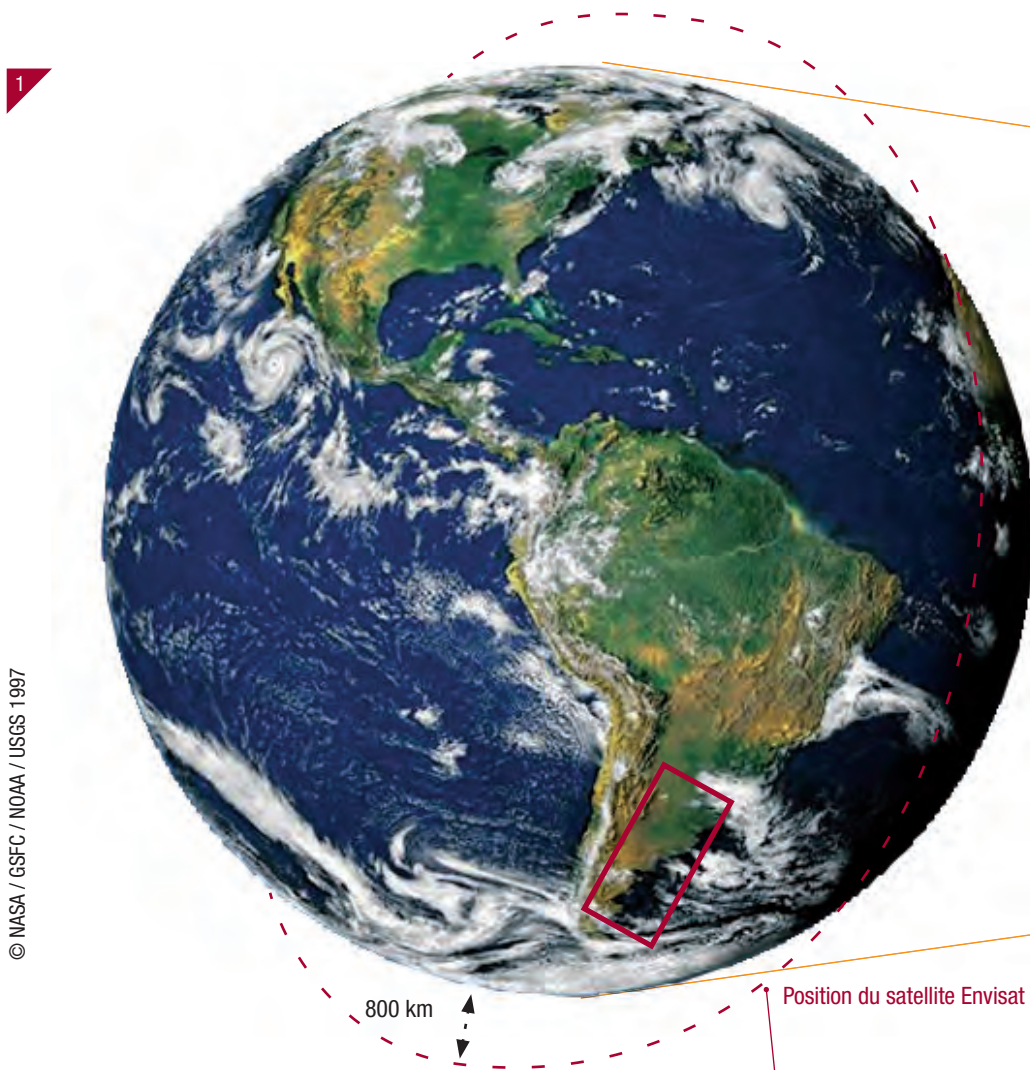


Sous le regard des satellites



1- Les satellites d'observation de la Terre

Il existe plusieurs types de satellites : les satellites de télédétection, comme Envisat ou Météosat, servent à observer la surface du globe terrestre et son atmosphère, quand d'autres familles de satellites sont dédiées à la communication, ou à la navigation (système GPS ou Galiléo). Parmi les satellites de télédétection, tous ne sont pas situés de la même façon dans l'espace. Leur parcours et leur éloignement de la Terre peut varier : L'image ci-dessous montre, par rapport à la Terre, les positions et les orbites de deux d'entre eux : Envisat et Météosat.

