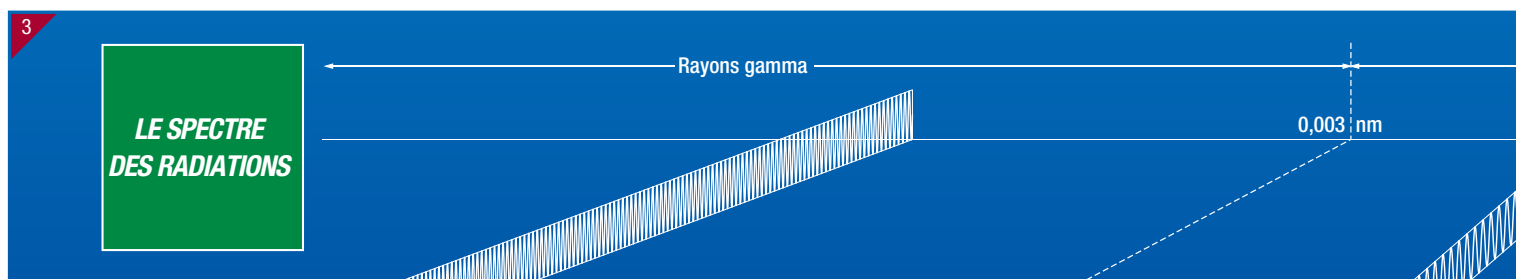
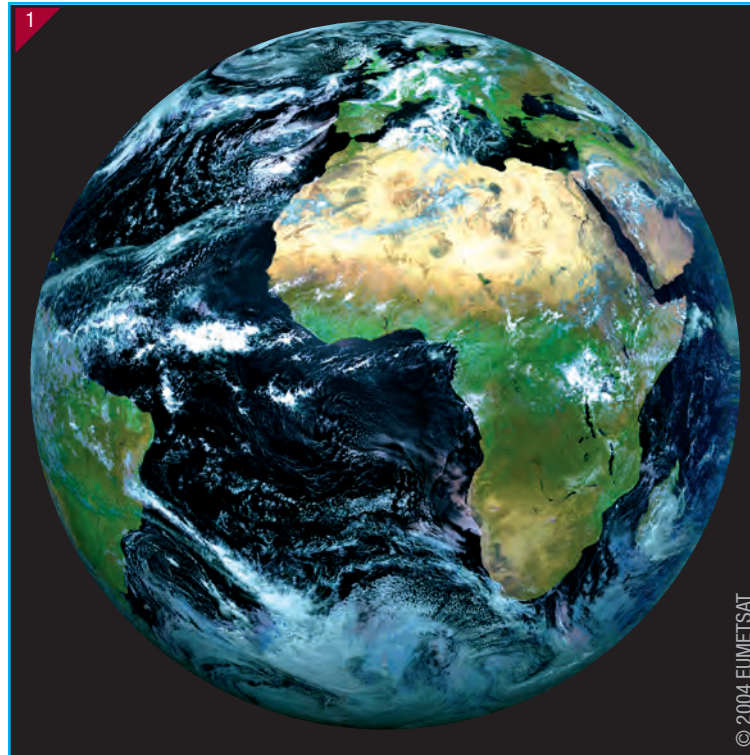




LA LUMIÈRE VISIBLE

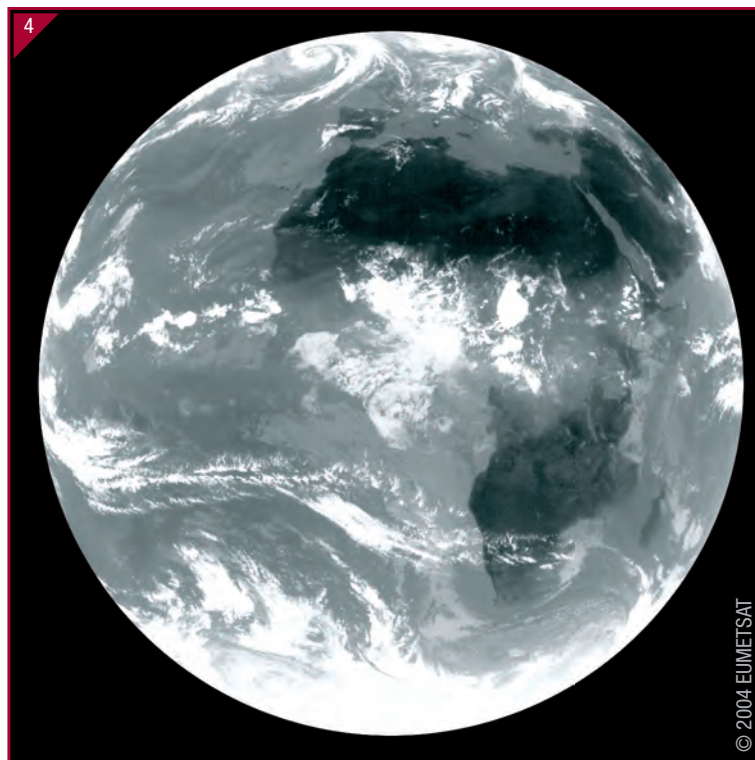
La lumière visible, émise par le Soleil nous apparaît comme de la lumière blanche. Elle est composée en réalité d'un mélange de couleurs «primaires», comme on peut le percevoir lors d'un arc en ciel ou lorsque cette lumière passe à travers un prisme de verre. Chacune de ces couleurs (rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet) a une longueur d'onde spécifique.

