ce que recherche précisément l'espionnage.
- 4 B. Les satellites de télécommunications sont géostationnaires.**
Ils doivent continuellement émettre un signal vers les mêmes régions.
- 5 C. Une image 'créée' par l'ordinateur d'une partie de la surface terrestre.**
C'est effectivement peut-être la meilleure description d'une image obtenue par satellite. En effet, une telle image a été créée parce que la lumière et les rayons qui sont réfléchis par la Terre sont traduits en image par un ordinateur.
- 6 C. Les couleurs de cette image sont bizarres.**
Les couleurs de cette image ne sont en effet pas les mêmes que celles que vous voyez avec vos yeux.
- 7 C. Presque toutes les zones blanches sur la carte topographique sont rouge vif sur l'image satellitaire.**
- 8 B. 6 kilomètres = 200 x 30m = 6000 mètres.**
- 9 B. Des valeurs basses: indique que cette zone renvoie peu de lumière.**
Ceci est la seule chose que l'on peut déduire avec certitude. On ne peut pas encore savoir la nature de cette zone. Il existe différents éléments sur Terre qui renvoient peu de lumière.
- 10 D. Non, car la plupart du temps les fleuves et les rivières sont beaucoup plus petits que 2,5 km.**
Mis à part quelques fleuves énormes (comme l'Amazone au Brésil), les fleuves et les rivières sont trop petits pour Météosat. Leur apport pour le pixel est souvent insuffisant. Par contre, on voit le plus souvent les grands lacs.
- 11 D. Rouge foncé.**
Les pins Douglas sont des conifères et réfléchissent moins de lumière infrarouge que les arbres feuillus tels que les hêtres et les chênes. De plus, de par leur forme, les aiguilles des résineux réfléchissent la lumière (visible et IR) d'une manière plus diffuse (multidirectionnelle) que les feuilles plus plates des feuillus. C'est pourquoi, sur cette image satellite en fausses couleurs (où les mesures de la bande infrarouge sont représentées en rouge), les arbres feuillus apparaissent en rouge vif, tandis que les conifères apparaissent en rouge foncé, presque noir, alors que nos yeux les voient verts.
- 12 B. Tout comme la rivière, le lac ne dégage que peu de lumière infrarouge: une faible quantité de lumière infrarouge est réfléchi.**
Les couleurs sombres signifient en général qu'un phénomène est très présent, mais ce n'est malheureusement pas le cas pour les images de télédétection. C'est justement l'inverse. Pour ces images, il faut penser: plus c'est sombre, moins il y en a.

Beo Base

Exercices d'Introduction à la Téledétection

Observation de la Terre par satellite



Une initiative du Earth Observation Helpdesk
Service de Recherches et Applications aérospatiales
Politique scientifique fédérale belge (BELSPO)
<http://eoedu.belspo.be>
Ook beschikbaar in het Nederlands
Mai 2003



Partie I. Table des Matières

Partie I.

Description des Exercices _____ **I-2**

Les Satellites _____ **I-3**

Partie II.

Les images satellitaires _____ **II-7**

Résolution _____ **II-11**

Partie III.

Chiffres _____ **III-13**

Couleurs vraies _____ **III-16**

Partie IV.

Fausses couleurs _____ **IV-19**

Réponses _____ **IV-24**

Description des Exercices

Ces exercices sont la version papier des exercices intégrés dans BEO Interactif, le programme de traitement d'images du CD-Rom BEO (Belgian Earth Observation), réalisé en décembre 2000 par le Earth Observation Helpdesk des Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles.

BEO est un CD-ROM trilingue (français, néerlandais, anglais), adressé en premier lieu aux élèves du niveau secondaire. Il a été distribué dans toutes les écoles secondaires de Belgique et est disponible sur demande auprès de:
EODesk - Politique Scientifique Fédérale
Avenue Louise 231
1050 Bruxelles
Tél: 02/238 35 59 - e-mail: eodesk@belspo.be

Les exercices de BEO Base sont destinés à guider l'utilisateur au travers des principes de base de la télédétection et des propriétés des images satellites. Les exercices peuvent être effectués individuellement ou en équipe.

Cette version a été développée à la demande d'enseignants n'ayant pas la possibilité d'utiliser l'ordinateur à l'école. Si l'accès à un ordinateur est possible, il est évidemment fortement conseillé de réaliser les exercices à partir du programme BEO Interactif du CD-Rom BEO.

Ce document doit être imprimé en couleurs.

Pour obtenir plus d'information sur l'observation de la Terre par satellite, consultez le site Internet EO Edu <http://eoedu.belspo.be>

Les Satellites

Introduction

En astronomie, un satellite est décrit comme un corps céleste qui gravite autour d'une planète; ainsi la Lune est le **satellite naturel** de la Terre.

En astronautique, il s'agit d'un engin de fabrication humaine qu'on place en orbite terrestre: un **satellite artificiel**. Le premier satellite artificiel a été lancé en 1957 par l'Union Soviétique. Depuis, plusieurs milliers de satellites ont été lancés et aujourd'hui, environ 2800 satellites sont en orbite autour de notre planète.

Les applications des satellites sont très diversifiées:

- Les **satellites de communication** servent de relais pour les communications téléphoniques, les émissions de télévision, des échanges de données informatiques ou des contacts radio permanents avec des navires, plates-formes, avions, trains
- Les **satellites de navigation** permettent la localisation rapide et précise de n'importe quel point sur la Terre, par triangulation (recoupement des informations fournies par 3 satellites)
- Les **stations orbitales** permettent de mener de nombreuses expériences en micropesanteur
- Les **satellites d'observation de la Terre**, grâce aux capteurs qui sont à leur bord, permettent d'obtenir des données utiles en Météorologie, Océanographie, études environnementales, Cartographie...

Dans ce document, nous ne nous intéresserons qu'au domaine de l'observation de la Terre, ou Télédétection.



Représentation du satellite Envisat
© ESA

Principe général

De nombreuses personnes pensent qu'il y a moyen de diriger un satellite de télédétection et qu'il est donc possible de le faire apparaître à un moment déterminé au-dessus d'un endroit précis. Clic, clac, on prend une photo et le tour est joué! Mais la réalité est toute autre. Les images satellites ne sont pas des photos.

Il est impossible de 'piloter' un satellite à un moment déterminé au-dessus d'un endroit précis. Les satellites sont soumis aux lois de la mécanique.

Lorsque tu lâches une pierre, elle tombe tout droit vers la Terre. Si tu la lances, elle retombe également sur Terre mais en décrivant un arc de cercle. Plus tu la lances avec force, plus l'arc de cercle décrit sera grand. Imagine que ta force soit telle que l'arc de cercle atteigne la taille de la courbure de la Terre, la pierre atterrirait à ce moment-là juste devant la Terre. La pierre 'voudra tomber' sur la Terre, mais elle n'y arrivera pas. Si la pierre n'était pas ralentie par le frottement de l'atmosphère, elle continuerait à tourner pendant des siècles. C'est le principe d'un satellite: leur vitesse est telle qu'ils ratent la Terre à chaque passage.

Question 1- Quelle doit être à ton avis la force avec laquelle il faudrait jeter une pierre pour qu'elle tourne autour de la Terre?

- A. 500 km par heure
- B. 2000 km par heure

- C. 3600 km par heure
- D. 28800 km par heure

La hauteur à laquelle se trouve le satellite détermine le temps nécessaire pour qu'il effectue un tour complet autour de la Terre. Plus haut il se trouve au-dessus de la Terre, plus le temps nécessaire pour faire un tour sera long. Un satellite situé à 500 km tourne à une vitesse fixe et a besoin de 90 minutes pour parcourir un tour de la Terre, ni plus, ni

moins! Ainsi, selon sa hauteur au-dessus de la Terre, chaque satellite a besoin d'un temps déterminé pour effectuer un tour.

En fonction de leur altitude par rapport à la Terre, on peut distinguer les satellites

- à orbite basse, inférieure à 800 km (LEO, pour Low-Earth Orbits)
- à orbite moyenne, entre 800 et 30000 km (MEO pour Mid-Earth Orbits)
- à orbite géosynchrone, à 35800 km (GEO)
- à orbite au-delà de 35800 km (Deep Space Orbits)

Les satellites de télédétection utilisent deux types d'orbite:

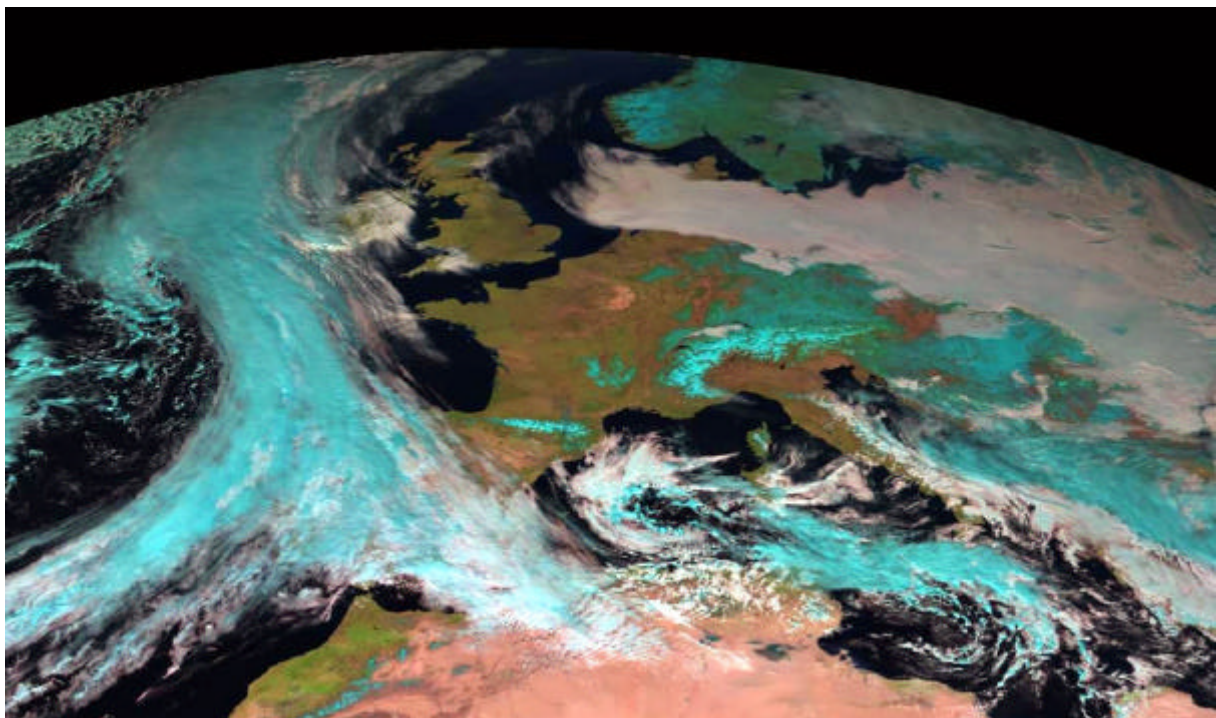
- ◆ **L'orbite géostationnaire:** un satellite sur une orbite géostationnaire reste stationnaire par rapport à un point fixe de la Terre. De ce point, il semble rester immobile par rapport à la Terre.
- ◆ **L'orbite polaire:** un satellite sur une orbite polaire gravite autour de la Terre en passant, comme son nom l'indique, au-dessus des pôles Nord et Sud.

