

L'espace au service de la Terre et de l'environnement

2 protagonistes :

La Terre et ses limites :

changement climatique ; ressources en eau, énergie, matières premières,
Pollutions, déforestation, atteintes à la biodiversité, catastrophes naturelles,
événements météorologiques extrêmes.

L'espace :

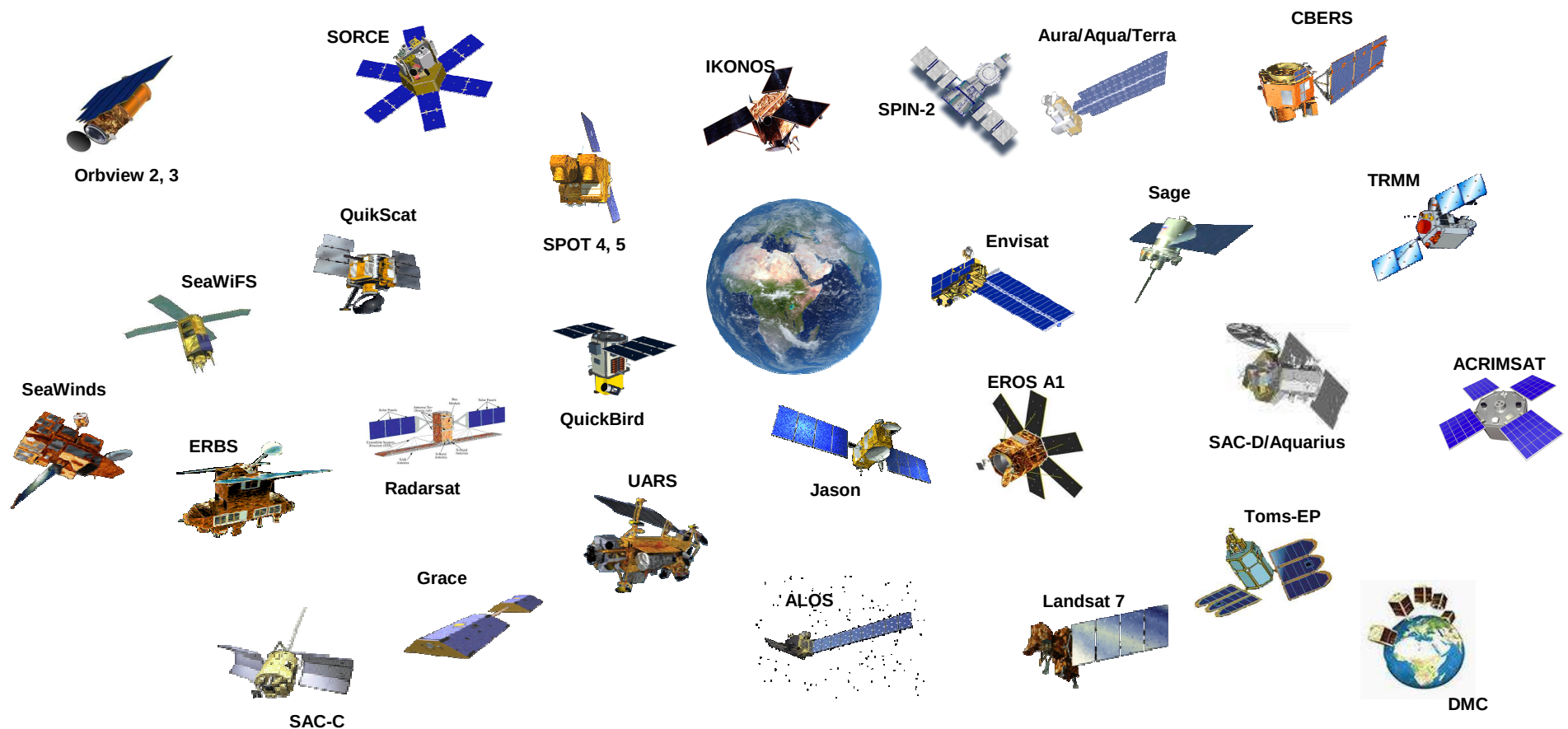
outil d'exploration et conquête mis au service de l'homme sur la Terre.

*"Quand les nuages se montrent, les hommes sages mettent leur manteau.
Quand les feuilles tombent, c'est qu'alors l'hiver approche.
Quand le Soleil se couche, qui ne s'attend à la nuit ? "*