Les satellites d'observation de la Terre peuvent enregistrer grâce à leurs capteurs les différentes ondes émises ou réfléchies par la surface terrestre. En effet, il existe une grande variété d'ondes qui diffèrent selon leurs longueurs d'onde. L'œil humain perçoit seulement la lumière visible, c'est-à-dire une très petite fraction du spectre.



LES IMAGES INFRAROUGES ET THERMIQUES

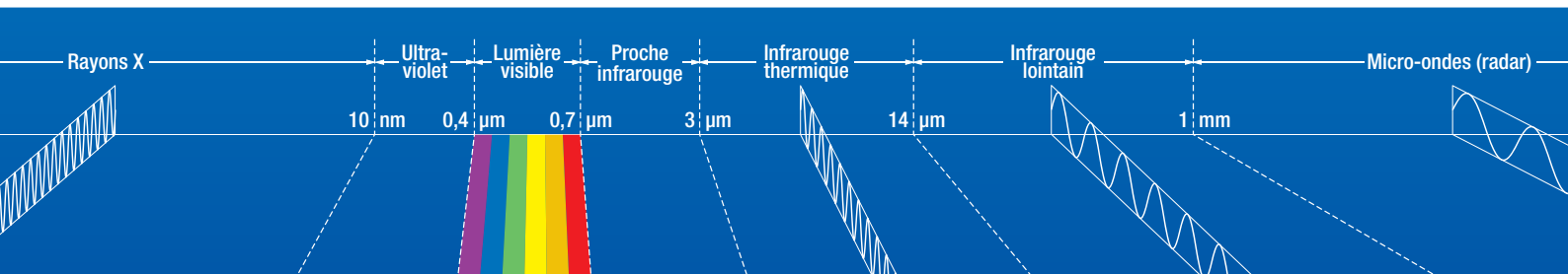
Les images en IR thermique ne sont en fait que la carte des températures de la surface terrestre. C'est pourquoi les images prises de nuit ne sont pas forcément noires comme c'est le cas pour les images du canal visible. Les surfaces chaudes comme les déserts sont très émettrices alors que les surfaces froides (nuages, glaces) le sont peu. On obtient ainsi des images sources où les nuages froids sont noirs et les déserts blancs. Elles sont ensuite présentées en négatif, comme ci-dessous, pour restituer les nuages en blanc comme le public en a l'habitude. Ce sont des satellites comme Meteosat qui disposent d'un canal thermique qui permettent ces observations. Ils donnent des informations importantes sur la température des nuages et sur la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère.