Satellites géostationnaires

Un satellite géostationnaire est un satellite qui se trouve **toujours au-dessus du même point de la Terre**. Le satellite doit pour cela tourner sur une orbite circulaire et à la même vitesse que la vitesse de rotation de la Terre, ce qui ne peut se faire que dans le plan de l'équateur et à une distance de 35800 km environ de la Terre. On n'a tout simplement pas le choix, si l'on désire qu'un satellite reste 'immobile' par rapport à la Terre, il faut le placer à 36.000 km d'altitude.

Les satellites météorologiques d'observation globale, comme ceux de la famille Météosat sont des satellites géostationnaires. Ils sont 'suspendus' à 36.000 km au-dessus de l'équateur et, de là, semblent rester fixes. Mais ces satellites ne restent pas réellement immobiles! Ils tournent autour de la Terre avec une vitesse de 10.000 km par heure. En 24 heures, ils effectuent un peu plus d'un tour. Pendant le même laps de temps, la Terre accomplit une rotation complète, ce qui explique que nous ayons l'impression que le satellite reste immobile.

Etant donné la grande distance séparant Météosat de la Terre, nous ne pouvons observer que peu de détails sur les images prises par Météosat. Sur l'image ci-dessous, un pixel représente une région de 1 sur 1 km.



Europe, Image composite du satellite MSG1 (Meteosat Second Generation) du 18 février 2003
Copyright © 2003 EUMETSAT

L'immobilité' des satellites géostationnaires présente naturellement un avantage: nous pouvons prendre autant de prises de vue que nous voulons de la même zone. Ce type de satellite convient donc parfaitement pour étudier l'évolution des conditions climatiques! Le dernier né de la famille Météosat, MSG1 peut prendre une prise de vue tous les quarts d'heure. En effet, pour faire un 'balayage' complet de la zone de la Terre que le satellite 'voit', il faut compter un quart d'heure.

Le fait qu'un satellite semble rester en suspension immobile au-dessus de la Terre nous renseigne sur le sens giratoire du satellite.

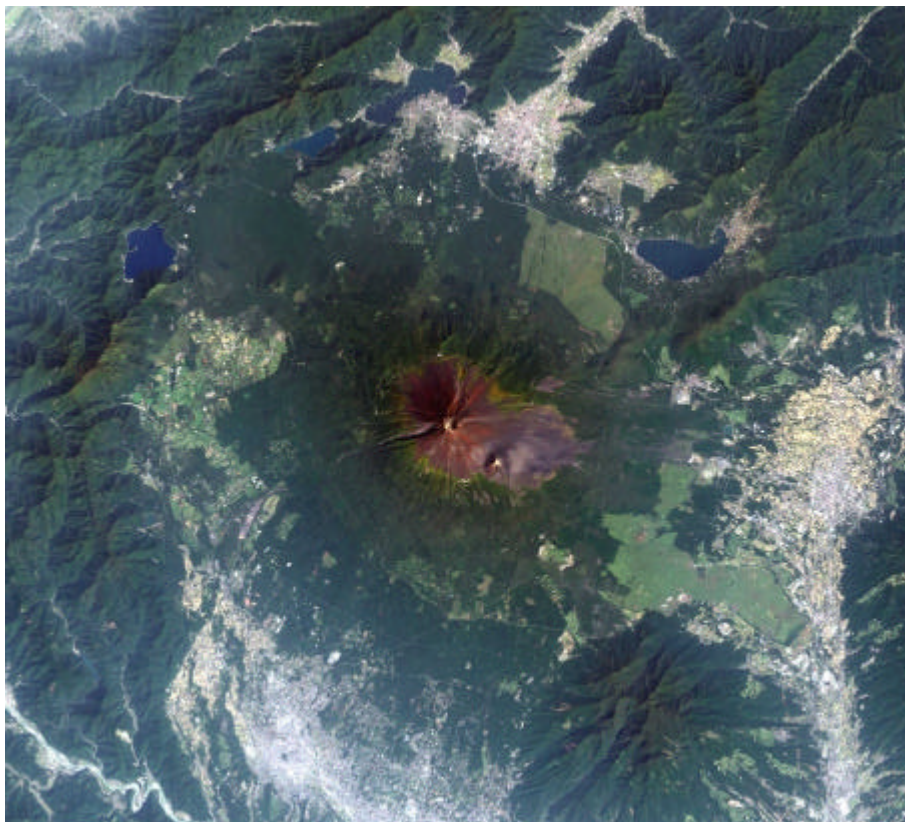
Question 2 - Comment doit se mouvoir un satellite géostationnaire pour sembler rester immobile au-dessus de la Terre ?

- A. Du nord au sud en passant au-dessus des pôles, ainsi il passe toujours au même endroit au-dessus de la Belgique
- B. Du sud au nord en passant par les pôles, ainsi il tourne dans le même sens que la Terre.
- C. D'est en ouest: le soleil aussi se lève à l'est et se couche à l'ouest.
- D. D'ouest en est.

Satellites polaires

Parfois, il arrive que l'on veuille obtenir des détails plus précis que 1 km et que l'on accorde moins d'importance à la possibilité d'observation permanente. Nous disposons pour ce faire d'un autre type de satellite : les satellites polaires.

Les satellites polaires gravitent autour du globe terrestre **en passant par les pôles Nord et Sud**. A chacun de leur passage, ils scannent une étroite bande de terre en allant du nord au sud ou du sud au nord. Après avoir effectué un tour de la Terre, cette dernière ayant elle-même tourné sur son axe, le satellite enregistre à ce moment-là les données d'une nouvelle bande de terre.



Mont Fuji et la région des cinq lacs, Japon
Image ETM+ du satellite Landsat 7 prise en octobre 2002
Copyright © 2002 USGS

A la page précédente, tu peux voir une image de Landsat, un satellite polaire. Compare cette image à celle de Meteosat MSG1. Cette image possède une résolution de 30 mètres. Ceci signifie qu'un pixel représente une surface au sol égale à 30 x 30 mètres.

Tu veux plus de détails? Il faut alors placer le satellite plus près de la Terre, par exemple à seulement 400 km de la Terre. Il n'est pas prudent de les placer plus près, car ils risquent alors d'entrer dans notre atmosphère. A ce moment-là, en raison du frottement dû à l'air, leur vitesse se réduit progressivement et ils finissent par s'écraser, ou en réalité à prendre feu dans l'atmosphère.

A cette altitude de 400 km, un satellite n'est jamais géostationnaire : il accomplit un tour de la Terre en quelque 90 minutes au lieu de 24 heures!

En passant d'un pôle à l'autre, les satellites polaires parcourent chaque degré de latitude. Ainsi, après un certain temps ils ont pris connaissance de l'ensemble du globe terrestre. Les satellites polaires se situent entre 200 (satellites espions à durée limitée) et 1000 km (satellites civils qui n'accordent pas une grande importance aux détails).

Question 3 - Complète la phrase suivante: Les satellites espions sont toujours...

- A. Polaires, ainsi ils enregistrent de nombreux détails et ils tournent par ailleurs toujours au-dessus d'une nouvelle région.
- B. Géostationnaires, car ainsi ils peuvent observer de nombreux détails.
- C. Polaires, car ainsi ils peuvent prendre de nombreuses images successives d'une même région.
- D. Géostationnaires, car ainsi ils peuvent chaque jour prendre plusieurs images d'une même région.

Les satellites de télédétection à usage civil les plus perfectionnés peuvent enregistrer des détails de 70cm x 70cm. Un satellite espion moderne, quant à lui, peut percevoir des détails d'environ 5 cm ! Mais ils se déplacent perpétuellement, ce qui par conséquent les rend moins utiles pour suivre le déplacement de troupes par exemple.

En résumé, il n'y a que deux possibilités en télédétection:

- Si on désire observer **continuellement la même zone** et que les **détails important peu**, on fait appel à un **satellite géostationnaire**.
- Si on est intéressé par les **détails** et que l'on veut pouvoir observer **l'ensemble du globe terrestre** (pas simultanément évidemment), il faut utiliser un **satellite polaire**.

Les satellites de télécommunication transmettent des signaux téléphoniques ou des canaux télévisés. Tu les utilises chaque jour car presque tous les canaux télévisés sont transmis par satellite.

Question 4 - Ces satellites de télécommunication sont-ils polaires ou géostationnaires?

- A. Polaires, ils doivent couvrir tout le globe terrestre.
- B. Géostationnaires, car ils doivent continuellement émettre un signal vers les mêmes régions.
- C. Géostationnaires, car ainsi ils ont un aperçu global de la Terre.
- D. Polaires, car ils doivent rester à proximité de la Terre étant donné que le signal ne peut couvrir une distance de 36.000 km.

Partie II. Les images satellitaires

Depuis l'espace, on peut observer la Terre et utiliser ces observations pour prévoir le temps, étudier l'évolution des climats, mesurer si le trou dans la couche d'ozone s'agrandit, détecter et suivre des feux de forêt ou des nappes de pétrole, créer des cartes...

A l'heure actuelle, on voit des images satellitaires partout: dans les informations météo à la TV, dans les journaux et même parfois dans les publicités.

Les images satellitaires, ou images de **téledétection** sont des images prises à partir d'une 'lune artificielle' (un satellite) qui orbite bien au-dessus de la Terre.

On appelle également les images satellitaires des images '**Remote Sensing**':

Remote est le terme anglais pour éloigné ou à grande distance et **Sensing** signifie sentir ou balayer.

