

TÉLÉDÉTECTION SPATIALE

R. ANSARI - UNIV. PARIS-SUD, LAL - CNRS/IN2P3

ÉCOLE D'ÉTÉ DE PHYSIQUE - E2 ϕ
UNIVERSITÉ PAUL SABATIER - AOÛT 2012



- La télédétection spatiale : introduction historique
- Observations spatiales: Applications, spécificités et contraintes techniques
- Instruments et méthodes de mesure
- Organismes, missions, perspectives

Téledétection: nom féminin

Science et techniques de la détection à distance

Définition

Dixel Mobile / Le Robert



TÉLÉDECTION

Dictionnaire

Q- télédétection

TÉLÉDÉTECTION,  subst. fém.

TECHNOL. Ensemble des connaissances et des techniques permettant de déterminer certaines caractéristiques physiques et biologiques de points observés à partir de mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. *La télédétection est fondée sur l'enregistrement et l'interprétation des rayonnements émis ou réfléchis; appareil, capteur de télédétection; investigation de la surface terrestre par télédétection; télédétection de la pollution des cours d'eau, des océans. Un essai de dénombrement des grands animaux en faisant appel aux moyens modernes de télédétection (scanner à infrarouge thermique) réalisé au printemps 1976 par l'Yonne et le Loiret a fourni des résultats prometteurs; détection possible jusqu'à une altitude de 220 m, même sous un peuplement feuillu ou un peuplement résineux clair (R. forestière fr., 1977, n°1, p. 60).*

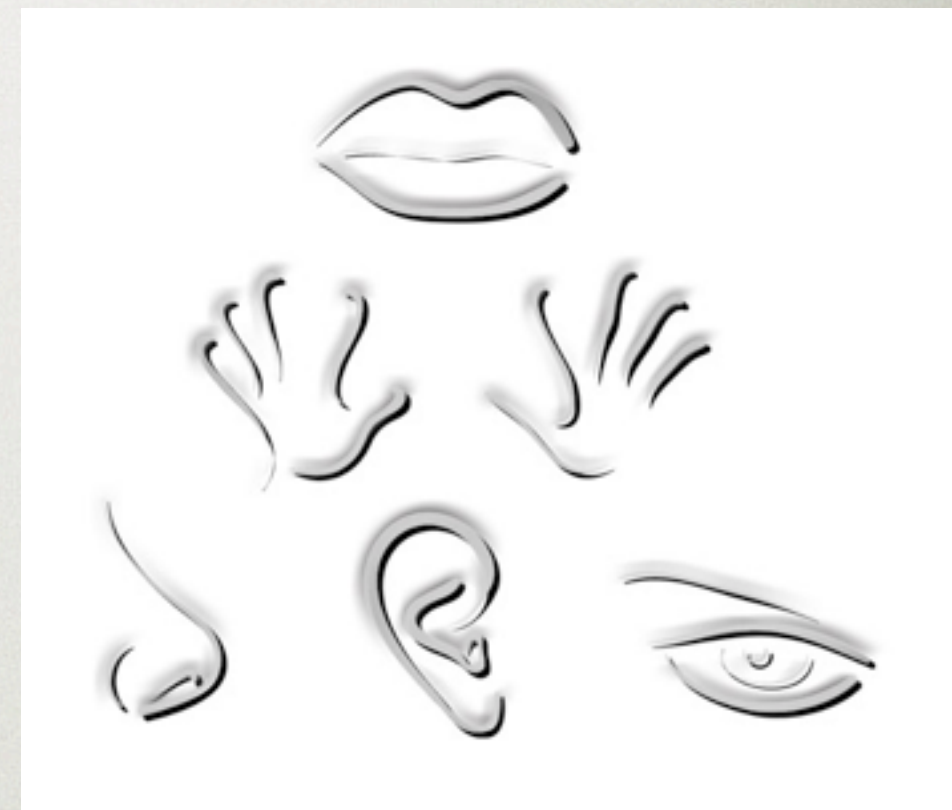
– En partic. Télédétection passive. Télédétection qui utilise les rayonnements

i

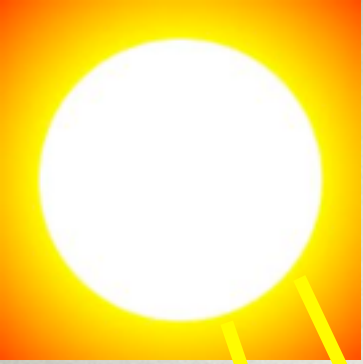
PERCEPTION HUMAINE

- Le toucher
- Le goût
- L'odorat

- **L'ouïe**
- **La vision**



Téledétection

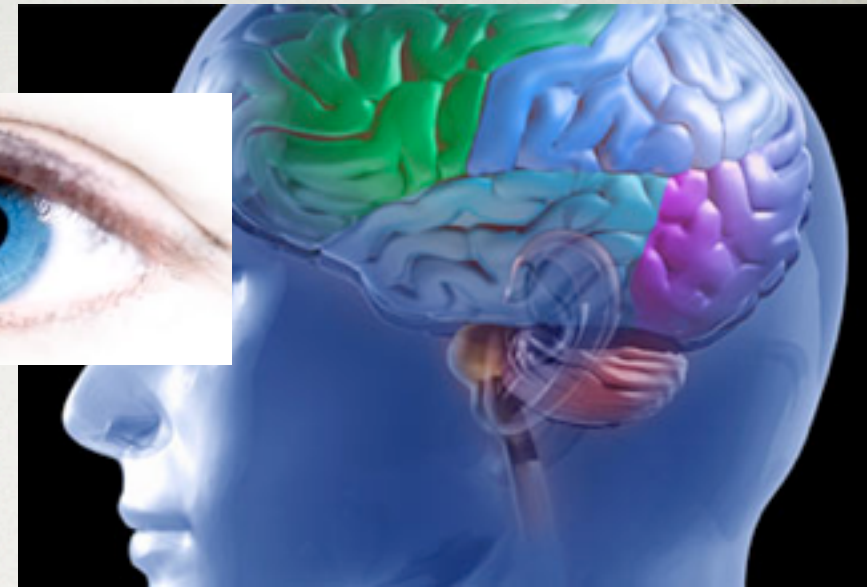


Source de
lumière

Environnement: réflexion,
diffusion ...



Détecteur



- Imagerie
- Analyse spectrale
- Analyse radiométrique (intensité)

- Traitement des images
- Interprétation

Historique

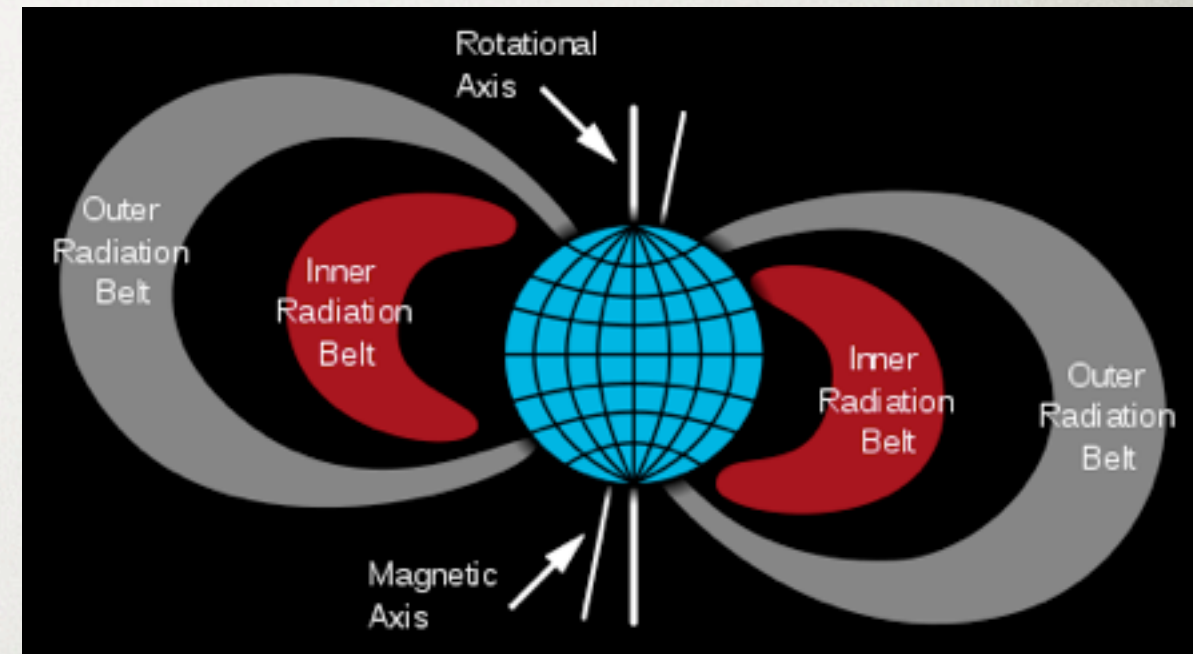
- Premières photographies aériennes en ballon - 1858
- Avion et photographie aérienne 1914-1918
- Invention du radar ~1940
- Film photographique IR ~ 1950
- Conquête spatiale : 1957 - 1972 - ...
- Premier satellite artificiel d'observation TIROS-1, Avril 1960
- Lancement du premier satellite de la série ERTS (Landsat 1) en 1972 par la NASA
- Lancement du premier satellite SPOT en 1986 par le CNES
- Missions récente d'observation de la terre
 - USA: TERRA (1999), AQUA (2002)
 - Europe/ESA: ENVISAT (2002)

QUELQUES FAITS MARQUANTS EN DÉTAIL

- Ceintures de Van Allen
- Les sursauts gammas
- La couche d'Ozone
- Images SPOT

CEINTURES DE VAN ALLEN

Particules chargées (électrons, protons) piégées dans le champ magnétique terrestre (I:1-3 R_E , O: 3-10 R_E). Ces particules proviennent principalement du vent solaire et des rayons cosmiques



Découverte à l'aide d'instruments (compteurs Geiger / rayons cosmiques) à bord d'Explorer-I, premier vaisseau spatial (satellite artificielle) lancé avec succès par la NASA en 1958

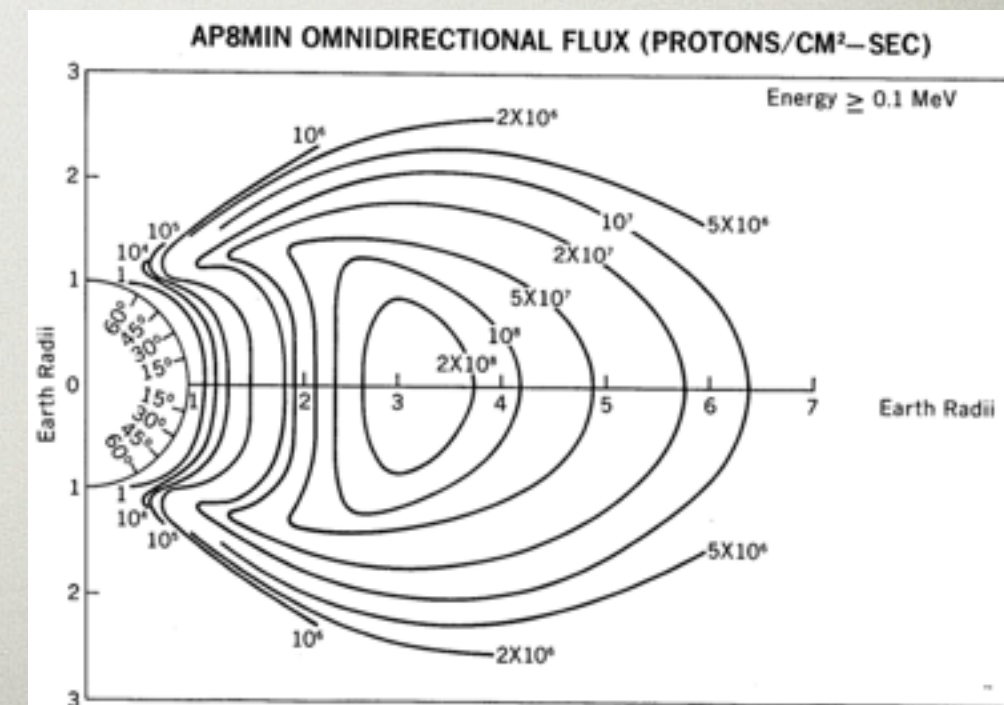


Figure 45. AP8MIN R-λ Plot of Constant Intensity Flux Contours with an Energy of ≥ 0.1 MeV



SURSAUTS GAMMA

Gamma-ray bursts are short-lived bursts of **gamma-ray photons**, the most energetic form of light. At least some of them are associated with a special type of **supernovae**, the explosions marking the deaths of especially **massive stars**.