William Shakespeare

→ 135 satellites d'observation de la Terre lancés de 2000 à 2009

→ 280 prévus de 2010 à 2019



L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

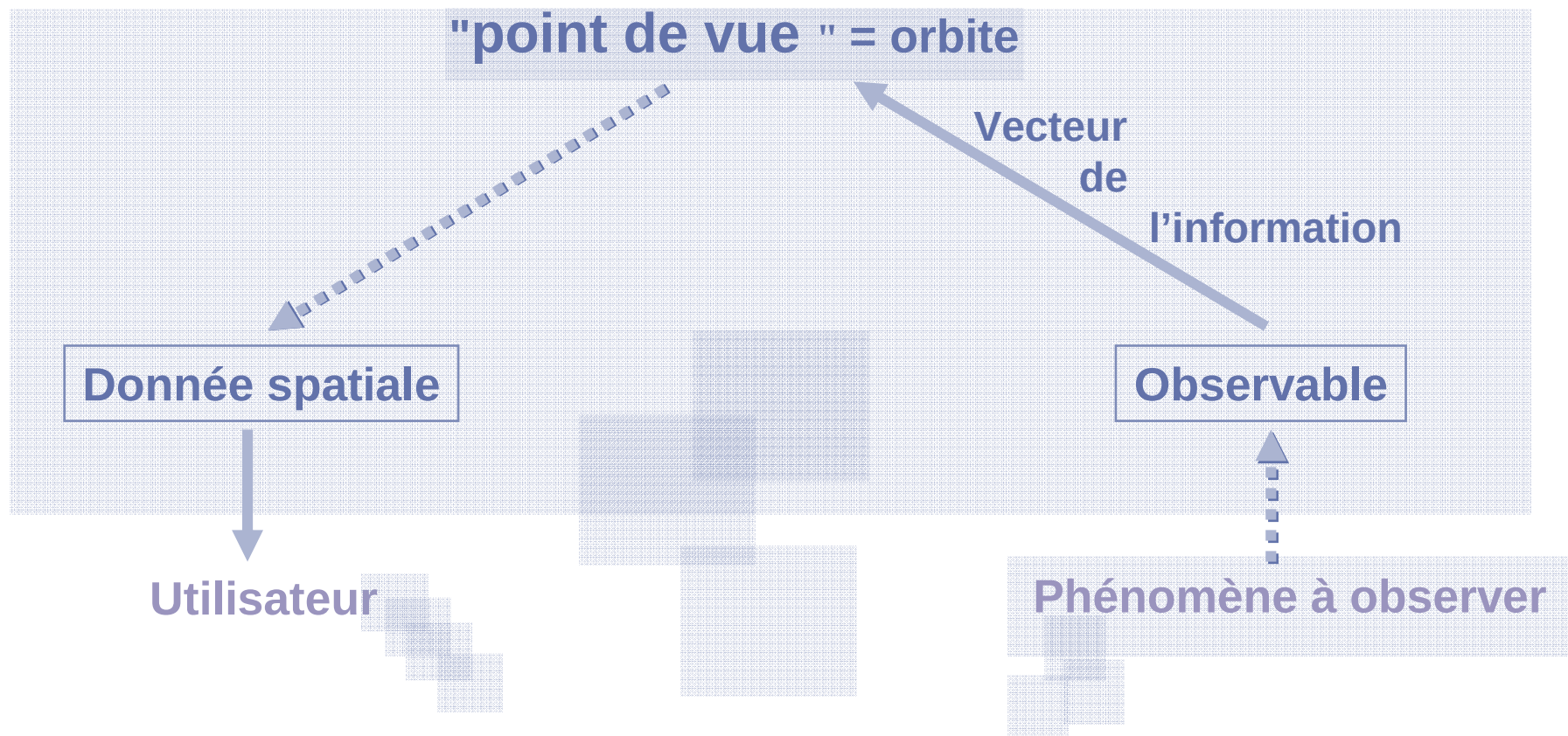
Conclusion



L'observation :

2 composantes observable + point de vue

Observateur



Caractéristique générale : observation à distance (télédétection)

Les racines : utiliser la diversité spatiale



230 av JC : Erathostène, le rayon de la Terre.

XVIIIème siècle : expéditions pour mesurer l'arc du méridien (Pérou, Laponie) la forme de la Terre

Les ancêtres de la météorologie synoptique :
Edmond Halley 1688,
Benjamin Franklin 1743...

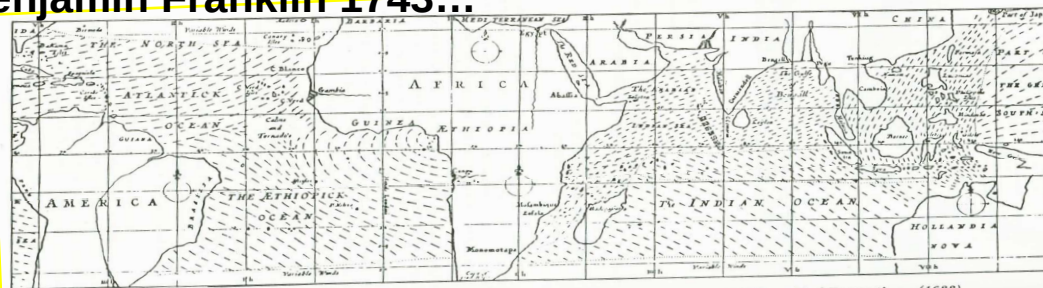
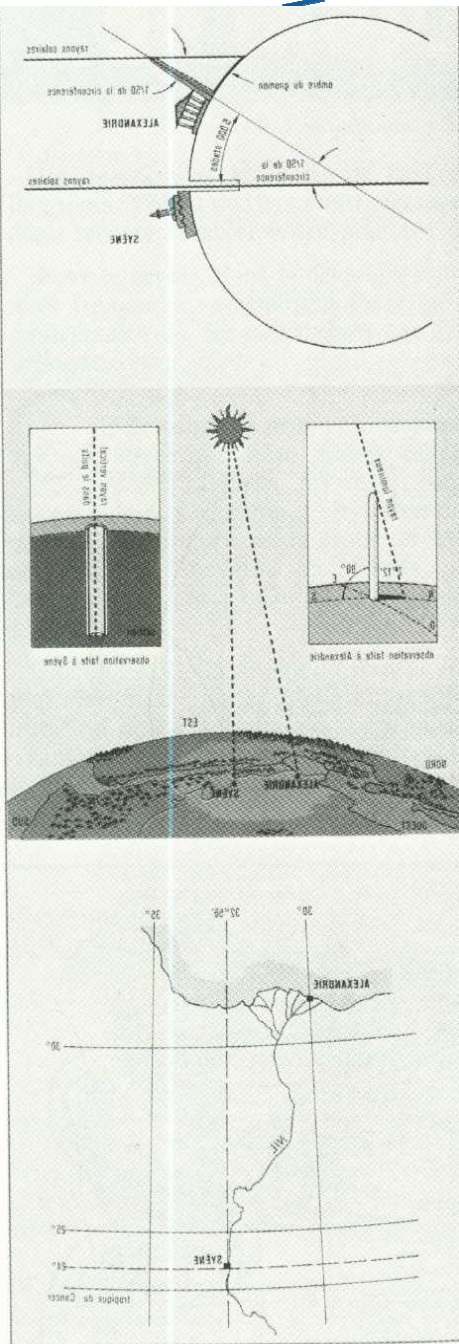