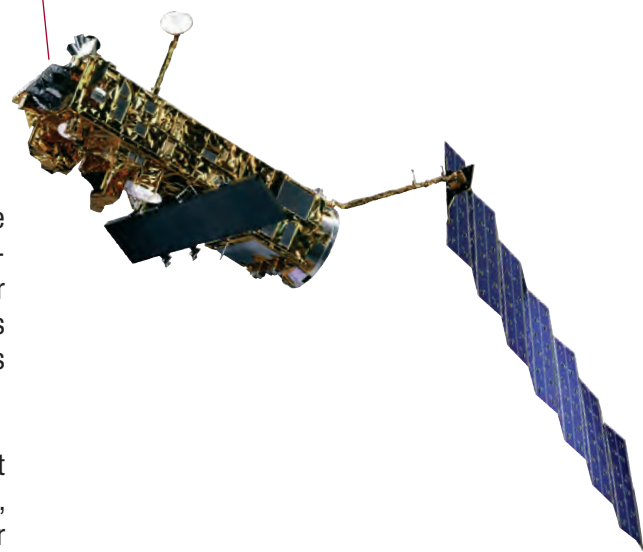


LES ORBITES POLAIRES

Ce sont des orbites circulaires situées à basse altitude. Par exemple, le satellite de l'Agence Spatiale Européenne ENVISAT tourne à une altitude d'environ 800 km. Ces satellites d'observation, à chacun de leur passage, survolent une zone de faible largeur (quelques dizaines ou quelques centaines de kilomètres), ce qui permet d'obtenir des images très détaillées selon les instruments embarqués à leur bord.

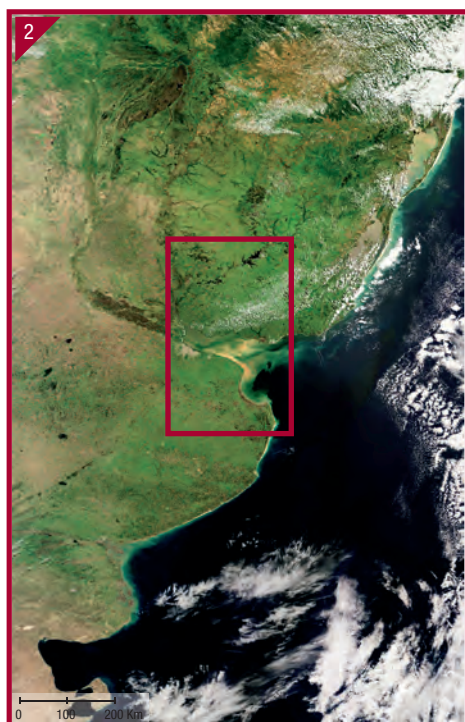
En 24 heures, ces satellites font plusieurs fois le tour de la Terre, en passant au-dessus des pôles. Le plan de leur orbite a une direction fixe dans l'espace, mais comme la Terre tourne sur elle-même, ils survolent donc à chacun de leur passage une zone différente.

Parmi de multiples applications, ils permettent ainsi de dessiner des cartes géographiques très précises ou de surveiller la variation de la couverture végétale suivant les saisons. Ils aident aussi, par exemple, à localiser et analyser des nuages de pollution atmosphérique ou des nappes de pollutions marines.



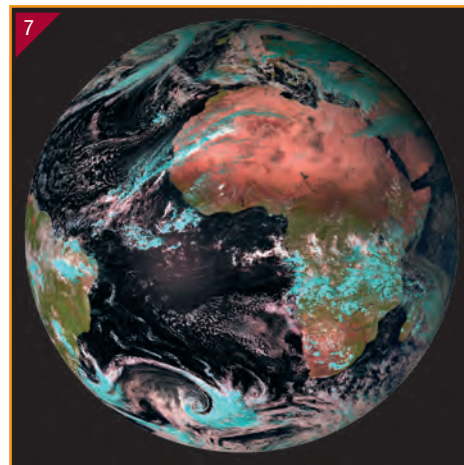
36000 km

Un exemple d'orbite polaire : le satellite Envisat



Les images d'un satellite comme Envisat peuvent fournir des informations très détaillées. En s'approchant de la côte atlantique de l'Argentine, on voit bien l'estuaire du Rio de la Plata où l'on distingue également en gris la ville de Buenos Aires.

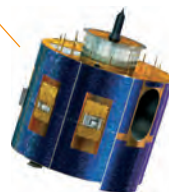
Un exemple d'orbite géostationnaire : le satellite Météosat



© 2004 EUMETSAT

Les satellites géostationnaires sont très loin de la Terre, comparés aux satellites placés en orbite basse. Ils fournissent donc des images très larges, mais relativement peu détaillées. Les images reçues sont en noir et blanc et leur traitement ultérieur en couleur révèle différentes informations comme les variations de température ou la localisation des masses nuageuses.

Position du satellite Météosat 7



LES ORBITES GÉOSTATIONNAIRES

Ce sont des orbites circulaires, à plus ou moins 36 000 km d'altitude, situées exactement dans le plan de l'équateur. Le satellite tourne en même temps que la Terre de façon à rester toujours au-dessus de la même région. Ce positionnement « géostationnaire » est indispensable pour observer l'évolution des phénomènes météorologiques et suivre le déplacement des masses nuageuses.