Tu trouveras ci-dessous quelques exemples d'images satellitaires:

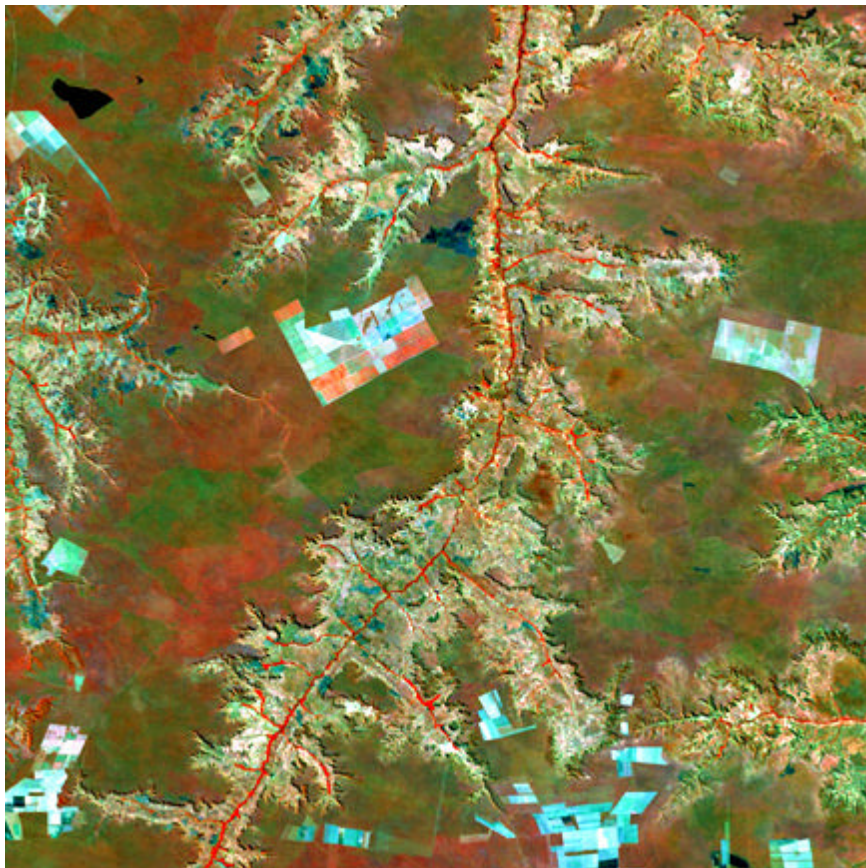
Question 5 - En observant ces images, qu'est-ce pour toi qu'une image satellitaire?

- A. Une photo très précise.
- B. Une photo de la Terre telle que vue par un astronaute depuis l'espace.
- C. Une image 'créée' par l'ordinateur d'une partie de la surface terrestre.

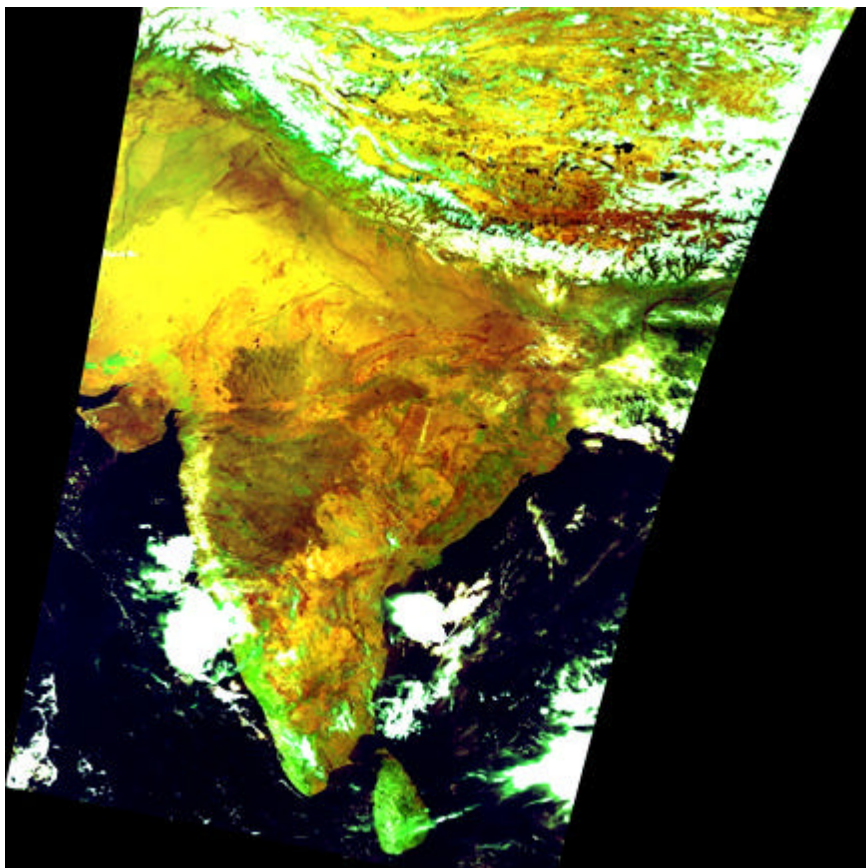


Grande Pyramide, Giza, Egypte.

Image obtenue par fusion d'une image panchromatique à 61 cm de résolution et d'une image multispectrale à 2.4m de résolution, prises par le satellite QuickBird en février 2002
Copyright © 2002 DigitalGlobe



Forêt amazonienne, Brésil
Composition couleur issue d'une image du satellite Landsat7 prise en janvier 2000
Copyright © 2000 USGS



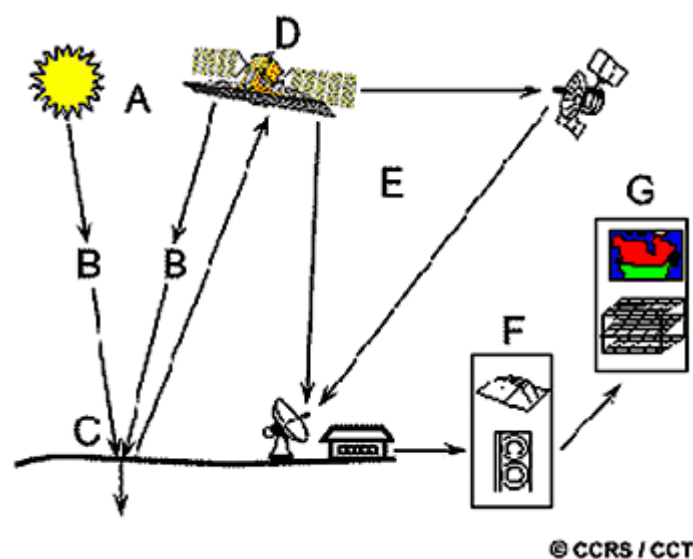
Inde
Image prise par le capteur VEGETATION 2 du satellite Spot 5 en mai 2002
Copyright © 2002 CNES

Les images satellitaires ressemblent en de nombreux points à des photos. Et pourtant ce ne sont pas des photos et ce ne sont pas non plus des cartes.

Mais en quoi les images satellite sont-elles différentes de photos ordinaires ?

Lorsque tu prends une photo, tu vois le monde sur cette photo comme tu le vois avec tes yeux, dans les mêmes couleurs. Un appareil photo regarde en effet la Terre de la même manière que tes yeux, il est 'sensible' à la portion de lumière qu'on appelle 'la lumière visible'.

Un satellite regarde la Terre d'une toute autre manière. Il n'a pas d'appareil photo à bord, mais des instruments qui sont 'sensibles' à la lumière visible, mais aussi à d'autres parties du 'spectre électromagnétique' comme l'infrarouge, l'ultraviolet ou les micro-ondes. Ces instruments (scanners) balaient la surface de la Terre et enregistrent des mesures de 'lumière' qui sont ensuite utilisées par des programmes informatiques pour créer des images.

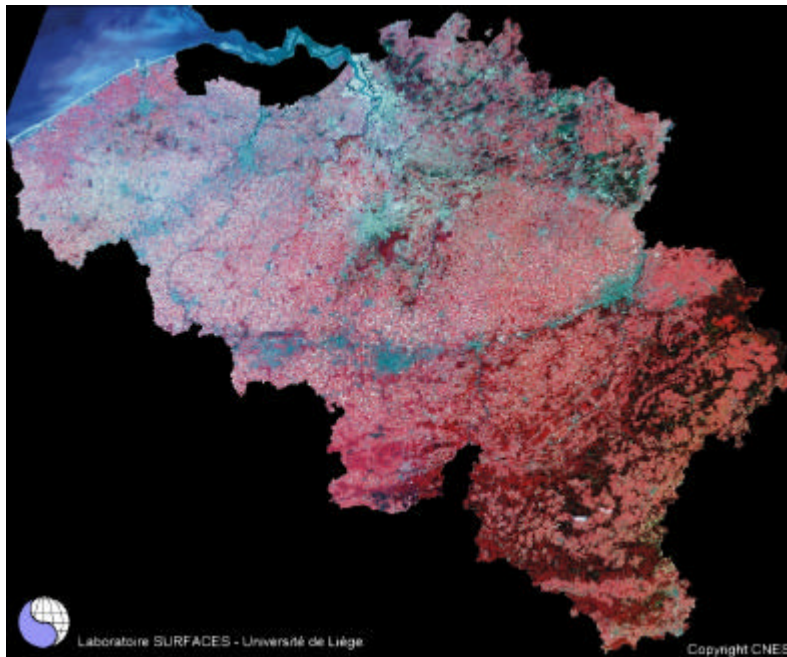


Les étapes de la télédétection.

Le rayonnement émis par une source d'énergie ou d'illumination (A) parcourt une certaine distance et interagit avec l'atmosphère (B) avant d'atteindre la cible (C). L'énergie interagit avec la surface de la cible, en fonction des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Le rayonnement est réfléchi ou diffusé vers le capteur (D), qui l'enregistre et peut ensuite transmettre l'énergie par des moyens électroniques à une station de réception (E) où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques). Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image (F) est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible. 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 (G).

A la page suivante, tu trouveras une image de la Belgique qui est en fait composée de différentes images satellitaires 'collées' les unes aux autres.

Question 6 - A quoi peux-tu reconnaître qu'il ne s'agit pas d'une photo couleur, mais bien d'une image de la Terre prise depuis l'espace ?