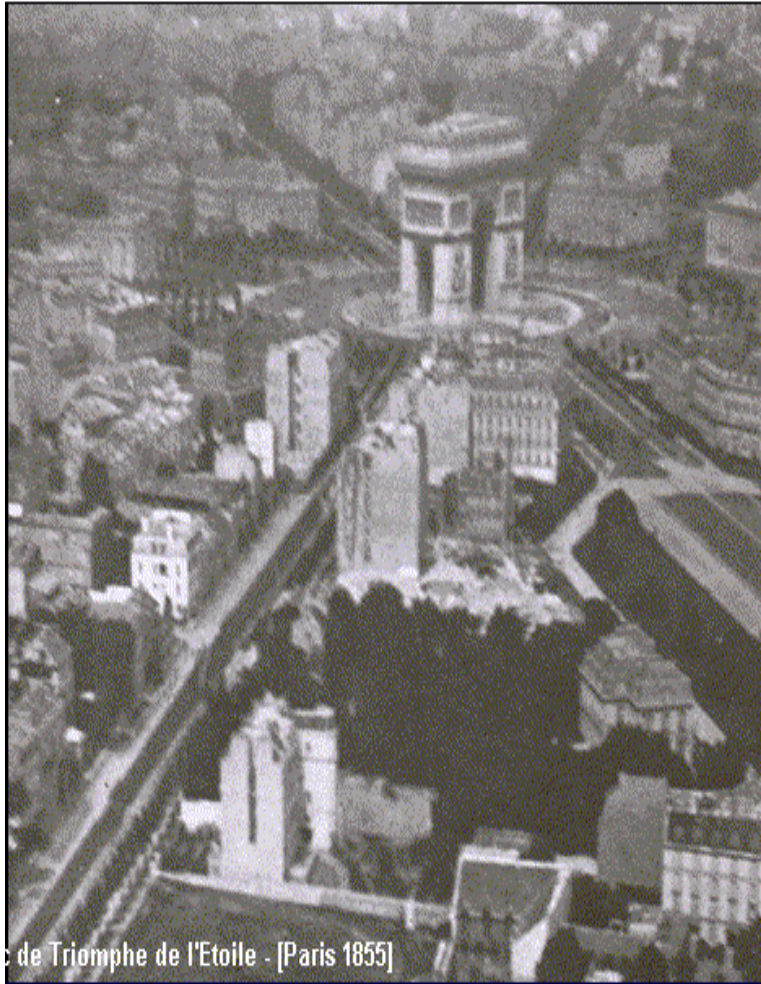
Fig. 1 : La plus ancienne carte climatique du monde : la carte des vent d'Edmond Halley publiée dans «Philosophical Transactions» (1688)



L'observation :

D'abord une question de point de vue

Les racines : utiliser l'altitude



1648, Pascal et la pression atmosphérique au Puy de Dôme

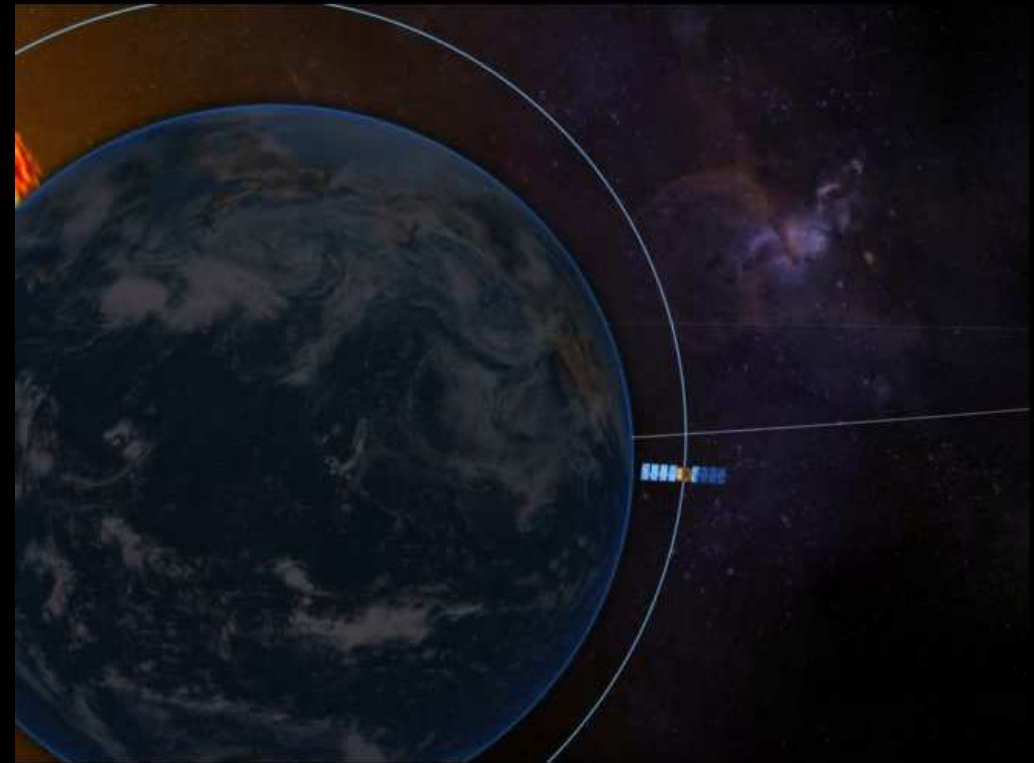
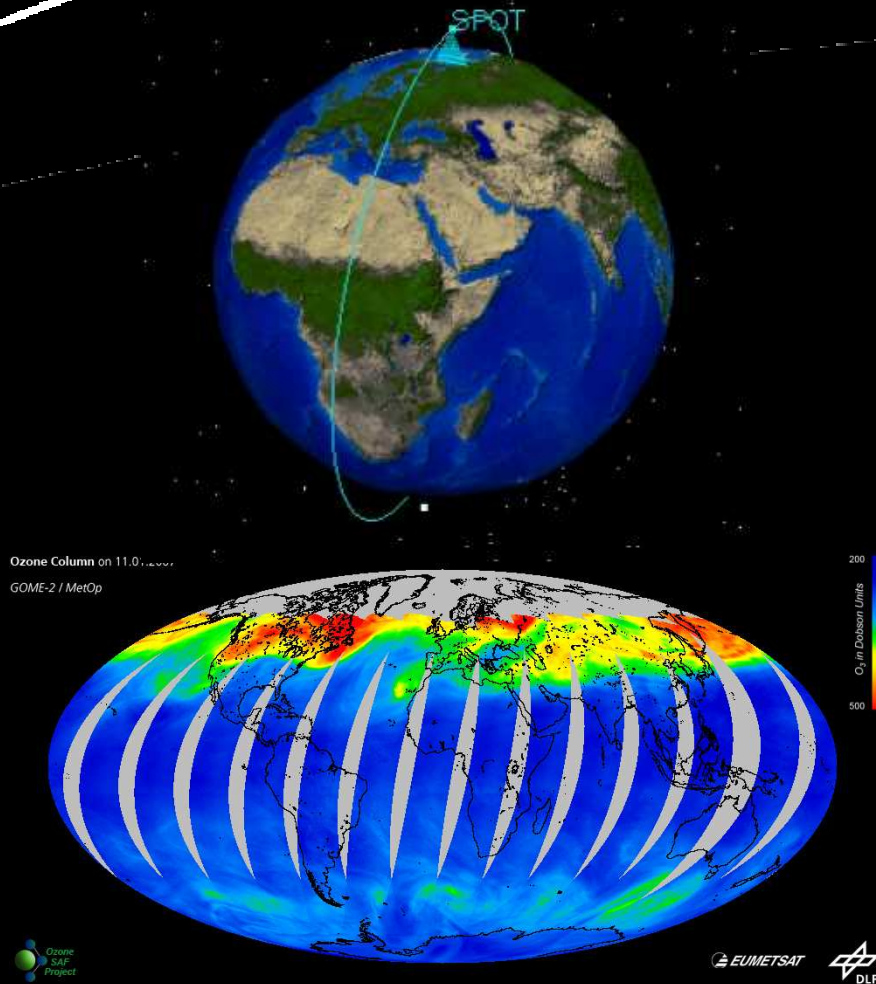
L'âge des ballons :