De plus, ils restent en contact permanent et direct avec les stations de réception au sol pour transmettre leurs données.

Les satellites européens Météosat fournissent les images bien connues présentées aux bulletins météo de la télévision. La plupart des satellites Météosat sont positionnés à 0° de longitude (au-dessus du Golfe de Guinée), de façon à bien couvrir l'Europe et l'Afrique.



La télédétection est l'observation à distance d'un objet sans contact physique avec ce dernier. C'est ce que font les satellites qui observent la Terre à distance. Pour les scientifiques, la télédétection est aujourd'hui une véritable science dont l'objectif principal est de découvrir et d'observer ce qui se passe à la surface de la Terre.

Quel que soit son « champ de vision », large ou réduit, au niveau d'un continent ou au cœur d'une ville, chaque satellite apporte des informations spécifiques et utiles.

VUE DE L'EUROPE PRISE PAR LE SATELLITE ENVISAT



Cette image prise par le satellite Envisat permet de distinguer les grandes unités du relief et les variations de la couverture végétale du continent européen.

VUE DE BUENOS AIRES PRISE PAR LE SATELLITE SPOT 5



Ces images de la ville de Buenos Aires prises par le satellite Spot 5 permettent de voir des détails très précis, de l'ordre de quelques mètres.

Comment travaillent les satellites ?

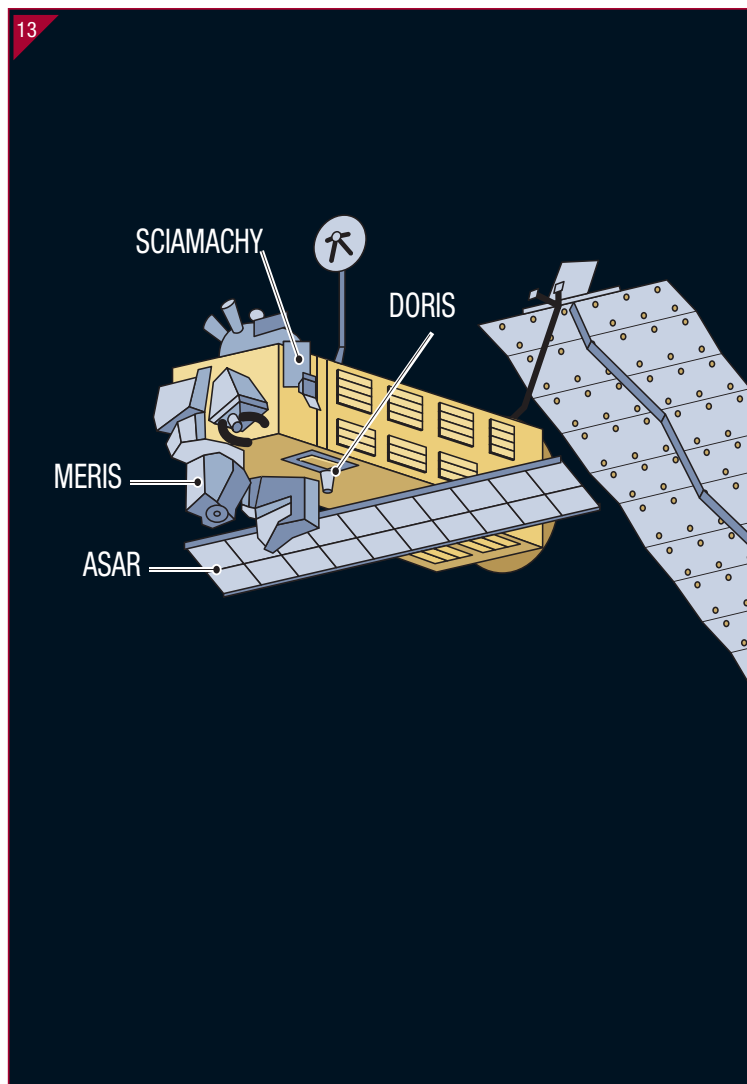
L'exemple du satellite Envisat



Envisat est un très grand satellite. Sa masse est de 8 200 kg dont 2 050 kg d'instruments, pour un encombrement - hors panneaux solaires - de 10m X 4m X 4m (la taille d'un gros camion environ).

10 instruments scientifiques différents sont embarqués sur le satellite Envisat. Ils permettent de recueillir des informations spécifiques. Ils portent des noms particuliers comme MERIS, ASAR ou SCIAMACHY. Les mesures de chacun de ces instruments permettent de reconstituer des images ou des graphiques qui délivrent une représentation adaptée aux phénomènes étudiés.