Images optiques

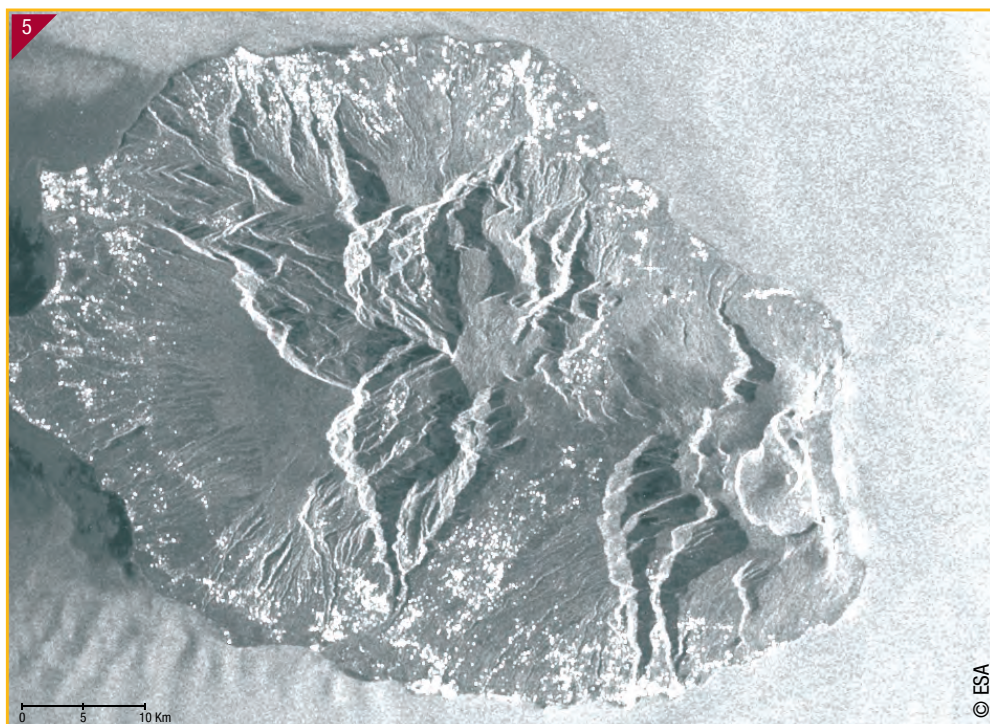
Mesures de températures

Ondes radar

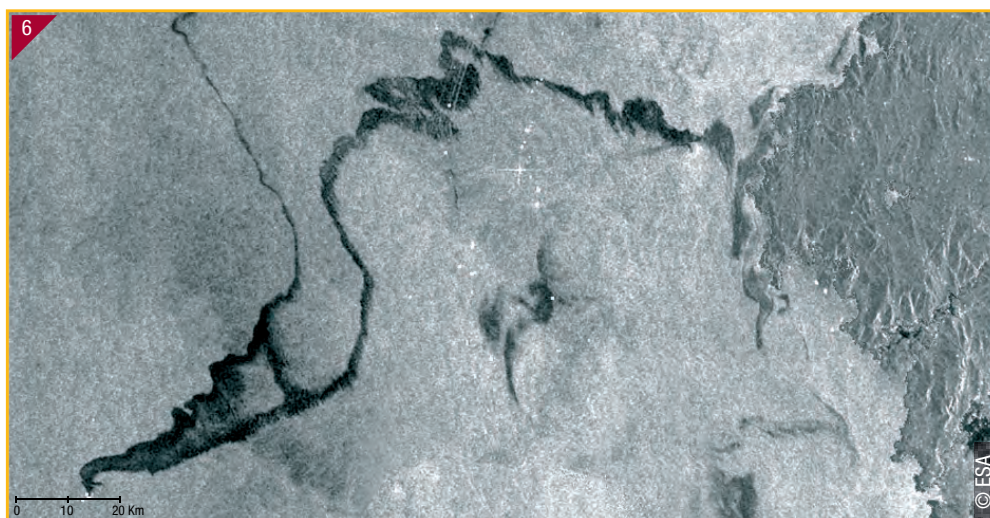


LES IMAGES RADAR

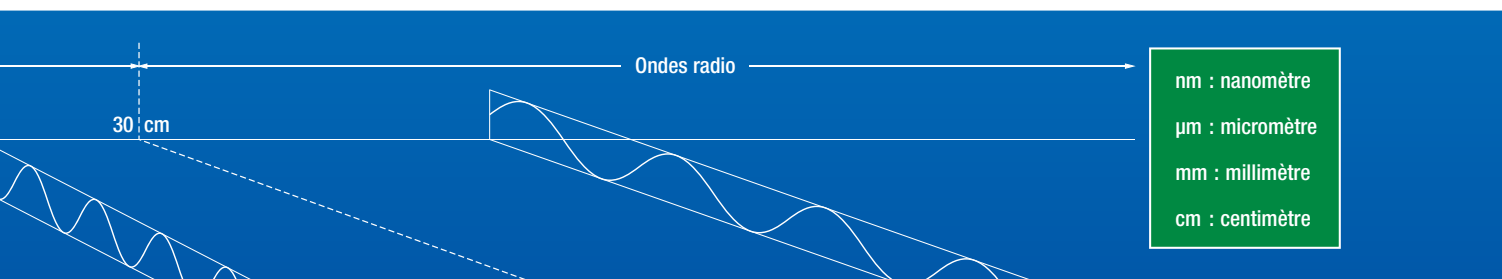
Une image radar est une image prise par un satellite équipé d'un radar, c'est à dire un instrument qui envoie un signal et en capte l'écho sur les objets et les reliefs de la surface du sol. Les images radar ne correspondent pas à ce que nos yeux sont habitués de voir dans la réalité. Ces images sont en noir et blanc car elle ne montrent que l'intensité du signal reçu en écho. En général, si la surface est lisse, le signal rebondit, ne revient pas vers le radar et la zone reste noire sur l'image. Au contraire, si la surface est rugueuse, très en relief, de nombreux rayons reviennent vers le radar qui les enregistre et cela produit des zones grises ou blanches selon l'intensité du relief.