Lasting anywhere from a few milliseconds to several minutes, gamma-ray bursts (**GRBs**) shine hundreds of times brighter than a typical supernova and about a million trillion times as bright as the Sun, making them briefly the brightest source of cosmic gamma-ray photons in the observable **Universe**. GRBs are detected roughly once per day from wholly random directions of the sky.

Until recently, GRBs were arguably the biggest mystery in high-energy **astronomy**. They were discovered serendipitously in the late 1960s by U.S. military **satellites** which were on the look out for Soviet nuclear testing in violation of the **atmospheric** nuclear test ban treaty. These satellites carried gamma ray detectors since a nuclear explosion produces gamma rays. As recently as the early 1990s, astronomers didn't even know if GRBs originated at the edge of our solar system, in our Milky Way **Galaxy** or incredibly far away near the edge of the observable Universe. (That is, they didn't know how far away GRBs were to within a factor of a few billion **light years**!) But now a slew of satellite observations, follow-up ground-based observations, and theoretical work have allowed astronomers to link GRBs to supernovae in distant galaxies.

SATELLITES ET SURSAUTS GAMMA

- Série de satellites militaires Vela 1-6, lancés par le États-Unis de 1963 à 1970. Paires de satellites destinés à détecter des explosions nucléaires dans l'espace / atmosphère - Découverte des GRB en 1973 à partir des observations Vela
- COS-B, mission ESA / NASA d'observation du ciel gamma , 1975-1982
- CGRO (Compton Gamma Ray Observatory - NASA) lancé en 1991, avec le détecteur gamma BATSE
- BeppoSAX, mission d'observation X (Italie / Europe) en 1996
- XMM mission d'observation X (ESA / Europe) en 1999
- Observatoire gamma FERMI / GLAST lancé en 2009

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 182:L85-L88, 1973 June 1
 © 1973. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

Publication de découverte des sursauts gamma (ApJ - 1973)

OBSERVATIONS OF GAMMA-RAY BURSTS OF COSMIC ORIGIN

RAY W. KLEBESADEL, IAN B. STRONG, AND ROY A. OLSON

University of California, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico

Received 1973 March 16; revised 1973 April 2

ABSTRACT

Sixteen short bursts of photons in the energy range 0.2–1.5 MeV have been observed between 1969 July and 1972 July using widely separated spacecraft. Burst durations ranged from less than 0.1 s to ~ 30 s, and time-integrated flux densities from $\sim 10^{-5}$ ergs cm $^{-2}$ to $\sim 2 \times 10^{-4}$ ergs cm $^{-2}$ in the energy range given. Significant time structure within bursts was observed. Directional information eliminates the Earth and Sun as sources.

Subject headings: gamma rays — X-rays — variable stars

I. INTRODUCTION

On several occasions in the past we have searched the records of data from early *Vela* spacecraft for indications of gamma-ray fluxes near the times of appearance of supernovae. These searches proved uniformly fruitless. Specific predictions of gamma-ray emission during the initial stages of the development of supernovae have since been made by Colgate (1968). Also, more recent *Vela* spacecraft are equipped with much improved instrumentation. This encouraged a more general search, not restricted to specific time periods. The search covered data acquired with almost continuous coverage between 1969 July and 1972 July, yielding records of 16 gamma-ray bursts distributed throughout that period. Search criteria and some characteristics of the bursts are given below.

LA COUCHE D'OZONE ET LE TROU D'OZONE

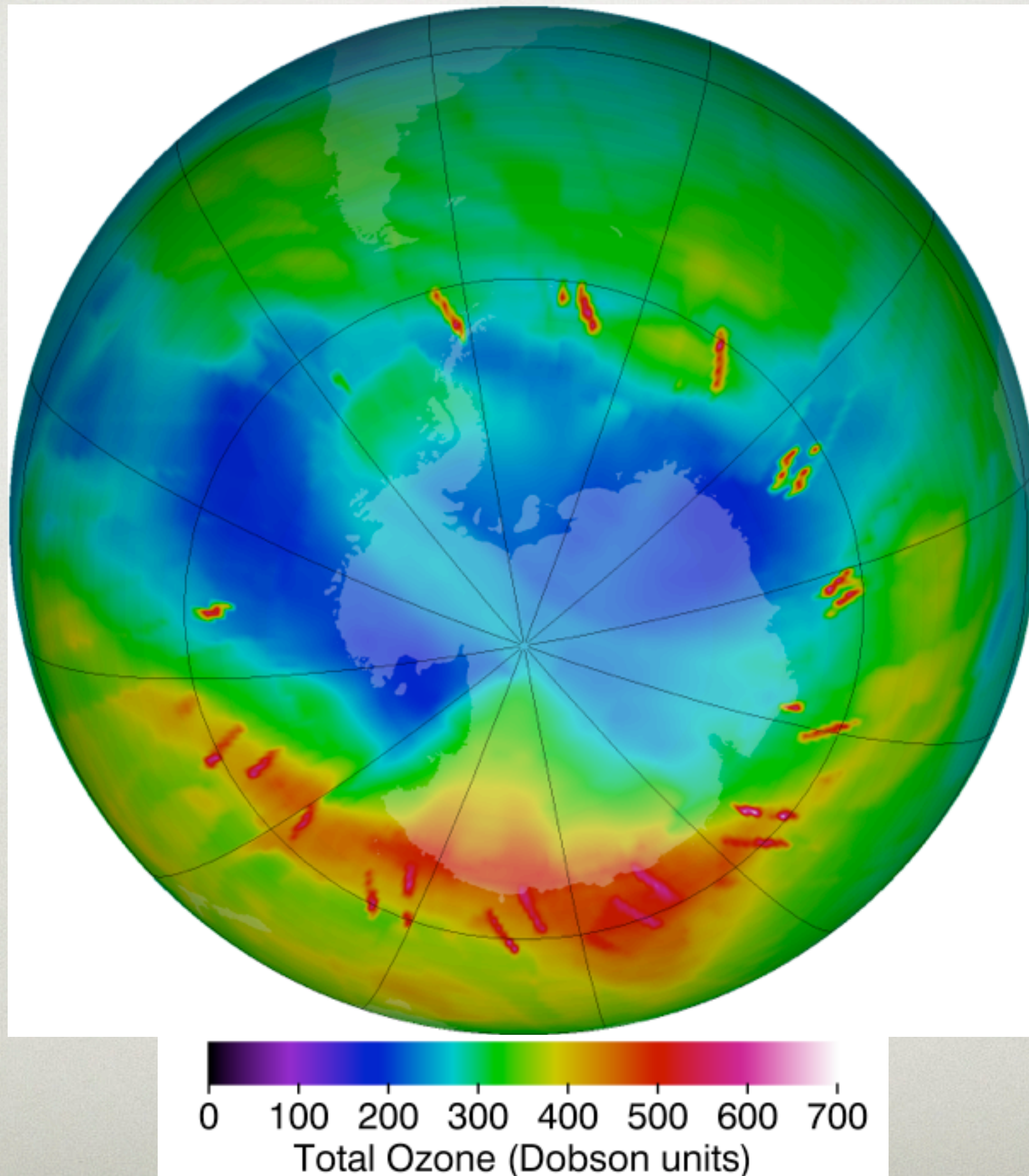
- Couche d'ozone stratosphérique (~20 km d'altitude), filtrant une partie des rayons UV (UV-C/B, de courte longueur d'onde)
- Différents espèces moléculaires (NO, NO₂, OH...) et les composés chlorés / Br, (CFC ...) favorisent la destruction de l'ozone stratosphérique, en particulier au dessus du pôle sud
- Suivi de l'évolution de la couche d'ozone, avec des mesures depuis l'antarctique (1956) et depuis l'espace (1970 ...)

<http://www.theozonhole.com/>

http://www.nasa.gov/vision/earth/environment/ozone_resource_page.html

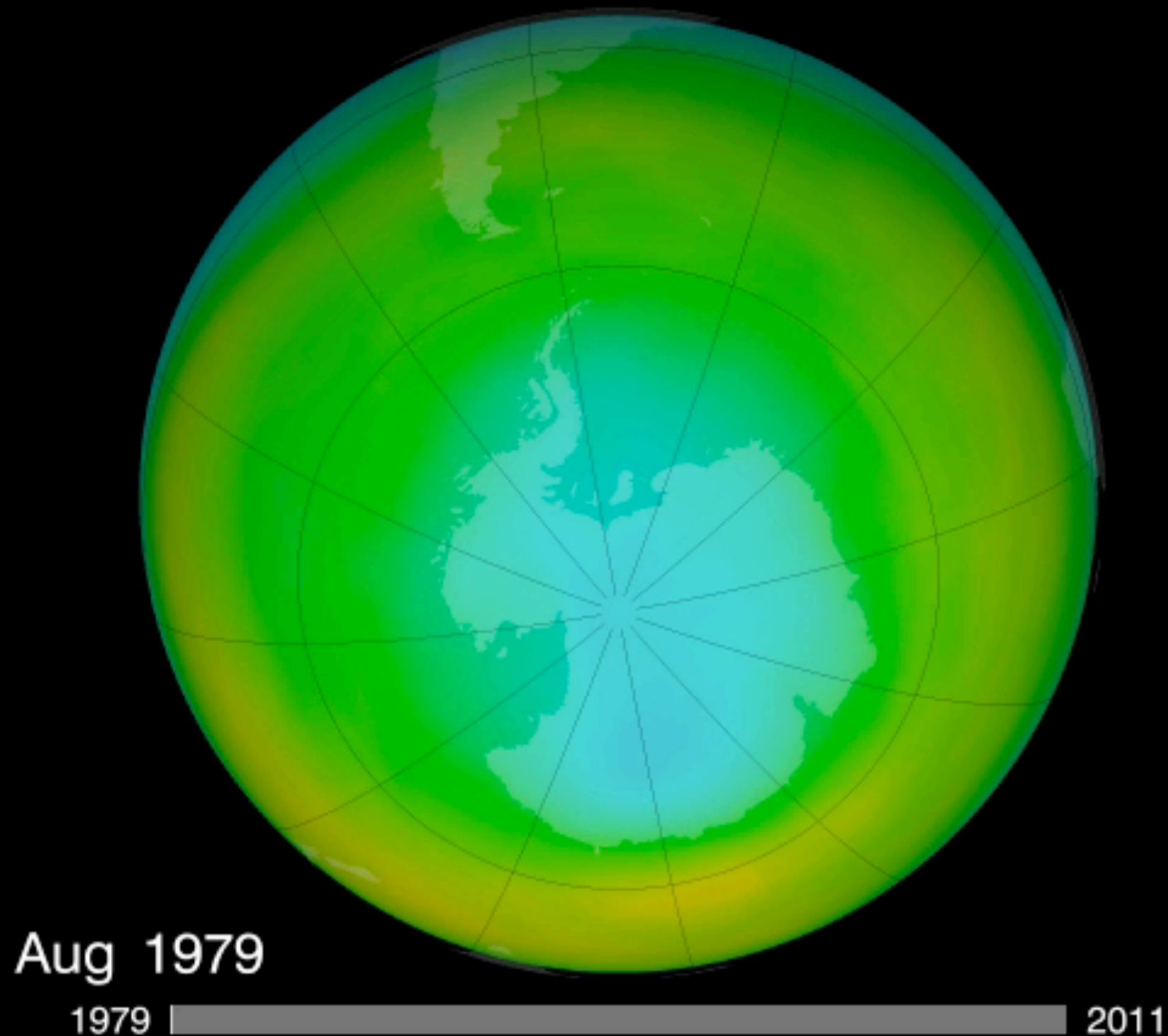
http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer/