Assemblage de 16 scènes Spot HRV XS, mai 1992
Réalisation : copyright © SURFACES
Images : copyright © CNES

A. Depuis l'espace, on ne discerne pas beaucoup de détails. On ne distingue pas une ville comme Bruxelles.

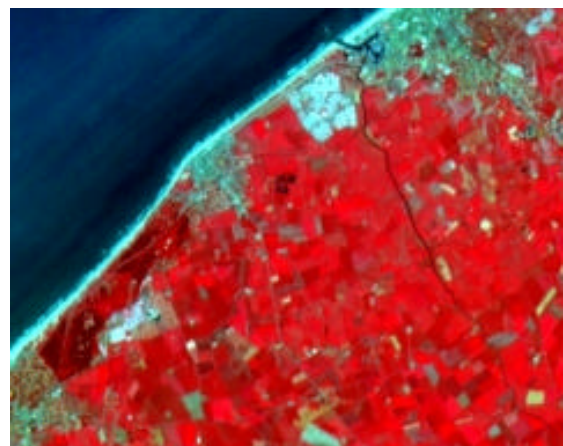
B. Depuis l'espace, on devrait TOUJOURS voir des nuages blancs sur la Belgique. Mais sur cette image il n'y a pas de nuages du tout.

C. Les couleurs sur cette image sont bizarres. Une photo couleur est différente.

Sur la carte ci-dessous à gauche sont représentées la plage et la zone des dunes entre De Haan et Wenduine. Comparons cette carte avec une image satellitaire de la même zone, à droite.



Extrait de carte topographique au 1 : 50.000
Copyright © IGN



Composition colorée SPOT HRV, juillet 1995
Copyright © 1995 CNES, Distribution Spot Image

Les couleurs de l'image satellitaire sont étranges par rapport à celles d'une photo normale. Comme tu peux le voir, les zones agricoles sont en blanc sur la carte.

Question 7 - Quelle est la couleur principale des terres agricoles sur l'image satellitaire?

A. jaune

B. bleu clair

C. rouge vif

D. bleu foncé/noir

Résolution

Tu vois ci-dessous une image de l'aéroport national de Zaventem.



Aéroport national de Zaventem
Image SPOT panchromatique, juillet 1997
Copyright © 1997 CNES, Distribution Spot Image

Si on agrandit 6 x la portion d'image entourée par un carré, on obtient l'image suivante:



Tu remarqueras que l'image est devenue 'cubique', ce qui semble peu naturel. Ces carrés que tu vois s'appellent '**pixels**'. Le mot 'pixel' provient d'une contraction des termes anglais 'picture' et 'element' c'est-à-dire 'élément de l'image'.

Un pixel est donc un point de l'image. Un tel point représente le plus petit détail encore 'visible' pour le satellite. Chaque carré a une teinte grisée ou une couleur. Il n'y a pas de différence visible au sein d'un même carré, même si on 'zoome' de très loin.

Observe maintenant une deuxième image de l'aéroport, qui couvre la même zone.



Aéroport national de Zaventem
Image panchromatique Landsat ETM+, octobre 1999
Copyright © 1999 USGS

Compare les deux images. Tu constates que tu reconnais nettement moins bien certains éléments sur la deuxième image, par exemple le réseau routier. En effet, un pixel dans une image Spot P couvre une zone de 10m x 10m, alors qu'un pixel d'une image Landsat couvre une zone de 30m x 30m.

Ceci veut dire qu'on peut déjà distinguer un objet de 100 m² sur l'image Spot P, alors que sur l'image Landsat TM, on ne distingue un élément qu'à partir de 900 m².

Autrement dit: Spot P a une **résolution** de 10 m et Landsat TM une résolution de 30 m.

En fonction de l'altitude à laquelle se trouve le satellite et du type de capteur qui est à son bord, la résolution des images fournies par les satellites commerciaux peut aller de 70 cm à plusieurs km (satellites météorologiques).

Nous allons maintenant voir quelle est la taille réelle de la zone que nous voyons sur l'image Landsat TM. Lorsque l'on connaît la résolution d'une image et son nombre de pixels, il est possible de déterminer la taille de la zone couverte par l'image.

Via un programme de traitement d'images, il est possible de connaître le nombre de pixels d'une image.

Question 8 - Si cette image a 200 x 200 pixels et qu'un pixel représente une zone de 30 mètres sur 30 mètres, quelle est la taille de cette zone de 200 x 200 pixels ?

- A. 60 mètres sur 60 mètres
- B. 6 kilomètres sur 6 kilomètres
- C. 600 mètres sur 600 mètres
- D. 60 kilomètres sur 60 kilomètres

Résumé:

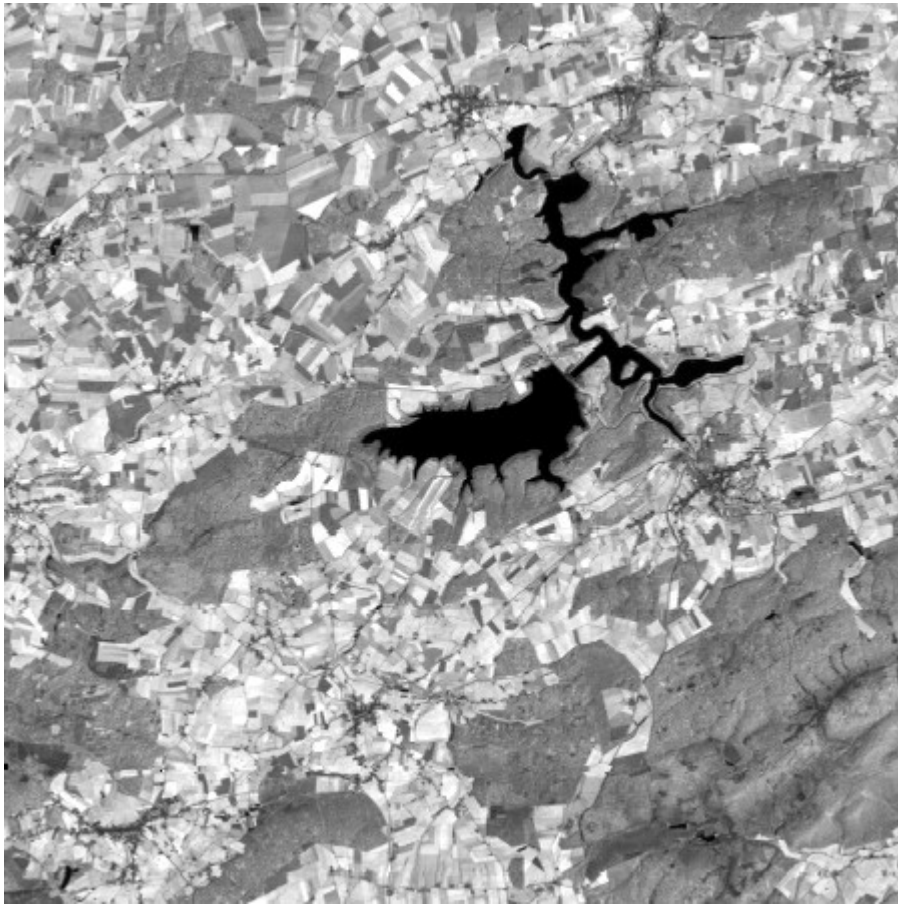
Une image satellitaire consiste en éléments d'image ou **pixels**.

Le plus petit détail encore reconnaissable sur une image satellitaire, ou la surface recouverte par un pixel, s'appelle la **résolution** de l'image satellitaire.

La résolution dépend du type de satellite. Dans certains cas, un même satellite a à son bord plusieurs instruments de mesure (ou capteurs), qui effectuent des mesures à des résolutions différentes.

Partie III. Chiffres

Dans l'exercice précédent, tu as pu voir qu'une image satellitaire consiste en pixels, nous allons maintenant regarder ce qu'un tel pixel peut nous apprendre. Pour ce faire, nous allons à présent analyser comment une telle image est construite.



Lacs de l'Eau d'Heure
Image Landsat TM IR, mai 1992
Copyright © 1992 ESA, Distribution by Eurimage

Cette image est une image infrarouge des Lacs de l'Eau d'Heure, au sud-ouest de Philippeville. La résolution est de 30m.

Dans un programme de traitement d'images, il est possible de visualiser la valeur de chaque pixel. L'image entière n'est en effet rien d'autre qu'une **série de chiffres**.

Que signifient ces chiffres ?

Le satellite n'a pas un appareil photo à bord, mais bien un 'scanner'. Ce scanner (ou balai) balaye une zone de la Terre et enregistre la quantité de lumière (ou éventuellement un autre rayonnement) que la zone renvoie vers l'espace. Il 'retient' cette quantité de lumière sous forme d'un chiffre entre 0 et 255. C'est de cette manière que le scanner peut mesurer pour une zone par exemple 40 et pour l'autre 80. Cela signifie que la quantité de 'lumière' mesurée dans la deuxième zone est deux fois plus importante que dans la première zone. Plus le scanner mesure de lumière, plus la valeur est élevée. Mais c'est tout ce que le scanner à bord du satellite sait faire!

Le satellite envoie toutes ces mesures vers une station de réception sur Terre via un émetteur. Là, ces chiffres sont mémorisés sous forme de fichier informatique et l'ordinateur convertit les séries de chiffres en une image. Pour ce faire, il convertit chaque chiffre en un pixel.