Quelques instruments du satellite Envisat

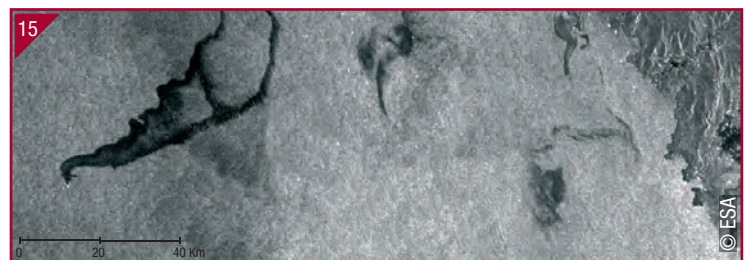


Le satellite Envisat comporte 10 instruments. Certains captent des images en lumière visible ou à l'aide de radars. D'autres, comme DORIS, sont destinés aux mesures altimétriques ainsi qu'au positionnement du satellite.



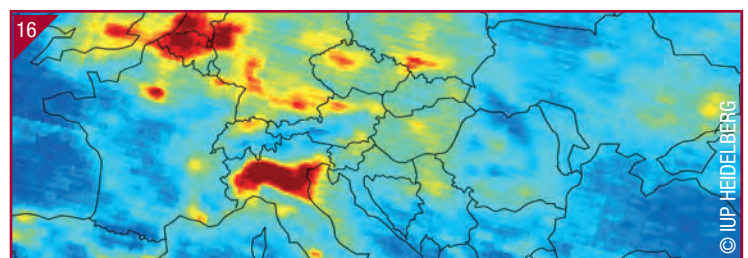
MERIS prend des images à la lumière du jour des océans et des terres émergées. Cet instrument mesure aussi la concentration en chlorophylle des océans ou la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère.

On voit sur cette image un bloom au large des côtes bretonnes (15.06.03).



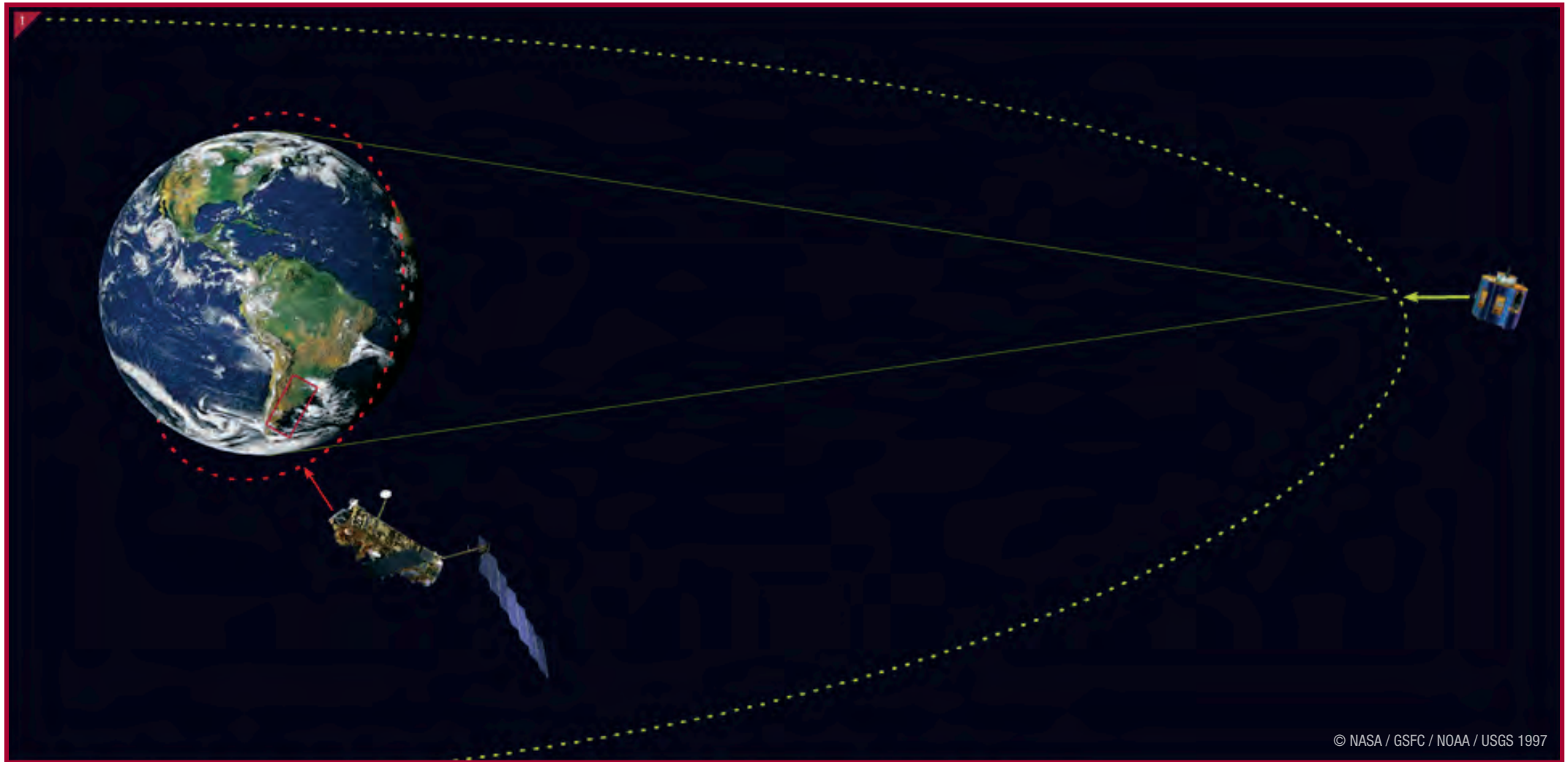
ASAR est un instrument radar qui permet de cartographier la surface des terres, des glaces et des océans et en mesure certaines variations. Il fournit de précieuses données sur l'utilisation des sols et leur nature.

