



# Introduction à la télédétection et aux systèmes imageurs optiques et radar

F. Tupin



# Acknowledgements



JM. Nicolas  
Telecom ParisTech

L. Denis  
Telecom St-Etienne

C. Deledalle  
IMB

# Talk overview

- **Introduction to remote sensing imagery**
- **SAR imagery**
  - Acquisition principles
  - Acquisition modes
  - SAR statistics
  - Non local processing
- **Environmental applications of SAR imagery**





# Introduction à la télédétection





## ■ Introduction to remote sensing imagery

- Introduction
- Physique de la mesure
- Orbites
- Capteurs
- Applications environnementales



# Introduction to remote sensing

## ■ Definition (1):

- « Mesure ou acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié » (wikipedia)

## ■ Definition (2):

- « Observation de la surface terrestre à partir de l'espace en utilisant les propriétés des ondes électro-magnétiques émises, réfléchies ou diffractées par les corps observés à des fins d'amélioration de la gestion des ressources naturelles, d'aménagement du territoire ou de protection de l'environnement » (GIS Bretel)



# History of remote sensing

## ■ 1844:

- First photos using balloons for topography

## ■ 1900-1960

- Intensive use of aerial photo during first WW
- Cartographic and prospective applications
- Developments of photogrammetry

## ■ 1960-

- Space sensors: Landsat 1 (1972) ; GOES mission (1975); Seasat (1978); Spot-1 (1986); ERS-1 (1991); ...
- Now: sensor constellations !....



*RST web page*



Anzahl der Satelliten 5, identisch  
Bahnebenen 3  
Mittlere Höhe ca. 500 km, optimiert  
für höhere Auflösung  
Bahnneigung ca. Polar, alle  
Anzahl der Satelliten in den  
Bahnebenen  
Orbit 1: 2 Satelliten  
Orbit 2: 1 Satellit  
Orbit 3: 2 Satelliten  
Winkel zwischen den Bahnebenen  
und Phasenwinkel der Satelliten  
optimiert für eine kürzest mögliche  
Systemantwortzeit

# Remote sensing applications

## ATMOSPHERE

Clouds and movements,  
temperature, water content,  
composition  
*Meteo, climate change, pollution*



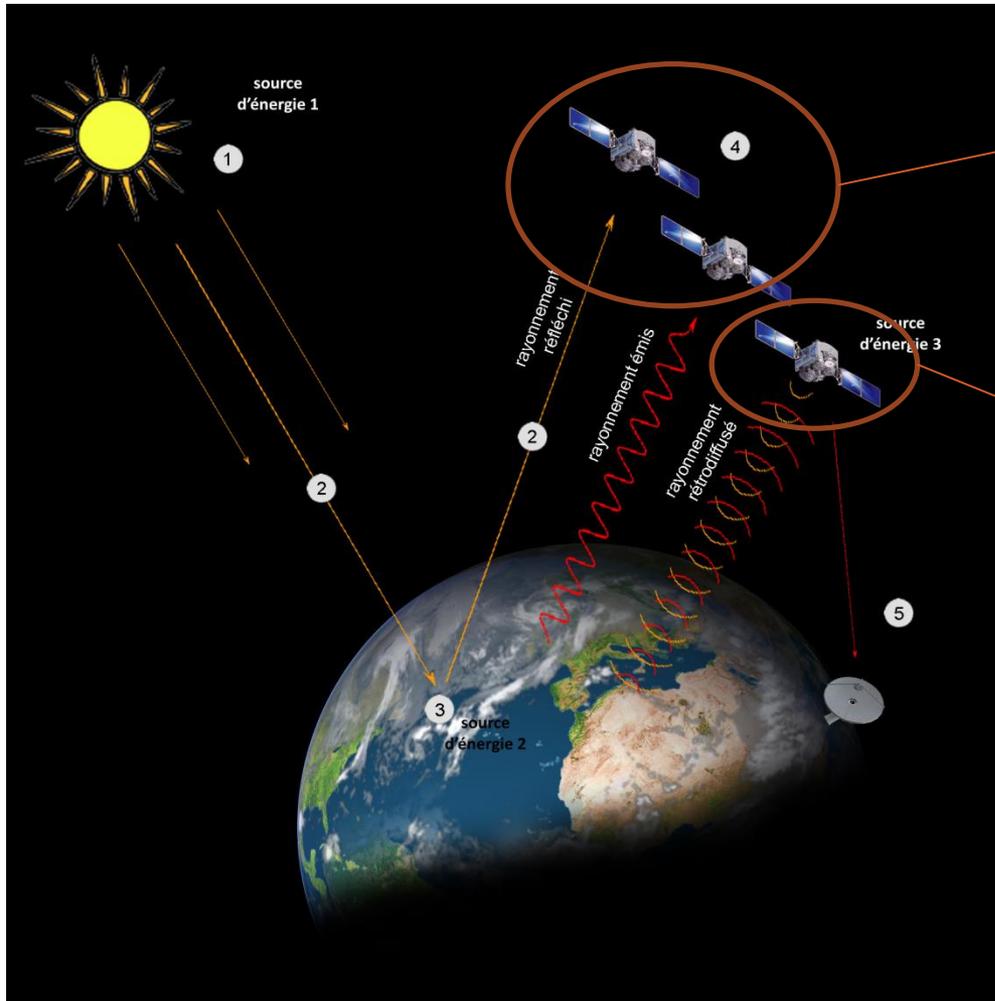
## OCEAN

Temperature, color, tides, sea levels,  
ice sheets and movements  
*Ocean survey, climate change, pollution*

## LAND

Urban and land use, topography  
*Emergency response, land or  
urban mapping and mon*

# Physique du rayonnement



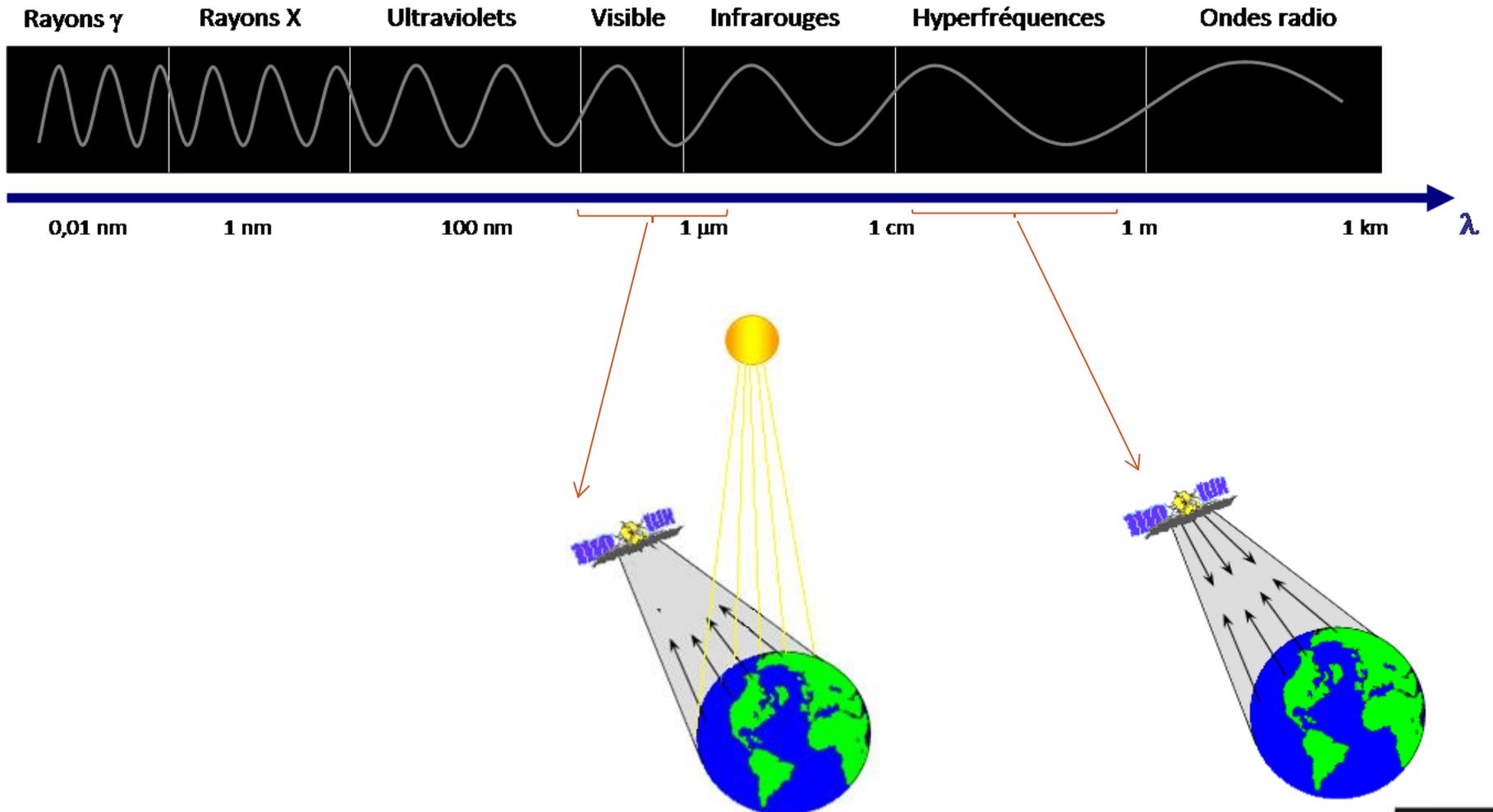
Capteurs passifs

- domaine optique
- IR thermique

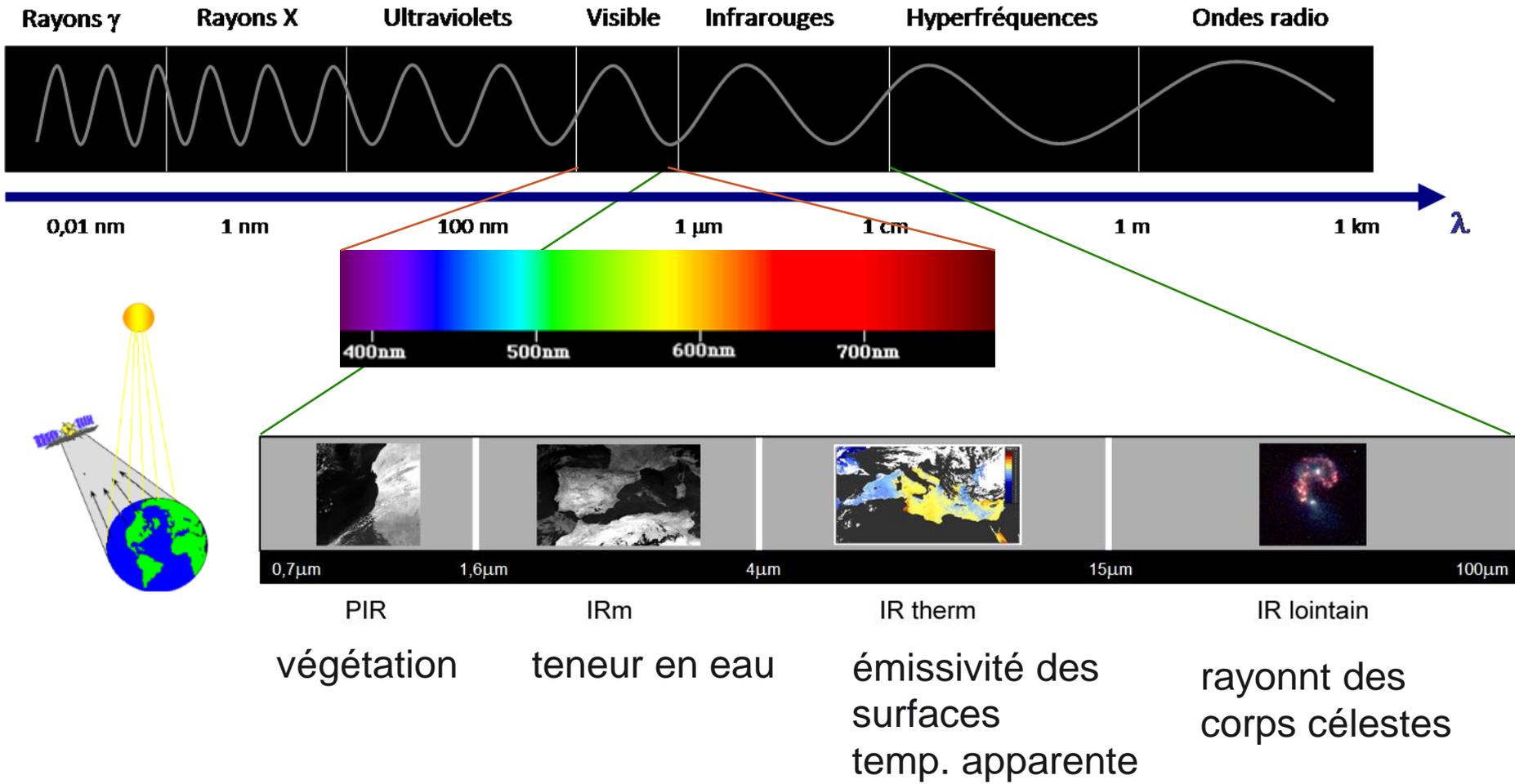
Capteurs actifs

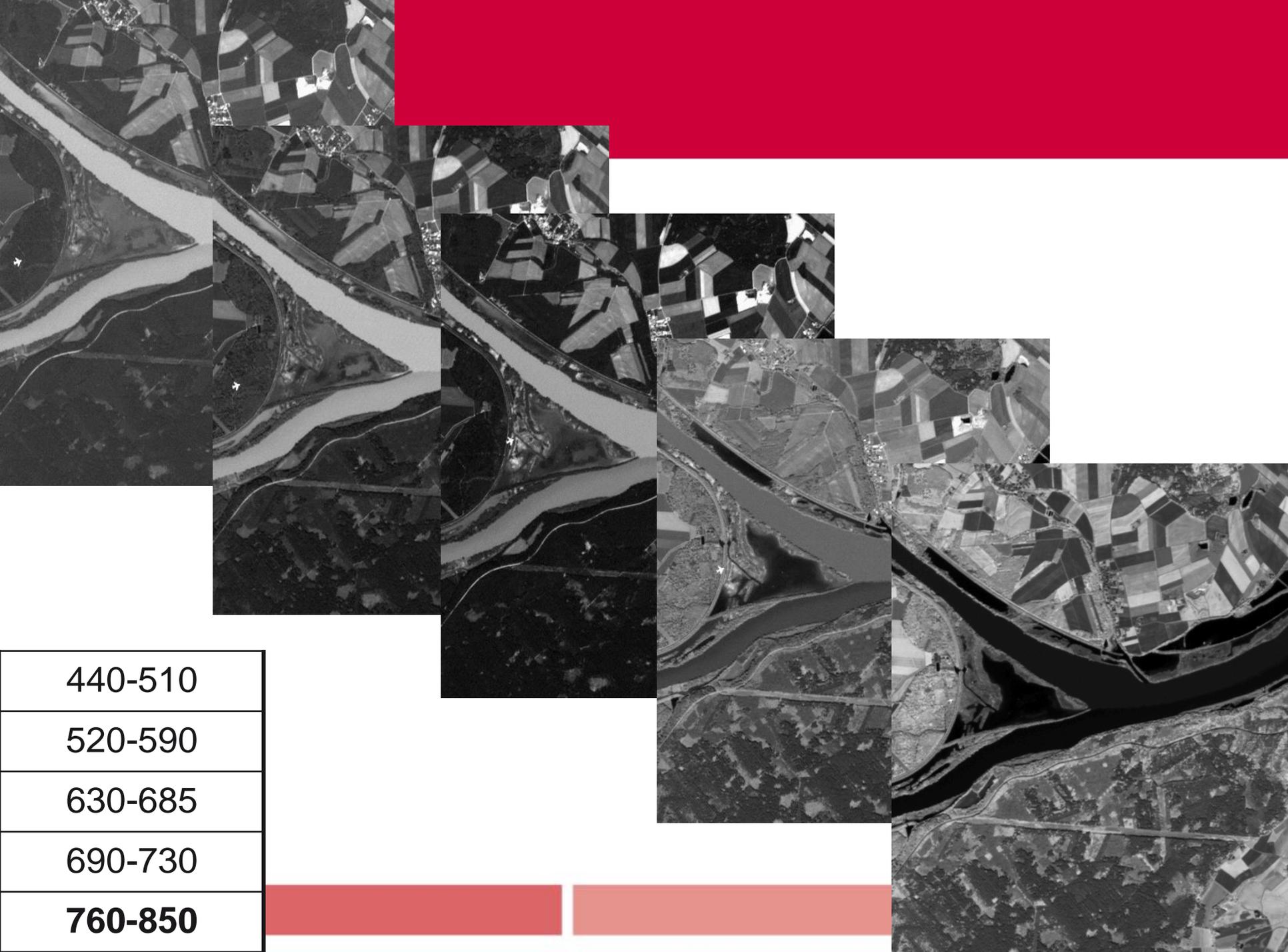
- radar
- lidar

# Physique du rayonnement



# Physique du rayonnement





440-510

520-590

630-685

690-730

**760-850**

# Images en fausses couleurs



- A gauche : canaux B+V+R (1, 2 et 3)
- A droite : canaux B+V+MIR (2, 3 et 4)