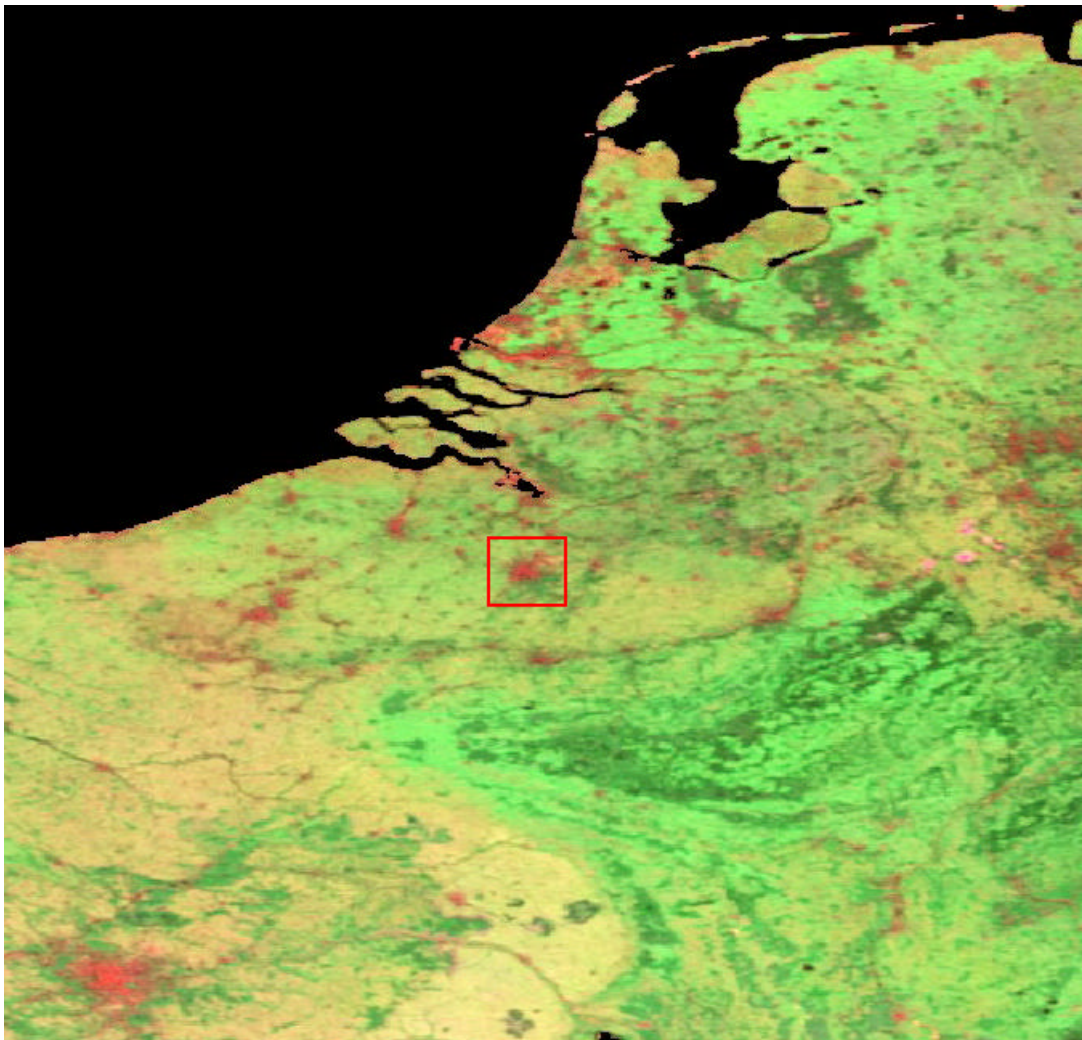
L'ordinateur donne une couleur blanche aux pixels ayant des valeurs élevées (environ 255) et une couleur noire aux pixels ayant des valeurs basses (environ 0). Un pixel ayant une valeur de lumière entre ces deux chiffres reçoit comme couleur une intensité de gris proportionnelle à cette valeur. C'est ainsi que l'on obtient une image comme celle ci-dessus. Le satellite n'envoie donc pas lui-même une image vers la Terre !

Question 9 - Quelles sont les valeurs des pixels de la tache noire au centre de l'image et que peut-on en déduire ?

- A. Des valeurs basses: indique de grandes surfaces d'eau.
- B. Des valeurs basses: indique que cette zone renvoie peu de lumière.
- C. Des valeurs élevées: indique de grandes surfaces boisées.
- D. Des valeurs élevées: indique que cette zone renvoie beaucoup de lumière.

Dans l'exercice 'Résolution', tu as appris que les détails qu'on peut reconnaître sur une image satellitaire dépendent de la résolution de l'image.

Maintenant tu sais également qu'une image satellitaire consiste en pixels qui représentent une certaine 'valeur de lumière'. Nous allons examiner à nouveau ces caractéristiques sur base d'une autre image, une portion d'une image satellitaire du capteur VGT du satellite SPOT4.



Belgique

Synthèse annuelle d'images SPOT VGT 2000

Composition colorée **Moyen Infrarouge** - **Proche Infrarouge** - **Rouge**

Copyright © CNES 2000 – Avec l'aimable autorisation de P. Defourny, UCL

Regardons la résolution d'une telle image: si, comme à l'exercice 'Résolution', nous agrandissons 6 x la portion d'image entourée par un carré, on obtient l'image suivante:



Tu vois à nouveau les carrés. Dans le cas de SPOT VGT, un tel carré couvre une surface de 1 x 1 km.

Essaye maintenant de retrouver l'aéroport de Zaventem sur l'image de la page précédente ! Impossible, non ?

Dans de grands pixels de 1 sur 1 km, tu ne vois pas de détails. Tu ne peux distinguer ni les maisons, ni les arbres, ni les routes, etc.

Comment cela se fait-il?

Lorsqu'au sein d'un grand carré comme celui-ci, il y a par exemple une serre horticole qui renvoie énormément de lumière et un petit bois qui ne renvoie que peu de lumière, le scanner mesure le rayonnement moyen dans ce carré et ne donne qu'un seul chiffre pour l'ensemble. C'est pourquoi il est impossible de distinguer des maisons individuelles sur des images SPOT VGT ou Météosat (résolution de 2,5 km dans le visible).

Question 10 - Est-ce que l'on distingue les fleuves et les rivières sur les images Météosat?

- A. Oui, car l'eau renvoie beaucoup de lumière solaire. L'eau brille !
- B. Non, car la lumière solaire disparaît dans l'eau; elle entre dans l'eau. Elle est 'absorbée'.
- C. Oui, car sur des images satellitaires on peut voir les plus petits détails.
- D. Non, car les fleuves et les rivières sont la plupart du temps beaucoup plus petits que 2,5 km.

Résumé:

Un capteur de satellite mesure de la 'lumière' ou plutôt un 'rayonnement'.

En fonction de l'appareil qui est à bord, le satellite peut également effectuer des **mesures de rayonnements** que nous ne pouvons voir à l'oeil nu, comme par exemple les rayonnements infrarouge et ultraviolet (voir exercice 'Fausses couleurs').

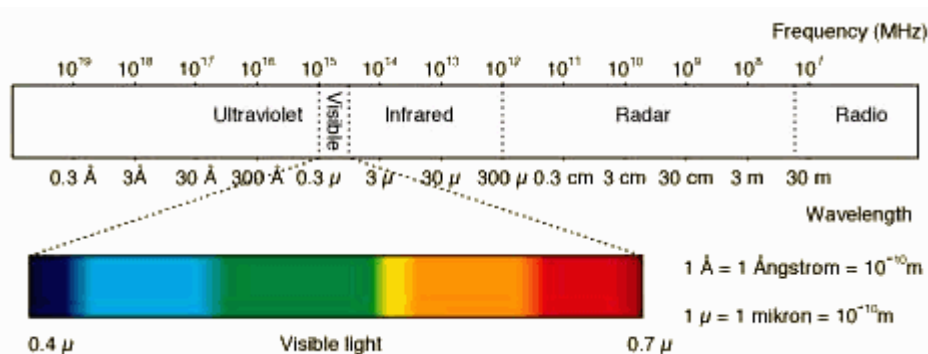
Le satellite envoie ces mesures sous forme d'une série de chiffres vers la Terre.

Sur Terre, les chiffres sont **convertis par l'ordinateur** en pixels ou éléments d'image, qui ensemble forment l'image.

Couleurs vraies

Nous avons vu dans les exercices précédents que les images satellites ont parfois d'étranges couleurs. L'utilisation et la signification des couleurs des images satellites peuvent, selon les cas, diverger considérablement. Ainsi, l'eau bleue peut très bien apparaître en rouge, par exemple.

La lumière émise par le soleil semble incolore mais ce n'est pas le cas. Cette lumière se compose en réalité de nombreuses couleurs, qu'on peut retrouver dans un arc-en-ciel. Ces couleurs forment la partie visible du **spectre électromagnétique**.



Mais la lumière visible ne représente qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique. En plus de la lumière rouge que nous voyons à l'aide de nos yeux, il existe une lumière solaire infrarouge, généralement désignée par l'abréviation 'IR'. Une faible proportion de cette 'lumière' est d'ailleurs perceptible: il s'agit de la chaleur du soleil! Il existe également un type de lumière mauve particulier qui n'est pas décelable à l'œil nu : la lumière solaire ultraviolette généralement désignée par l'abréviation UV. Tout comme la lumière infrarouge, nous ne voyons pas la lumière UV mais nous pouvons la sentir. Les lumières UV et IR ne peuvent pas être photographiées à l'aide d'un appareil photo et d'une pellicule ordinaires. Néanmoins, ces lumières peuvent être rendues visibles par des pellicules ou des capteurs appropriés.

En télédétection, on a souvent recours à d'autres rayonnements que la lumière visible. En fonction des capteurs dont il est pourvu, un satellite peut effectuer des mesures dans **certaines parties bien définies du spectre électromagnétique**. Certains capteurs ne sont en effet sensibles qu'au rouge, au bleu, au vert ou même à la lumière IR et UV. Un capteur sensible à la lumière bleue ne mesurera que la lumière bleue réfléctée par les objets sur Terre. Si le capteur est sensible à la lumière IR, il mesurera alors la quantité de rayonnement IR pour chaque pixel. Ces observations sont mémorisées séparément. On parle ainsi d'une **bande spectrale** bleue ou d'une bande spectrale IR (ou bande IR).



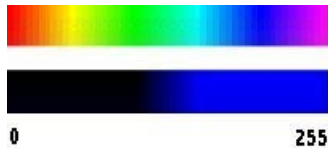
La Meuse, Anseremme
Bande bleue Landsat ETM+
Copyright © 1999 USGS

Observons à présent une seule bande. Comme tu l'as vu à l'exercice 'Chiffres', les valeurs de réflexion de l'image se situent entre 0 et 255.

L'image ci-contre est une image d'Anseremme, au sud de Dinant, enregistrée dans la bande comprenant les mesures de la lumière bleue.

Sur cette image, nous observons la quantité de lumière bleue mesurée à cet endroit le 18 octobre 1999.

Tu peux constater que le capteur a mesuré de la lumière bleue partout, malgré le fait qu'il n'y ait que peu d'objets bleus dans le paysage. Ce phénomène provient du fait que le bleu est présent dans de nombreuses couleurs.