Certains animaux comme les chauve-souris sont capables de percevoir les ondes radar, ce qui leur permet de se représenter le monde environnant sous forme d'image mentale restituant le relief, et non de simples images en couleurs comme les humains. Il existe d'autres longueurs d'onde, comme les rayons X ou les rayons infrarouges par exemple. Des instruments adaptés mesurent et reconstituent ensuite les images correspondantes que nous ne pouvons percevoir. Ces images sont aussi pertinentes et réelles que celles auxquelles nous sommes habitués.

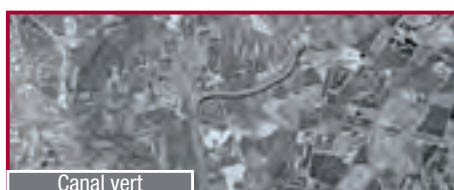


Les images radar peuvent être aussi utiles pour surveiller l'état de la mer : plus la mer est agitée, plus l'image sera claire. Sur cette image, on voit très bien l'étendue d'une nappe de pétrole car, comme l'huile, il est très lisse à la surface de la mer et atténue les vagues en surface. La zone de la nappe de pétrole est donc plutôt noire sur l'image.



LA COMBINAISON DES CANAUX POUR CRÉER UNE IMAGE COULEUR

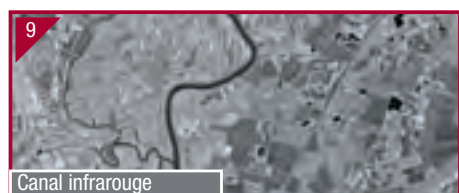
Les canaux de chaque couleur sont représentés en noir et blanc. Ils indiquent, dans une échelle allant du noir au blanc, c'est à dire du plus faible au plus fort, l'intensité de la réflexion dans chaque longueur d'onde. C'est en recomposant ces trois images noir et blanc, et en leur attribuant à chacune leur couleur, que l'on reconstitue l'image en couleurs naturelles.



On attribue à chaque canal sa couleur. La synthèse des 3 images permet de produire ensuite l'image en couleurs naturelles.



De façon artificielle, il est possible de décaler et de changer les couleurs choisies pour chaque canal. Pour créer une image intégrant les informations données par le canal infrarouge, (non visible par l'œil humain), on lui réserve par convention la couleur rouge. Le canal rouge se verra attribuer la couleur verte et le canal vert se verra attribuer la couleur bleue.



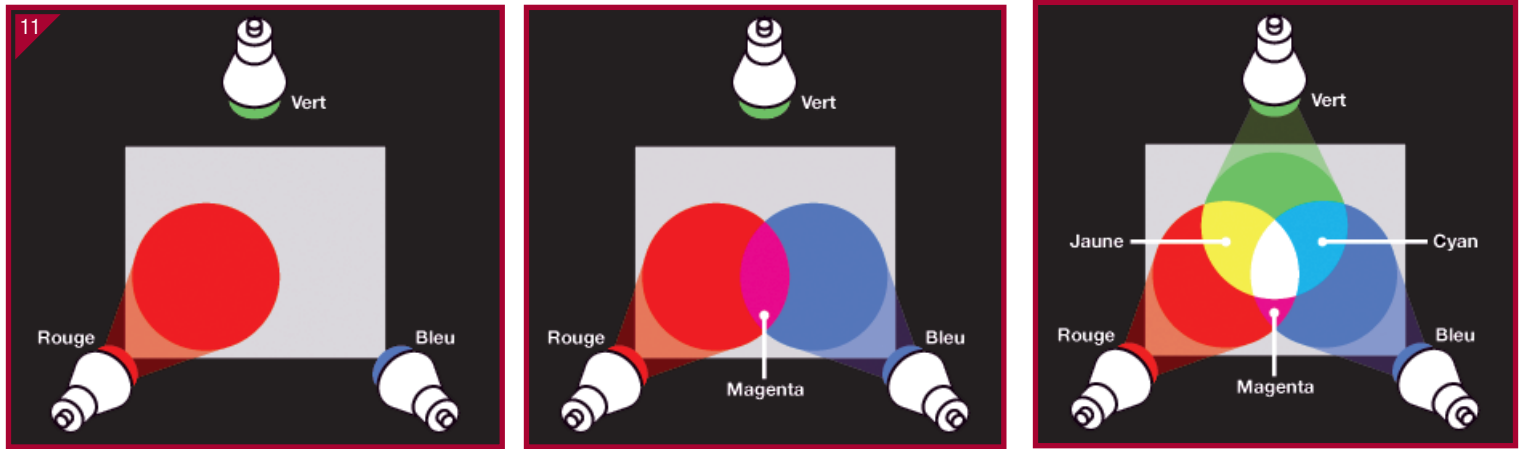
On attribue la couleur rouge au canal infrarouge, le vert au canal rouge, et le bleu au canal vert.