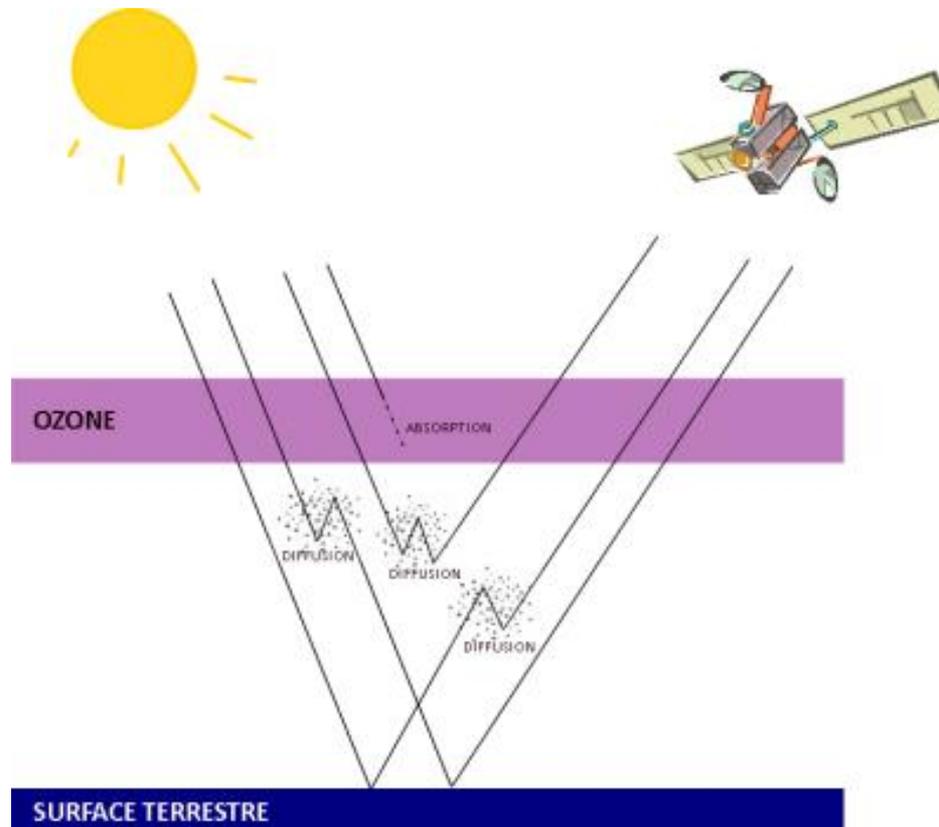


# Mesure du rayonnement

- **Luminance: flux énergétique enregistré au niveau du capteur**
- **Réflectance: rapport énergie émise / énergie incidente (en %)**  
(permet de s'affranchir de l'éclairement reçu)
  
- **Pour remonter aux grandeurs physiques:**
  - Corrections atmosphériques
  - Étalonnage

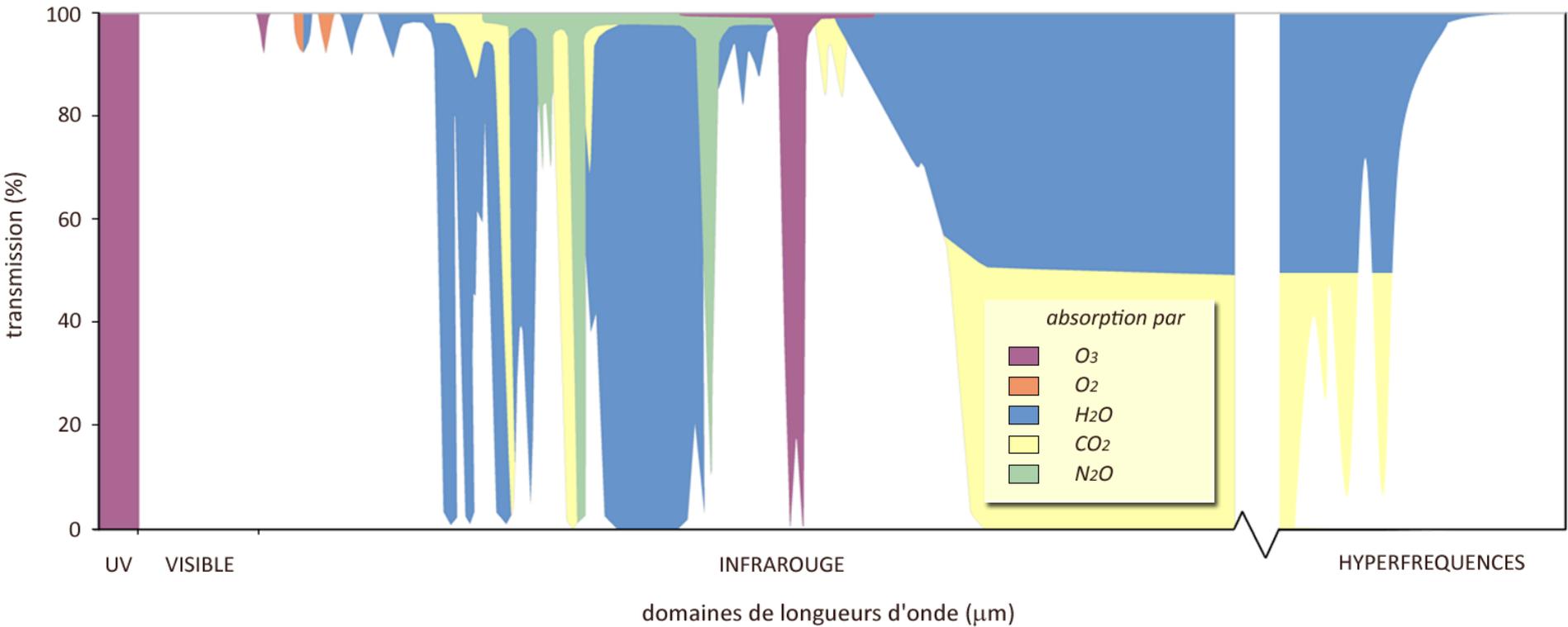
# Rayonnement et atmosphère

Interactions avec molécules gazeuses et particules (aérosols, gouttelettes, poussières)



- Perturbations à corriger
- Objets des mesures (propriétés de l'atmosphère)

# Fenêtres atmosphériques



↔  
Capteurs dans  
le visible

↔  
Capteurs dans  
l'IR  
(3,5 – 3,9  $\mu\text{m}$ )  
(10,5 – 12,5  $\mu\text{m}$ )

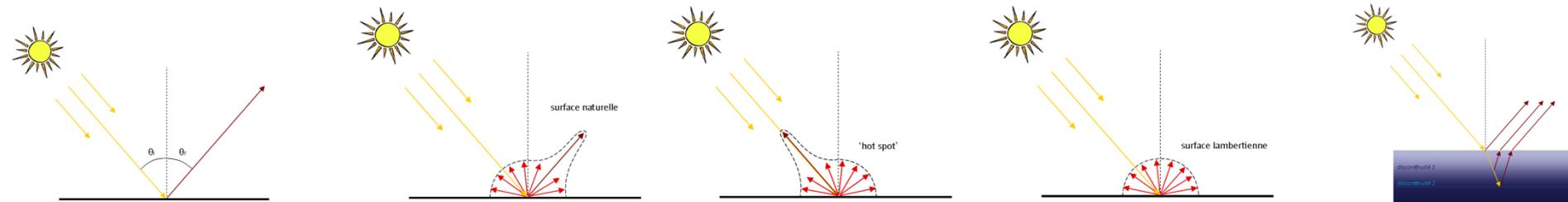
↔  
Capteurs  
actifs

# Rayonnement et matière

## ■ Interaction

- Absorption / réflexion / transmission

## ■ Réflexion



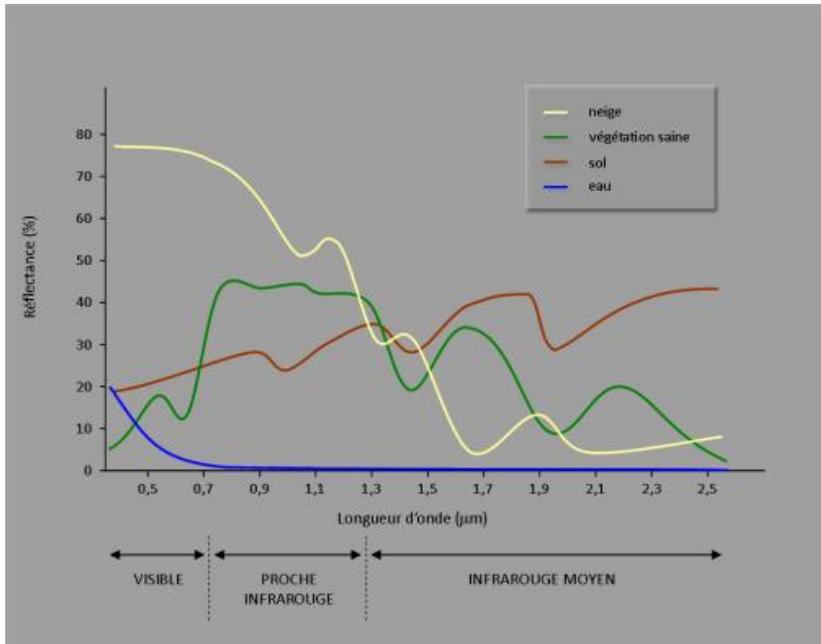
## ■ Absorption

- Atmosphère, surfaces naturelles

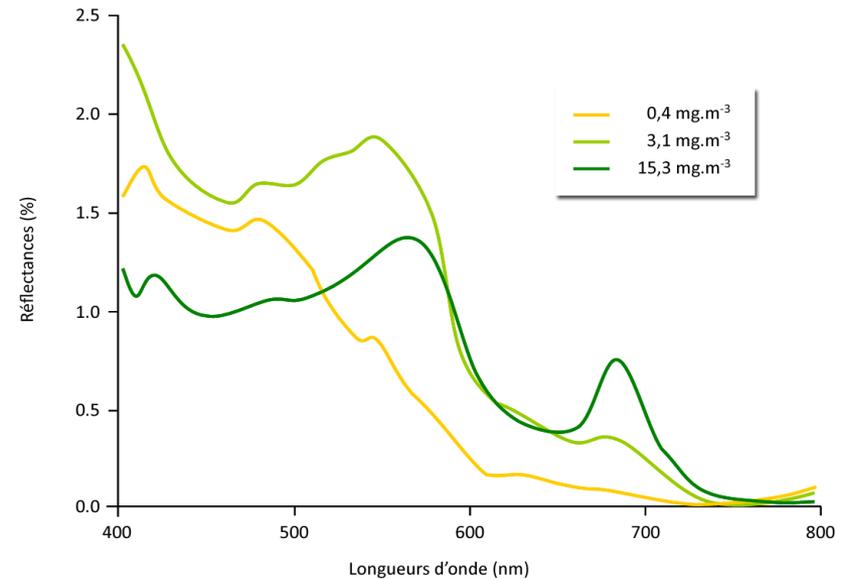
## ■ Transmission

- Milieux transparents pour certaines longueurs d'onde

# Signatures spectrales



Signature spectrale des ppales surfaces naturelles  
Identification en imagerie multi/hyper spectrale



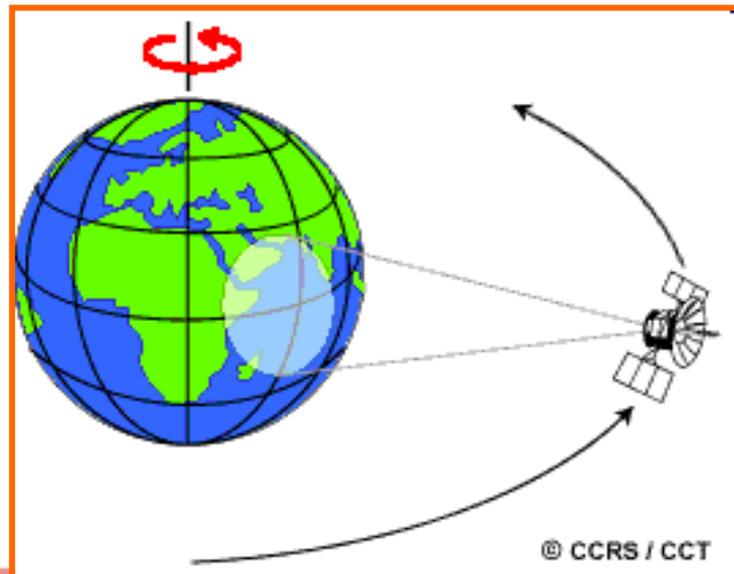
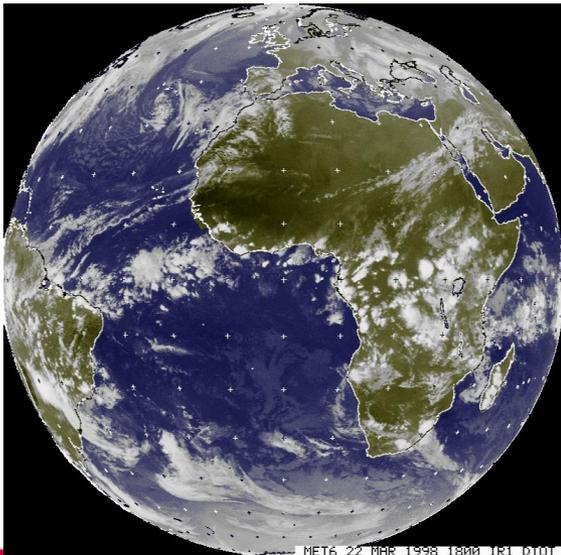
Signature spectrale de l'eau de mer en fonction de sa teneur en chlorophylle  
Elle dépend aussi de la turbidité (teneur en matériaux sédimentaires)

# Acquisition des données

## ■ Orbites des satellites :

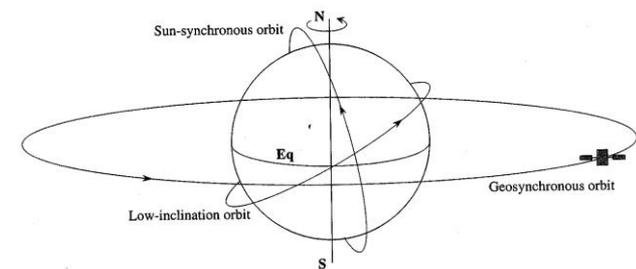
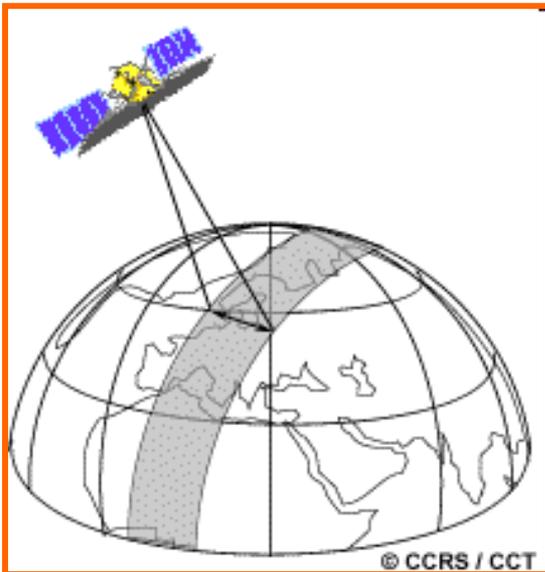
- Capteurs géostationnaires (orbite circulaire dans le plan de l'équateur, géosynchrone, hauteur 36 000km)

Météo



# Acquisition des données

- Capteurs à défilement (orbites quasi-circulaires, basses 500-1500km, inclinaison variable, souvent héliosynchrone)