Ozone sur l'Antarctique - 21 Août 2012



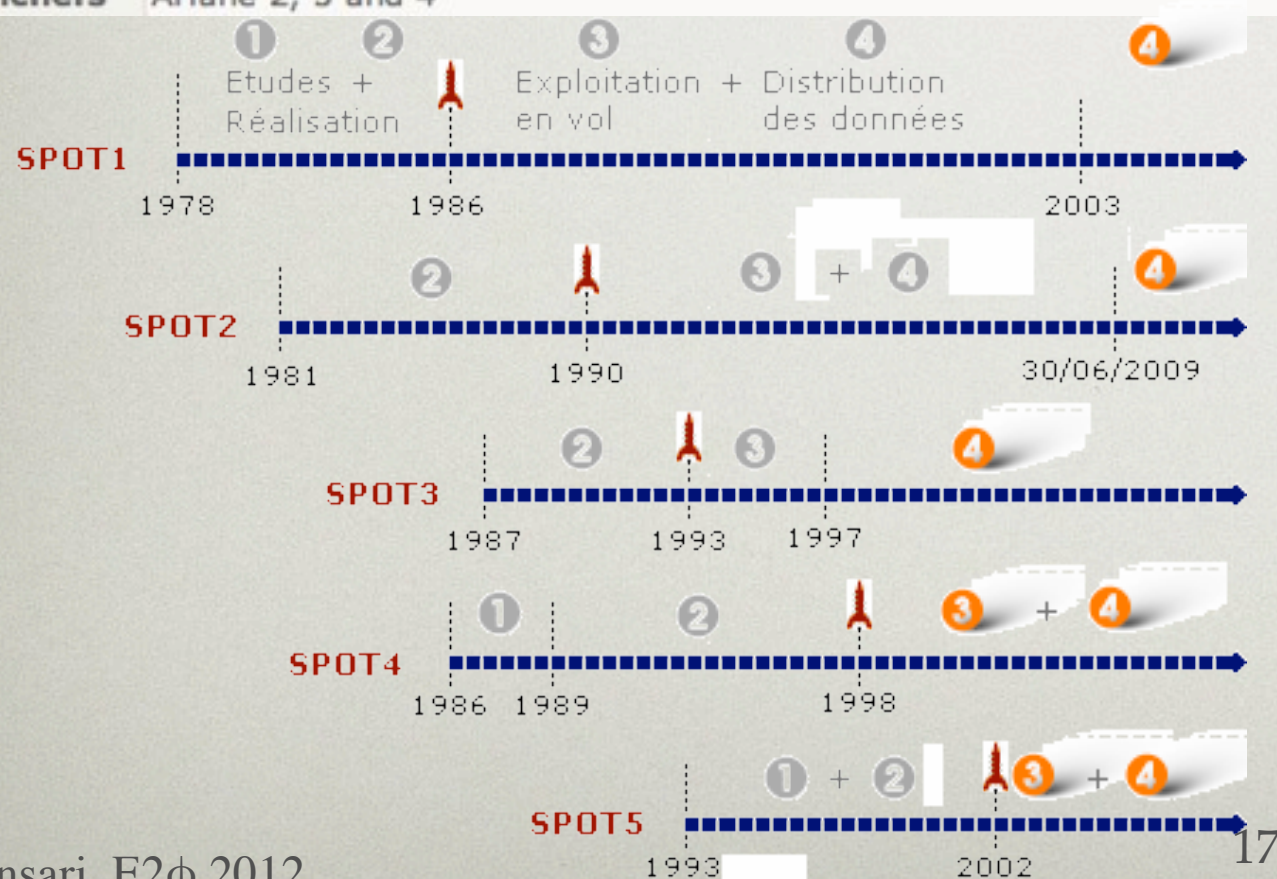
Évolution de la couche d'ozone 1979-2012

<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>



SPOT 1986-... (CNES / EUROPE)

SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre – Earth Observation Satellite)	
Initiator	CNES
Origin	Studies for an Earth observation system carried out by CNES in the 1970s
Status	SPOT 4 and SPOT 5 currently operationals
Participants	CNES, SSTC (Belgian scientific, technical and cultural services), Swedish Space Corporation (Swedish space agency)
Goals	Help to improve knowledge and management of our planet
Objectives	Explore Earth's resources; detect and forecast phenomena involving climatology and oceanography; monitor human activities and natural phenomena
Principal missions	SPOT 1 – 1986 / 2003 SPOT 2 – 1990 / 2009 SPOT 3 – 1993 / 1996 SPOT 4 – 1998 SPOT 5 – 2002
Launchers	Ariane 2, 3 and 4



SPOT satellites spectral bands and resolutions

sensor	electromagnetic spectrum	pixel size	spectral bands
SPOT 5	Panchromatic	2.5 m or 5 m	0.48 - 0.71 μm
	B1 : green	10 m	0.50 - 0.59 μm
	B2 : red	10 m	0.61 - 0.68 μm
	B3 : near infrared	10 m	0.78 - 0.89 μm
	B4 : mid infrared (MIR)	20 m	1.58 - 1.75 μm
SPOT 4	Monospectral	10 m	0.61 - 0.68 μm
	B1 : green	20 m	0.50 - 0.59 μm
	B2 : red	20 m	0.61 - 0.68 μm
	B3 : near infrared	20 m	0.78 - 0.89 μm
	B4 : mid infrared (MIR)	20 m	1.58 - 1.75 μm

SPOT 5



<http://www.cnes.fr/web/CNES-en/1415-spot.php>

<http://smc.cnes.fr/SPOT/Fr/>

<http://www.astrium-geo.com>

Image SPOT 5, Ile de Ré -
17/04/2003 , résolution 1-5 m



Observations spatiales

ALLER DANS L'ESPACE, POURQUOI ?

- ☐ Parce que c'est cher
- ☐ Parce que c'est difficile
- ☐ Ça fait sérieux ...

☒ **On voit bien !**

- Permet l'observation de la terre dans son ensemble
- Bonne homogénéités de couverture géographique
- Stabilité des conditions d'observation
- Adaptée à la réalisation de longues séries temporelles

- Contraintes techniques: masse, puissance électrique, environnement spatial (radiation, vide ...), inaccessibilité, télécommunication
- Difficulté / coût d'accès à l'espace : fusées
- Orbites: LEO, GEO, orbites polaires

LANCEURS EUROPÉENS

Soyouz

- $h \sim 46$ m
- $M \sim 308$ t
- GEO ~ 3.25 t
- LEO ~ 20 t

Vega

- $h \sim 29.9$ m
 - $M \sim 137$ t
 - LEO ~ 1.5 t
- (polaire 700 km)



CENTRE SPATIAL GUYANAIS

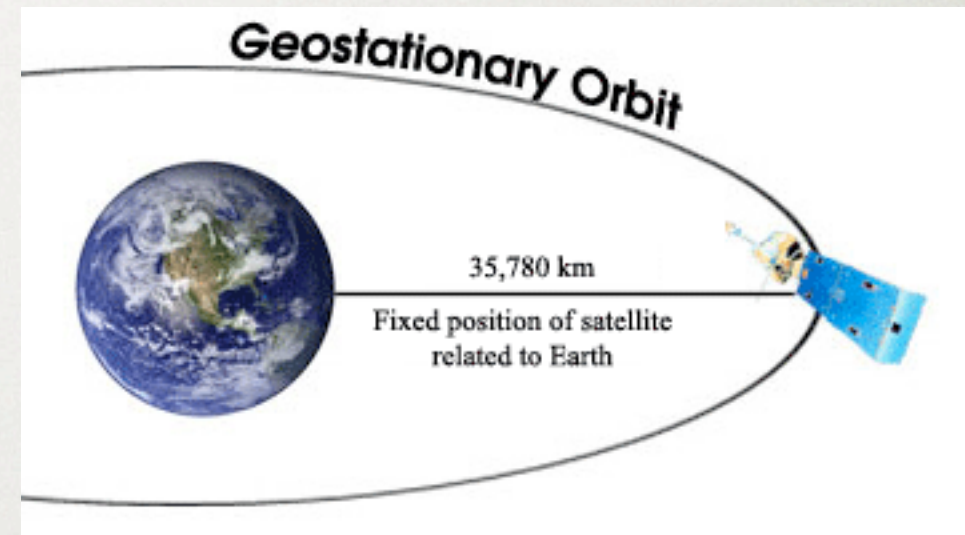
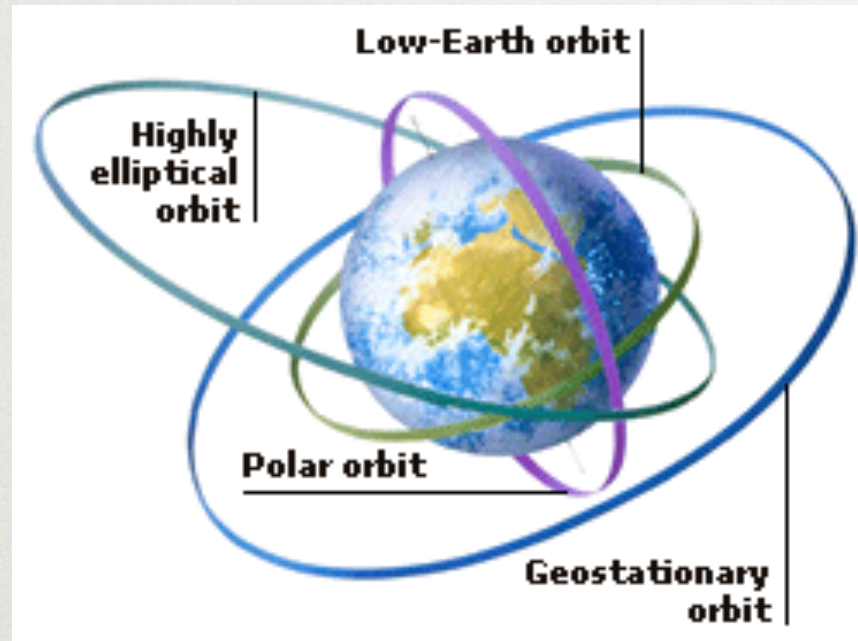
*Port spatial de l'Europe
Europe's Spaceport*