Les végétaux réfléchissent une plus grande quantité d'énergie dans l'infrarouge que dans le vert. L'utilisation de ce canal est donc efficace pour repérer la végétation et en révéler certaines variations. C'est pour cela que de nombreuses images satellites restituent la végétation en rouge.

Comment travaillent les satellites ?

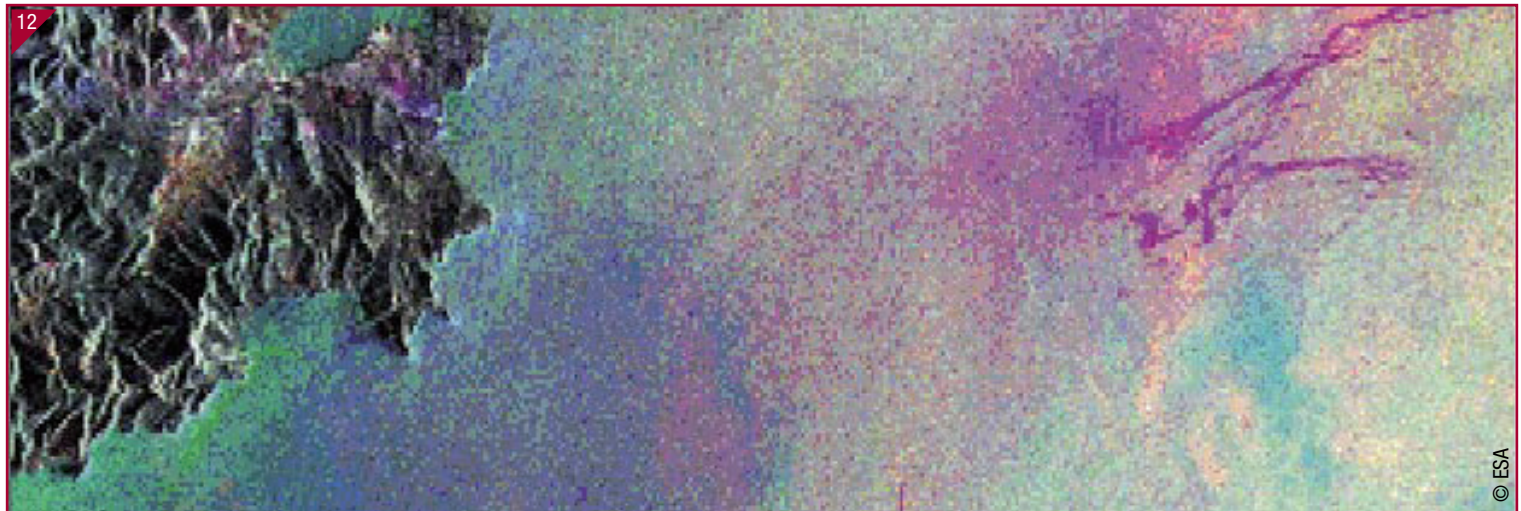
La synthèse additive des couleurs



On utilise, pour la photographie, les tubes de télévision et les écrans d'ordinateur, 3 couleurs primaires, le rouge, le vert et le bleu. Les combinaisons de ces couleurs deux à deux donnent le jaune, le magenta et le cyan. Toutes les nuances de couleurs peuvent être obtenues en combinant les trois couleurs primaires et en dosant l'intensité de chacune comme il faut.

Les images radar multitemporelles

En associant trois images radar, prises à trois dates différentes, et en attribuant à chacune une couleur primaire différente, on crée en les fusionnant une nouvelle image en couleur qui permettra de révéler les changements intervenus entre les différentes dates de prise de vues.



Superposition de trois images radar colorées.



Image prise avant la pollution.



Image avec la pollution au large.

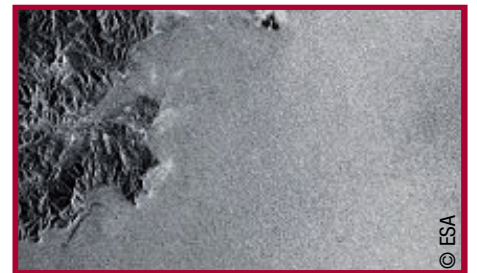


Image avec la pollution visible près de la côte en bas.

La nappe de pétrole a aplani la surface de la mer, et le signal radar renvoyé vers le satellite est donc très faible. La zone recouverte de pétrole apparaît donc noire sur ces images radar.

Informations pour les enseignants

Les fiches d'informations pour les enseignants sont conçues pour offrir un support lors de la préparation des cours. Elles viennent en complément des dossiers distribués aux élèves. Le professeur y trouvera une synthèse d'informations utiles à la présentation du sujet, des données complémentaires concernant les images satellitaires, une bibliographie et une liste d'adresses de sites traitant les sujets abordés.