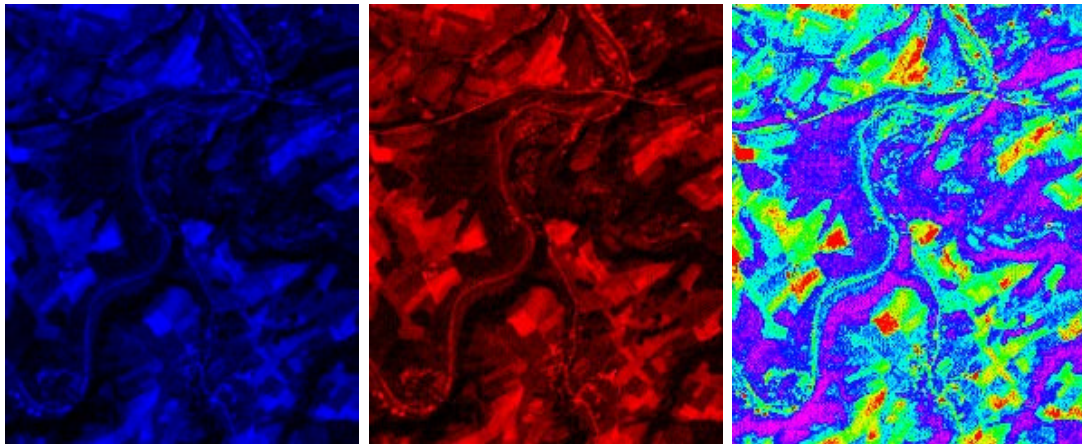


Cette figure indique la proportion de lumière bleue présente dans chaque couleur. Un capteur sensible à la lumière bleue mesure la proportion de lumière bleue dans tous les types de lumière et donc pas uniquement dans ce que nous percevons comme bleu.

La figure indique clairement que les objets bleus possèdent bien entendu une valeur élevée, mais c'est également le cas des objets mauves!

Les valeurs enregistrées sont représentées par des valeurs de grisés. Si la quantité de lumière bleue mesurée est faible, la valeur enregistrée est petite, et le pixel sera représenté en gris foncé.

Les programmes de traitement d'images permettent d'attribuer une couleur à ces tons gris. Il semble logique de colorer en bleu les mesures de la lumière bleue. Mais il est également possible d'attribuer à ces tons une couleur rouge ou verte, voire même différentes couleurs. Si on colore cette image en bleu, les valeurs peu élevées sont toujours noires (ou foncées) mais les valeurs élevées sont maintenant bleues. Plus l'endroit sur l'image était initialement blanc, plus sa couleur bleue sera claire. Même si l'image a pris un aspect totalement différent, il ne faut pas oublier que l'image satellite avec laquelle nous travaillons est la même.



Bande bleue de l'image d'Anseremme représentée en bleu, en rouge et en plusieurs couleurs

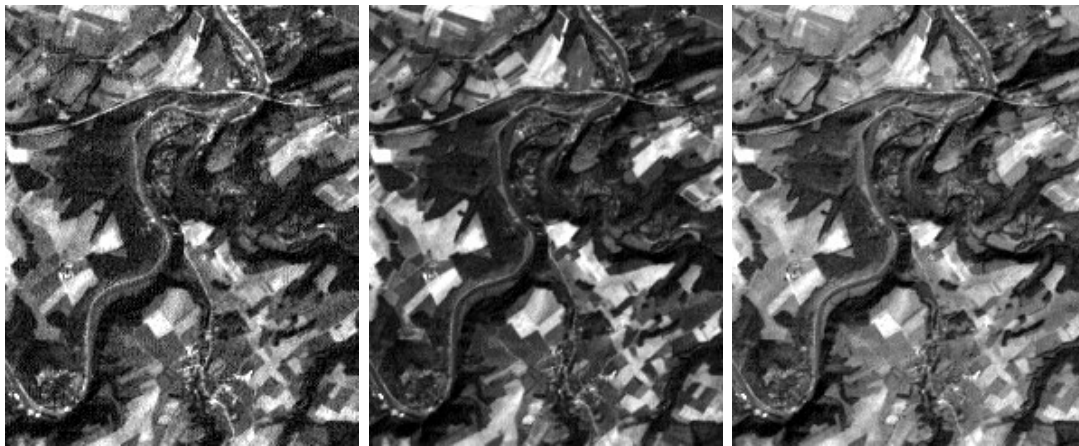
L' image multicolore est obtenue en utilisant le mauve pour les nombres peu élevés, le rouge pour les valeurs élevées, et l'ensemble des couleurs de l'arc-en-ciel pour les valeurs intermédiaires. Cette image est méconnaissable. Les couleurs ne correspondent pas à la réalité mais elles font davantage ressortir les différentes valeurs. Cependant, les valeurs de pixels sont toujours les mêmes.

Nous pouvons donc attribuer n'importe quelle couleur aux images. Nous pouvons attribuer à la bande la couleur de la bande à proprement parler (bande bleue dans une couleur bleue, bande rouge dans une couleur rouge), mais nous pouvons également lui attribuer d'autres couleurs.

Nous voulons à présent obtenir une belle image en couleurs sur laquelle les couleurs correspondent aux couleurs du paysage. Pour ce faire, nous avons besoin des enregistrements dans trois bandes spectrales.

A la page suivante, tu peux observer les trois bandes (respectivement bleu, rouge et vert). Tu vois clairement que chaque bande comprend d'autres éléments qui présentent des tons foncés et des tons clairs.

Grâce à un programme de traitement d'images, nous pouvons attribuer à chacune de ces bandes une des trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu) et combiner les trois bandes en une nouvelle image, une composition colorée.



Bande bleue, bande rouge et bande verte de l'image Landsat ETM+ d'Anseremme - Copyright © 1999 USGS

Pour chaque pixel, l'ordinateur mélange les proportions de rouge, de vert et de bleu ainsi obtenues et fournit une image en couleur. En effet, en combinant les lumières bleue, verte et rouge, on peut obtenir une lumière de n'importe quelle autre couleur. Par exemple, la combinaison des lumières bleue et rouge donne une lumière mauve, la combinaison des lumières verte et rouge donne une lumière jaune, la combinaison des lumières bleue, verte et rouge donne une lumière 'blanche'. Ces combinaisons donnent évidemment des résultats différents lorsque tu mélanges de la peinture.

Lorsque nous attribuons la **couleur rouge à la bande rouge**, la **couleur bleue à la bande bleue** et la **couleur verte à la bande verte** et que nous combinons ces trois bandes, nous voyons apparaître les couleurs 'réelles'. C'est la raison pour laquelle ces combinaisons sont appelées des **images en couleurs 'vraies'**.



Composition couleurs vraies

Cette image ressemble à une photo en couleurs. La différence n'est pas bien grande car, sur cette image, la plupart des couleurs correspondent à la réalité. Cependant, cette image n'a pas été produite de la même manière qu'une photo. On a utilisé trois fichiers différents de mesures et on a ensuite combiné ces fichiers en une seule image. Une photo n'est créée qu'à l'aide d'une seule pellicule photographique.

Outre les compositions en couleurs vraies, il existe également des compositions colorées qui utilisent d'autres couleurs. Dans la plupart des compositions colorées, les couleurs sont 'fausses' ou 'artificielles'. En d'autres termes, ce ne sont pas les mêmes couleurs que celles que nos yeux distinguent.



Composition fausses couleurs

Observons à présent les mêmes données recueillies à Anseremme dans une autre composition colorée à base de **'fausses' couleurs**. L'image est dominée par le rouge. Sur ce type d'image, les arbres verts apparaissent souvent en rouge. Une plage jaune peut être représentée en bleu, l'eau en noir...

Il est étonnant de constater que ces images 'bizarres' sont les plus utilisées.

Sur quelle image distingue-t-on la Meuse le plus clairement ? Exactement : sur l'image 'rouge'.

L'utilisation de la lumière infrarouge nous permet de rendre visibles certains éléments qui, en temps normal, ne le sont pas, tels que la chaleur par exemple, ou de distinguer plus nettement certains éléments.

Partie IV. Fausses couleurs

Sur la page suivante, nous avons placé l'une à côté de l'autre une composition en couleurs vraies et une composition en fausses couleurs. Il s'agit de compositions colorées représentant la Forêt de Soignes, dans la périphérie bruxelloise. La Forêt de Soignes est la grande tache au centre de l'image. Dans le coin supérieur gauche de l'image, on voit une partie de l'agglomération bruxelloise.

L'image de gauche est une composition en vraies couleurs; la forêt est donc représentée en vert foncé, les pâturages et les terres cultivables en vert, les sols nus en blanc et les zones habitées en gris. A droite par contre, l'image est une composition colorée 'fausse couleurs'. La forêt qui entoure la ville n'est pas représentée en vert mais en rouge! Les sols nus sont bleus et les zones habitées sont représentées en bleu gris. Sur le plan des couleurs, l'image de gauche semble beaucoup plus 'réelle' que celle de droite.

Cependant, les images de télédétection telles que l'image de droite sont les plus souvent utilisées. Cet exercice va nous apprendre pourquoi.

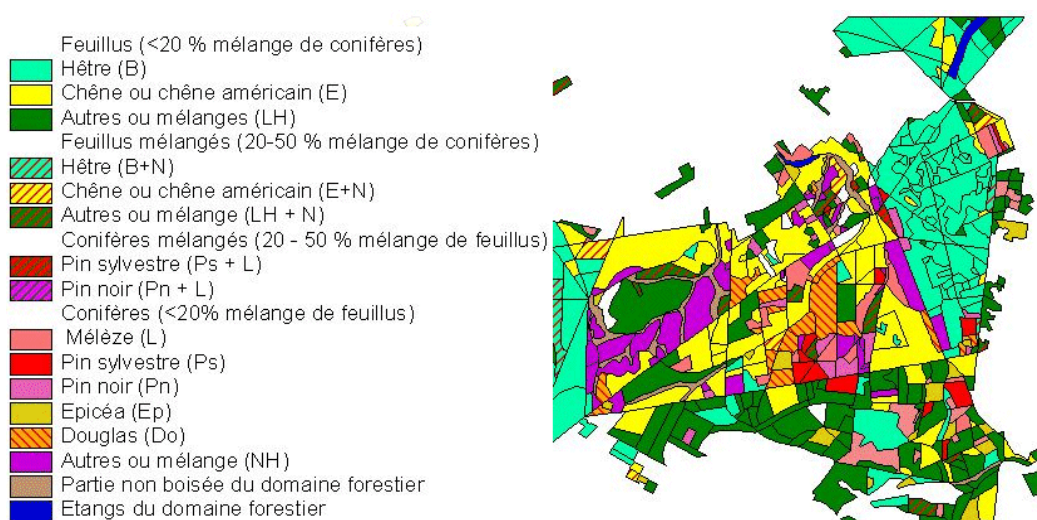
Imagine que tu doives dresser une carte de la Forêt de Soignes et de ses environs. Quels éléments devraient figurer sur cette carte?