- 1783 : après Montgolfier, Charles et le baromètre
- 1804 : Gay Lussac et Biot, température et composition de l'air
- 1856 : Nadar, la photographie
- 1912 : Victor Franz Hess, les rayons cosmiques
- 1931 : Picard, la stratosphère
- 1959 : Dollfus, l'astronomie

Avions, fusées sondes

1946 : la Rand corporation imagine les usages des satellites

Un point de vue unique sur la Terre



- ➔ Altitude 600 à 800 km
- ➔ inclinaison 98
- ➔ environ 14 tours/jour

Orbite héliosynchrone
Le satellite "voit" toute la Terre
chaque jour ou quelques jours.
Le capteur se déplace !

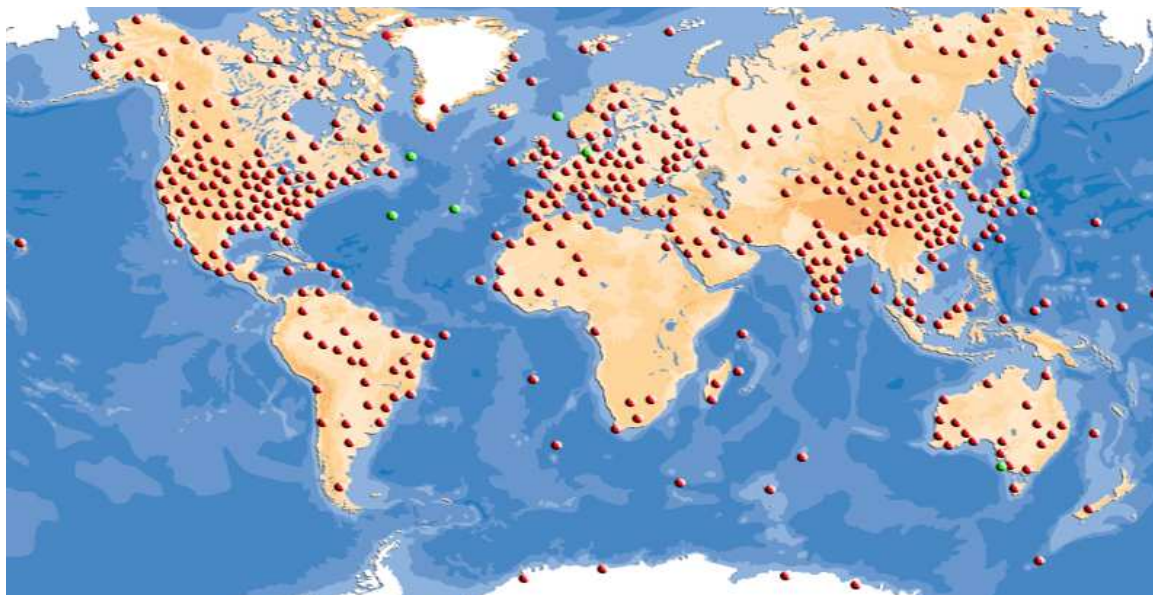
Un point de vue unique sur la Terre

Des mesures denses,
globales et homogènes

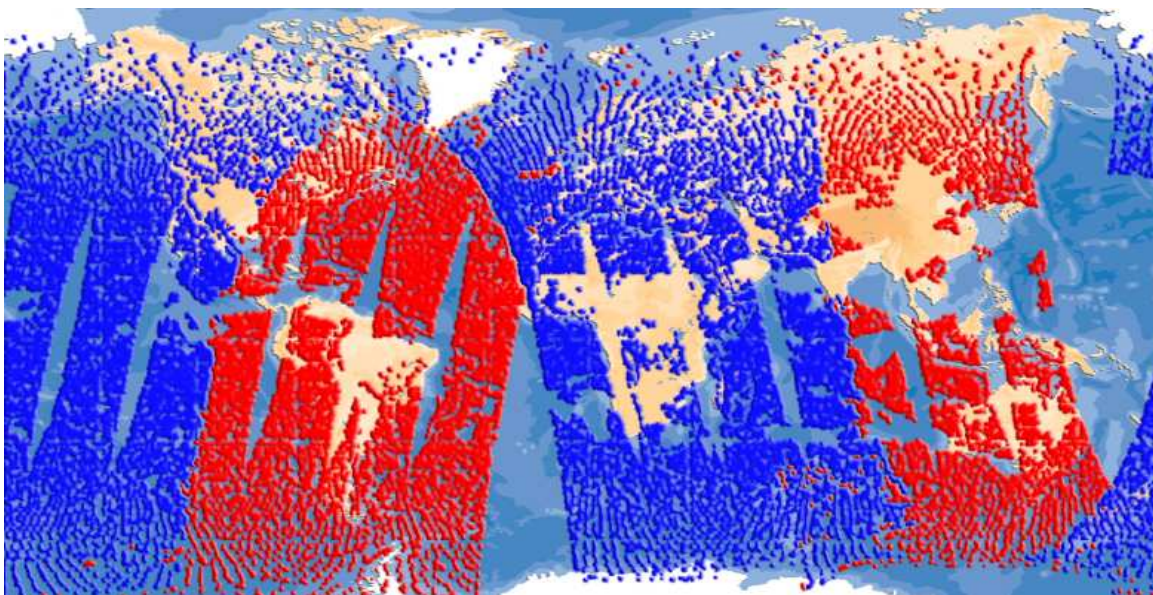


Orbite Géostationnaire :
Le satellite est au-dessus de l'équateur,
à une altitude de 36000 km,
telle qu'il tourne à la même vitesse que la Terre

**Couverture globale
des radiosondages
564 points de mesure**



**Couverture globale
des satellites polaires