Dossier N°11 : Les images satellites et leurs couleurs

Le dossier N°11 aborde les notions de lumière et de couleur.

Ce dossier permet :

- d'introduire la notion de longueur d'onde et de situer la lumière visible dans le spectre de radiations allant des rayons gamma aux ondes radio;
- d'évoquer le rayonnement infrarouge, les ondes radar, la synthèse additive des couleurs;
- d'évoquer la spécificité des images satellitaires et leurs différents traitements.



La vision et le traitement de la couleur

La lumière est une radiation émise par un corps porté à haute température ou excité par diverses formes d'énergie. Le Soleil émet ainsi de nombreuses radiations, mais seule une infime partie en est visible par l'œil humain. Les satellites disposent, eux, d'instruments qui permettent de capter ce qui nous est invisible comme les ondes infrarouges ou les micro-ondes utilisées par les radars. Pour produire une image, on doit traduire les mesures effectuées (dans différentes longueurs d'onde) par les instruments des satellites dans la palette des couleurs correspondant à la vision humaine. Les données captées par ces instruments ne sont en fait que des ensembles de chiffres qui traduisent une intensité du signal dans chaque longueur d'onde. Pour arriver à ces images imprimées dans des couleurs visibles, il faut donc un traitement complexe.

Qu'est-ce que la vision des couleurs ?

La lumière est une onde électromagnétique. Elle peut être pure (onde « monochromatique ») ou composée (onde « polychromatique »), telle la lumière du Soleil. Une onde monochromatique pure est caractérisée par un nombre appelé « longueur d'onde », qui s'exprime en nanomètres (en abrégé nm : un milliardième de mètre), et à chaque valeur de la longueur d'onde correspond une sensation précise de couleur pour l'œil humain :

Longueur d'onde	← 420 nm →	← 470 nm →	← 520 nm →	← 580 nm →	← 600 nm →	← 650 nm →
Perception colorée	← violette →	← bleue →	← verte →	← jaune →	← orangée →	← rouge →

Les ondes « ultraviolettes », de longueur d'onde inférieure à 380 nm environ, sont invisibles pour l'homme. De même pour les ondes « infrarouges », de longueur d'onde supérieure à 750 nm, ou pour les micro-ondes (longueur d'onde de l'ordre du cm à quelques dizaines de cm). La lumière du Soleil, telle que nous la recevons, filtrée par l'atmosphère terrestre, est constituée d'un mélange étendu d'ondes, allant d'environ 300 nm à 2500 nm (« fenêtre optique »), et de 10 à 150 cm environ (« fenêtre radio »).

La vision est une sensation. Elle est provoquée, au départ, par la réception de lumière par la rétine de l'œil. Le mécanisme de vision humaine des couleurs est extrêmement complexe. La rétine comporte trois types de cônes, dont les sensibilités maximales se situent respectivement à 420, 530 et 560 nm. Le cerveau procède par comparaison des stimuli envoyés par les différents types de cônes pour produire la sensation de couleur.

Comment les données sont-elles captées par les satellites, puis traitées ?

Certains satellites, dits « passifs », captent la lumière du Soleil telle qu'elle est ré-émise par les éléments présents à la surface de la Terre : ce sont les satellites qui travaillent en lumière visible et proche infrarouge. D'autres satellites, « actifs », envoient leurs propres ondes électromagnétiques vers la Terre et captent le signal ré-émis : c'est le cas des satellites radar dont les ondes ont l'avantage de traverser la couverture nuageuse.

Les capteurs qui équipent les satellites se présentent sous forme de barrettes rectilignes de détecteurs, chacun correspondant à 1 pixel de l'image finale. Ils sont sensibles à l'intensité de la lumière qui les touche, à une longueur d'onde donnée. Certains satellites, « monospectraux », ne travaillent que sur une bande très étroite de longueurs d'onde. D'autres sont « multispectraux », comme SPOT 4 et 5, et travaillent à des longueurs d'onde de 0,55 μm (vert-jaune), 0,65 μm (rouge) et 0,85 μm (proche infrarouge). On obtient finalement, pour chaque canal, une image « en niveaux de gris » qui peut être re-colorisée avec une valeur différente de la longueur d'onde du capteur : ainsi le canal infrarouge est-il colorisé en rouge, ce qui permet de le rendre artificiellement visible. Tout est alors décalé : l'infrarouge est restitué en rouge, le rouge en vert, et le vert en bleu. Enfin ces trois images, correspondant chacune à un canal, sont mélangées par synthèse additive. On obtient ainsi une image définitive, en « fausses couleurs ». Le code des couleurs adopté permet d'interpréter ces images : la végétation, qui absorbe peu les infrarouges, apparaît en rouge et les surfaces urbaines, qui absorbent beaucoup les infrarouges, apparaissent en bleu-cyan. Les images ainsi obtenues en synthèse additive sont visualisables sur un écran d'ordinateur ou de télévision. Pour obtenir une image sur papier, il faut encore procéder à une impression en quadrichromie, laquelle relève essentiellement de la synthèse soustractive.