# Orbite héliosynchrone

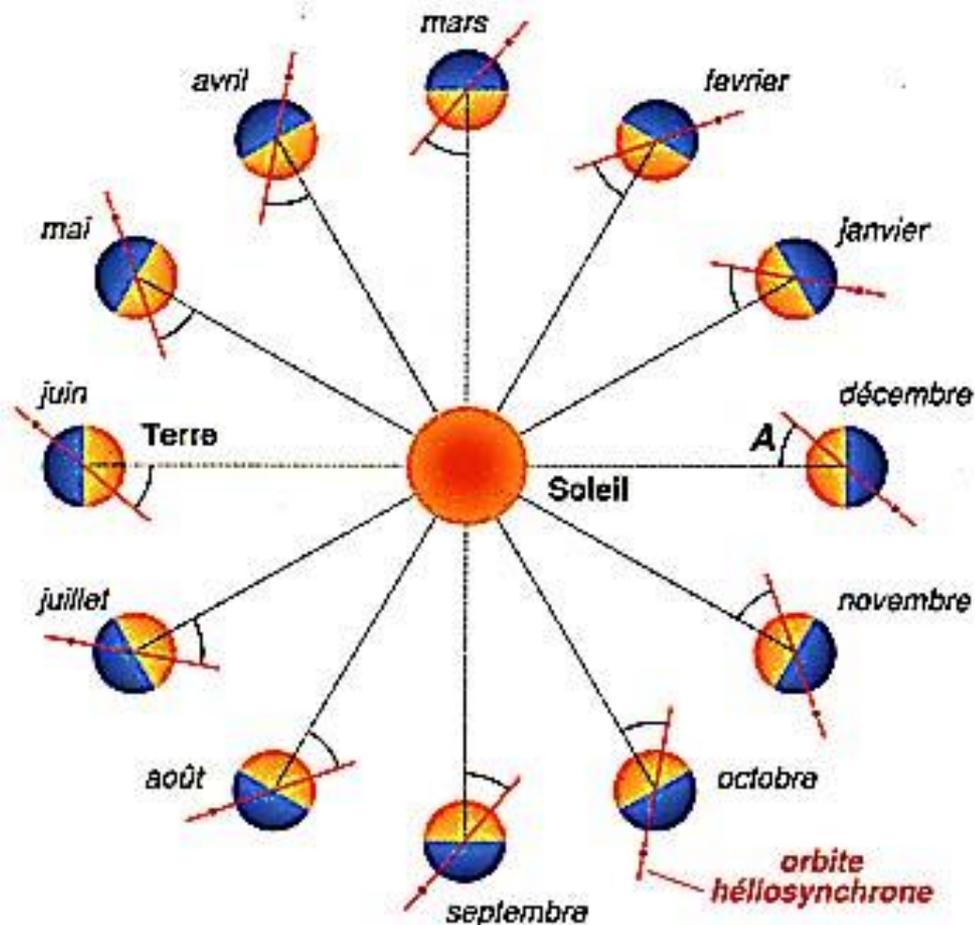
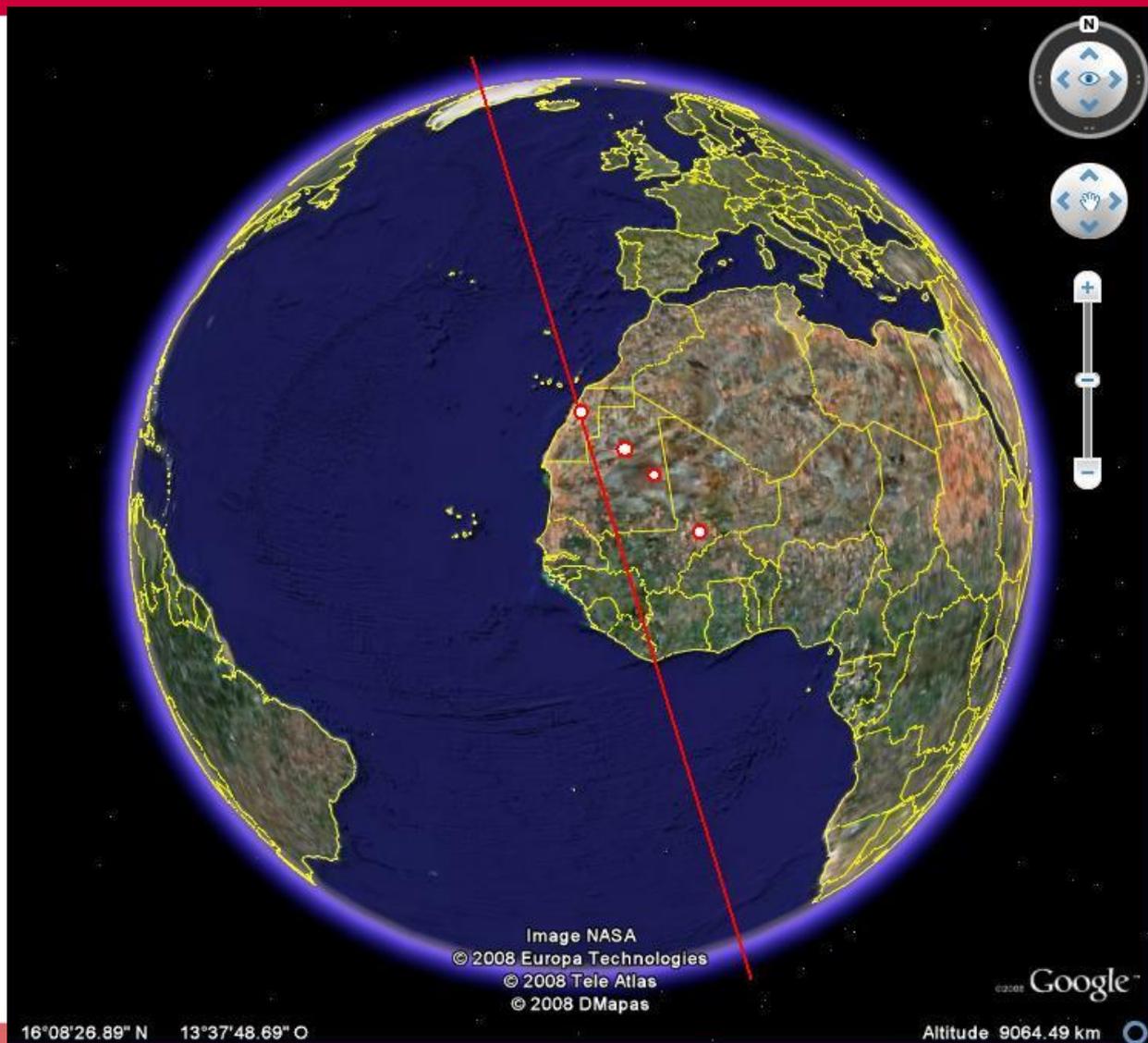


Fig. 28 - Principe de l'héliosynchronisme. L'angle A formé par le plan de l'orbite et la direction Terre - Soleil demeure constant au cours de l'année.

©Verger

# Un satellite et la Terre qui tourne

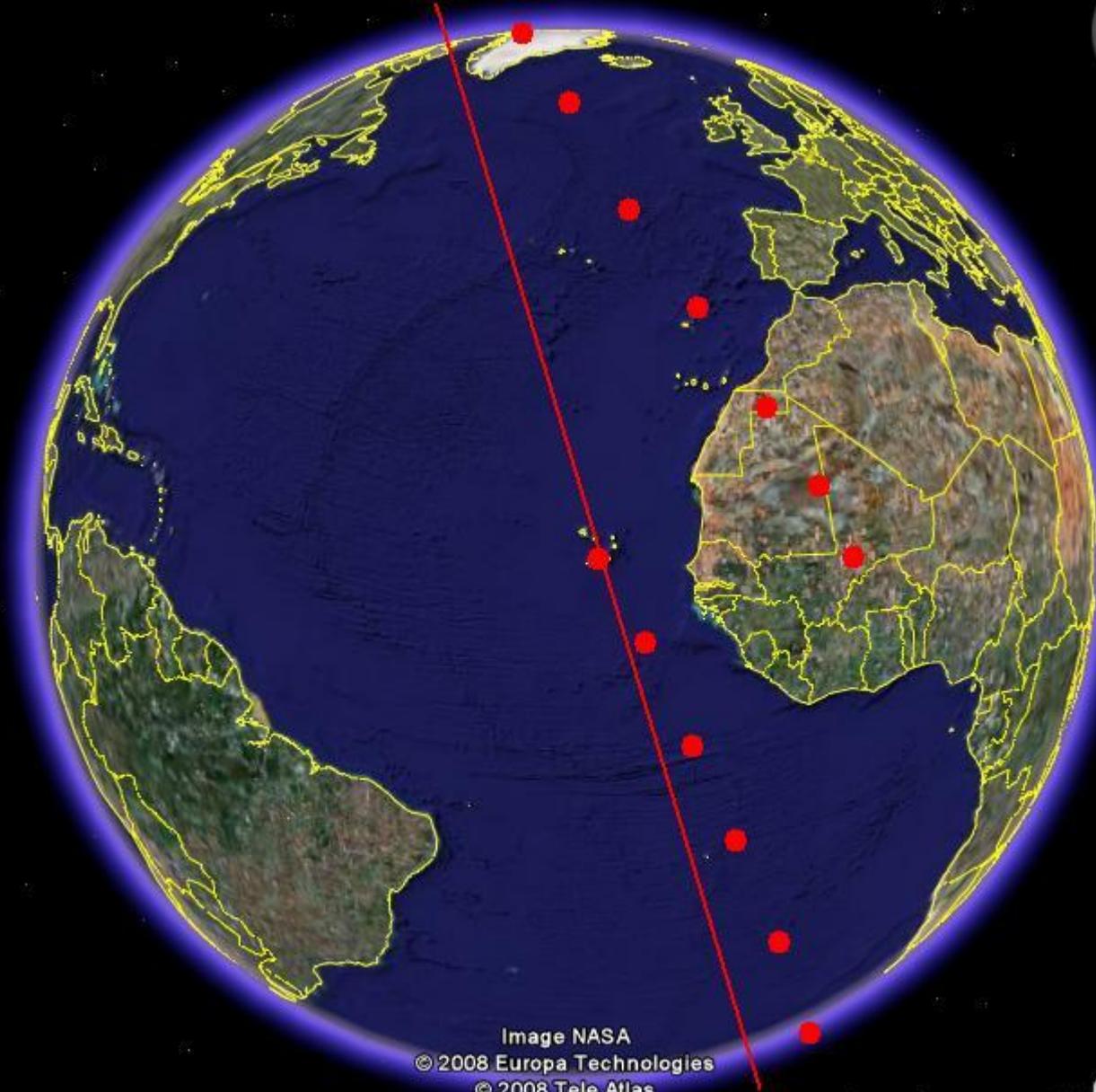


T=0'

T=3'

T=6'

T=9'



T=0'

T=97'