Cette image est celle de la marée noire du Prestige au large de l'Espagne (17.10.02).



SCIAMACHY mesure les traces de gaz, les nuages et les particules de poussières. Il permet de mieux cerner les conséquences des pollutions industrielles, des éruptions volcaniques ou des feux de forêt.

Cette image montre la concentration de NO₂ dans l'atmosphère en Europe (2003 / 2004).



L'image montre, par rapport à la Terre, les positions et les orbites de deux satellites de télédétection : Envisat et Météosat

This image belongs to the 'Watching over the Earth' teaching pack from the European Space Agency (ESA).
The Living Planet programme.

Informations pour les enseignants

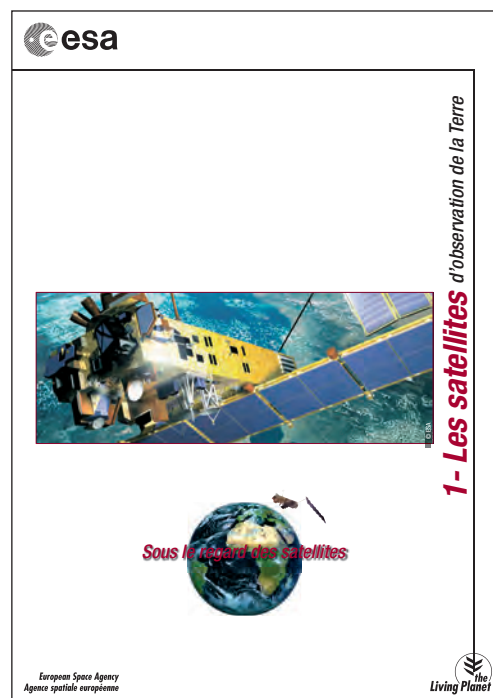
Les fiches d'informations pour les enseignants sont conçues pour offrir un support lors de la préparation des cours. Elles viennent en complément des dossiers distribués aux élèves. Le professeur y trouvera une synthèse d'informations utiles à la présentation du sujet, des données complémentaires concernant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

Dossier N°1 : Les satellites d'observation de la Terre

Le dossier N°1 présente les grandes familles de satellites d'observation de la Terre et les deux principaux types d'orbites : l'orbite géostationnaire et les orbites polaires. Ce dossier est le premier de la série et permet de découvrir quelques données essentielles de l'observation de la Terre par satellite. Il peut compléter la partie du programme sur le système solaire et la découverte du globe terrestre.

Ce dossier permet :

- de présenter la notion d'observation de la Terre;
- d'apprécier les échelles de distance dans l'Espace (la représentation des positions des satellites respecte les échelles de distance dans l'illustration du dossier central);
- d'évoquer la variété des utilisations et des données fournies par les satellites.



Les orbites des satellites

Le mouvement des satellites autour de la Terre est une des conséquences du phénomène de gravitation. La mise sur orbite d'un satellite obéit aux lois fondamentales de la physique. Les trajectoires dépendent de la vitesse initiale communiquée au satellite. Si la vitesse est trop faible, il retombe sur Terre en décrivant un mouvement de chute parabolique. Pour décrire une trajectoire circulaire à 800 Km d'altitude, la vitesse initiale requise est environ 7,5 Km par seconde. Lorsque la vitesse atteint environ 11 Km par seconde (vitesse de libération), le véhicule (une sonde spatiale par exemple) s'éloigne indéfiniment de la Terre.