Les routes qui traversent la forêt doivent être représentées. Mais cela ne suffit pas. On doit savoir, d'une part, si la forêt contient des rivières ou des étangs et, d'autre part, à quels endroits se trouvent les différentes sortes d'arbres (hêtres, chênes, pins, etc.) qui peuplent la forêt.

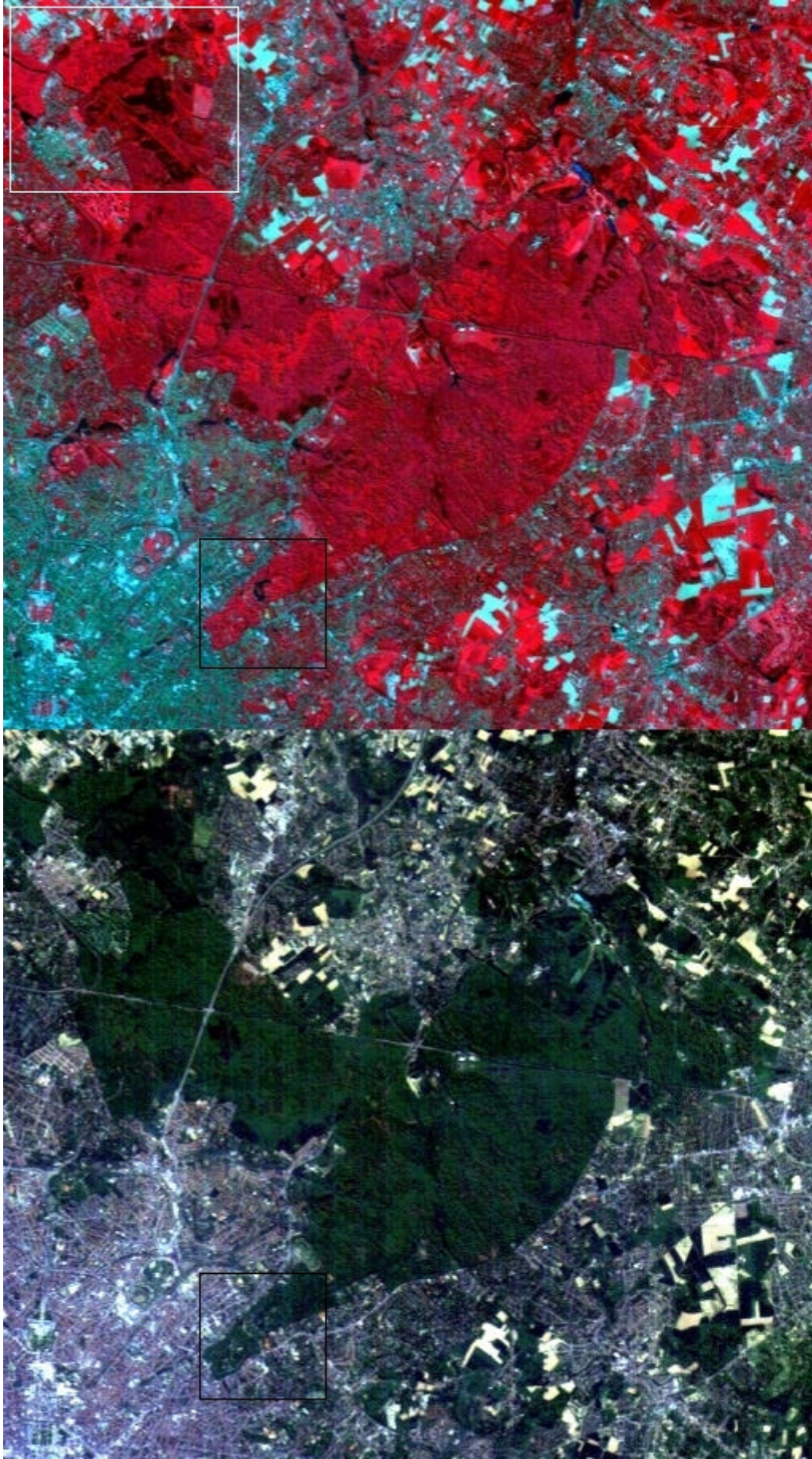
En examinant attentivement les deux images au niveau du Bois de la Cambre (zone entourée d'un carré noir), à l'aide de quelle image le cartographe dressera-t-il la carte de la forêt?

A l'aide de l'image de droite, la composition en fausses couleurs. En effet, sur cette image, il peut également distinguer l'étang dans la forêt: une petite tache noire se dessine nettement. Par conséquent, le cartographe pourra utiliser cette image pour dresser la carte des étangs situés dans la forêt, comme c'est le cas ici. Mais cette image lui permettra également de distinguer d'autres différences présentes dans la forêt. Examine les zones rouges de l'image. On peut y voir des tons rouges plus clairs et plus foncés. Ces différences de couleur représentent les différentes sortes d'arbres. Pour beaucoup d'applications, les images fausses couleurs fournissent davantage d'informations que les images couleurs vraies.

Compare la carte des peuplements ci-dessous avec la zone entourée en blanc de l'image.



Carte des peuplements (Tervueren)
Copyright © Vlaamse Gemeenschap



Forêt de Soignes - Landsat 5 TM

A gauche, composition vraies couleurs: bande 3 rouge – bande 2 vert – bande 1 bleu

A droite, composition fausses couleurs : bande 4 IR – bande 3 rouge – bande 2 vert

Copyright © 1992 ESA, Distributed by Eurimage

As-tu pu retrouver des similitudes?

Question 11 - Sur quelle partie de la carte trouve-t-on le pin appelé Douglas ? Dans quelle couleur ce type d'arbre est-il représenté sur l'image satellitaire?

A. Orange B. Bleu pâle C. Bleu foncé-noir D. Rouge foncé

Comment expliquer le fait que ces images en fausses couleurs nous permettent d'observer davantage que les images en couleurs vraies?

Pour obtenir une image en couleurs vraies, on combine trois bandes: on attribue

- la couleur bleue aux mesures de la lumière bleue;
- la couleur verte aux mesures de la lumière verte;
- la couleur rouge aux mesures de la lumière rouge.

L'image créée ressemble fortement à une photo en couleurs. C'est la raison pour laquelle nous désignons ce type d'images par le terme 'composition en vraies couleurs'.

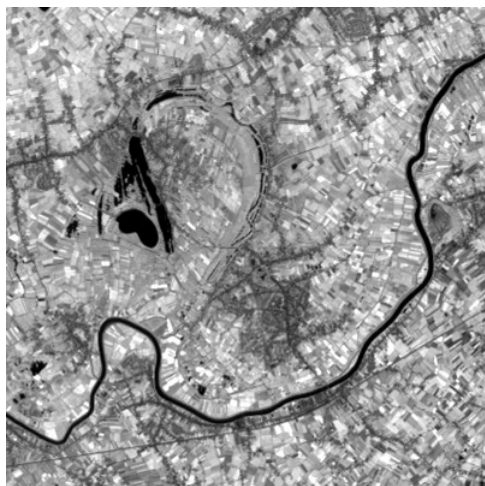
Nous avons vu qu'il était possible d'attribuer n'importe quelle couleur aux bandes. Cela peut paraître bizarre mais, dans de nombreux cas, cela permet de rendre visibles certains éléments que nous ne pouvons pas distinguer à l'œil nu ou que nous voyons particulièrement mal. Toute image satellite qui possède des couleurs étranges est appelée image en fausses couleurs ou composition en fausses couleurs.

Une composition en couleurs vraies ne pourra jamais rendre que l'information enregistrée pour les bandes bleues, vertes et rouges. Cependant, la plupart des satellites sont équipés de capteurs qui sont également sensible à des types de lumière invisibles pour l'homme (comme par exemple la lumière infrarouge ou ultraviolette). Comment peut-on par exemple utiliser l'information de la bande infrarouge ?

Tout comme pour les autres types de lumière, le capteur mesure la lumière infrarouge de chaque pixel. Pour chaque pixel, un nombre donné correspond à la lumière infrarouge. Plus le nombre est élevé, plus la proportion de lumière infrarouge mesurée est importante. Ainsi, les nombres mesurés pour l'eau par le satellite seront radicalement différents des nombres se rapportant aux forêts. De même, les prairies réfléchissent des quantités de lumière infrarouge différentes de celles réfléchies par les forêts, même si leur couleur (le vert) est identique.

Lorsque nous transposerons ces nombres en images via l'ordinateur, la couleur des prairies sera différente de celle des forêts. Parfois, la différence est telle que les valeurs IR mesurées sur des arbres feuillus malades diffèrent de celles mesurées sur les arbres sains. Voilà comment l'invisible devient visible.

L'image ci-dessous est une représentation en valeurs de grisés des mesures dans la bande infrarouge de la région qui entoure le Donkmeer, un lac en Flandre orientale



Donkmeer Berlare
Bande IR de l'image Spot HRV, juillet 1995
© 1995 CNES, Distribution by Spot Image

Question 12 - Le Donkmeer est très sombre sur l'image. Qu'est-ce que cela signifie?

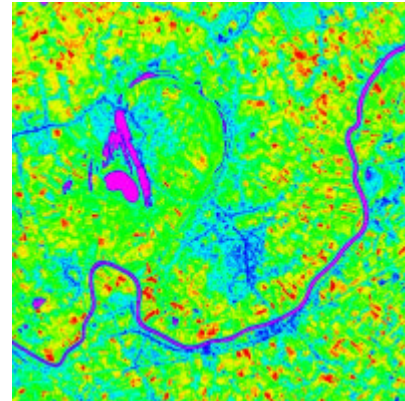
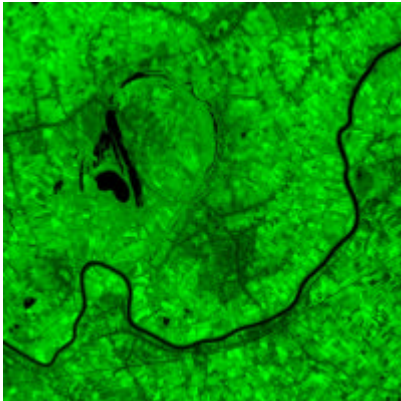
A. La rivière et le lac dégagent énormément de lumière infrarouge: une quantité importante de lumière infrarouge est réfléchi.