Image NASA  
© 2008 Europa Technologies  
© 2008 Tele Atlas  
© 2008 DMapas

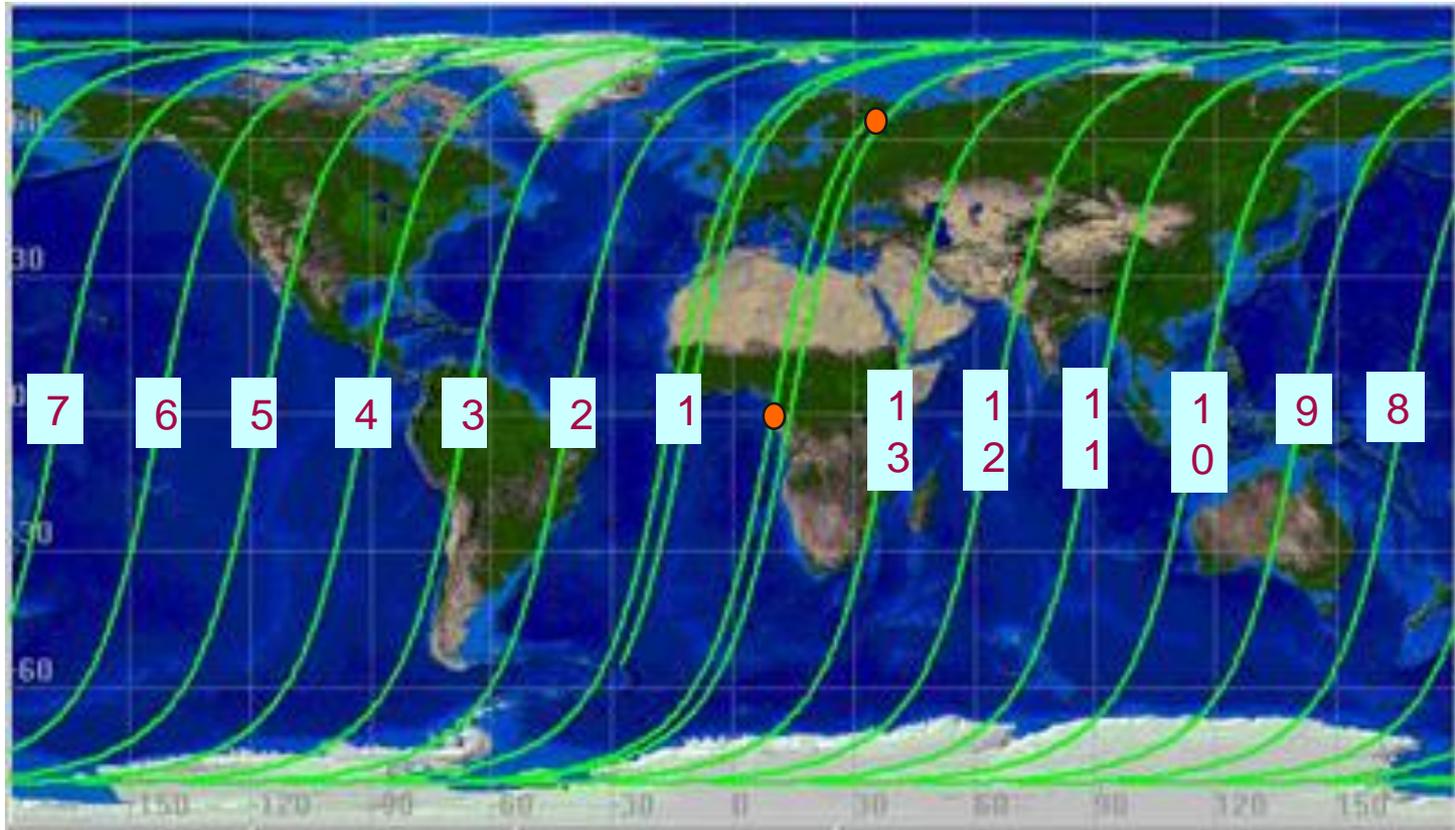
©2008 Google™

Altitude 9064.49 km



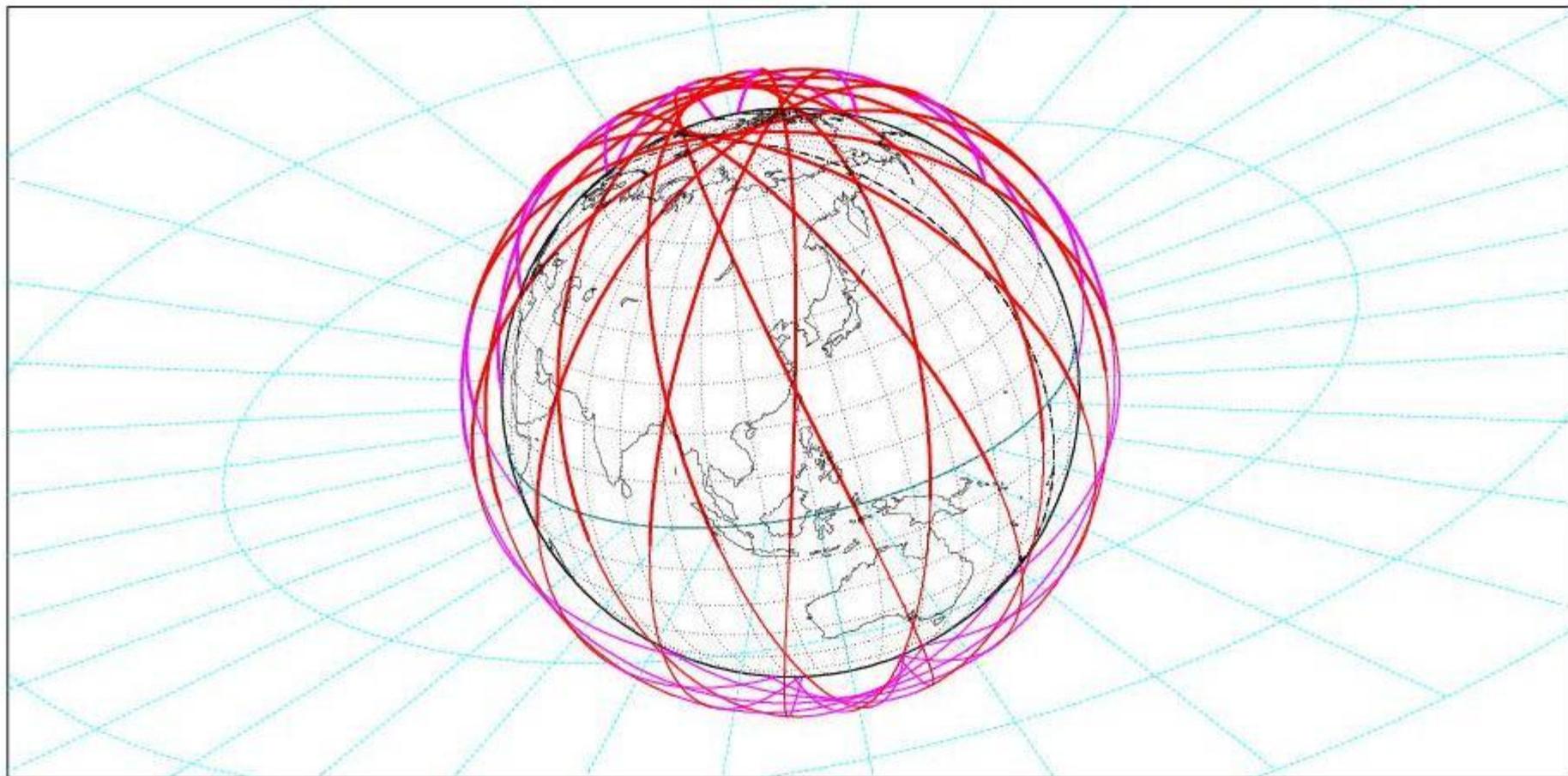
pa 15°26'50.16" N 26°16'34.47" O

# ERS : 15 traces descendantes

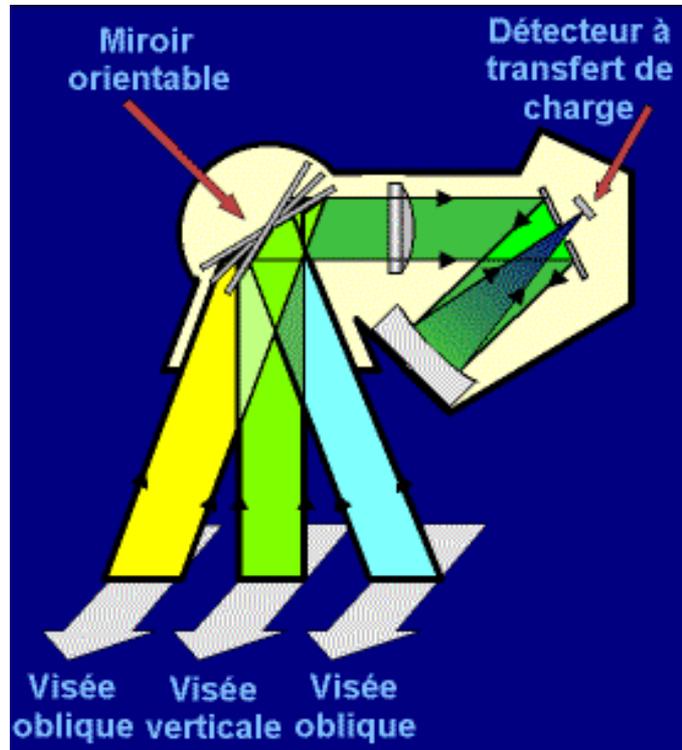




# 1 journée avec Formosat :



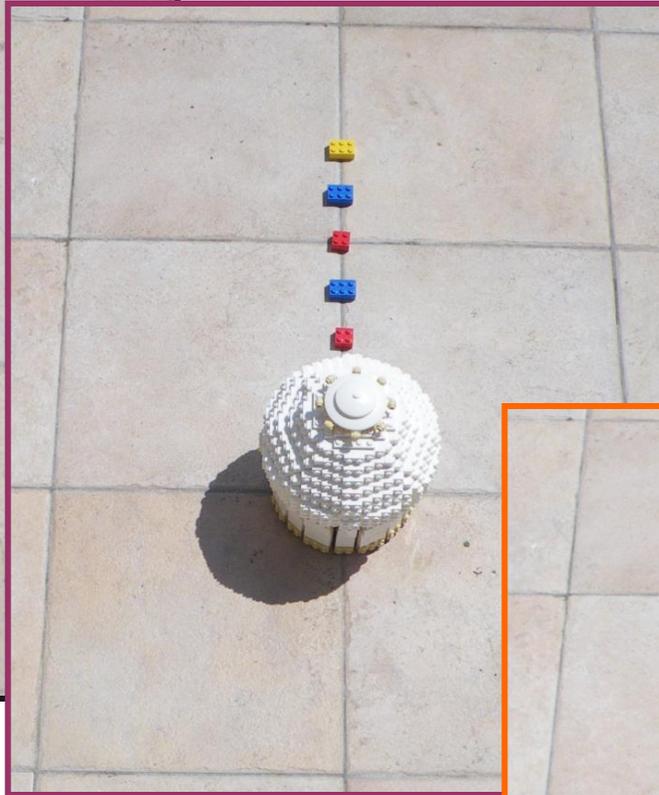
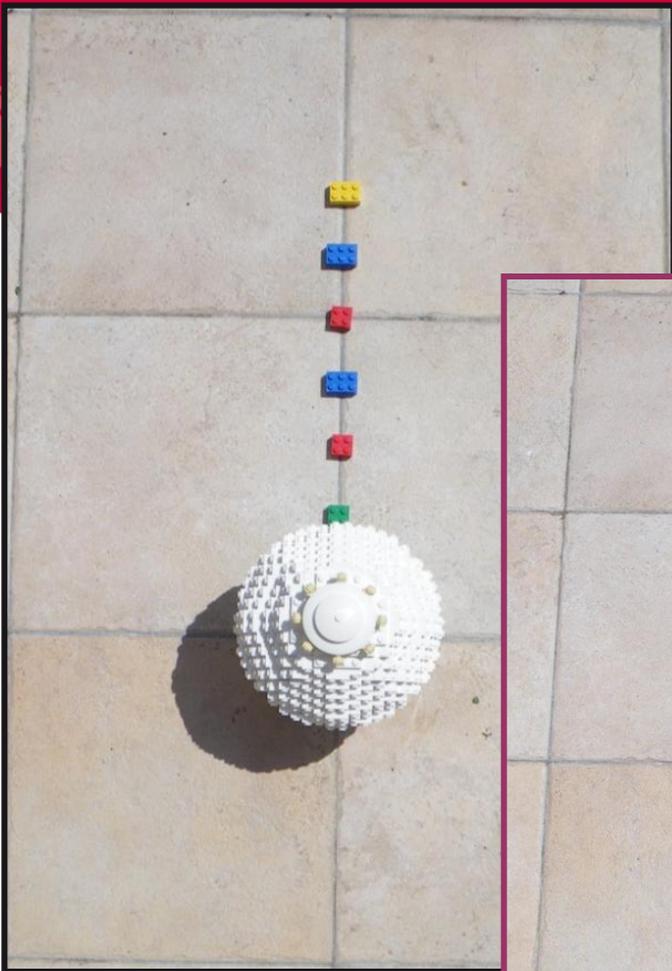
# Depuis SPOT, les capteurs sont agiles



SPOT 1 à 5 :  
Visée oblique,  
de gauche à droite  $\pm 27^\circ$   
Acquisition sur deux orbites (max : 5 jours)

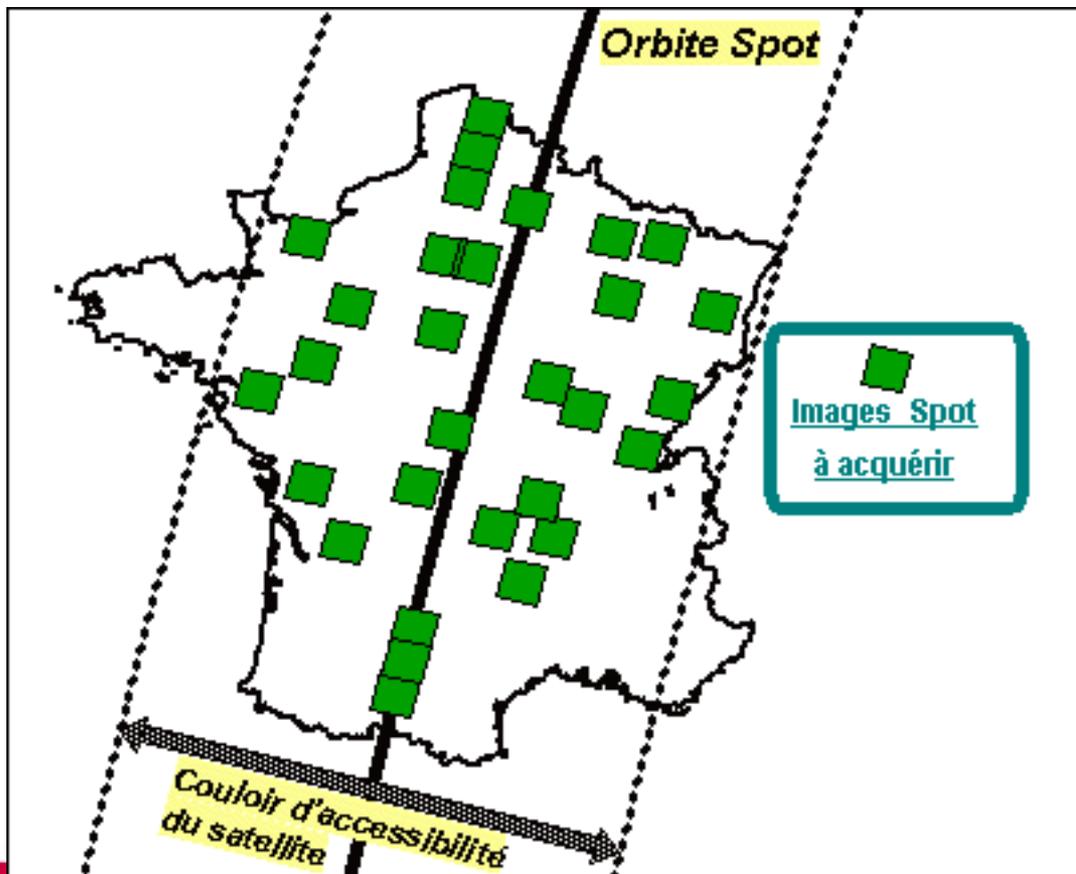
SPOT 5 :  
Visée  $20^\circ$  avant  
Visée  $20^\circ$  arrière  
Sur la même orbite

# De la visée verticale à la visée latérale : 0°, 20°, 40°, 60°



# Temps de revisite

- Utiliser l'agilité du capteur pour diminuer le temps entre acquisitions



- Image de 60 km
- Couloir de 900 km
- Pas de la trace : 2850 km
- $d=540$  km

**ATTENTION** : les paramètres d'acquisition ne sont pas identiques

# Temps de revisite : Orfeo

- Jouer sur l'agilité du capteur : avant, arrière, gauche, droite
- Jouer sur une certaine souplesse autour de la valeur de l'angle d'incidence

Variation angulaire autorisée	1 satellite	2 satellites
5°	25 jours	13 jours
20°	7 jours	5 jours
30°	5 jours	4 jours
45°	2 jours	1 jour
47°	1 jour	1 jour

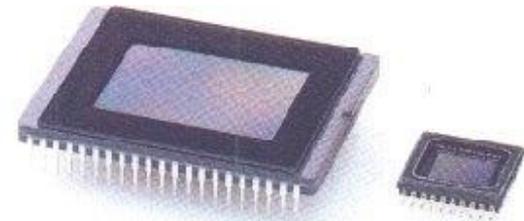
# Couverture Pléiades



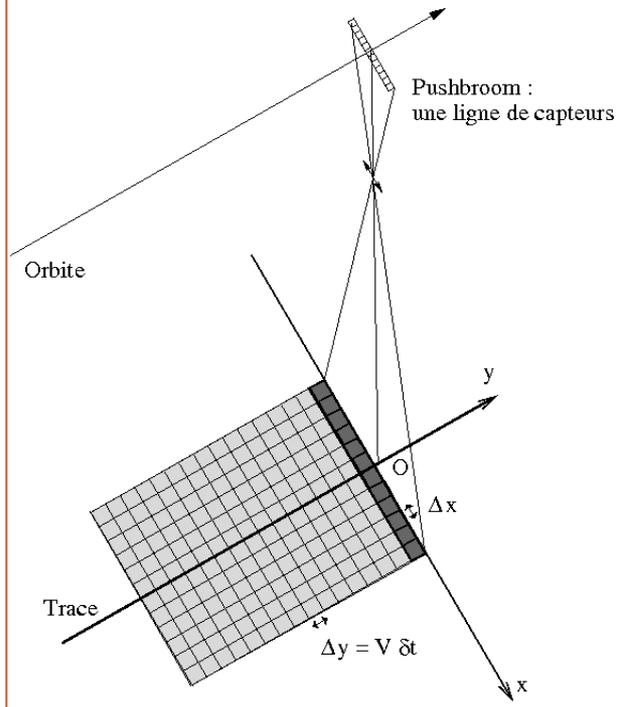
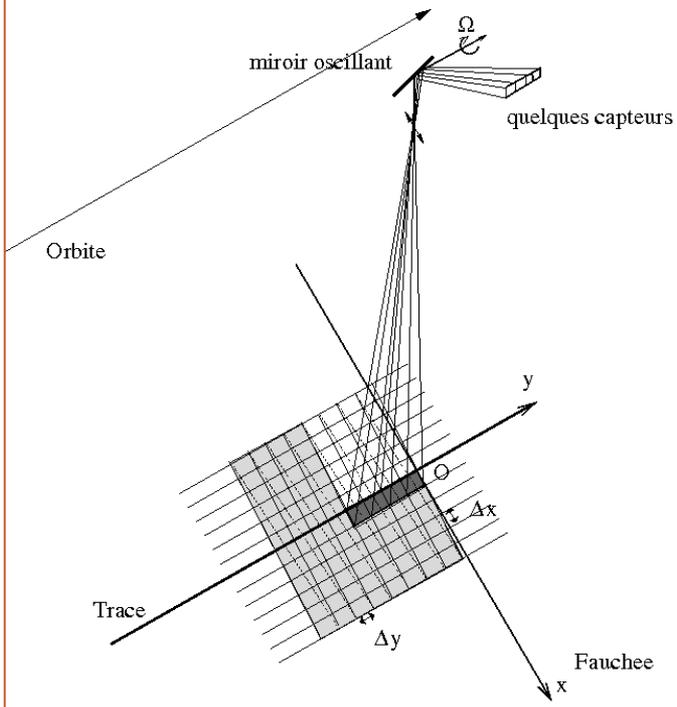
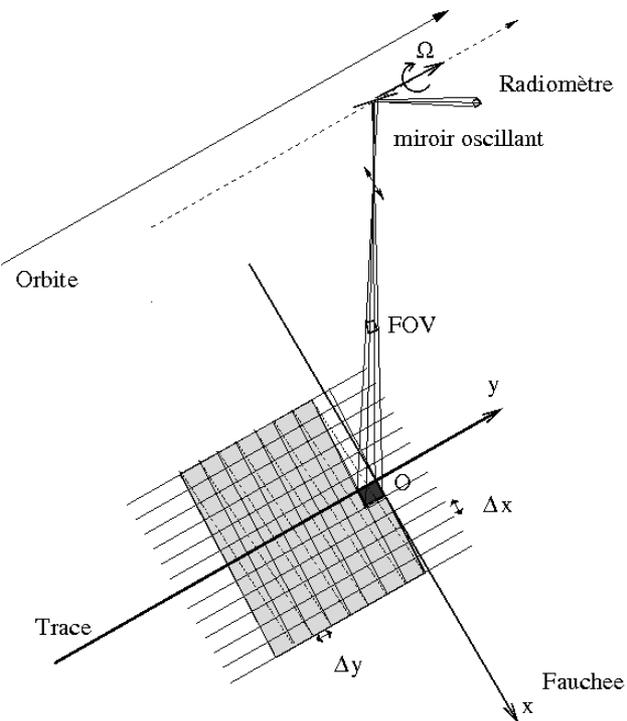
© CNES

# Capteurs optiques

- **Films photographiques (récupération)**
- **Capteurs numériques et retransmission au sol**
  - Stations sol en visibilité directe
  - Archivage à bord
- **Rotation du capteur :**
  - Mouvement du satellite
  - Miroir rotatif : Whiskbroom (LANDSAT)
- **Barrette 1-D : Pushbroom CCD (SPOT)**
- **Barrette 2-D : Matrice CCD**