opérationnels
15232 mesures**



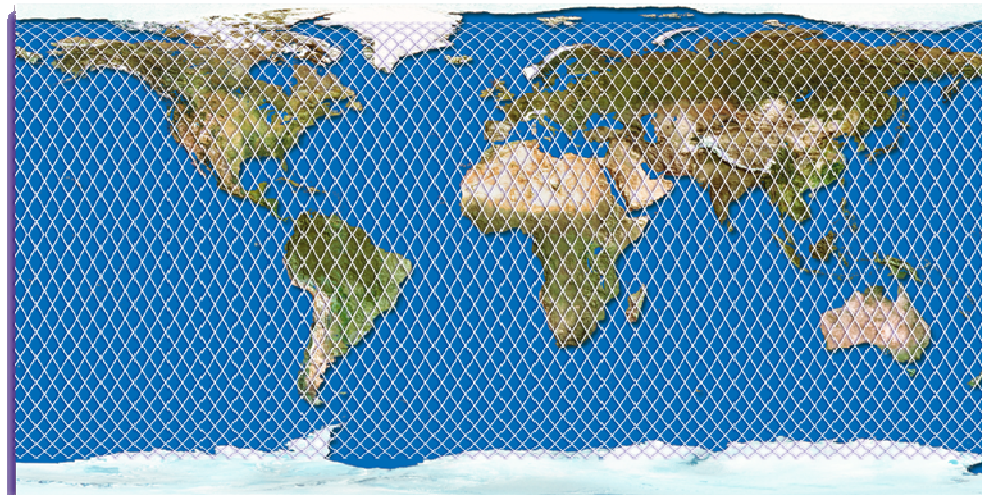
Océanographie

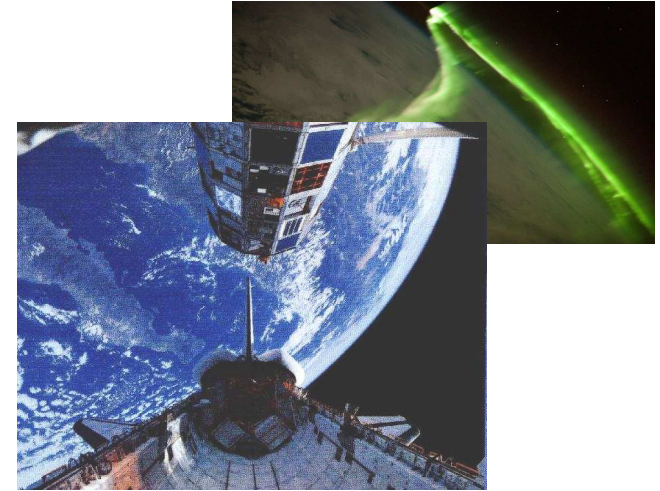


Principales
routes
maritimes



L'observation des océans
depuis l'Espace





Le satellite crée **le point de vue** et la représentation par son mouvement balistique (régularité spatio-temporelle)

Coût et conséquence de la création du point de vue

= coût de la mise en orbite dans l'espace = défi technique majeur

-8km/s=>stress lancement, contraintes mécaniques et encombrement ;

-espace=>vide+radiations+stress thermique+isolement

=>économie très spécifique

(coût instrument spatial=1000n fois coût instrument sol)

La mesure :

Un instrument unique en tout lieu et tout instant

En revanche, la mesure effectuée depuis l'espace n'est pas

fondamentalement différente de celle que l'on pourrait faire au sol

L'observation, ensuite une question d'observable et d'outil de mesure



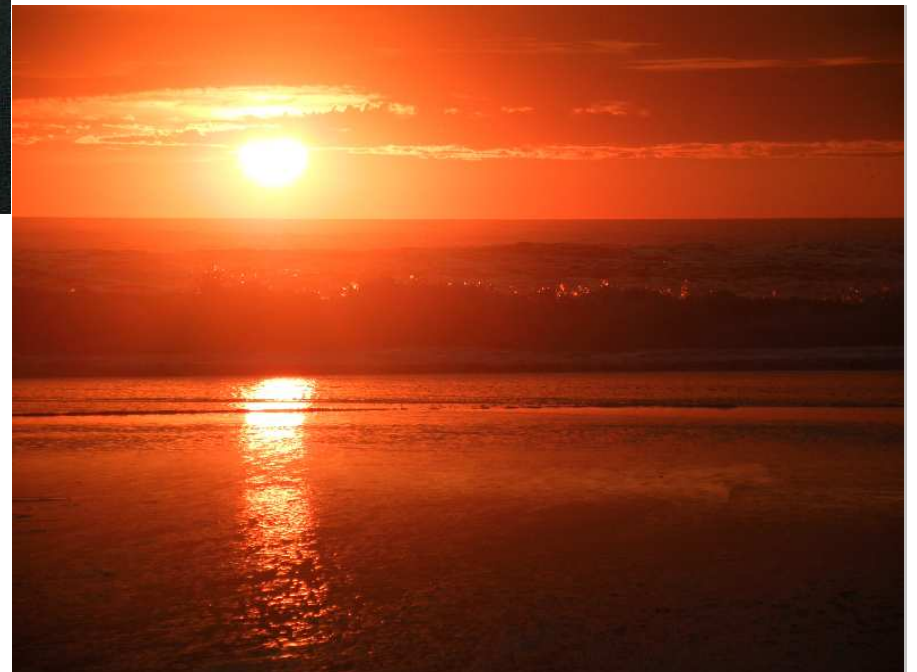
La couleur du ciel :