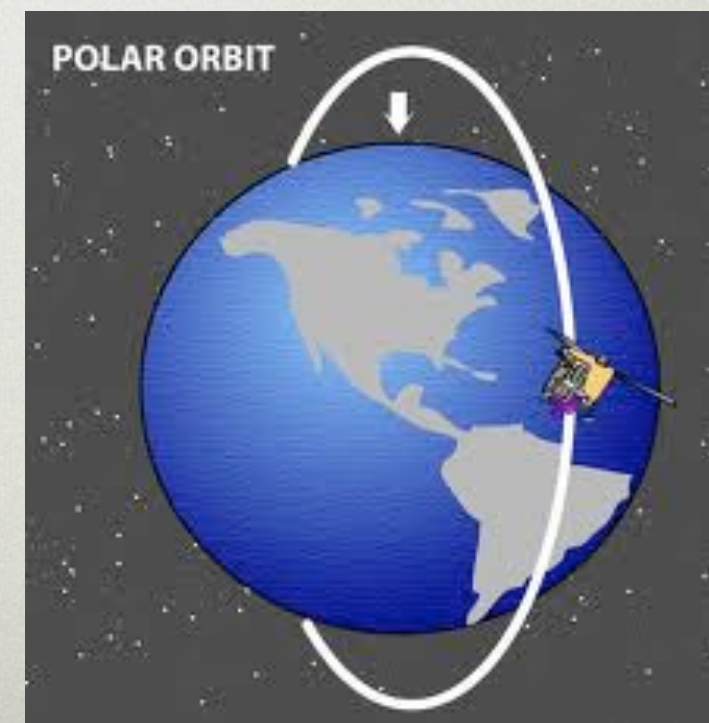
Ariane 5

- $h \sim 50$ m
- $M \sim 780$ t
- GTO ~ 10 t
- LEO ~ 20 t

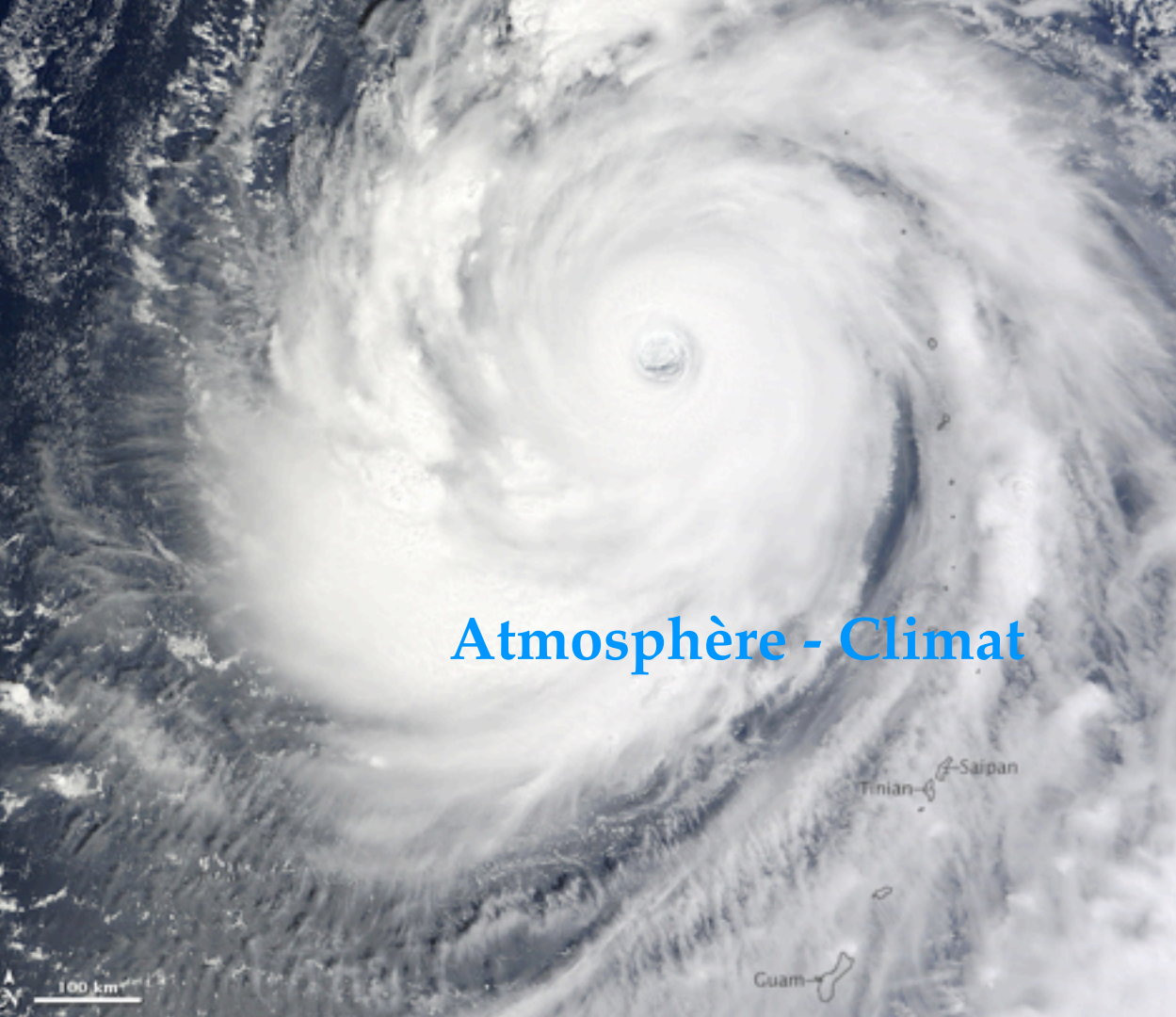
ORBITES



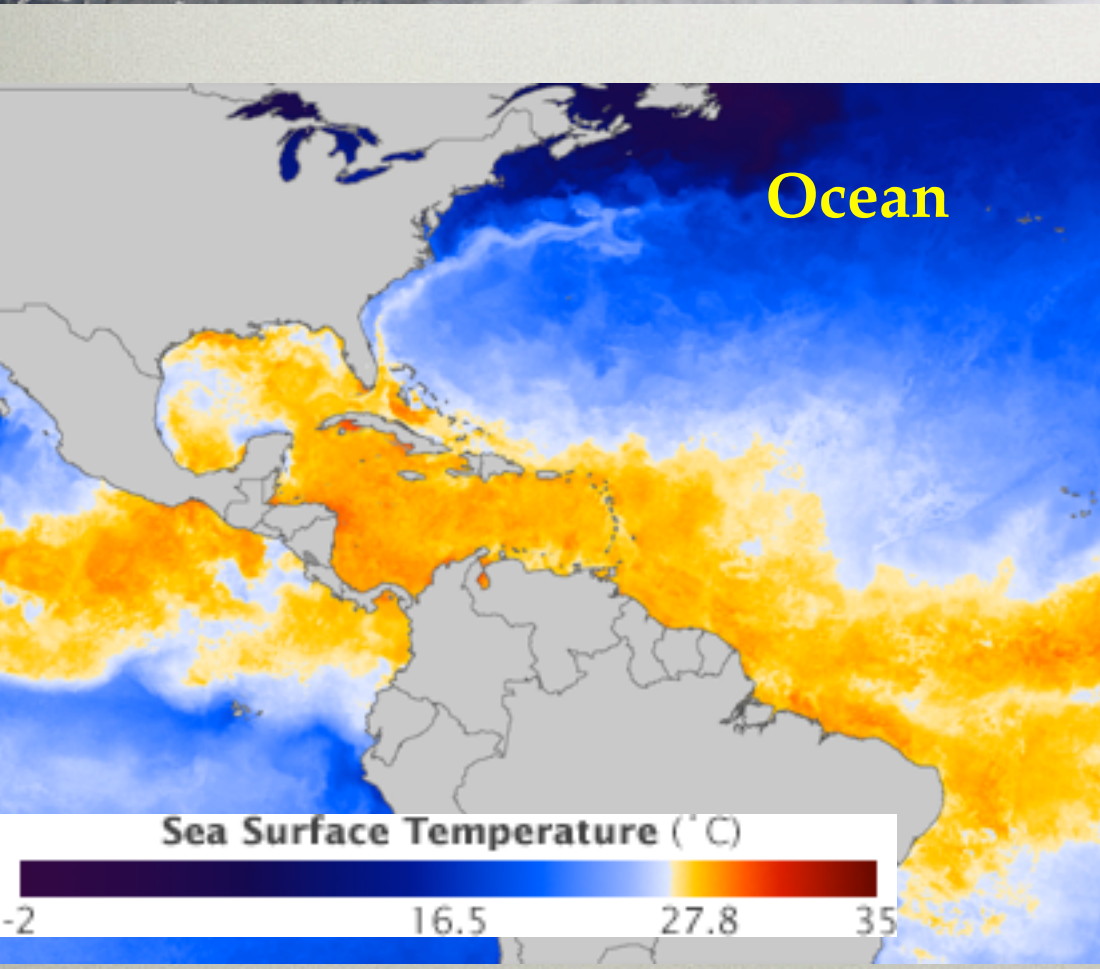
- Orbites géostationnaires / géosynchrones : satellites météo
- Orbites polaires héliosynchrone (SSO): observation de la terre



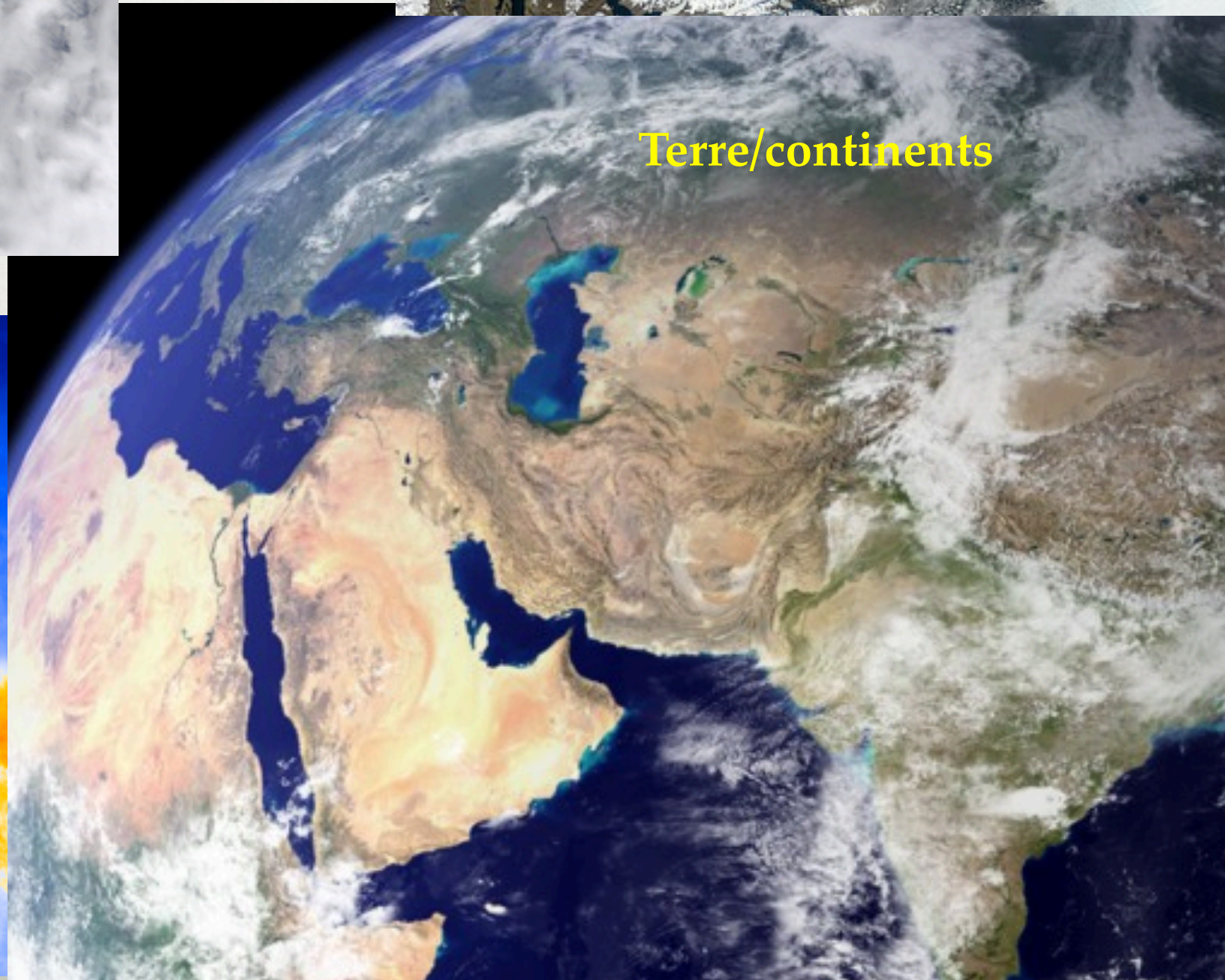
Applications



Glaces / Cryosphère



Terre/continents



ATMOSPHERE

- Nuages et aérosols
- vapeur d'eau
- Composition, polluants
- Précipitations, orages
- vents, température
- bilan de rayonnement

OCÉAN

- Température de surface des mers / océans
- Courants océanique
- Niveau des mers
- Vents, vagues
- Couleur, phytoplancton

GLACES / CRYOSPHERE

- Épaisseur de couverture de glace
- Étendue des glaces océaniques
- Couverture / Épaisseur de neige

TERRE/SOL

- Cartographie - Topographie
- mers intérieures, lacs, cours d'eau
- Couverture du sol
- Composition de surface, humidité
- Activité volcanique, et sismique
- Ressources naturelles