Un satellite peut conserver la même orbite pendant une période prolongée, dans la mesure où l'attraction gravitationnelle de la Terre vient équilibrer la force centrifuge. Les satellites étant en orbite hors de l'atmosphère, ils ne rencontrent pas la résistance de l'air. Ainsi, la vitesse du satellite reste constante, ce qui entraîne une orbite stable autour de la Terre pendant de nombreuses années. Le satellite se déplace autour de la Terre par la seule force de gravitation exercée par la Terre. Les réserves d'ergol embarquées sont seulement utilisées pour apporter des petites corrections de trajectoire ou d'altitude.

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

Les satellites en orbites « polaires » survolent les pôles à une altitude entre 700 et 800 Km et sont en mesure d'observer la totalité de la surface de la terre en quelques jours. L'orbite géostationnaire est utilisée notamment par les satellites de télécommunications et de météorologie. Trois satellites géostationnaires espacés de 120° couvrent toute la surface de la Terre.

Les images satellitaires

Page de couverture

Image de couverture : Le satellite Envisat. Vue d'artiste

Le 1^{er} mars 2002, l'Agence Spatiale Européenne a lancé Envisat. C'est un satellite d'observation de la Terre placé en orbite polaire qui délivre des mesures de l'atmosphère, de l'océan, de la terre et de la glace. Les données produites par Envisat sont exploitées dans le cadre de la recherche scientifique sur la Terre et de la surveillance des changements environnementaux et climatiques.

Dossier central

Le globe terrestre a été représenté ici en montrant le continent américain. Ce choix permet de respecter la position relative de Météosat par rapport au globe. En effet, dans la mise en page du dossier, le satellite géostationnaire européen Météosat - positionné à la verticale du Golfe de Guinée - est placé dans l'image à droite du globe. Un observateur dans l'espace « voyant » Météosat à cette place se trouverait nécessairement au-dessus du continent américain.

Image N°1 : Le globe terrestre

Cette image de l'hémisphère ouest a été produite en combinant les données de plusieurs instruments d'observation de la Terre. Les données concernant les masses nuageuses proviennent du satellite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Les données concernant les océans proviennent de SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) et, pour la végétation, du satellite POES (Polar Orbiting Environmental Satellite) de la NOAA. On peut remarquer, près de la côte ouest des Etats-Unis, le cyclone Linda (9 septembre 1997).

Images N°2, 3, 4 : L'Argentine - L'estuaire du Rio de la Plata - Buenos Aires. (Envisat – 2004)

L'agglomération de Buenos Aires (12 millions d'habitants) est située sur l'estuaire du Rio de la Plata qui marque la frontière entre l'Argentine et l'Uruguay. Montevideo (1,3 millions d'habitants), capitale de l'Uruguay, est située à l'embouchure nord de l'estuaire. Le Rio de la Plata charrie chaque année 57 millions de mètres cubes de sédiments qui proviennent notamment de ses principaux affluents, le Paraná et l'Uruguay. À son embouchure, l'estuaire atteint 219 Km de large.

Images N°5, 6, 7 : Le globe terrestre vu par Météosat

Les rayons solaires qui frappent la Terre peuvent être absorbés ou bien réfléchis et détectables par l'œil humain ou par un satellite. La valeur d'albédo d'une surface indique le pourcentage de lumière solaire réfléchi.

Les satellites Météosat mesurent ainsi les différentes valeurs d'albédo des surfaces observées, dans le visible et le proche infrarouge. Les nuages, la neige et la glace réfléchissent fortement et apparaissent en gris clair. Les sols secs et nus apparaissent également en couleur claire, tandis que les régions couvertes de végétation ont un albédo légèrement inférieur et apparaissent dans une teinte plus sombre. Les surfaces d'eau ont un albédo très faible et apparaissent très sombres.

Toutes ces mesures permettent de créer des images noir et blanc qui pourront être ensuite traitées pour produire des images en couleurs du globe terrestre (image du centre). Selon les canaux utilisés, on peut aussi produire des images révélant les variations de températures à la surface du globe (image de droite).

Le satellite Météosat tourne rapidement sur son axe, parallèle à celui de la Terre et effectue 100 tours par minute. À chaque rotation, il balaye une bande de 5km de large d'Est en Ouest. Le miroir du scanographe est réglé de manière à permettre le balayage, à chaque rotation, d'une nouvelle bande afin de fournir une image d'ensemble.