Le bleu et la diffusion par l'oxygène et l'azote

Le rouge du couchant et la diffusion par les particules

La transparence du ciel

nocturne et la température





Observables...

Etat de surface d'une étendue d'eau
Vaguelettes, vagues et vent



■ ***Les Ondes électromagnétiques :***

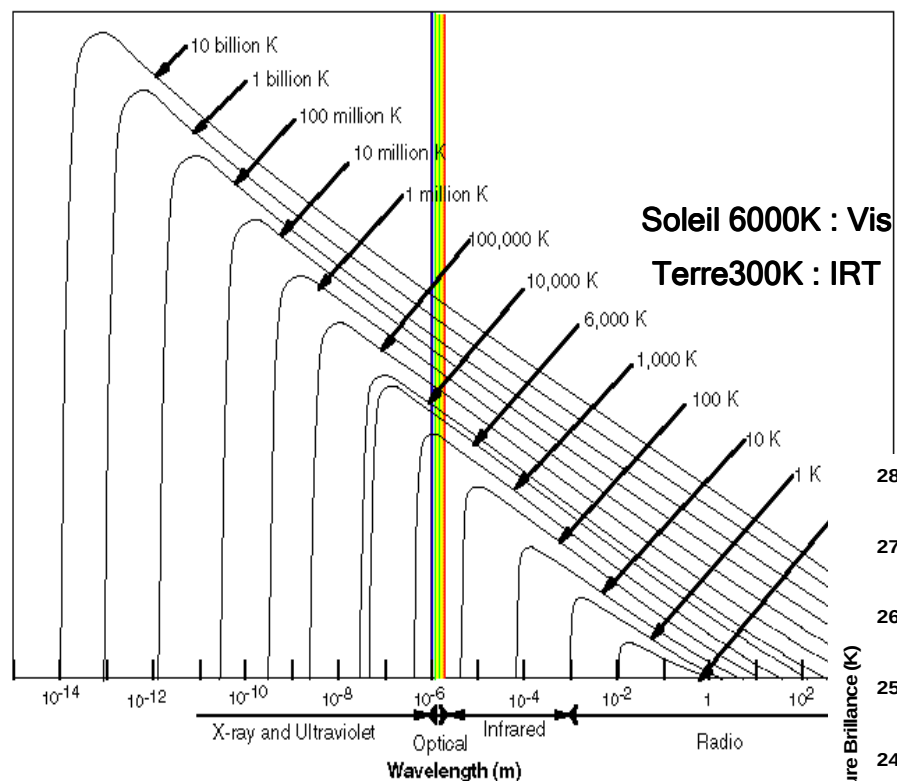
- très grande diversité spectrale : UV, Visible, IR, Submillimétrique, Radio ;

- Instruments : imageurs, sondeurs, spectromètres, altimètres, radiomètres...

- Passifs (lumière naturelle : réflexion du soleil ou émission propre de la terre) ; actifs (radar, lidar)

■ ***Les Champs de potentiel :*** Gravitation, champ magnétique

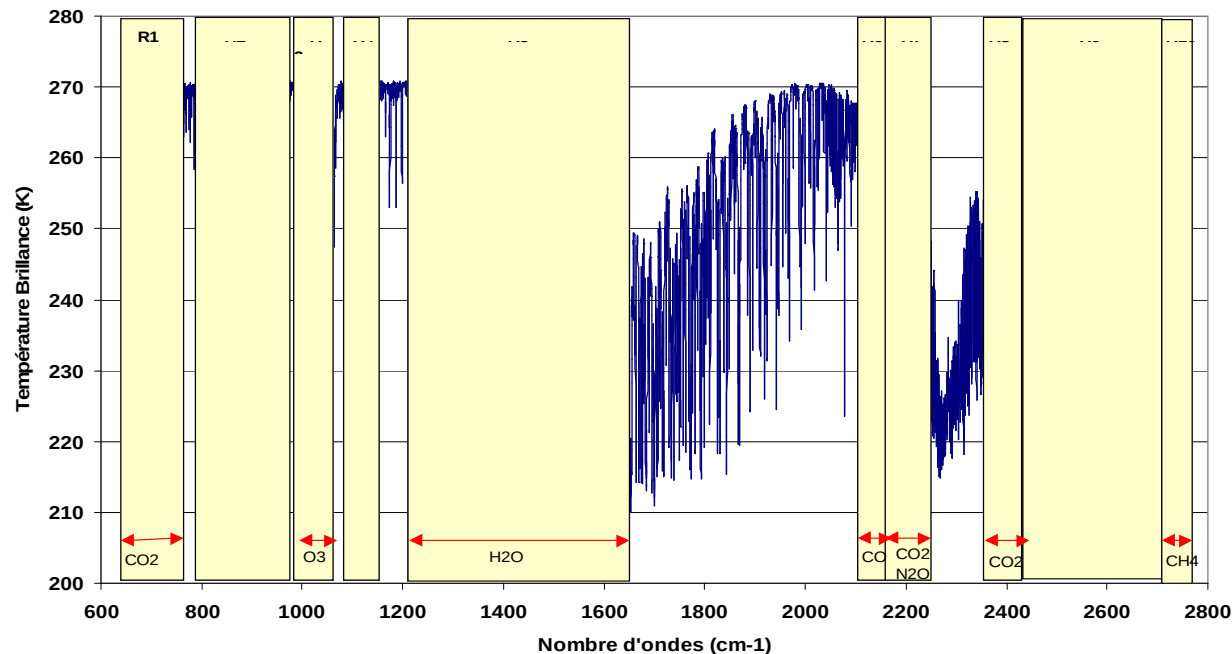
Les ondes électromagnétiques, physique de la mesure