La planète bleue

<http://visibleearth.nasa.gov/>

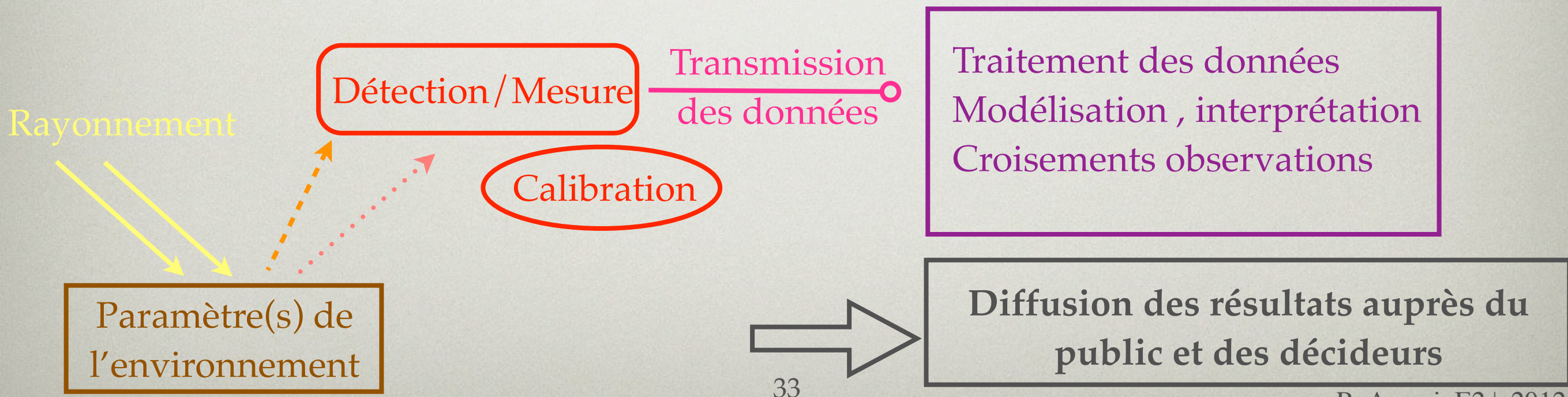
Credit: NASA Goddard Space Flight Center Image by Reto Stöckli (land surface, shallow water, clouds). Enhancements by Robert Simmon (ocean color, compositing, 3D globes, animation). Data and technical support: MODIS Land Group; MODIS Science Data Support Team; MODIS Atmosphere Group; MODIS Ocean Group Additional data: USGS EROS Data Center (topography); USGS Terrestrial Remote Sensing Flagstaff Field Center (Antarctica); Defense Meteorological Satellite Program (city lights).

Instruments et techniques d'observation

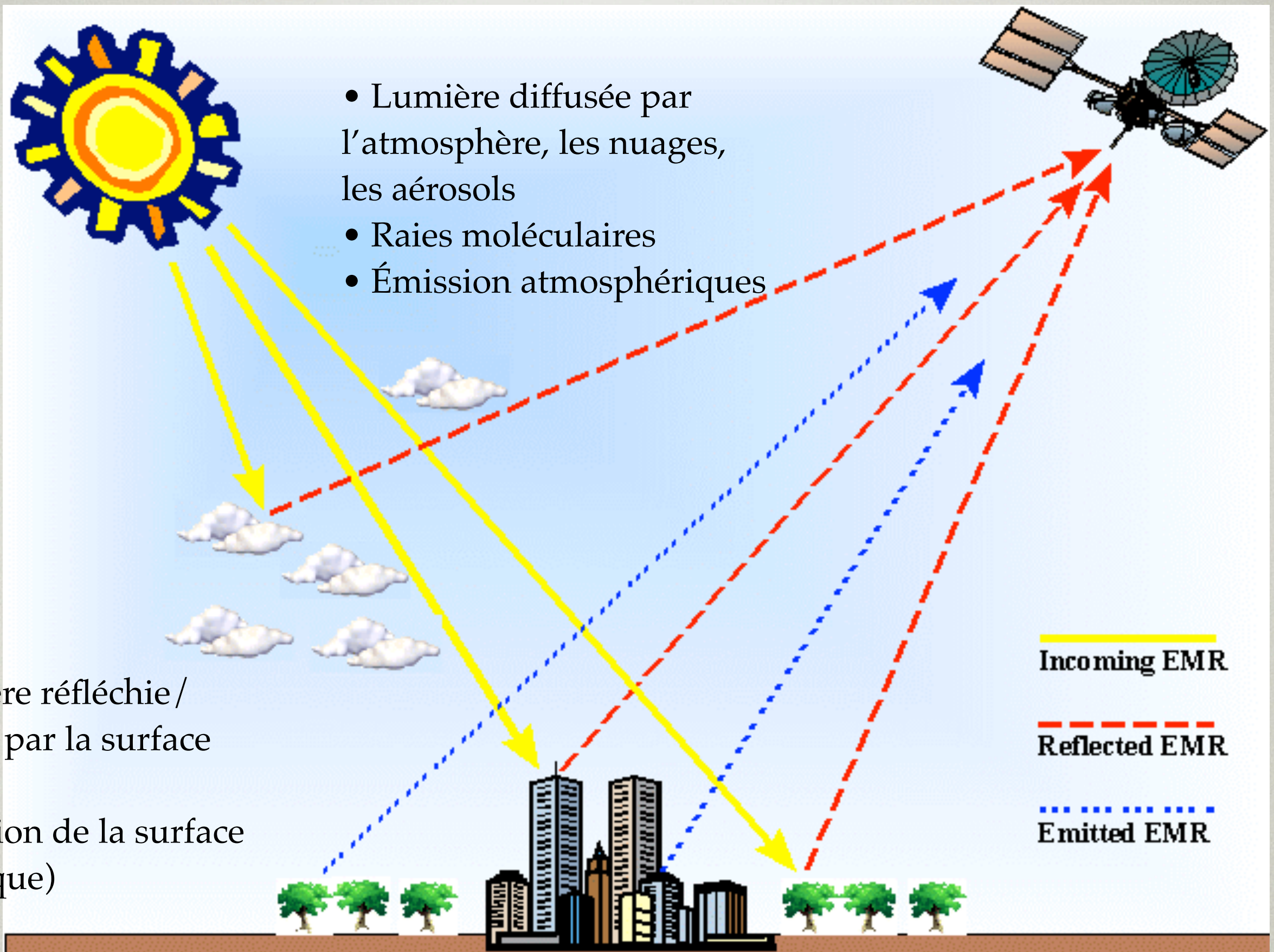
LA TÉLÉDÉTECTION APPLIQUÉE À L'OBSERVATION DE LA TERRE

Analyse radiométrique, spectroscopique et temporelle du rayonnement électromagnétique émis par l'atmosphère et la surface terrestre.

Utilisation d'une grande partie du spectre électromagnétique, depuis les ondes radio avec les radars ($\lambda \sim \text{cm}$) jusqu'à l'UV ($\lambda \sim 0.1 \mu\text{m}$)

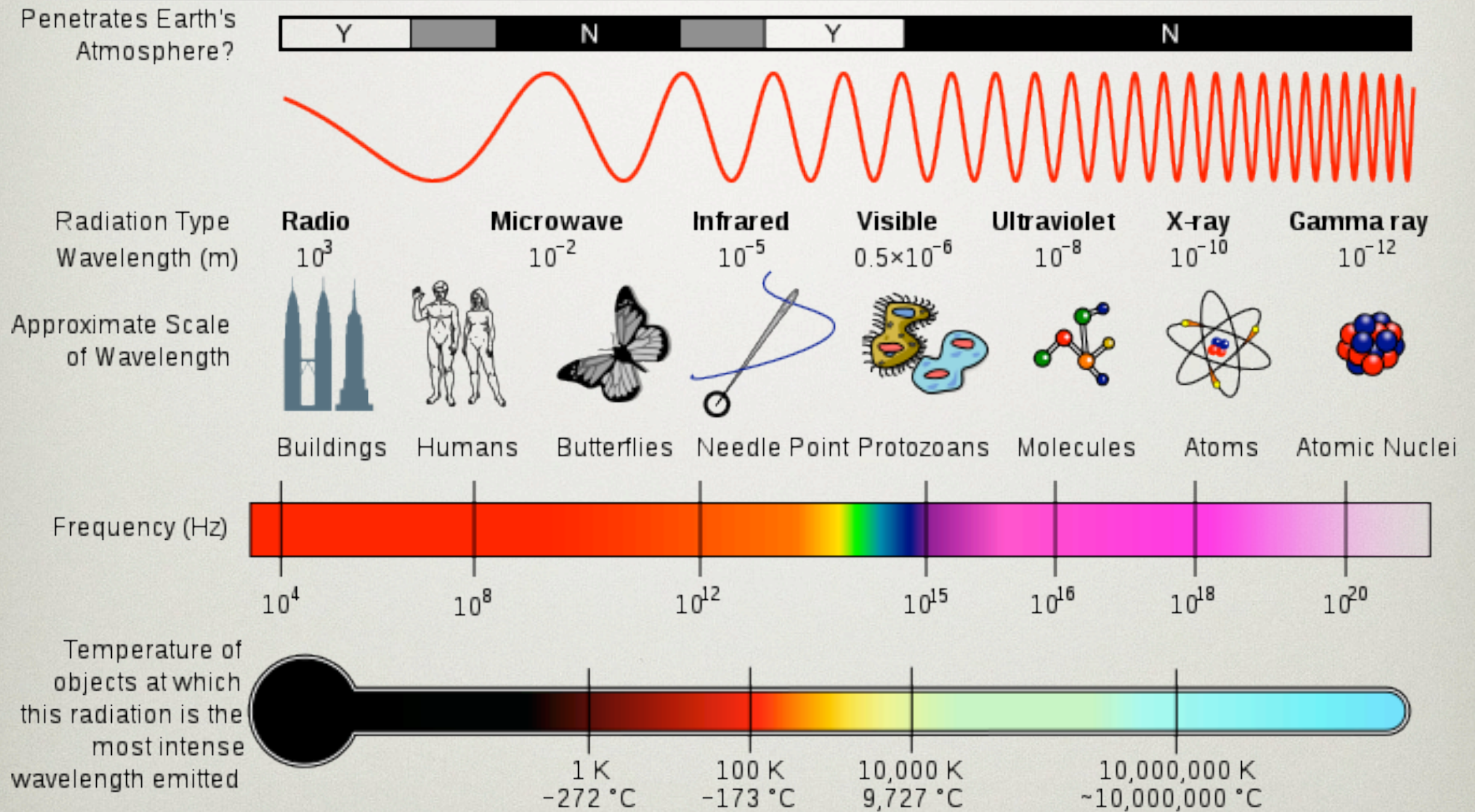


- Systèmes d'observations passifs et actifs
- Observations optiques et IR
 - Imagerie
 - Spectroscopie
- RADAR et LIDAR