Les images satellitaires

Page de couverture

Image de couverture : La région de Séville (Spot 5 - 2003)

Cette image restitue le canal infrarouge en rouge. La résolution est de 5 mètres. La zone représentée constitue une bande d'environ 70 Km de large. La ville de Séville est située au milieu, en bas de l'image. On y distingue le stade Olympique entre le canal Alphonse XIII et le Guadalquivir.

Dossier central

Image N°1 : Le globe terrestre (Météosat)

Le canal visible n'est pas seul employé pour réaliser cette image.

Les images Météosat en couleurs présentées habituellement sont en fait issues de trois images N&B prises dans trois canaux du satellite : le canal visible (longueur d'onde comprise 0,4 μm et 0,9 μm), le canal infrarouge (entre 10,5 μm et 12,5 μm) et le canal « vapeur d'eau » (infrarouges de longueur d'onde comprise entre 5 μm et 7,5 μm). Pour chaque longueur d'onde, le satellite produit une image dans une échelle de valeurs de gris. Leur combinaison permet ensuite artificiellement de recréer une image couleur qui mettra en valeur diverses formations tant au niveau des sols que des nuages.

Image N°2 : La région de Séville (Spot 5 – 2003)

Cette image est un détail agrandi de la vue générale de la région de Séville de la page de couverture. Le village situé au milieu de l'image dans la boucle du fleuve est La Algaba.

Les canaux spectraux du satellite Spot, travaillant à des longueurs d'onde comprises entre 0,55 μm et 0,85 μm , sont donc différents de ceux de Météosat.

Image N°4 : Le globe terrestre (Météosat – canal IR)

Cette vue montre l'image produite par un seul canal du satellite : le canal infrarouge thermique. Dans ce domaine (longueur d'onde autour de 10 μm), c'est essentiellement le rayonnement émis par la Terre et les nuages qui est capté, et non la lumière émise par le Soleil et réfléchi par la Terre. Ces images donnent des informations sur les conditions de température et sur la couverture nuageuse puisque les nuages se forment en altitude et sont plus froids.

Dans cette image en « niveaux de gris », les zones de faible intensité sont blanches afin de correspondre aux représentations habituelles du public (les nuages apparaissent ainsi en blanc).

Les images 5 et 6 sont des images radar. Elles sont produites par des capteurs dits « actifs » qui émettent un signal électromagnétique vers le sol et mesurent ensuite l'intensité de ce signal réfléchi par les obstacles rencontrés. Les radars ne dépendent donc pas de la lumière du Soleil et produisent des images de jour comme de nuit et indépendamment de la couverture nuageuse. Les images radar sont en noir et blanc parce qu'elles sont acquises sur une seule longueur d'onde électromagnétique d'environ 5,3 cm.

Image N°5 : L'île de La Réunion (Envisat / ASAR - Advanced Synthetic Aperture Radar - 2003)

Située à 645 Km à l'est de Madagascar, La Réunion est une île volcanique. Au sud-est, on distingue le Piton de la Fournaise (2631 m) qui a connu une centaine d'éruptions au cours des trois derniers siècles.

Lorsque la pente du relief est supérieure à l'angle d'incidence du signal radar, il se produit de véritables ombres radar qui masquent les éléments géographiques dans le dévers des pentes. On obtient ainsi des zones foncées ou noires sur l'image qui donnent une impression de relief, mais sans l'utilisation de stéréoscope.

Image N°6 : La marée noire du Prestige (Envisat / ASAR - 2002)

Le navire qui a été remorqué des côtes de la Galice vers le large a perdu son pétrole pendant le trajet. Les points blancs que l'on distingue près de l'origine de la nappe de pétrole sont le Prestige et les bateaux d'intervention présents sur la zone.

La présence du pétrole lourd en surface réduit fortement l'intensité des vagues et présente une étendue relativement lisse. Ces zones renvoient un signal très faible et apparaissent donc en noir. Les vagues, qui présentent une surface irrégulière, renvoient vers le satellite un signal de plus forte intensité et la surface de la mer apparaît en gris sur l'image. Les bateaux, qui présentent de nombreuses aspérités, forment des points blancs.

Page 5 - La combinaison des canaux pour créer une image couleur

Images N°7, 8, 9, 10 : La région de Séville (Spot 5 - 2003)

La décomposition de chaque image couleur en trois images sources permet d'illustrer comment les capteurs des satellites enregistrent simplement les niveaux de gris dans chaque bande spectrale. Le satellite Spot 5 dispose d'un canal pour les mesures infrarouges, mais ne dispose pas de canal pour le bleu.