# Capteurs optiques



# Capteur LANDSAT

## ■ 1970-...

## ■ Résolution :

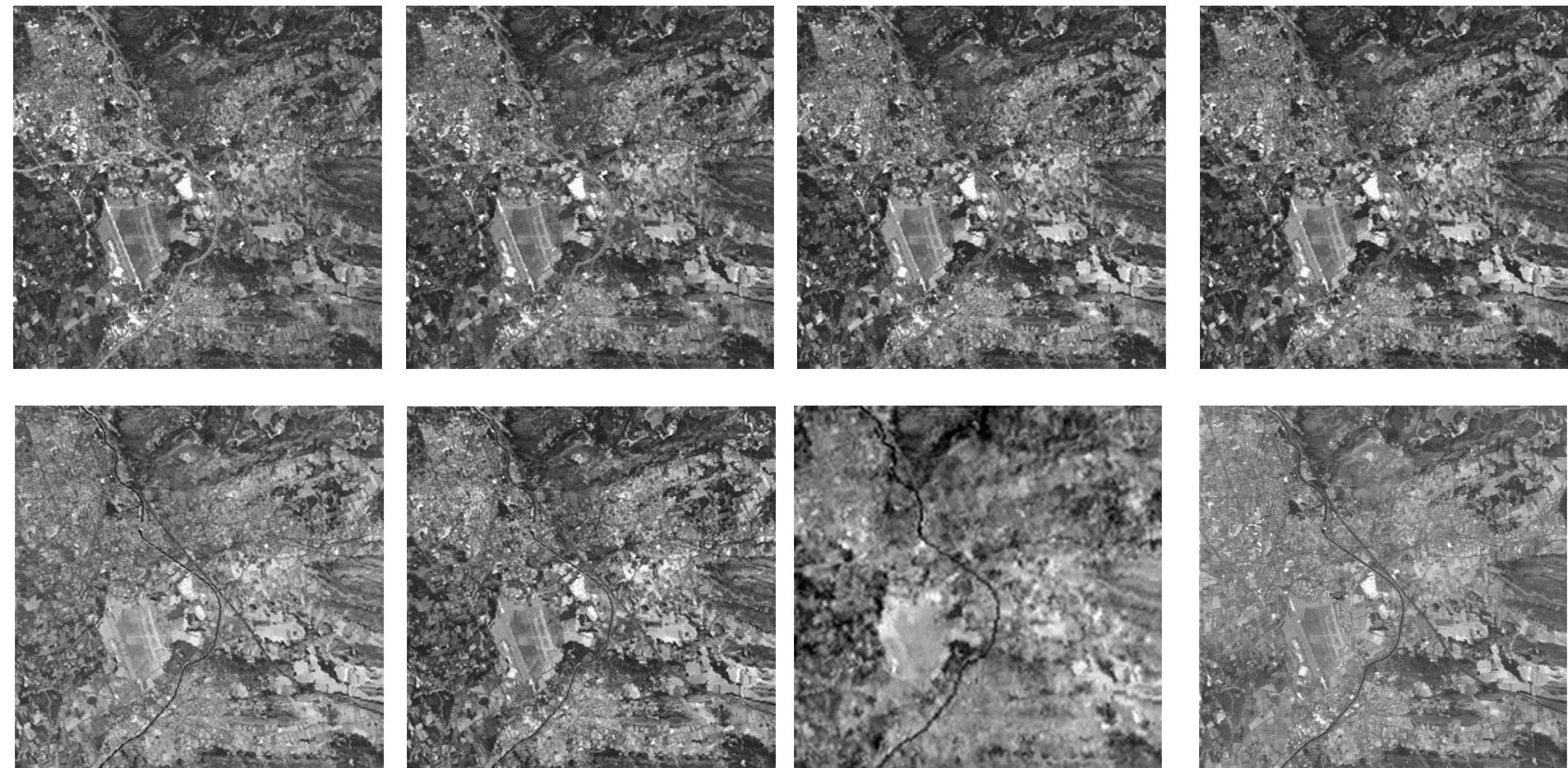
- 15 m en panchro (Landsat 7)
- 30 m en multispectral
- 60m en IRT

## ■ Multispectral :

- Canaux « RVB »
- 1 Proche Infra Rouge
- 2 Moyen Infra Rouge
- 1 Infra Rouge Thermique

Bande	$\lambda$
1 (B)	0.45-0.52
2 (V)	0.52-0.60
3 (R)	0.63-0.69
4 (PIR)	0.76-0.90
5 (MIR-1)	1.55-1.75
7 (MIR-2)	2.08-2.35
6 (IRT)	10.40-12.50
ETM+	0.52-0.90

# 7 canaux + Panchro



# Capteur WorldView-2

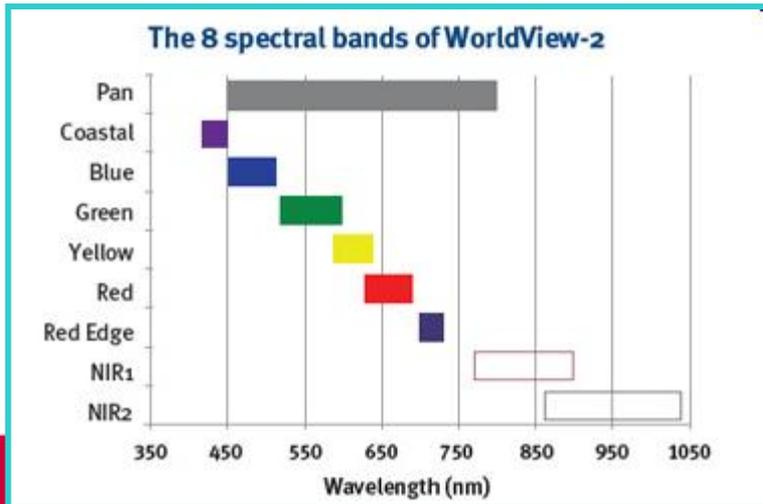
■ 2009

■ Résolution :

- 46 cm en panchromatique
- 1,8 m en multispectral

■ Multispectral :

- 4 canaux « classiques »
- 4 nouvelles couleurs



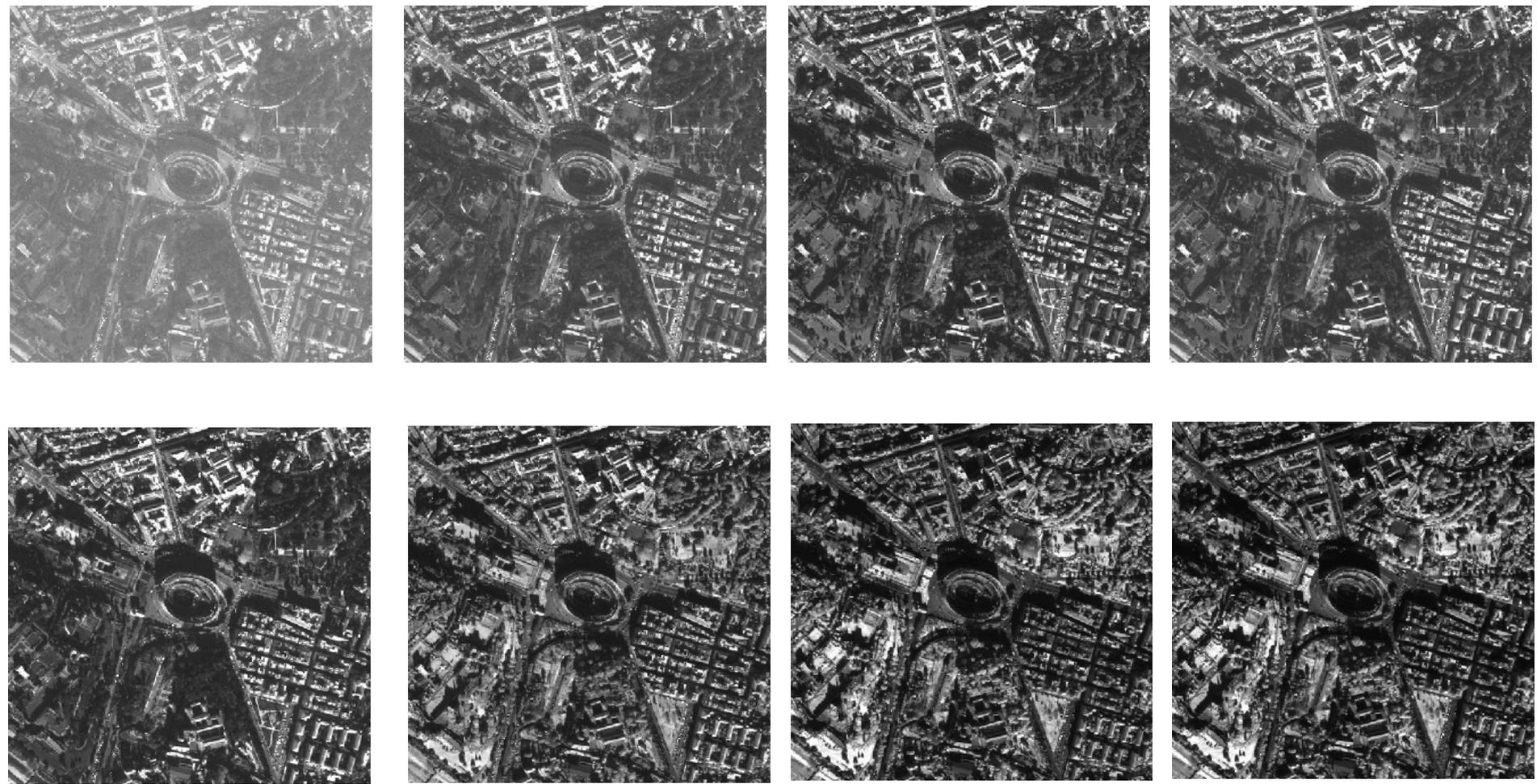
Bande	nm
MS1 (NIR 1)	770 895
MS2 (Red)	630 690
MS3 (Green)	510 580
MS4 (Blue)	450 510
MS5 (Red Edge)	705 745
MS6 (Yellow)	585 625
MS7 (Coastal)	400 450
MS8 (NIR 2)	860 1040



# Choix de 4 nouvelles bandes spectrales

- **Coastal Band (400 - 450 nm) :**
  - pour les applications en bathymétrie
- **Yellow Band (585 - 625 nm) :**
  - permet une meilleure conversion en vraies couleurs
- **Red Edge Band (705 - 745 nm) :**
  - liée à la production de chlorophylle
- **Near Infrared 2 Band (860 - 1040 nm) :**
  - moins affectée par l'atmosphère que la NIR classique

# Les 8 bandes WV2 sur le Colisée



# ASTER

- Capteur de résolution décimétrique
- 14 canaux (au lieu des 7 Landsat)
- Embarqué sur TERRA et ACQUA

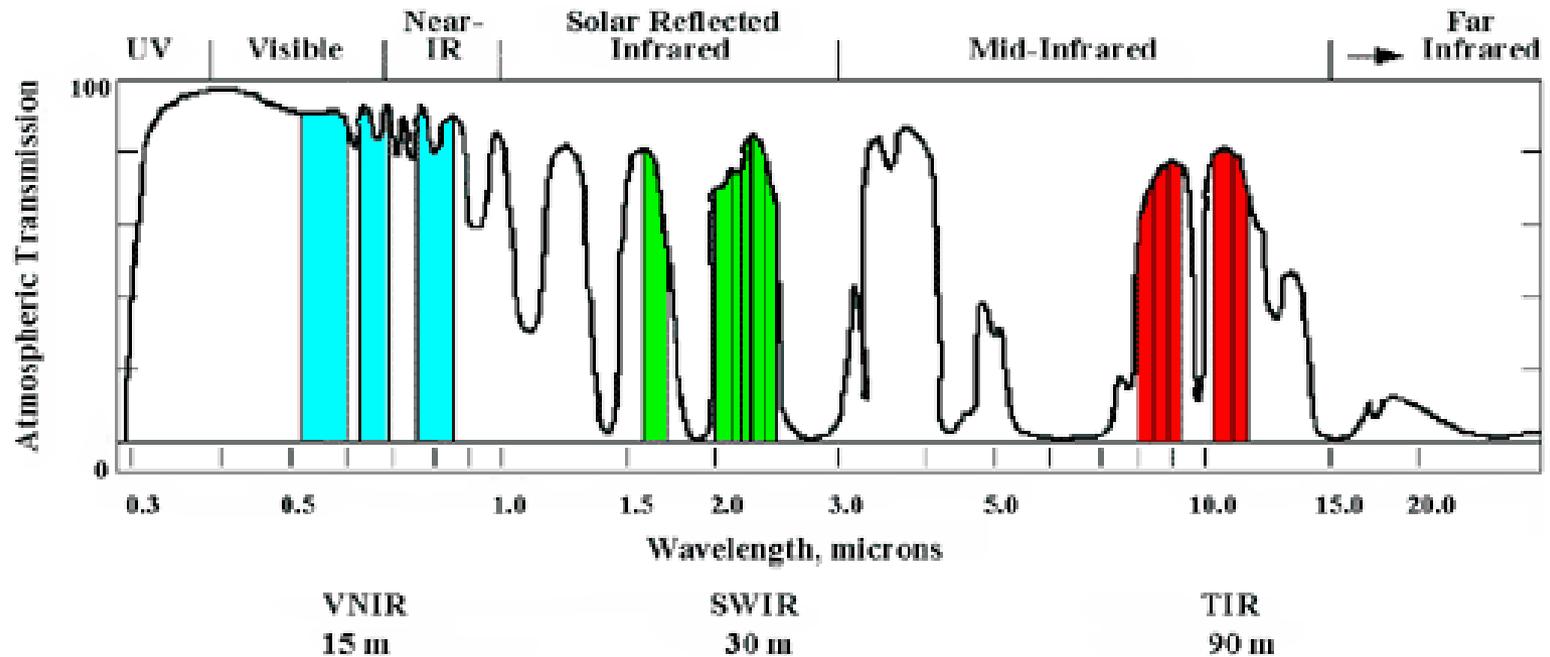
VNIR		
Bande	( $\mu\text{m}$ )	Résolution
1	0.52-0.60	15 m
2	0.63-0.69	15 m
3 Nadir	0.76-0.86	15 m
3 Backward	0.76-0.86	15 m

SWIR		
Bande	( $\mu\text{m}$ )	Résolution
4	1.6-1.7	30 m
5	2.145 - 2.185	30 m
6	2.185 - 2.225	30 m
7	2.235 - 2.285	30 m
8	2.295 - 2.365	30 m
9	2.360 - 2.430	30 m

TIR		
Bande	( $\mu\text{m}$ )	Résolution
10	8.125 - 8.475	90 m
11	8.475 - 8.825	90 m
12	8.925 - 9.275	90 m
13	10.25 - 10.95	90 m
14	10.95 - 11.65	90 m



## ASTER Spectral Bands



# MERIS

## MEdium Resolution Imaging Spectrometer

- Un des capteurs d'ENVISAT (2002)
- Canaux réglables selon la thématique (centre et largeur)
- Un exemple classique :

Nr.	Bandcentre (nm)	Bandwidth (nm)	Potential Applications
1	412.5	10	Yellow substance and detrital pigments
2	442.5	10	Chlorophyll absorption maximum
3	490	10	Chlorophyll and other pigments
4	510	10	Suspended sediment, red tides
5	560	10	Chlorophyll absorption minimum
6	620	10	Suspended sediment
7	665	10	Chlorophyll absorption and fluo. reference
8	681.25	7.5	Chlorophyll fluorescence peak
9	708.75	10	Fluo. Reference, atmospheric corrections
10	753.75	7.5	Vegetation, cloud
11	760.625	3.75	Oxygen absorption R-branch
12	778.75	15	Atmosphere corrections
13	865	20	Vegetation, water vapour reference
14	885	10	Atmosphere corrections
15	900	10	Water vapour, land

- **Capteur de résolution hectométrique**
- **36 canaux dédiés à des applications spécifiques :**
  - Sol
  - Océans
  - Atmosphère
- **Embarqué sur deux satellites jumeaux :**
  - TERRA (matin, 1999)
  - ACQUA (après midi, 2002)
- **Une image par jour de tout point de la Terre**

# Applications « sol »

Primary Use	Band	Bandwidth
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670
	2	841 - 876
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479
	4	545 - 565
	5	1230 - 1250
	6	1628 - 1652
	7	2105 - 2155

# Application « océans »

Primary Use	Band	Bandwidth
Ocean Color	8	405 - 420
	9	438 - 448
Phytoplankton	10	483 - 493
	11	526 - 536
Biogeochemistry	12	546 - 556
	13	662 - 672
	14	673 - 683
	15	743 - 753
	16	862 - 877