Rayonnement thermique

Emission, absorption, réémission

En superposition : raies spectrales



Les ondes électromagnétiques, physique de la mesure

Absorption, diffusion, rétrodiffusion

aérosols
absorbants

Rayonnement
solaire absorbé

aérosols
diffusants

Rayonnement solaire
rétrodiffusé vers
l'espace



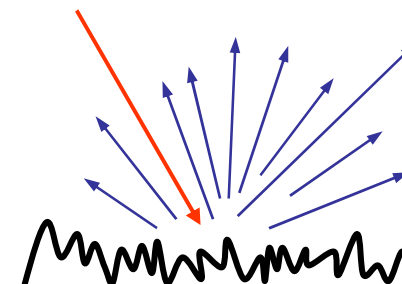
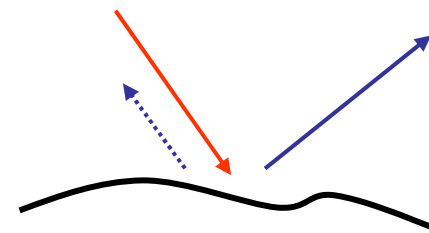
300 μm





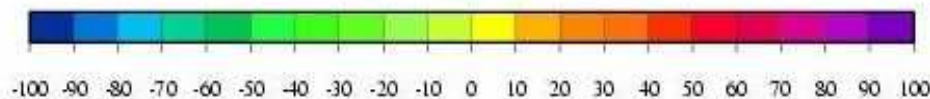
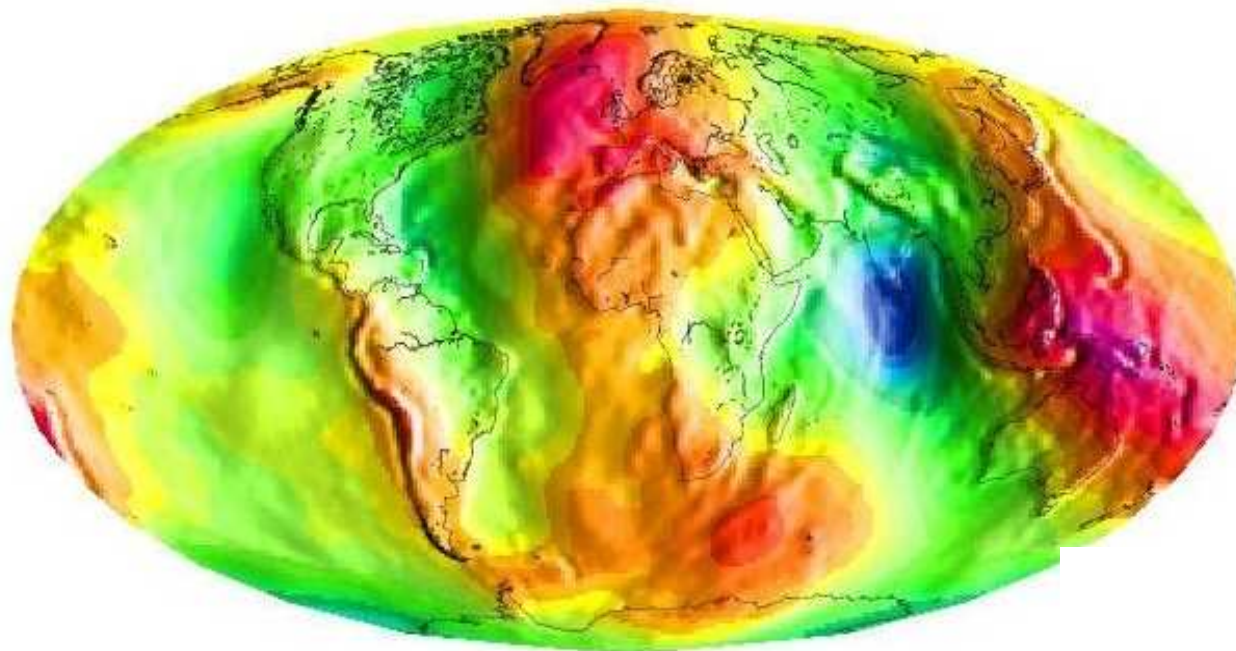
Les ondes électromagnétiques, physique de la mesure

Rétrodiffusion, réflexion de surface

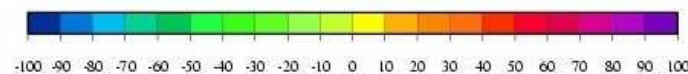
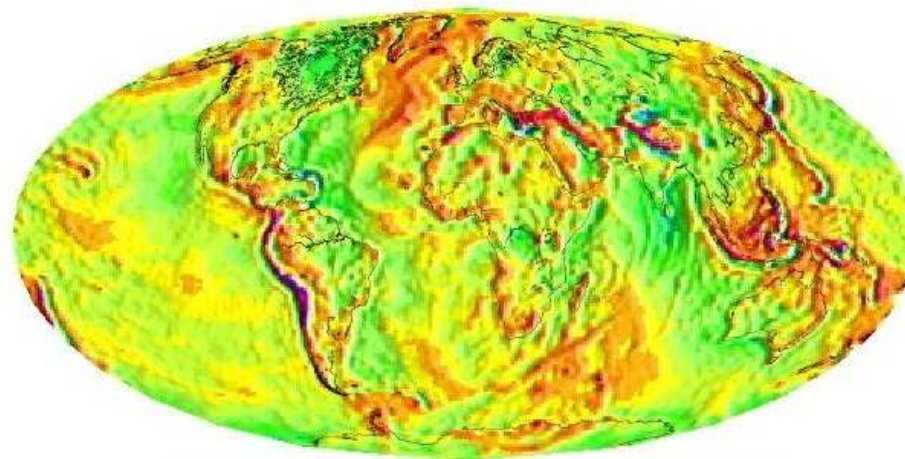