B. La rivière et le lac ne dégagent que peu de lumière infrarouge: une faible quantité de lumière infrarouge est réfléchi.

C. Comme l'eau est bleue, la quantité de lumière infrarouge dégagée est bien entendu nulle.

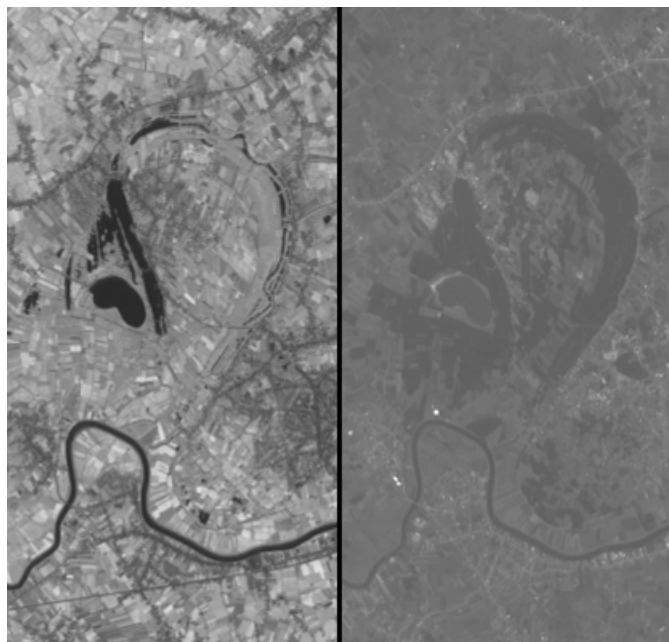
D. Ici, la quantité de lumière infrarouge n'est pas mesurée. La photo indique simplement l'endroit où se trouve le lac

Les couleurs sombres signifient en général qu'un phénomène est très présent, mais, pour les images de télédétection, c'est justement l'inverse. Pour ces images, il faut penser: plus c'est sombre, moins il y en a. La même image peut très bien être représentée en valeurs de vert ou en pseudo-couleurs, plutôt qu'en valeurs de grisés:



Bande IR de l'image SPOT HRV du Donkmeer représentée en tonalités de vert et en plusieurs couleurs

Comparons maintenant une partie de la bande infrarouge avec la bande verte. Sur l'image infrarouge (ci-dessous à gauche), on distingue nettement l'Escaut et le Donkmeer. Sur l'image représentant la lumière verte (à droite), le contraste entre la rivière et l'environnement est moins marqué.



Bande IR et bande verte de l'image SPOT HRV du Donkmeer

Donc, si on souhaite obtenir une image sur laquelle l'eau doit être visible, l'image infrarouge sera beaucoup plus utile.

Qu'en est-il des autres 'objets'? Sur une photo en couleurs ou sur une image satellite en couleurs vraies, il sera extrêmement difficile de trouver une grange verte dans une prairie verte, pour la bonne et simple raison qu'elles sont toutes les deux vertes. Par contre, une image infrarouge permettra de distinguer nettement la différence entre une prairie verte et une grange verte (ou un bunker militaire vert). Sur l'image infrarouge, la grange verte et la prairie verte seront représentées par des couleurs différentes parce qu'il s'agit de matériaux différents, qui réfléchiront différemment la lumière infrarouge. De même, différents types de végétaux tels que le maïs et les pommes de terre peuvent apparaître dans des couleurs différentes sur une image IR, malgré le fait que le maïs et les pommes de terre soient deux végétaux et qu'ils soient tous deux verts. Les images infrarouges sont notamment utilisées dans le secteur de l'agriculture, par exemple dans

le cadre de subventions octroyées par l'Union européenne. L'UE offre des subventions aux agriculteurs s'ils cultivent le maïs, et l'objectif consiste bien entendu à vérifier si un agriculteur qui prétend cultiver le maïs le cultive effectivement. Grâce aux images de télédétection, ces contrôles peuvent être effectués rapidement et de façon peu onéreuse.

A l'aide d'un programme de traitement d'images, on peut facilement créer une image fausses couleurs dans laquelle les données enregistrées dans la bande infrarouge sont utilisées. Si on attribue

- la couleur bleue aux mesures de la lumière verte;
- la couleur verte aux mesures de la lumière rouge;
- la couleur rouge aux mesures de la lumière infrarouge,

on obtient l'image ci-dessous, qui, comme tu peux le constater fournit davantage de détails.

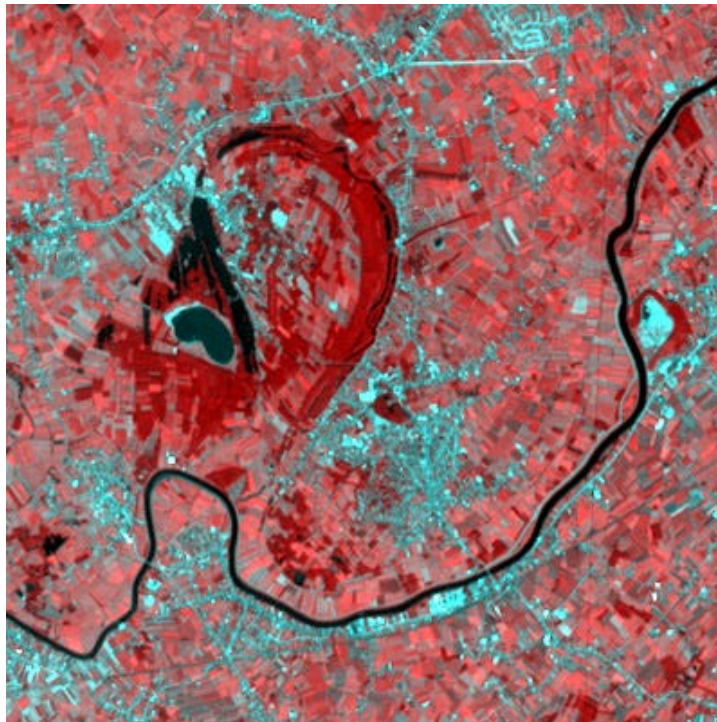


Image SPOT HRV Donkmeer - Composition fausses couleurs

Nous avons recours à cette sorte d'images en fausses couleurs pour déterminer l'utilisation du sol. En effet, une image en fausses couleurs permet une observation beaucoup plus claire qu'une image en vraies couleurs.

On peut évidemment créer d'autres combinaisons de couleurs, mais les spécialistes de la télédétection utilisent souvent cette méthode de glissement des couleurs.

Résumé

Nous avons appris à distinguer trois types d'images de télédétection en couleurs:

- ◆ Les images de télédétection avec la palette arc-en-ciel. Ces images sont créées à partir des données stockées sur une bande donnée. Ces couleurs de l'arc-en-ciel sont parfois appelées '**pseudo-couleurs**'.
- ◆ **Images en vraies couleurs**: il s'agit de compositions colorées qui ressemblent à des photos en couleurs. Sur ces images, la lumière rouge est tout simplement rouge, la lumière bleue est bleue et la lumière verte est verte.
- ◆ **Images en fausses couleurs**: il s'agit des compositions colorées dont toutes les couleurs ont subi un 'glissement'. Une des compositions en fausses couleurs fréquemment utilisée est composée de la bande proche infrarouge, de la bande rouge et de la bande verte, représentées respectivement en rouge, vert et bleu. Ce type d'images permet par exemple la distinction entre les pommes de terre et les betteraves dans un champ.

Réponses

- 1 D. 28800 km/heure càd 8 km par seconde.**
Ce qui équivaut à Amsterdam-Paris en 1 minute!
Finalement, nous pouvons comparer les satellites à des sortes de bolides filant sans chauffeur.
- 2 D. D'ouest en est.**
Le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest ce qui signifie que la Terre tourne d'ouest en est. Pour maintenir un satellite 'immobile' au-dessus de la Terre, il doit tourner dans le même sens que la Terre.
- 3 A. Les satellites espions sont toujours polaires.**
Ils enregistrent ainsi de nombreux détails et ils tournent par ailleurs toujours au-dessus d'une nouvelle région. Voilà ce que recherche précisément l'espionnage.
- 4 B. Les satellites de télécommunications sont géostationnaires.**
Ils doivent continuellement émettre un signal vers les mêmes régions.
- 5 C. Une image 'créée' par l'ordinateur d'une partie de la surface terrestre.**
C'est effectivement peut-être la meilleure description d'une image obtenue par satellite. En effet, une telle image a été créée parce que la lumière et les rayons qui sont réfléchis par la Terre sont traduits en image par un ordinateur.
- 6 C. Les couleurs de cette image sont bizarres.**
Les couleurs de cette image ne sont en effet pas les mêmes que celles que vous voyez avec vos yeux.
- 7 C. Presque toutes les zones blanches sur la carte topographique sont rouge vif sur l'image satellitaire.**
- 8 B. 6 kilomètres = 200 x 30m = 6000 mètres.**
- 9 B. Des valeurs basses: indique que cette zone renvoie peu de lumière.**
Ceci est la seule chose que l'on peut déduire avec certitude. On ne peut pas encore savoir la nature de cette zone. Il existe différents éléments sur Terre qui renvoient peu de lumière.
- 10 D. Non, car la plupart du temps les fleuves et les rivières sont beaucoup plus petits que 2,5 km.**
Mis à part quelques fleuves énormes (comme l'Amazone au Brésil), les fleuves et les rivières sont trop petits pour Météosat. Leur apport pour le pixel est souvent insuffisant. Par contre, on voit le plus souvent les grands lacs.
- 11 D. Rouge foncé.**
Les pins Douglas sont des conifères et réfléchissent moins de lumière infrarouge que les arbres feuillus tels que les hêtres et les chênes. De plus, de par leur forme, les aiguilles des résineux réfléchissent la lumière (visible et IR) d'une manière plus diffuse (multidirectionnelle) que les feuilles plus plates des feuillus. C'est pourquoi, sur cette image satellite en fausses couleurs (où les mesures de la bande infrarouge sont représentées en rouge), les arbres feuillus apparaissent en rouge vif, tandis que les conifères apparaissent en rouge foncé, presque noir, alors que nos yeux les voient verts.
- 12 B. Tout comme la rivière, le lac ne dégage que peu de lumière infrarouge: une faible quantité de lumière infrarouge est réfléchi.**
Les couleurs sombres signifient en général qu'un phénomène est très présent, mais ce n'est malheureusement pas le cas pour les images de télédétection. C'est justement l'inverse. Pour ces images, il faut penser: plus c'est sombre, moins il y en a.