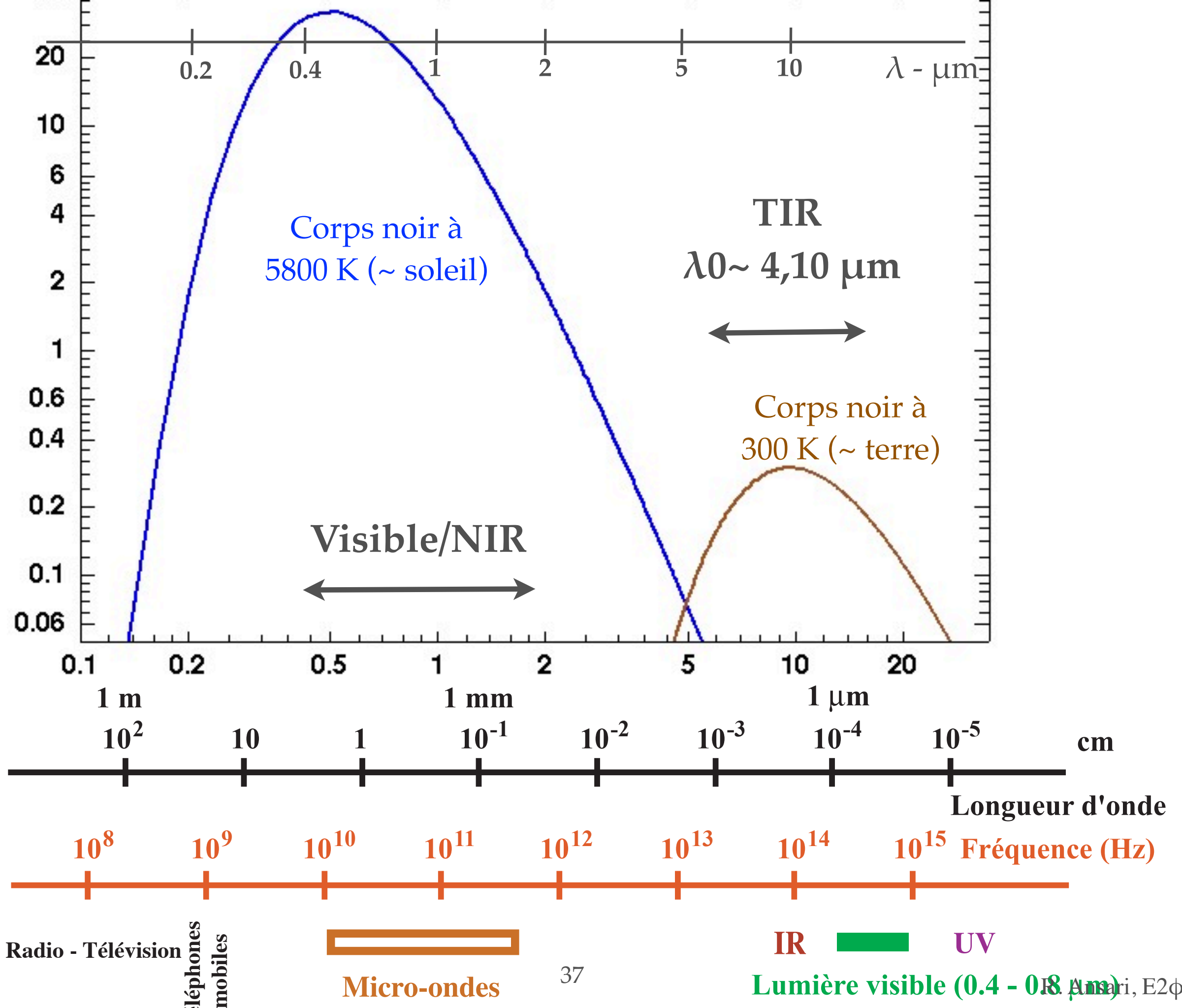
Télédétection: Principe des observations

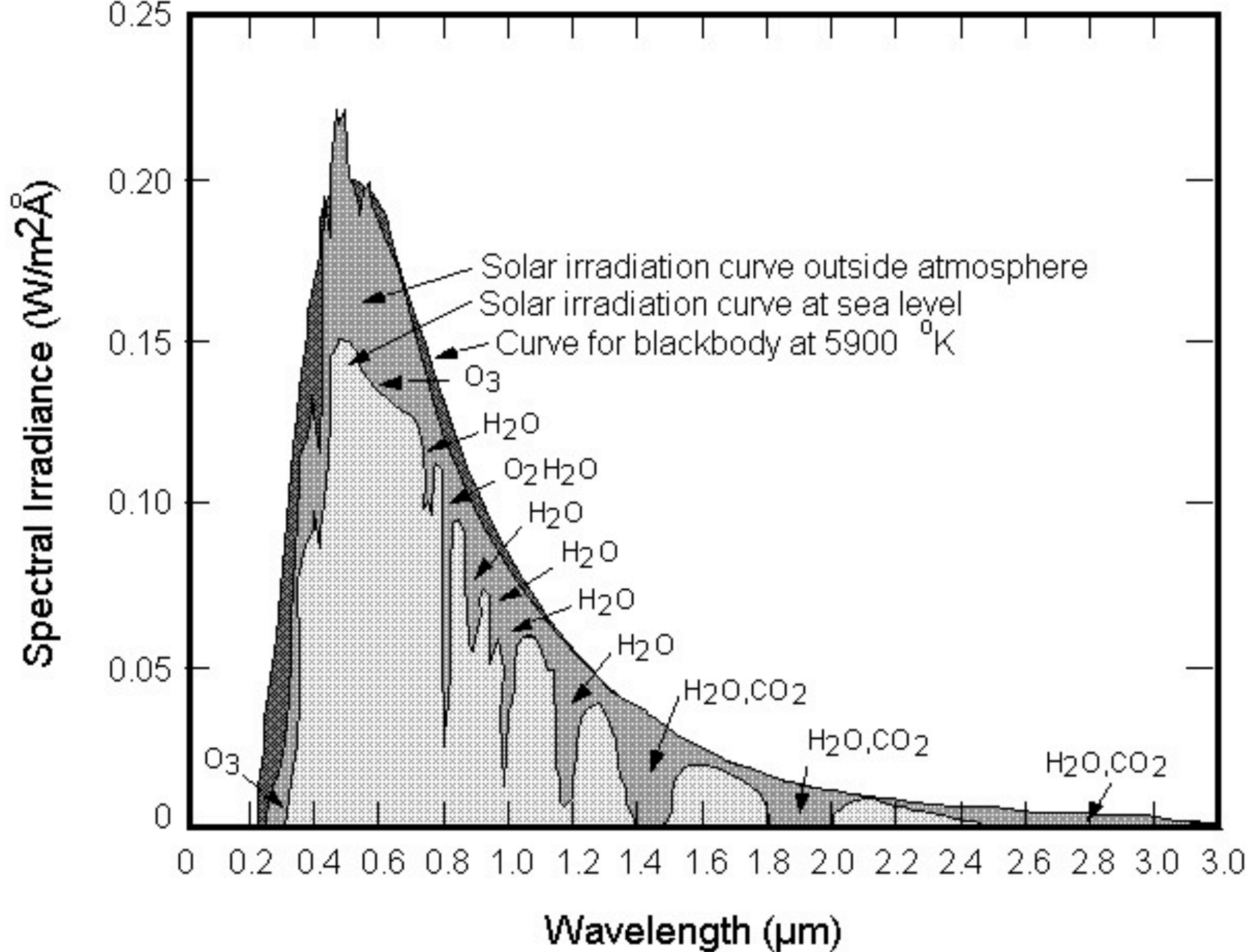
SPECTRE EM : VISIBLE ET INFRA-ROUGE TERMIQUE



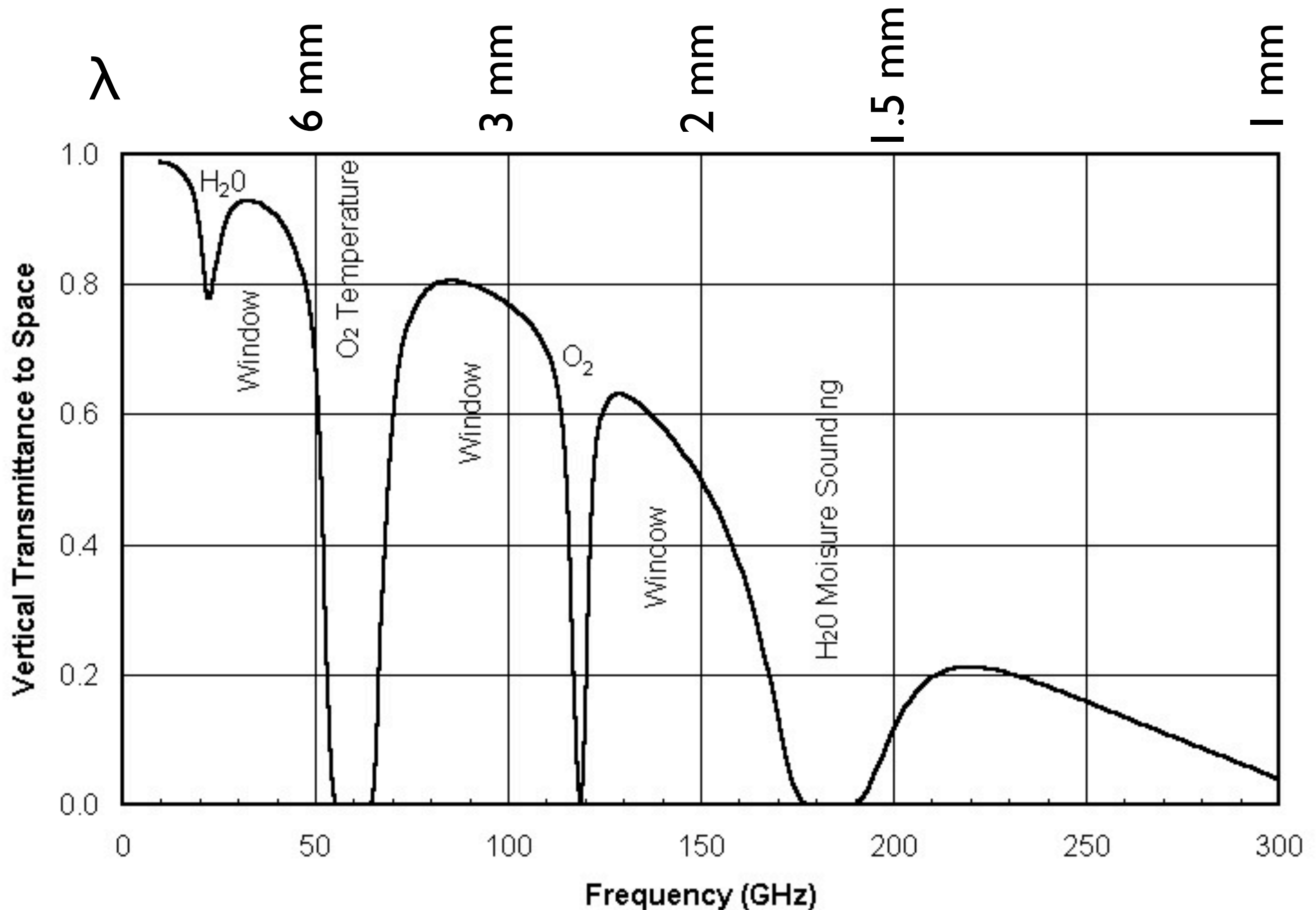
Le spectre électromagnétique

http://en.wikipedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg/





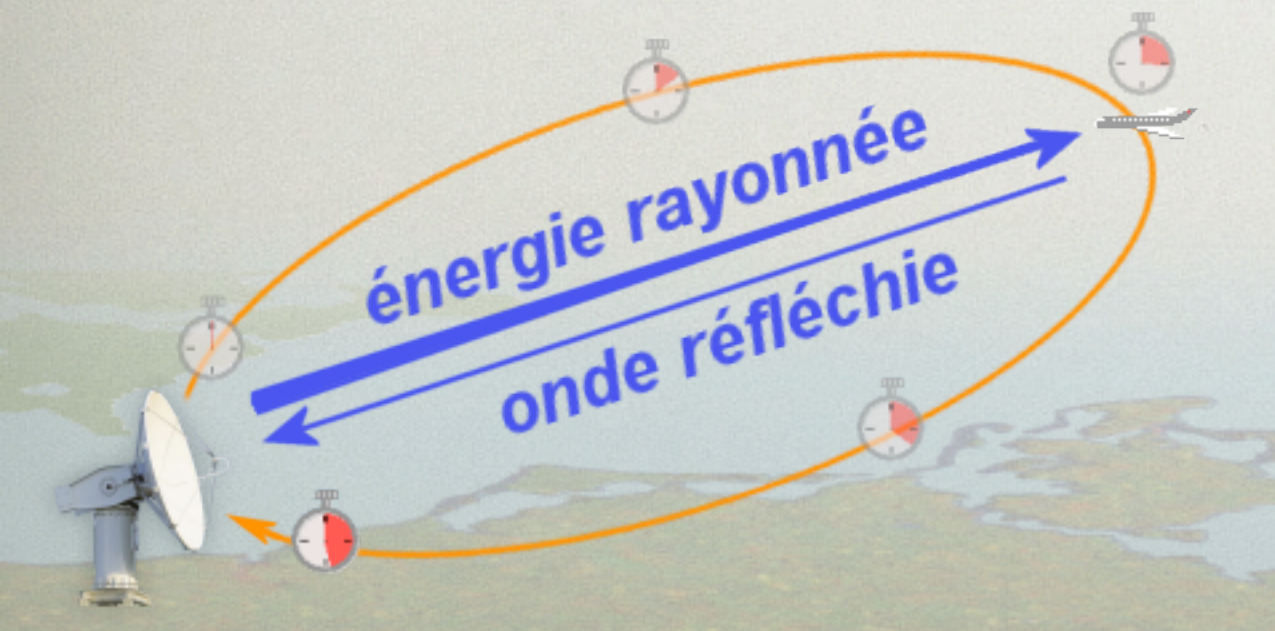
Spectre solaire et absorption atmosphérique