MSG (Météosat Second Génération) génère une imagerie multi spectrale de la surface de la Terre et des systèmes nuageux toutes les 15 minutes en couvrant 12 canaux du spectre. La résolution spatiale de MSG est également améliorée par rapport aux précédents satellites Météosat (1Km pour le canal haute résolution visible, 3 Km pour les autres). Huit de ces canaux sont situés dans l'infrarouge thermique et fournissent - entre autres informations - des données permanentes concernant la température des nuages, de la terre et de la surface des mers. En utilisant des canaux qui absorbent l'ozone, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, MSG permet également aux météorologues d'analyser les caractéristiques des masses d'air et de reconstruire ainsi des vues 3D de l'atmosphère.

Page 5 - Vues de l'Europe et de Buenos Aires

Image N°8 : Vues de l'Europe prises par le satellite Envisat

Plusieurs dizaines d'images, prises pendant une partie de l'année 2004 ont été nécessaires pour représenter l'Europe sans couverture nuageuse. Cette image a été produite par l'instrument MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) embarqué sur Envisat.

Images N°9, 10, 11 : Vues de Buenos Aires prises par le satellite Spot 5

Les nouveaux télescopes HRG (Haute Résolution Géométrique) du satellite Spot 5 (Système Probatoire d'Observation de la Terre) captent des images de la Terre en haute résolution : 10 m en couleur et 2,5 à 5 m en noir et blanc (une seule image de 2,5 m de résolution couvrant 60 km² au sol représente 576 Mo). La largeur de son champ de vision est de 60 Km.

Ces images de Buenos Aires permettent de compléter les images de la région du Rio de la Plata, produites par le satellite Envisat, présentées dans le dossier central.

Page 6 - « Comment travaillent les satellites ? »

Image N°12 : Vue d'artiste du satellite Envisat

Envisat effectue un cycle complet tous les 35 jours, au terme desquels il reprend son parcours sur ses propres traces. A l'issue de cette période de 35 jours, le satellite a accompli un nombre entier de révolutions sur son orbite et la Terre un nombre entier de tours sur elle-même. L'orbite d'Envisat est héliosynchrone, c'est-à-dire qu'elle permet le survol d'un point donné à une heure solaire sensiblement constante. Les conditions de prises de vues étant pratiquement identiques (hormis les variations saisonnières), les informations livrées par ces images peuvent être comparées rigoureusement.

Image N°13 : Schéma du satellite et de ses principaux instruments

Les données sont recueillies grâce à 10 instruments complémentaires :

MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) est un spectromètre imageur à résolution moyenne (300m). Il enregistre 15 bandes dans le visible et le proche infrarouge. Une de ses principales missions est de mesurer la couleur de l'eau des océans afin d'en calculer la concentration en chlorophylle. Ces données sont essentielles pour l'étude du cycle du carbone dans les océans.

ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) utilise les signaux radar pour cartographier les sols, le profil des vagues et des glaces marines ou terrestres, pour surveiller l'occupation des sols et les types de végétation, et pour mesurer certaines propriétés de la surface.

GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars) est un instrument de surveillance de l'ozone à l'échelle du globe par occultation d'étoiles. Il permet de mesurer très précisément l'ozone présent dans la stratosphère ainsi que le profil des gaz présents à l'état de trace dans la troposphère supérieure et la mésosphère.

OME (Global Ozone Monitoring Experiment). Instrument de surveillance de l'ozone à l'échelle du globe. Cet instrument explore les radiations solaires diffusées par réflexion par la surface de la Terre, verticalement par rapport à la Terre (mode nadir).

SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) est le principal capteur de l'atmosphère embarqué sur Envisat. Il utilise plusieurs modes de mesure. Ses données peuvent nous informer sur la répartition des gaz en trois dimensions dans la troposphère et la stratosphère inférieure.

MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding). Cet interféromètre est utilisé par Envisat pour mesurer les émissions gazeuses dans le spectre infrarouge moyen. Il permet de déterminer notamment la composition des rejets gazeux industriels.

AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer). Cet instrument balaie la surface du sol et des océans de façon à mesurer la température de la mer. Il détecte les « zones chaudes » des incendies de forêt et cartographie l'étendue de la végétation dans différentes régions.

DORIS (Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite) est un système radio satellitaire utilisé pour calculer en continu la position du satellite sur son orbite. Cette position est obtenue avec une précision de quelques centimètres à partir des signaux émis par plus de 50 balises disséminées sur tout le globe.

RA-2 et **MWR** L'altimètre radar RA-2 mesure le temps de retour du signal avec une précision d'une nanoseconde et calcule la distance qui le sépare de la Terre avec une précision de 4 centimètres. MWR (microwave radiometer) est un radiomètre micro-onde qui mesure la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère et permet de corriger les signaux du RA-2 pour en améliorer la précision.

LRR (Laser Retro-Reflector), est un système de rétro-réflecteurs laser permettant de calibrer DORIS et RA-2.