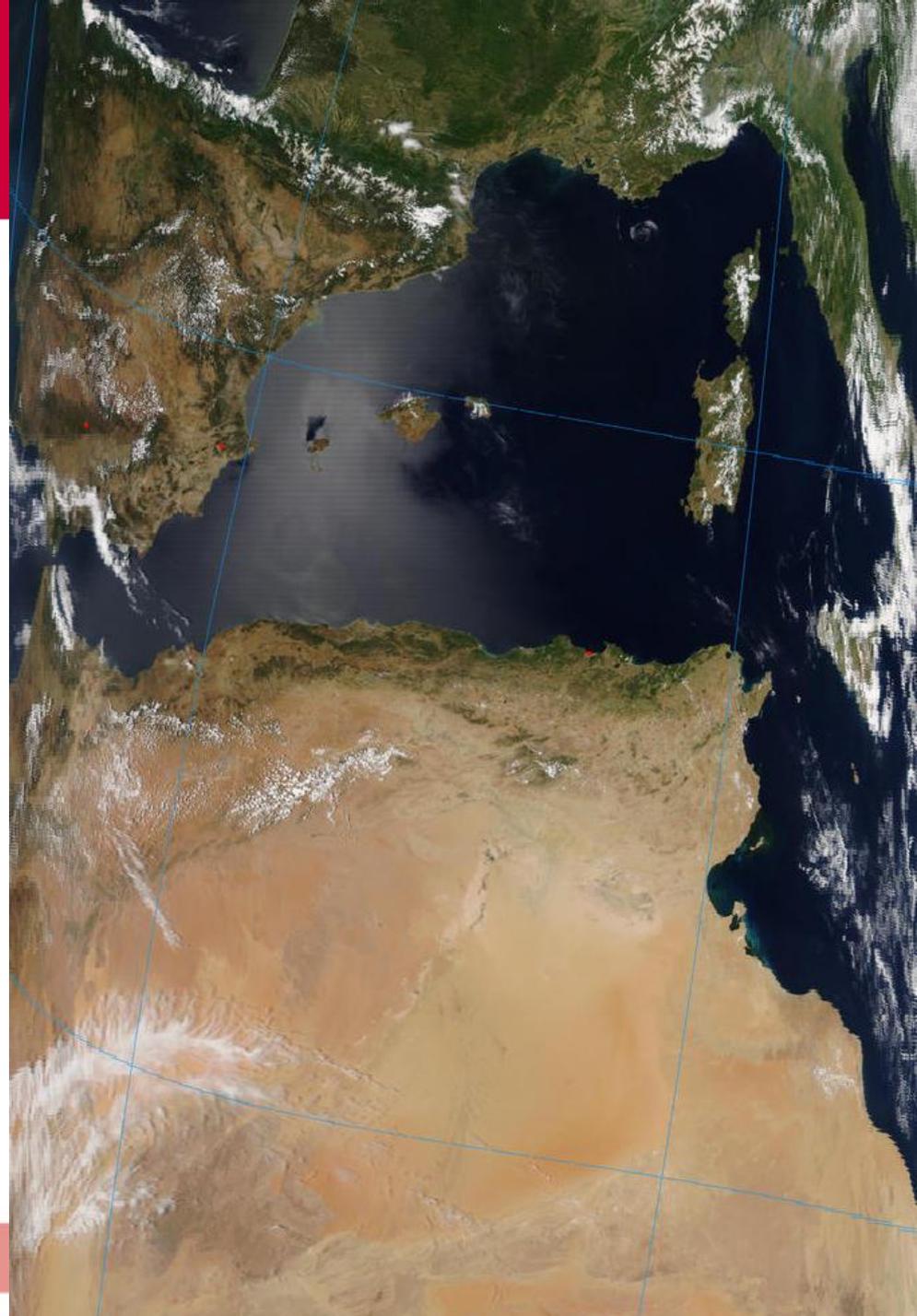
# Application « nuages »

Primary Use	Band	Bandwidth
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920
	18	931 - 941
	19	915 - 965
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840
	21	3.929 - 3.989
	22	3.929 - 3.989
	23	4.020 - 4.080
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498
	25	4.482 - 4.549

Primary Use	Band	Bandwidth
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390
	27	6.535 - 6.895
	28	7.175 - 7.475
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700
Ozone	30	9.580 - 9.880
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280
	32	11.770 - 12.270
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485
	34	13.485 - 13.785
	35	13.785 - 14.085
	36	14.085 - 14.385

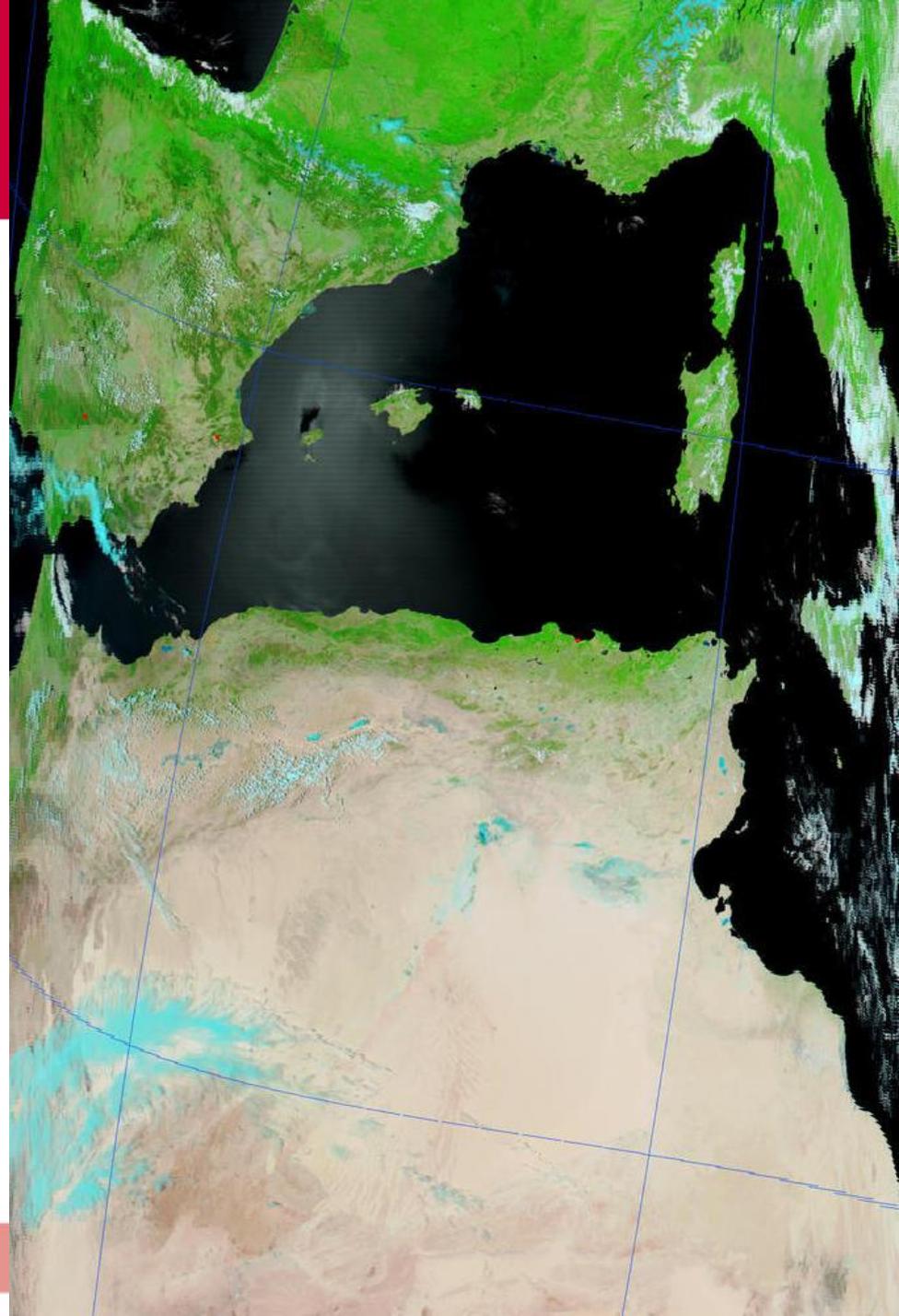
28/05/2015

- 1 : 620-670
- 4 : 545-565
- 3 : 459-479



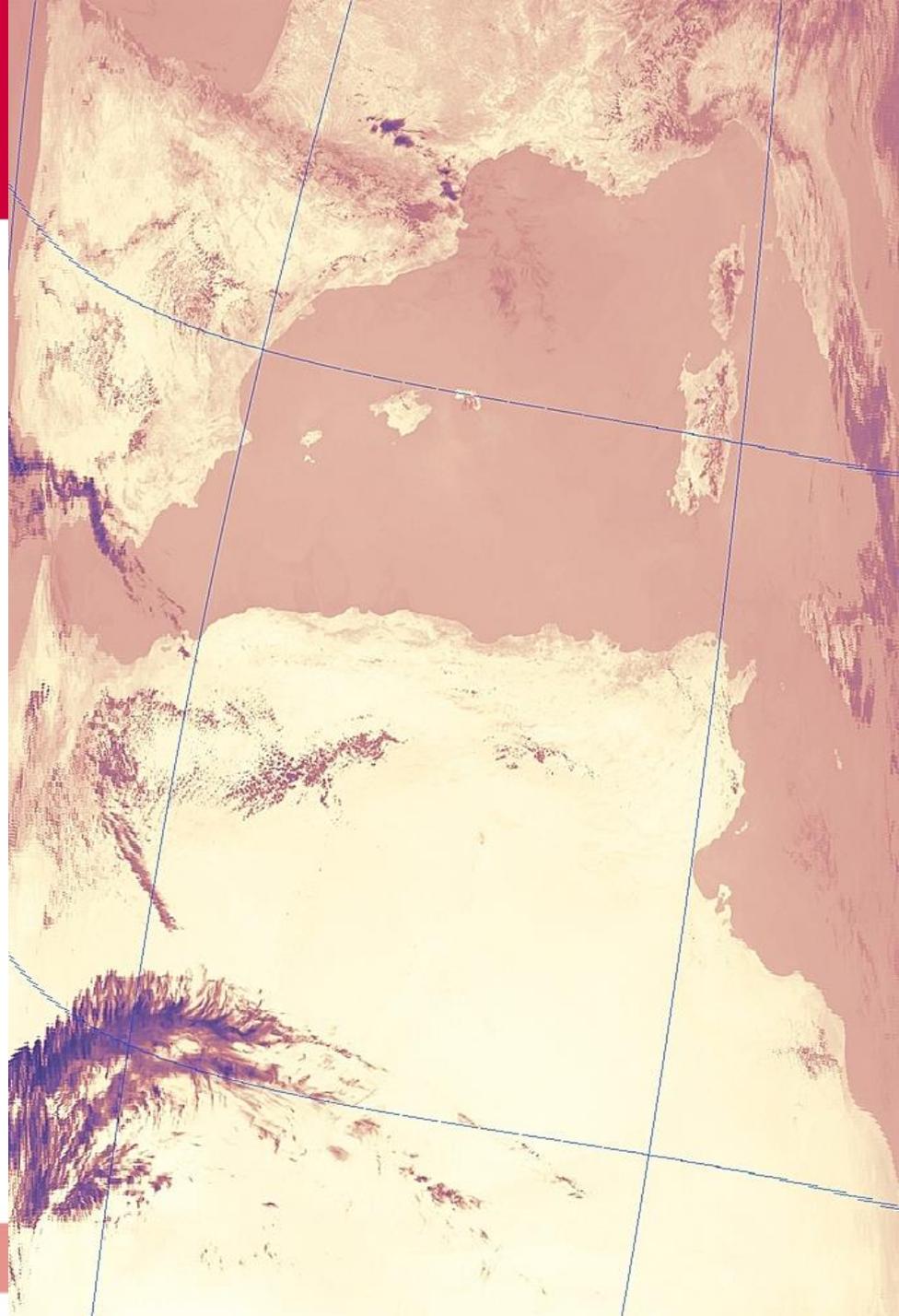
**28/05/2015**

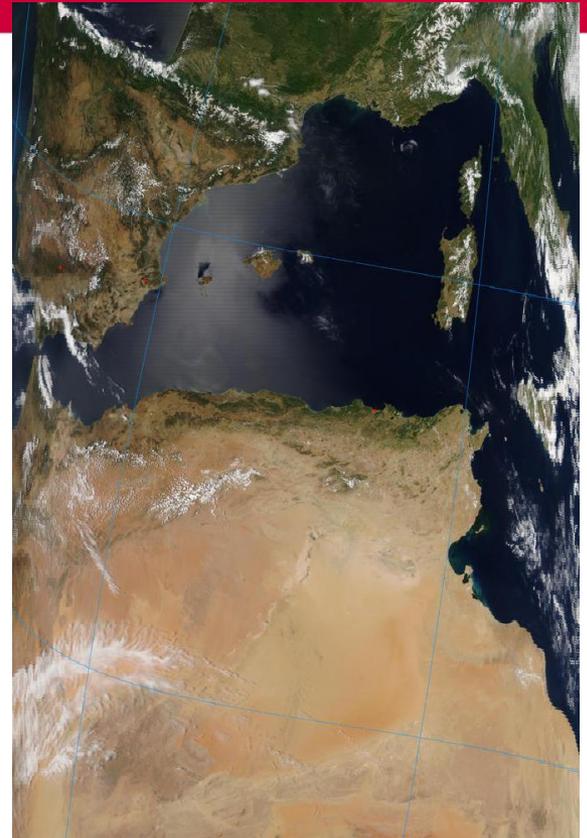
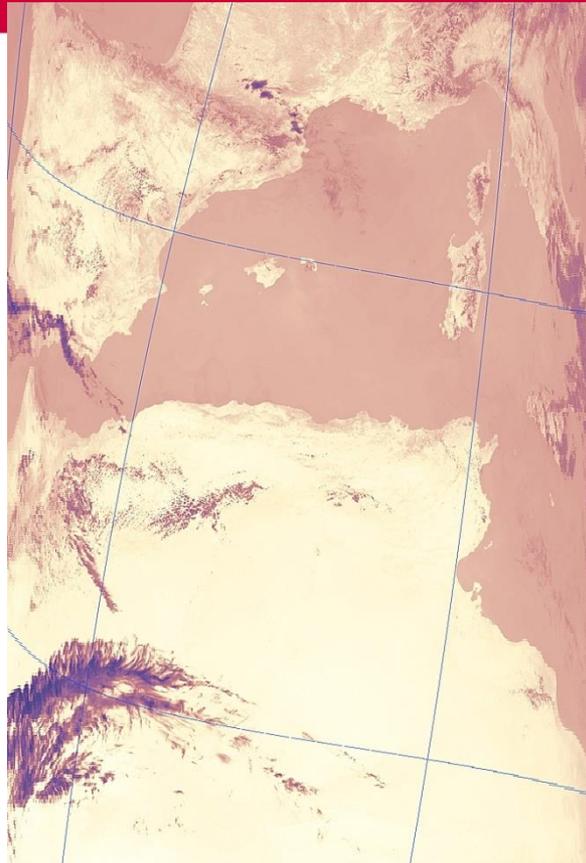
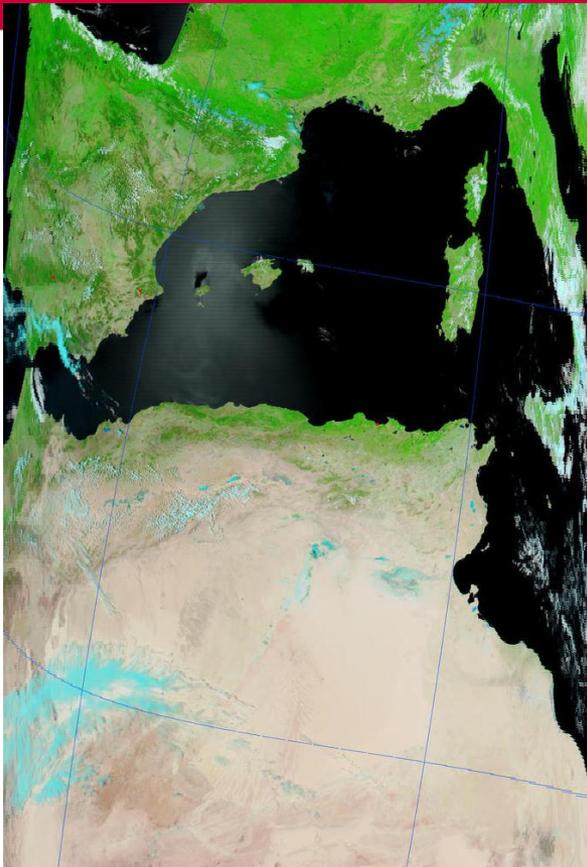
- **7 : 2105-2155**
- **2 : 841-876**
- **1 : 620-670**