Transmission atmosphérique dans le domaine micro-ondes

RADAR: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- Emission d'onde EM (domaine radio / micro-onde) par une antenne émettrice; émission continue ou structurée en temps
- Onde diffusée ou rétrodiffusée par l'atmosphère (nuages), ou le sol, ou un objet
- Analyse des caractéristiques (intensité, structure spectrale et temporelle, polarisation ...) de l'onde diffusée



- Utilisation / analyse de la structure temporelle
- Observation à travers les nuages
- Altimétrie radar
- Imagerie (SLR, SAR)
- Radiométrie, mesure du coefficient de diffusion en fonction de l'angle (scatterometry)

Missions et organismes

CNES, CNRS / INSU, CEA

ESA

NASA, NOAA, USGC



ALTIKA
Un altimètre océanographique de haute précision



CALIPSO
Cloud Aerosol Lidar Infrared Pathfinder Satellite Observation

Nuages et aérosols : quel impact sur



GMES
Global Monitoring for Environment and Security

La mobilisation européenne en faveur de l'environnement



DEMETER
Detection of Electro-Magnetic Emission

A l'écoute des tremblements de terre



HRS
Haute Résolution Stéréoscopique

La Terre en 3 dimensions



ENVISAT
ENVironmental SATellite

Le satellite européen pour l'environnement



IASI
Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
Pour une meilleure prévision météorologique



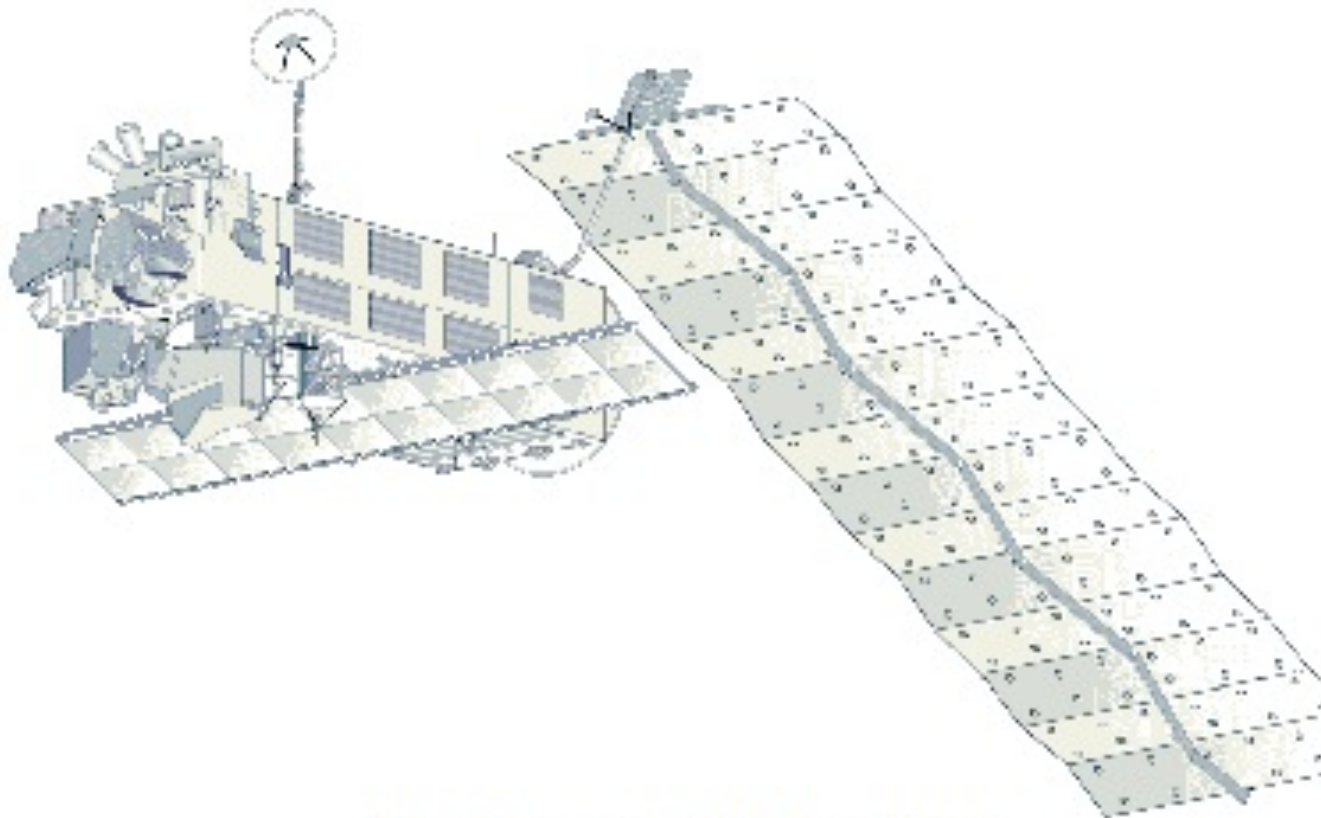
JASON 1 et 2
L'observatoire des océans

Programmes CNES

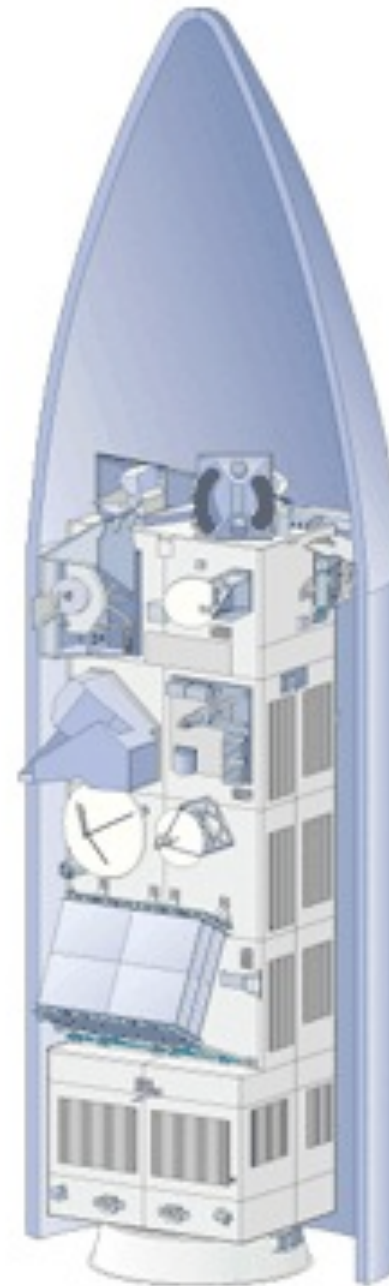
ENVISAT

- Mission ESA de l'observation de la terre (atmosphère, océan, sol et glace)
- Lancé en mars 2002 (suite de la série des ERS)
- Orbite polaire (~ 800 km) - permet de couvrir l'ensemble du globe - SSO (Sun Synchronous Polar Orbit) - inclinaison de 98 deg.

6.3.2 - ENVISAT



The Envisat satellite in flight



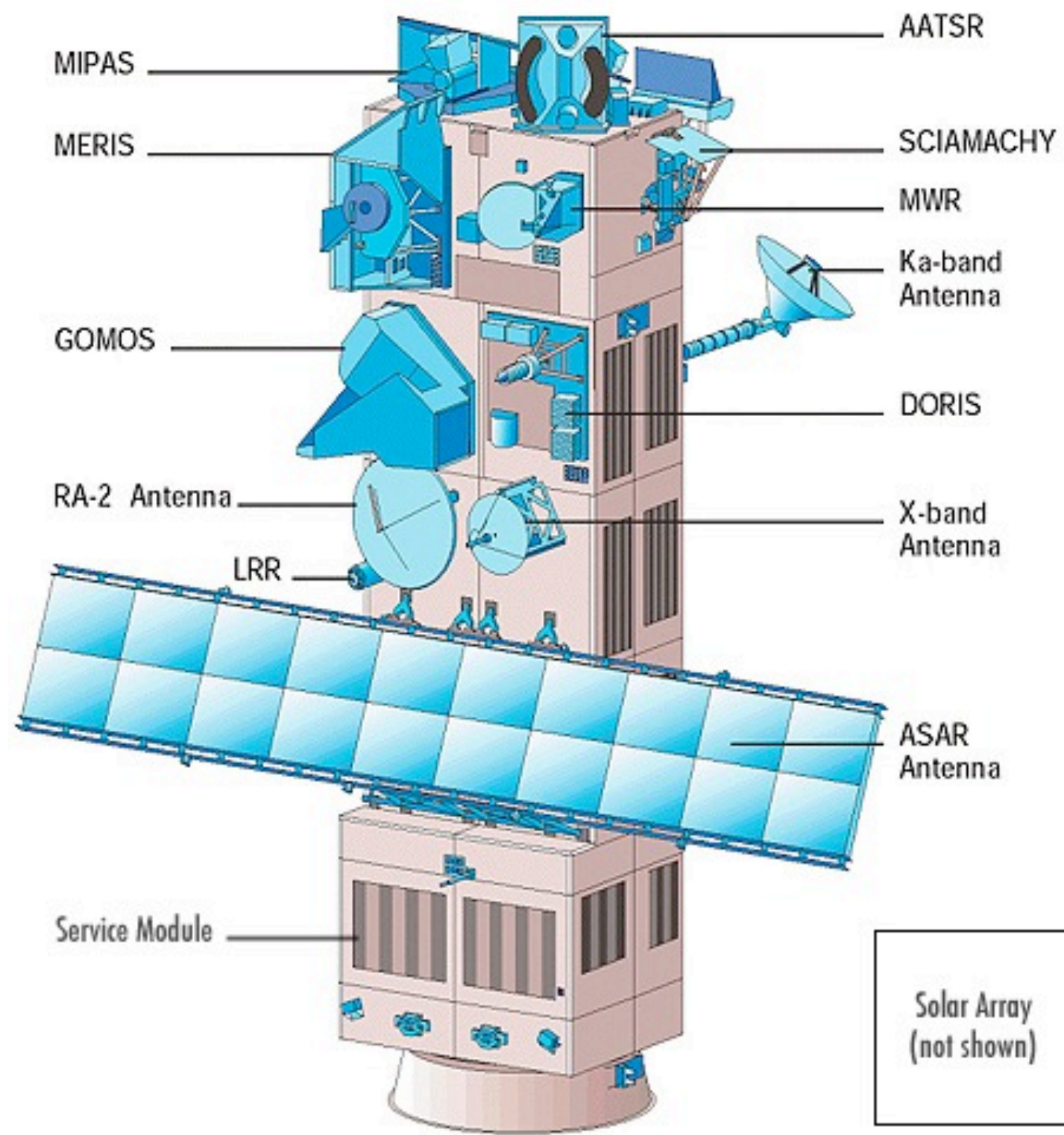
	Dimensions (m)
Launch Configuration	length 10.5 m, envelope diameter 4.57m
In-Orbit configuration	26m * 10m * 5m

Mass Budget

	Mass (kg)
Service Module	2673
Payload Equipment Bay	1021
Payload Carrier	2078
Fuel	319
Payload Instruments	2118
Total	8211

Power Budget

	Average Power (W)	
	Sunlight	Eclipse
Payload	1841	1886
Payload Module	860	527
Service Module	859	684
Total Load	3560	3097
System Capability	3847	3291