Page 6 - « Comment travaillent les satellites ? »

Images N°12, 13 : Images radar d'une nappe de pétrole en mer

Il est possible de produire des images radar en couleur (une image composite multitemporelle) en combinant trois images simples correspondant à des dates différentes. Chaque date/image est affichée dans l'une des trois couleurs (rouge, vert ou bleu) et sont ensuite combinées entre elles pour produire une image couleur.

Ces images (a priori plus difficiles à interpréter) offrent l'avantage de mesurer l'évolution dans le temps de phénomènes et éventuellement d'en prévoir le développement futur. Dans le cas des nappes de pétrole en mer, on peut ainsi observer le parcours de la nappe et déterminer son trajet prévisible.

Ressources en ligne

www.esa.int
www.esa.int/SPECIALS/ESRIN_SITE/index.html

www.esa.int/eo
earth.esa.int/earthimages
www.earth.esa.int/education
www.eduspace.esa.int
www.cnes.fr

www.cnes-edu.org
www.spotimage.fr

SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

www.ac-creteil.fr/svt/Teledec/M910201/cocolter.htm
www.meteofrance.com/FR/glossaire/designation/1172_curieux_view.jsp
www.meteofrance.com/FR/glossaire/designation/438_curieux_view.jsp#440

RADAR

www.eduspace.esa.int/subtopic/default.asp?document=323&language=fr
telsat.belspo.be/beo/fr/guide/index.htm

SYNTHÈSE ADDITIVE DES COULEURS

www.colorimetrie.be

MARÉE NOIRE DU PRESTIGE

www.ifremer.fr/envlit/prestige/index.htm

Site de l'ESA (Agence spatiale européenne)
Site de l'ESRIN - Institut européen de recherches spatiales : centre de l'ESA dédié à l'Observation de la Terre
Site de l'Observation de la Terre de l'ESA
Galerie d'images satellitaires de l'ESA
Site éducation de l'ESA
Site éducatif de l'Observation de la Terre (EDUSPACE)
Site du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)
Présentation des missions et des activités du CNES
Site éducatif du CNES
Galerie d'image de SPOT IMAGE

Comprendre les images Météosat

Glossaire Météofrance : la lumière

Glossaire Météofrance : le rayonnement

Site EDUSPACE: Satellites de ressources/ Technologie radar

Telsat : Guide belge sur la télédétection (Radar / Traitement d'images)

Site consacré à la colorimétrie

Dossiers de l'Ifremer : environnement / surveillance. Le Prestige

Bibliographie

La science des couleurs
TDC, N° 922, 15 octobre 2006
CNDP, 2006

Les couleurs : un domaine partagé entre scientifiques et artistes qui s'interrogent sur leur nature, les phénomènes qui les créent et les moyens à mettre en œuvre pour les utiliser.

Images satellitaires



Conduite du projet pour l'ESA
Conception éditoriale
Rédaction et réalisation
Conseillers scientifiques (ESA)
Conseillers pédagogiques

Agostino de Agostini
Frédéric Létang / Patrice Desenne
Frédéric Létang
Isabelle Duvaux Béchon / Laurence Ghaye
Éric Janin / Jean Jandaly

Documentation
Graphisme
Illustrations

Production

Valérie Massignon - XYZèbre
Boris Uzan
Philippe Bouillon - Illustratek

Europimages - Alette Cremer

Dossier N°11 : Les images satellites et leurs couleurs

Après avoir lu et regardé attentivement le dossier, répondez aux questions suivantes :

1 – Comment est composée la lumière du Soleil ?

.....
.....

2 – Citez plusieurs types d’ondes que les satellites sont capables de détecter.

.....
.....

3 – Quels sont les rayons dont la longueur d’onde est la plus courte : les rayons ultraviolets ou les rayons infrarouges ?

.....
.....

4 – Sur une image en infrarouge thermique, que représentent les zones noires, que représentent les zones blanches ?

.....
.....
.....

5 – Sur une image radar, que représentent les zones noires, que représentent les zones blanches ?

.....
.....
.....

6 – Citez un exemple d’utilisation concrète des images radar.

.....
.....

7 – On dit que les satellites qui prennent des images en infrarouge sont “passifs”, alors que ceux qui prennent des images radar sont “actifs”. Justifier ces expressions.

.....
.....
.....

8 – Les images radar montrent-elles la « réalité » au même titre que les photographies classiques ou ce que nous percevons directement à l’œil nu ?

.....
.....
.....

9 – Pourquoi la végétation est-elle souvent rouge sur les images satellitaires ?

.....
.....

10 – Quelles couleurs peut-on obtenir par synthèse additive des couleurs primaires ?

.....