Envisat balaie continuellement la surface du globe et l'atmosphère terrestre. Pendant les deux tiers de son parcours, le satellite survole l'océan. La masse mouvante de celui-ci, la complexité des échanges thermiques qui l'animent ou qu'il opère avec l'atmosphère en font un acteur majeur du comportement et de l'évolution du climat de notre planète.

Trois images significatives de la variété des instruments embarqués sur Envisat sont présentées :

Image N°14 : La Manche au nord de la Bretagne (Envisat / Meris)

Cette image permet de voir en particulier un bloom (développement rapide du phytoplancton) au large des côtes bretonnes. Il s'étend sur environ 400 Km.

Image N°15 : Image de la marée noire du Prestige (Envisat / ASAR – Nov. 2002)

Le pétrole qui s'échappe des cuves du Prestige est proche des côtes de la Galice. Les images radar restituent le relief : les zones où se concentre le pétrole sont plus lisses que la surface de la mer et renvoient donc un signal plus faible qui apparaît en noir sur l'image.

Image N°16 : Les émissions de NO₂ en Europe (Envisat / SCIAMACHY)

Cette image, réalisée par l'IUP (Institut für Umweltphysik) d'Heidelberg est produite à partir des mesures faites pendant 18 mois par l'Instrument SCIAMACHY. Cet instrument enregistre le spectre du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère. Les données et les enregistrements de cette pollution réalisés par les capteurs présents au sol sont peu nombreux et seuls les capteurs spatiaux permettent de réaliser une surveillance globale efficace.

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

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

ORBITOGRAPHIE

www.eduspace.esa.int/subtopic/default.asp?document=297&language=fr
www.cnes.fr/html/_172_4376_4392_.php
www.cnes.fr/html/_107_477_481_.php
www.educnet.education.fr/orbito/orb/default.htm

Site EDUSPACE: Principes de télédétection/ Orbites des satellites

L'orbite géostationnaire
Les manœuvres orbitales
Site Educnet. Ressources pédagogiques : Lanceurs et orbitographie - Localisation et collecte de données par satellite - Observation de la Terre - Planétologie

ENVISAT

envisat.esa.int
www.esa.int/esaCP/ESA40DZ84UC_France_0.html
www.esa.int/esaCP/ESAEW0VTYWC_France_0.html
www.esa.int/esaEO/ESAXU0MBAMC_index_0.html
www.esa.int/esaCP/ESA86ZUTYWC_France_2.html
www.esa.int/envisat/instruments.html

Informations sur le satellite Envisat
Envisat : Un déluge de données entre Terre et ciel
Le plus grand observatoire du climat au monde
About Envisat
De l'orbite au cœur des océans avec Envisat
Instruments du satellite Envisat

METEOSAT

www.eumetsat.int
www.cnes.fr/html/_112_794_.php
www.meteo.fr

Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques
Les satellites européens d'observation météorologique
Site de Météo France

Bibliographie

Espace et Éducation, 2006 (7800B451)
CRDP Versailles, 2006

Les Actes de la Desco : « Espace et éducation ». Cet ouvrage permet de développer et d'actualiser ses connaissances sur l'espace.

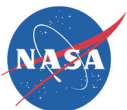
Les satellites, à quoi ça sert ?
TDC, textes et documents pour la classe
Du 1er au 15 mai 2005, N° 895, 56p
CNDP, Paris 2005

Ce numéro est consacré au rôle essentiel des satellites dans la compréhension et la gestion de notre environnement.

La documentation par l'image
N° 120, novembre 2002 (8 pages)
Supplément gratuit - Document ESA/Nathan

Dossier pédagogique sur les satellites météorologiques

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

Valérie Massignon - XYZèbre
Boris Uzan
Philippe Bouillon - Illustratek

Production

Europimages - Aliette Cremer

Dossier N°1 : Les satellites d'observation de la Terre

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

1 – Quelles sont les principales fonctions des satellites de télédétection ? Citez deux exemples de satellite de télédétection.

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

2 – À quelle altitude se trouve un satellite en orbite polaire ? Pourquoi qualifie-t-on ces orbites de polaires ?

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

3 – À quelle altitude se trouve un satellite en orbite géostationnaire ? Pourquoi qualifie-t-on cette orbite de géostationnaire ?

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

4 – Que distingue-t-on sur les trois images prises par le satellite Envisat ?

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

5 – Quels continents ou parties de continent voit-on sur les 3 images produites par le satellite Météosat ?

.....
.....

6 – Quelle est la principale utilité des satellites situés en orbite géostationnaire ?

.....
.....

7 – Quels détails pouvez-vous distinguer sur les trois images de la ville de Buenos Aires ? Quel satellite a produit ces images ?

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

8 – Citez trois exemples des missions que les instruments embarqués sur le satellite Envisat sont capables d'accomplir.

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