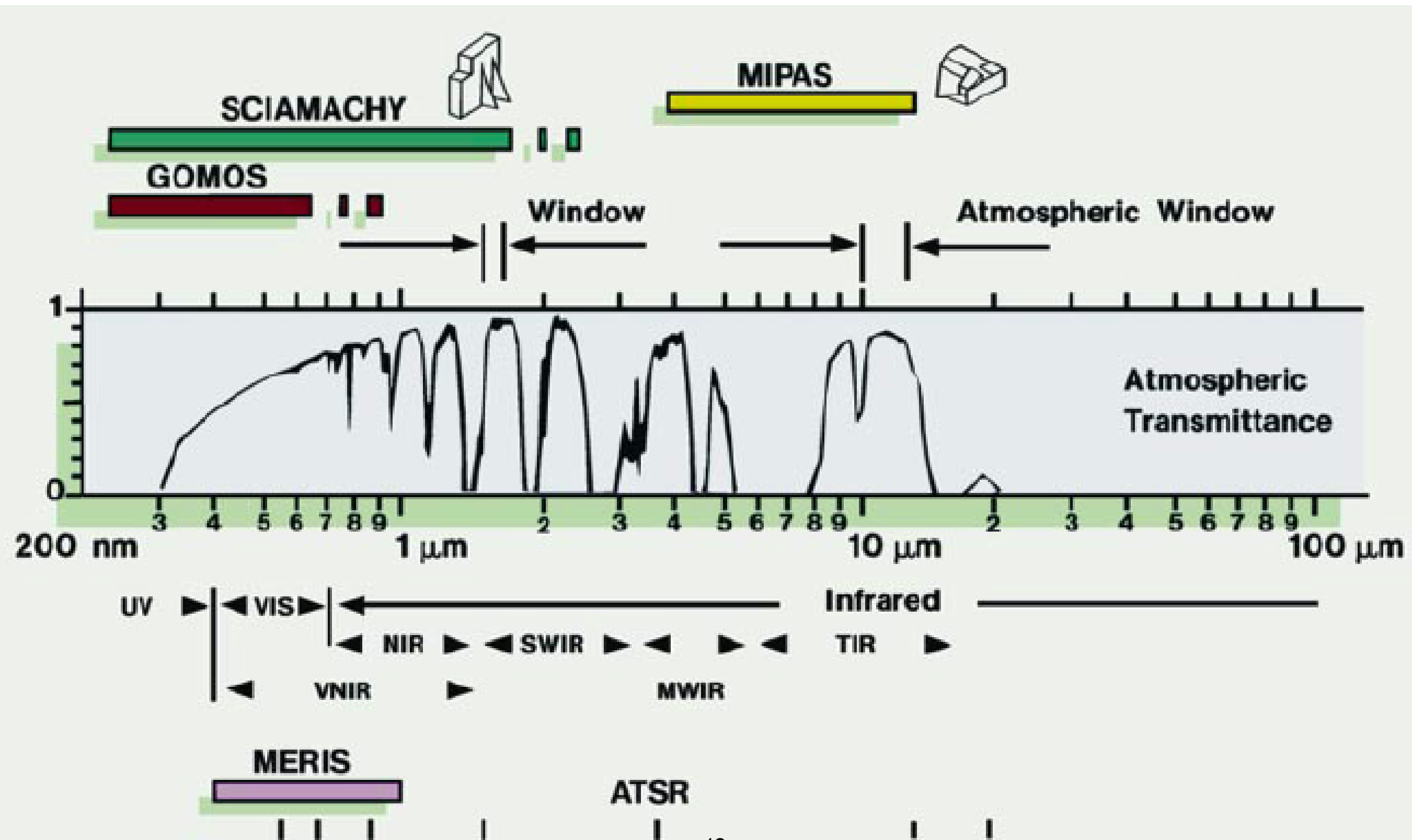
ENVISAT

ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
AATSR	Advanced Along Track Scanning Radiometer
RA-2	Radar Altimeter 2
MWR	Microwave Radiometer
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
LRR	Laser Retro Reflector
MIPAS	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding
GOMOS	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars
SCIAMACHY	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartograph

INSTRUMENTS À BORD D'ENVISAT

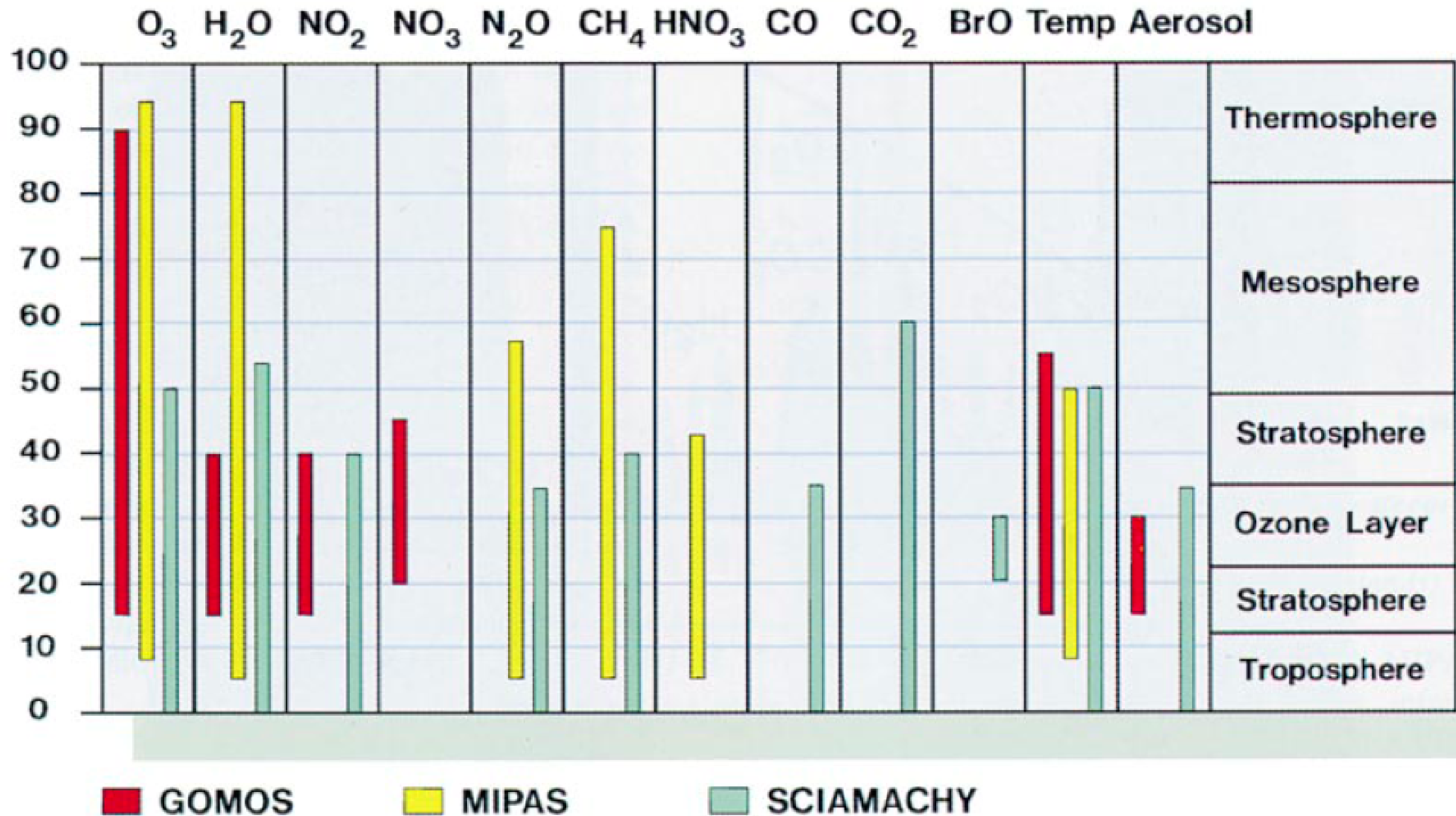
- AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer)
- ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar)
- GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars)
- MERIS (MEdium Resolution Image Spectrometer Instrument)
- MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding)
- MWR (MicroWave Radiometer)
- SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY)

ENVISAT : Domaine de sensibilité spectrale des instruments



Sensor	Product Type
GOMOS	Vertical concentration profiles of O ₃ , NO ₂ , NO ₃ , O ₂ , H ₂ O, (OCIO and BrO during ozone hole conditions), aerosol extinction coefficients, temperature, atmospheric turbulence, polar stratospheric clouds, (noctilucent clouds).
MIPAS	Vertical concentration profiles of around 20 relevant trace gases including primary species: O ₃ , H ₂ O, CH ₄ , N ₂ O and HNO ₃ , also temperature, distribution of aerosols, tropospheric cirrus and stratospheric ice clouds (including polar stratospheric clouds).
SCIAMACHY	Vertical concentration profiles of - in the troposphere: O ₃ , O ₄ , N ₂ O, NO ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ , (HCHO, SO ₂ , in polluted conditions) in the stratosphere: O ₃ , O ₂ , O ₄ , NO, NO ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ , volcanic eruption: SO ₂ and Ozone hole conditions: OCIO, ClO. Aerosol parameters, cloud measurements, pressure and temperature measurements.
MERIS	Aerosol optical thickness and type, cloud reflectance, cloud top height, water vapour column abundance.
AATSR	Cloud parameters: cloud type, water/ice discrimination and particle size distribution, aerosol distribution.
MWR	Water vapour and liquid water content of atmosphere.

ENVISAT : Mesure de concentrations atmosphériques



- CNES <http://www.cnes.fr/>
- ESA - Earth observing <http://www.esa.int/esaEO/index.html/>
- CNRS / INSU <http://www.insu.cnrs.fr/>
- NOAA <http://www.noaa.gov/>
- USGC <http://www.usgc.gov/>
- NASA <http://www.nasa.gov/>

- Physical Principles of Remote Sensing, *W.G. Rees*, Cambridge Univ. Press, 2nd Ed. 2001
- Introduction to the Physics and Technics of Remote Sensing, *C. Elachi, J. van Zyl*, John Wiley & sons, 2nd Ed. 2006

EARTH SCIENCE AND APPLICATIONS FROM SPACE

NATIONAL IMPERATIVES FOR THE NEXT DECADE AND BEYOND



Committee on Earth Science and Applications from Space:
A Community Assessment and Strategy for the Future

Space Studies Board

Division on Engineering and Physical Sciences

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
OF THE NATIONAL ACADEMIES

Rapport de National Research Council <http://www.nap.edu/>



THE NATIONAL ACADEMIES PRESS

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS
Washington, D.C.
www.nap.edu

- Will there be catastrophic collapse of the major ice sheets, including those of Greenland and West Antarctic and, if so, how rapidly will this occur? What will be the time patterns of sea-level rise as a result?
- Will droughts become more widespread in the western United States, Australia, and sub-Saharan Africa? How will this affect the patterns of wildfires? How will reduced amounts of snowfall change the needs for water storage?
- How will continuing economic development affect the production of air pollutants, and how will these pollutants be transported across oceans and continents? How are these pollutants transformed during the transport process?
- How will coastal and ocean ecosystems respond to changes in physical forcing, particularly those subject to intense human harvesting? How will the boreal forest shift as temperature and precipitation change at high latitudes? What will be the impacts on animal migration patterns and on the prevalence of invasive species?
- Will previously rare diseases become common? How will mosquito-borne viruses spread with changes in rainfall and drought? Can we better predict the outbreak of avian flu? What are the health impacts of an expanded ozone hole that could result from a cooling of the stratosphere, which would be associated with climate change?
- Will tropical cyclones and heat waves become more frequent and more intense? Are major fault systems nearing the release of stress via strong earthquakes?

Extrait du rapport “Earth Sciences and Applications from Space”, Questions clés : Fonte des glaces, sécheresse et ressources en eaux, Pollution de l’air, Ecosystèmes océaniques, Propagation des épidémies et maladies rares, Cyclones tropicaux et vagues de chaleur

THE END