28/5/2015

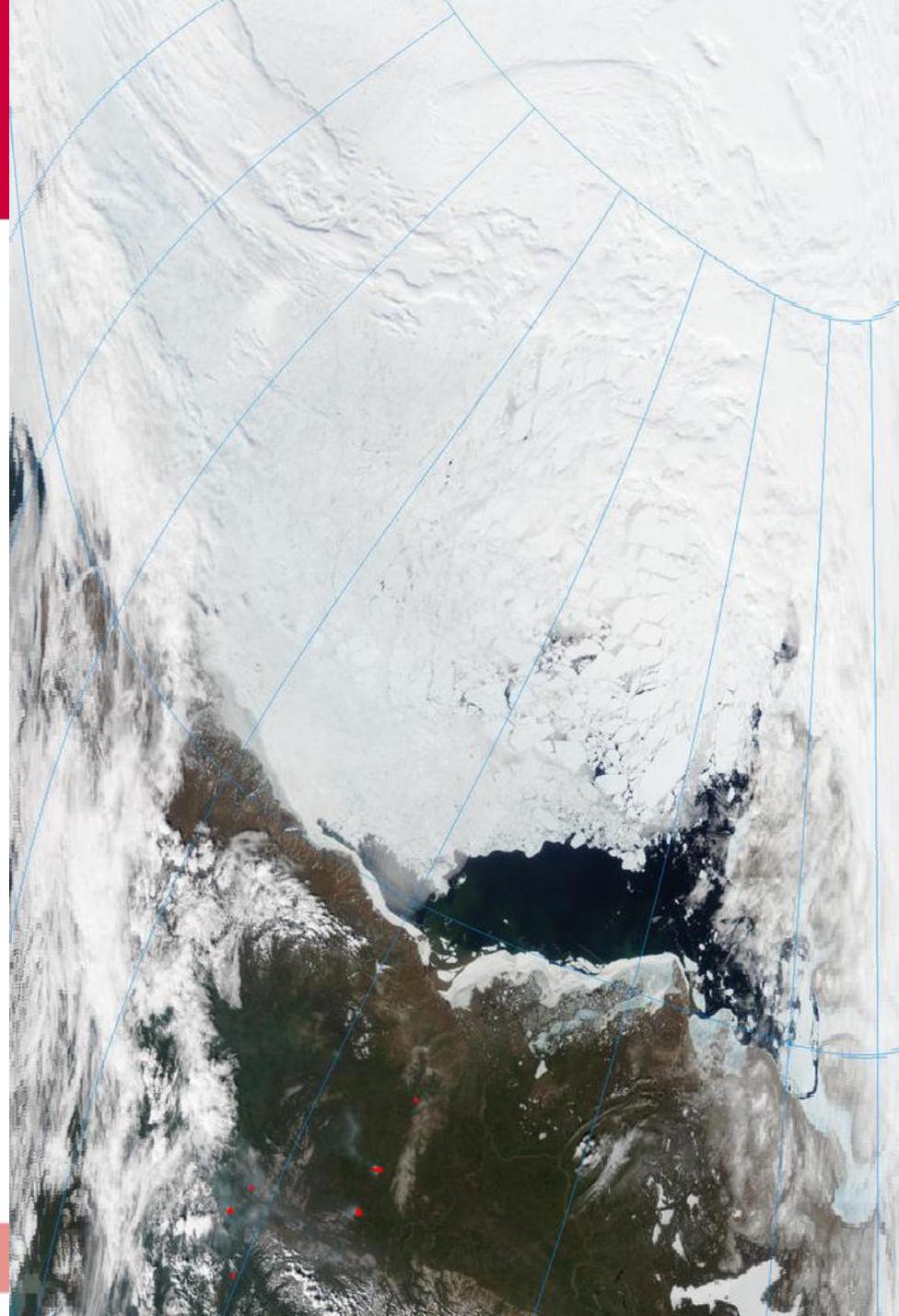
■ 31 : 10.780-11.280





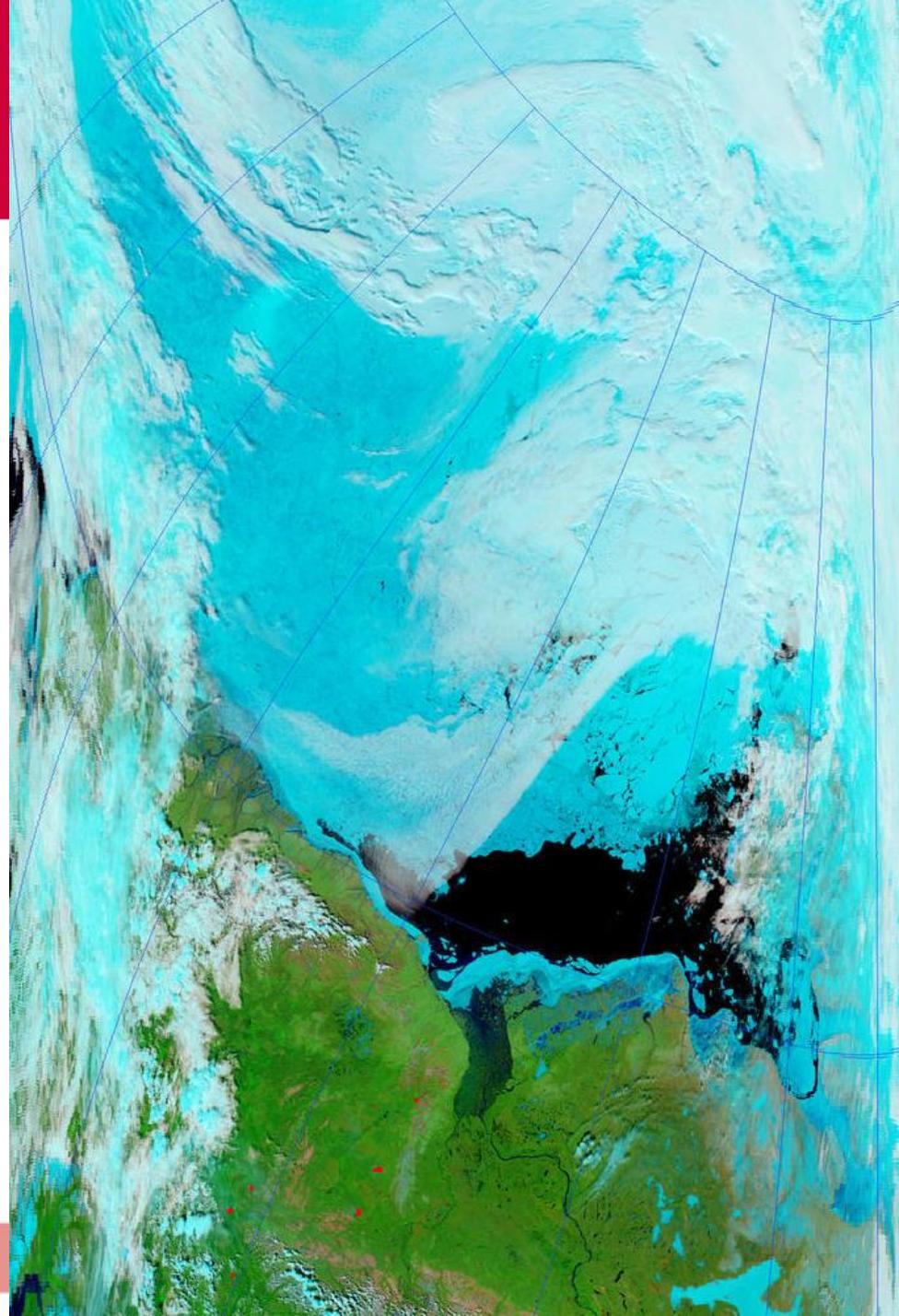


- 1 : 620-670
- 4 : 545-565
- 3 : 459-479



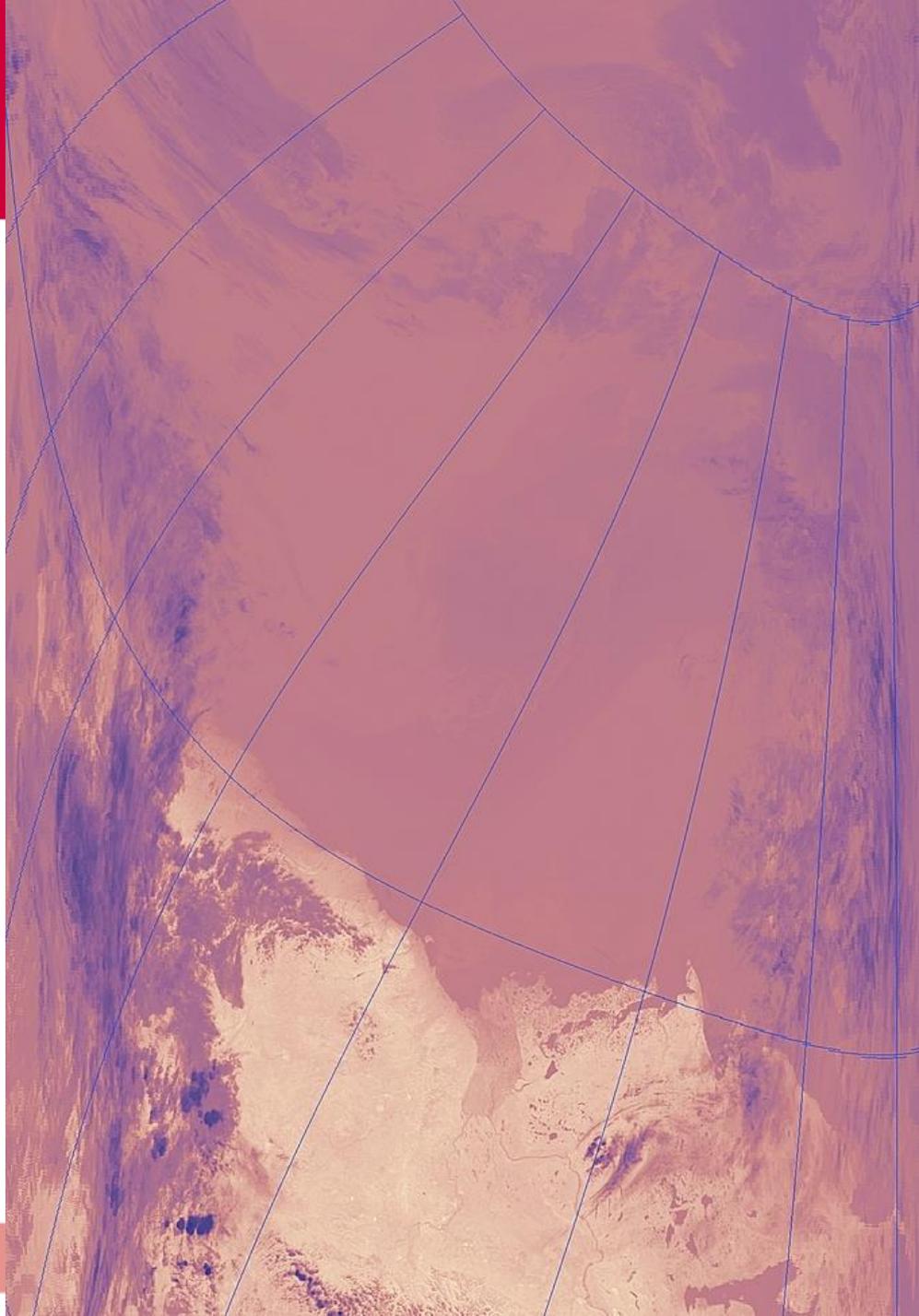


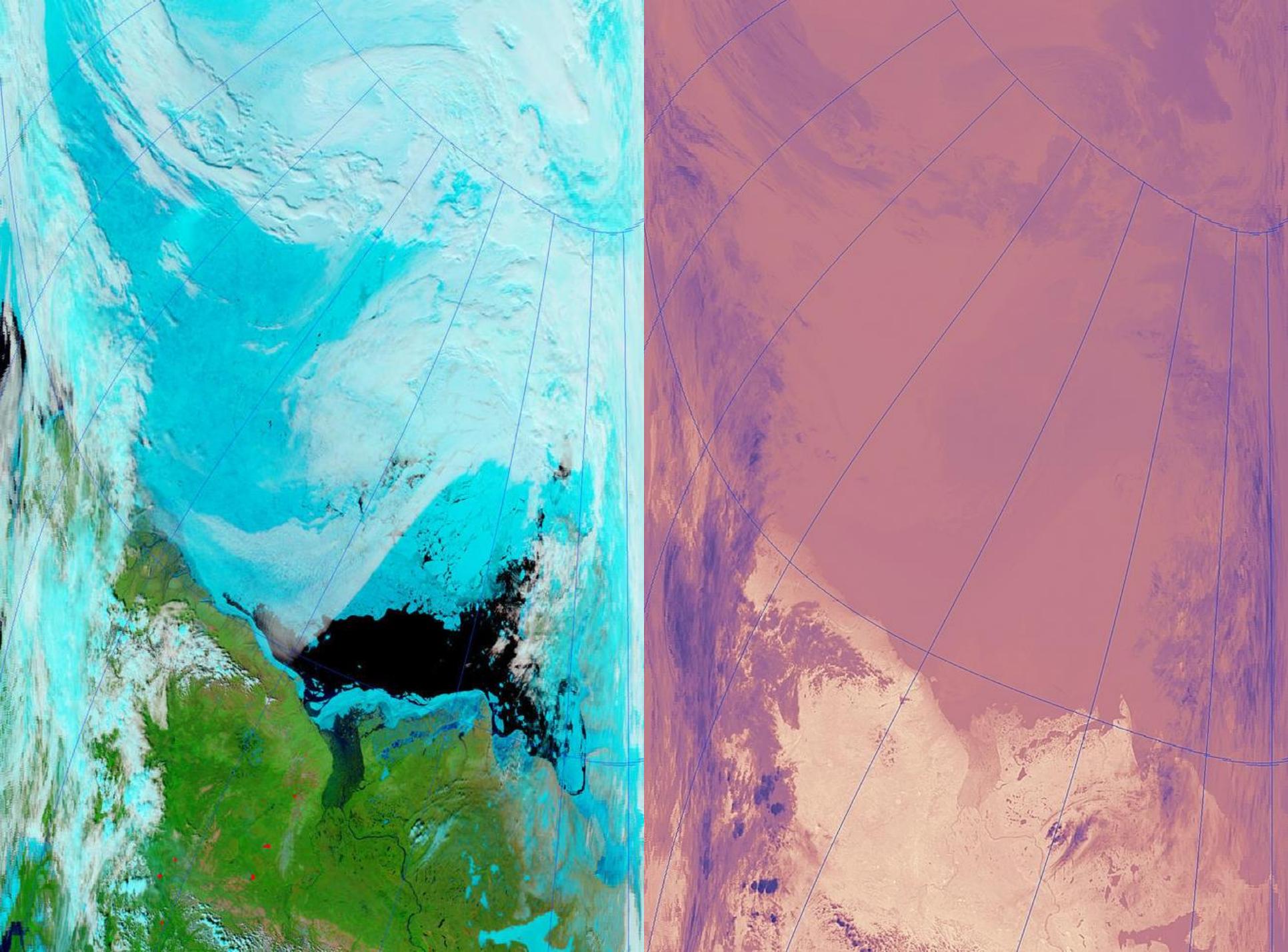
- 7 : 2105-2155
- 2 : 841-876
- 1 : 620-670



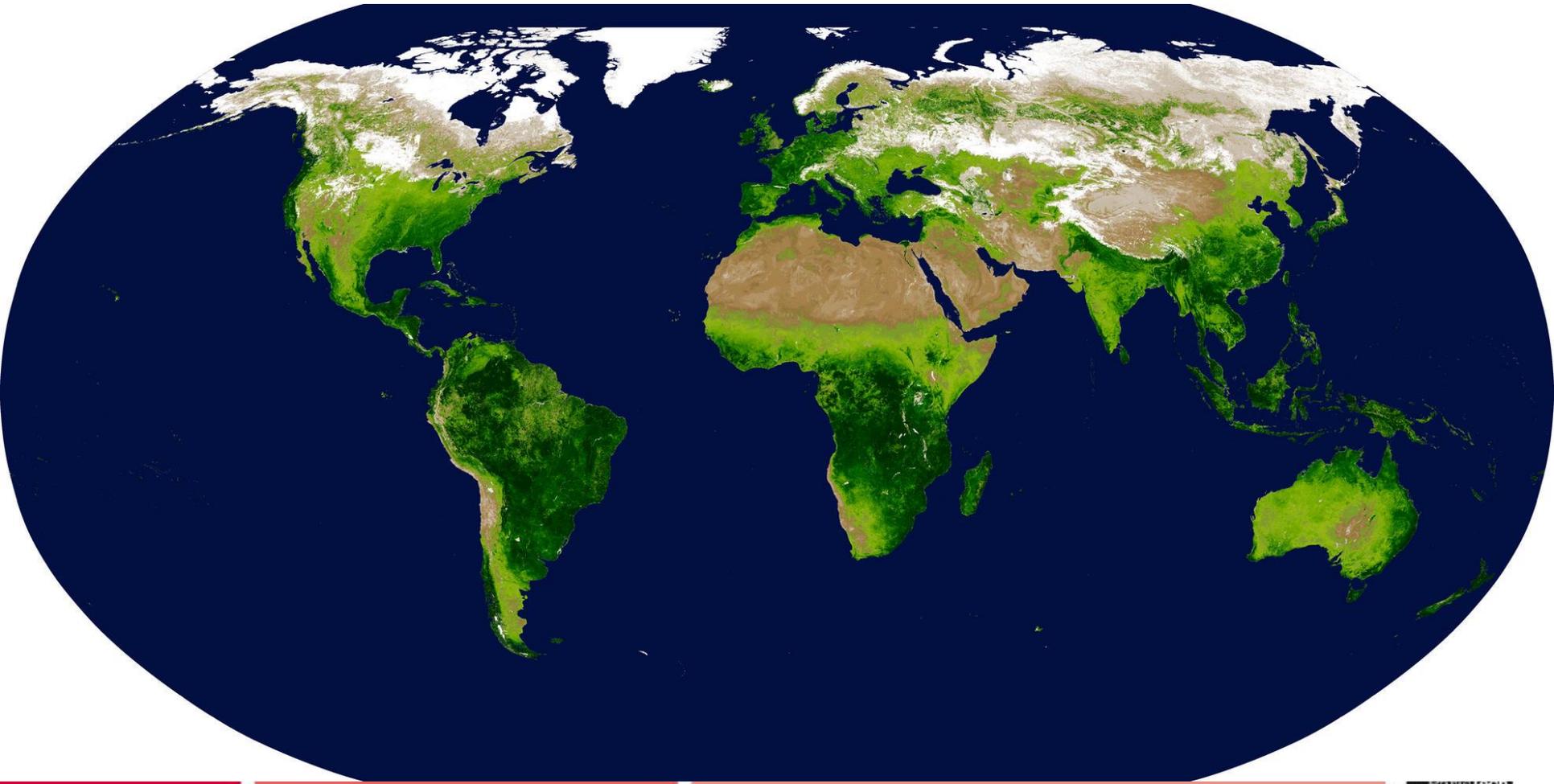


■ **31 : 10.780-11.280**





# Produit NDVI MODIS



## ■ Plusieurs défis environnementaux

Changement climatique

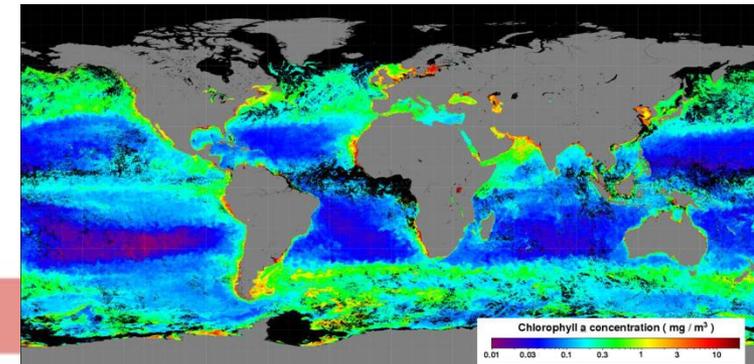
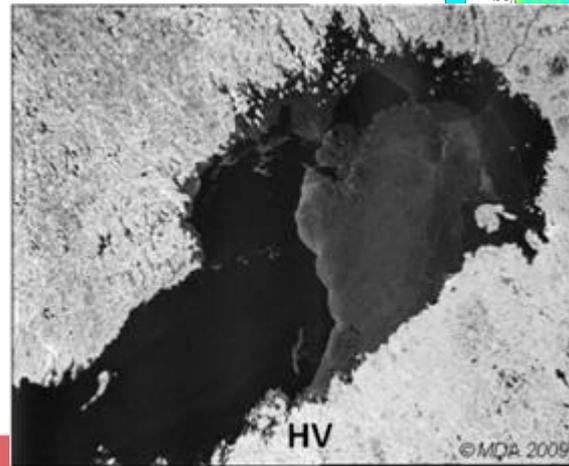
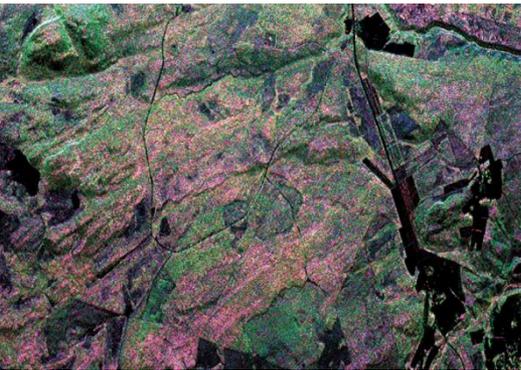
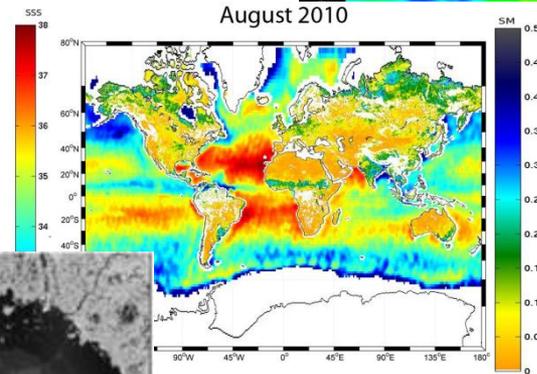
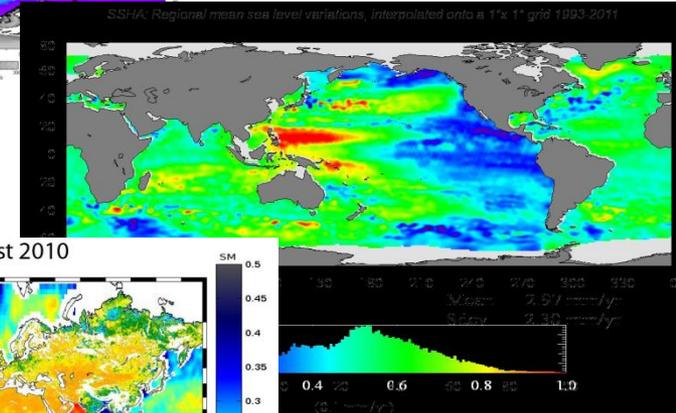
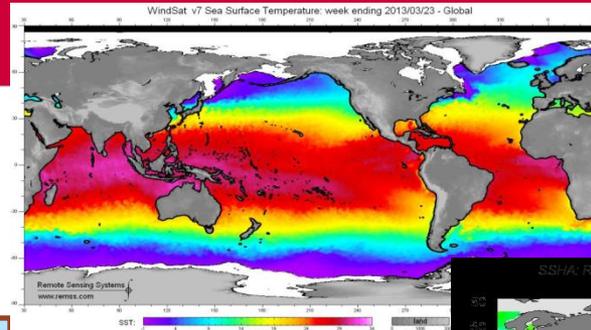
Bio-diversité

Ressources

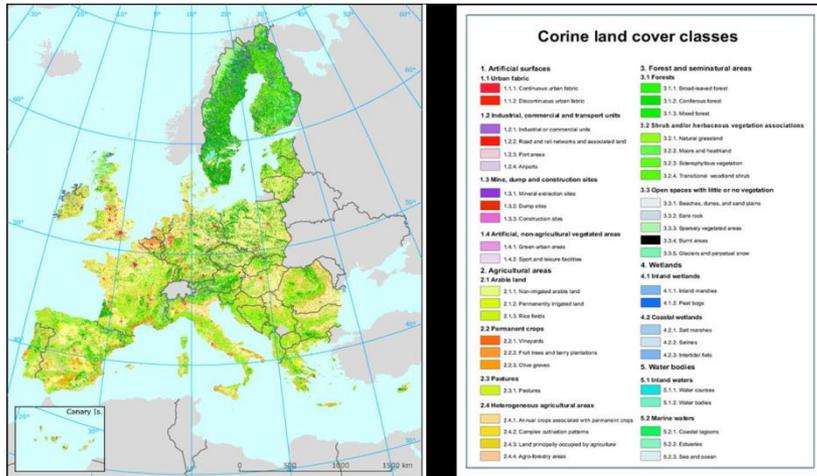
Risques sanitaires et  
environnementaux

# Applications environnementales de la télédétection

Changement climatique  
Météorologie  
Océan  
Bilan carbone



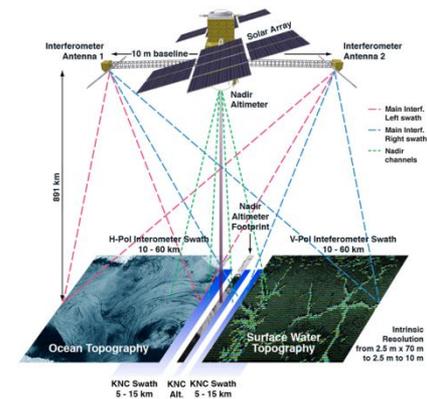
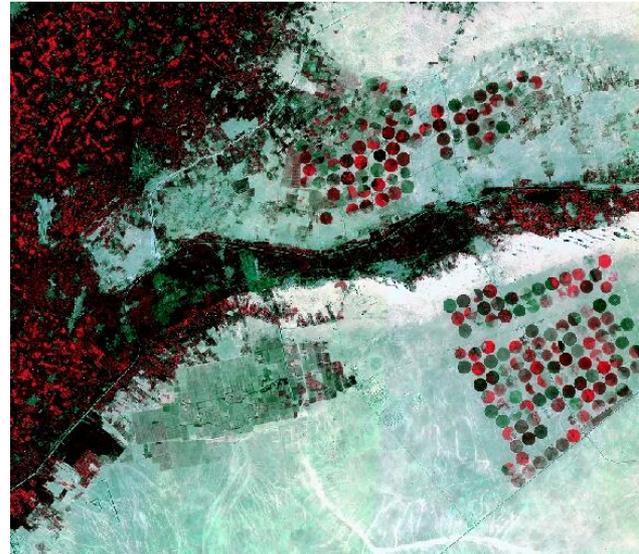
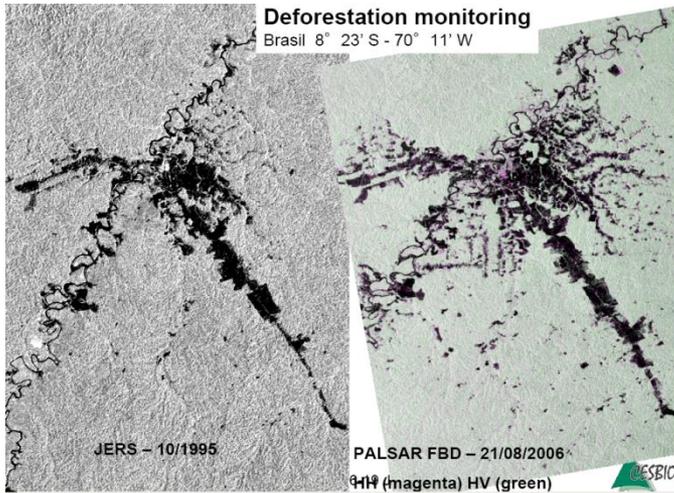
# Applications environnementales de la télédétection



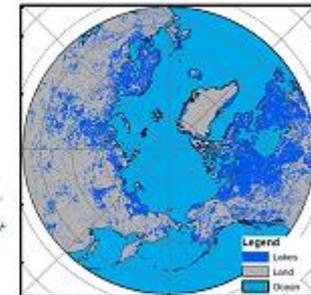
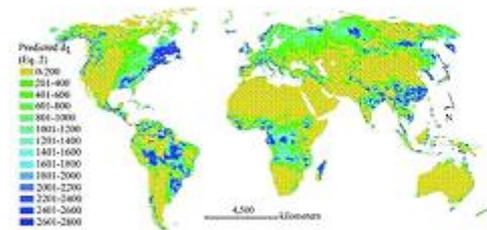
**Bio-diversité**  
 Cartes d'occupation des sols  
 Forêt, végétation  
 Suivi de l'artificialisation



# Applications environnementales de la télédétection

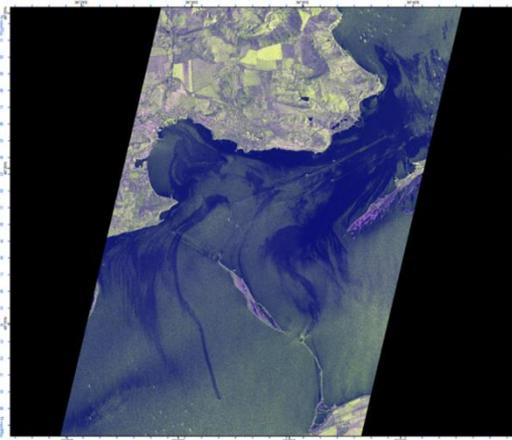


Ressources



# Applications environnementales de la télédétection

Eastern Crimea (Ukraine) - Oil Spills



**infoterra**

TerraSAR-X  
StripMap Acquisition

Location of Crimea:

Satellite Information

- Satellite: TerraSAR-X
- Imaging Mode: StripMap
- Swath Range Res: 3m
- Polarization: HH/VV
- Pass Direction: Descending
- Acquisition Date: 2007-11-16, 00:52:00 to 03:52:14 UTC
- Product Type: Geocoded Enhanced Coreset
- Resolution Mode: Spectrally Enhanced

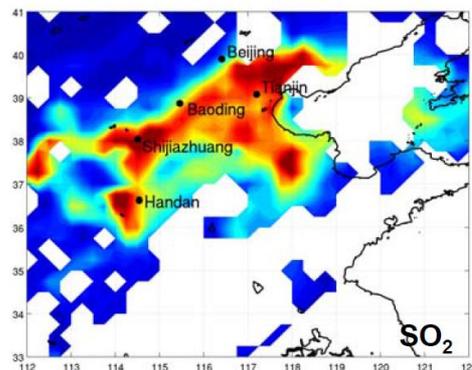
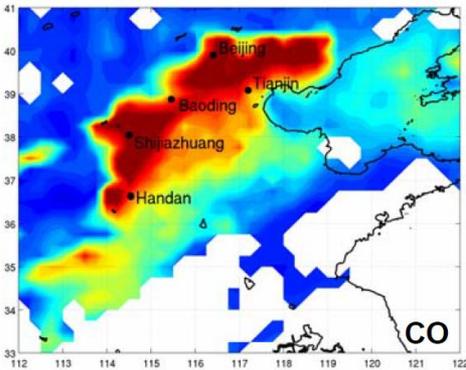
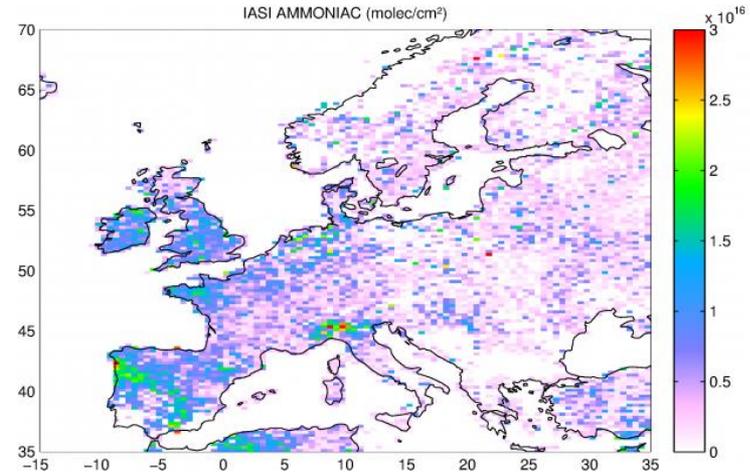
Map Projection

Geographic: WGS84 / UTM Zone 34N / UTM Meridian

Ellipsoid: WGS 84  
Datum: WGS 84  
Zone: 34N

TERRA SAR-X  
© Airbus Group 2007

IASI AMMONIAC (molec/cm<sup>2</sup>)



Risques sanitaires et environnementaux

# Les nouvelles générations de capteurs

- **Exploitation simultanée de plusieurs capteurs**
  - World SAR concept, « A-train », constellations (CSK, SENTINEL, ...)
- **Résolutions accrues :**
  - Spatiale, temporelle, spectrale
  - Agilités angulaires
- **Nouveaux défis**
  - Combinaison des différentes sources
  - Exploitation de la dimension temporelle
  - Nouvelles applications (trafic auto, bateaux, etc.)



# Bibliographie

- **UVED : Université virtuelle Environnement et développement durable**
  - <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/index.html>
- **Cours et polycopiés Télécom ParisTech**
- **Manuel de télédétection spatiale (projet TELECAN) (site IEEE GRSS)**  
[http://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/FR\\_TUTORIAL\\_COMPLETO.pdf](http://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/FR_TUTORIAL_COMPLETO.pdf)
- **La télédétection aérospatiale : une introduction, polycopié de Claude Kergomard**  
<http://www.geographie.ens.fr/IMG/file/kergomard/Teledetection/CTeledetection.pdf>
- **Imagerie de télédétection, Editions Hermès, F. Tupin, JM Nicolas, J. Inglada**
- [http://smc.cnes.fr/IASI/Fr/GP\\_actualites.htm](http://smc.cnes.fr/IASI/Fr/GP_actualites.htm)
- **Remote Sensing Tutorial (NASA)**  
<http://fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>