Mesure du champ de gravité Le géoïde

Hauteurs de géoïde Grm5-C1 (mètre)

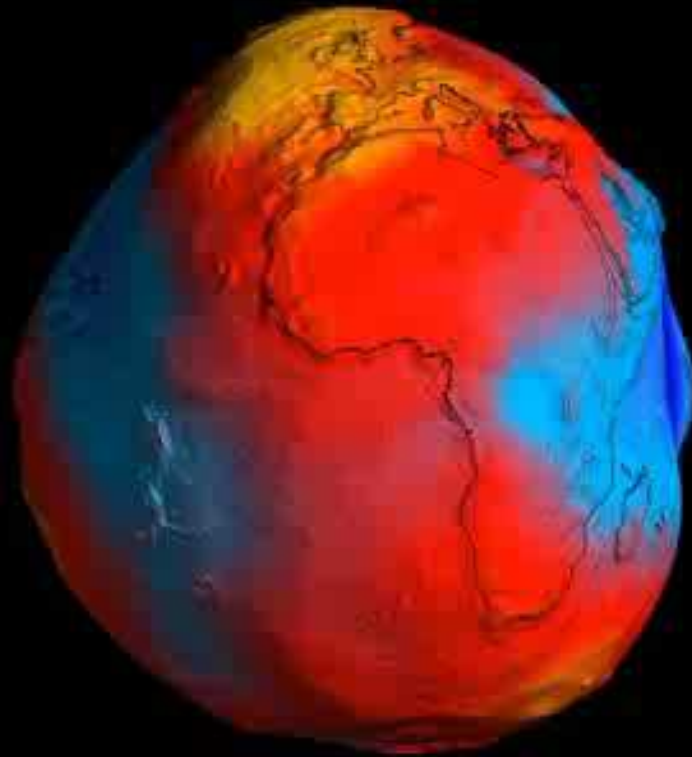


Anomalies de gravité Grm5-C1 (mGal)



Source GRGS

— Géoïde mesuré par GOCE



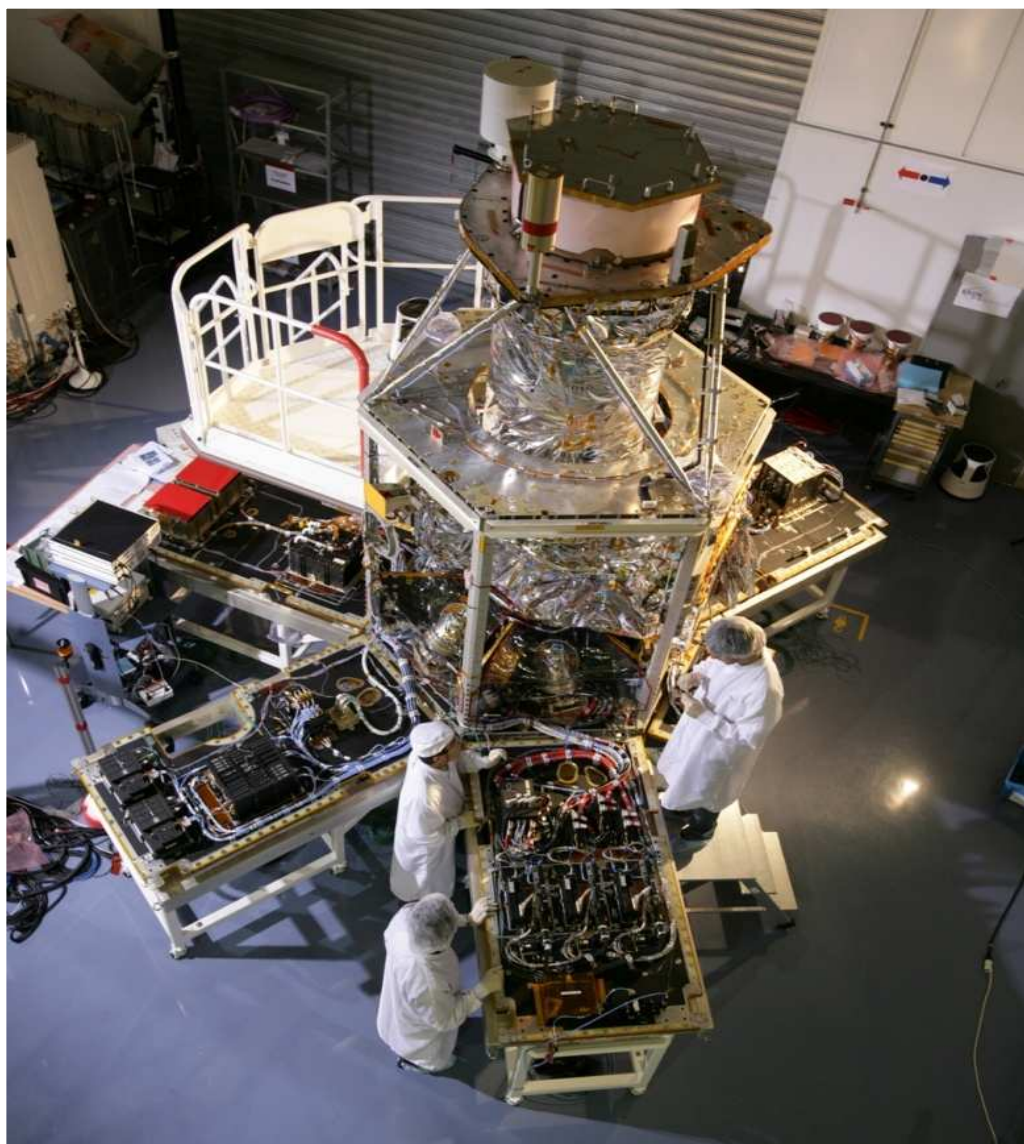
Source
ESA



Source ESA

L'outil de mesure : le satellite et ses instruments

Le satellite Pléiades

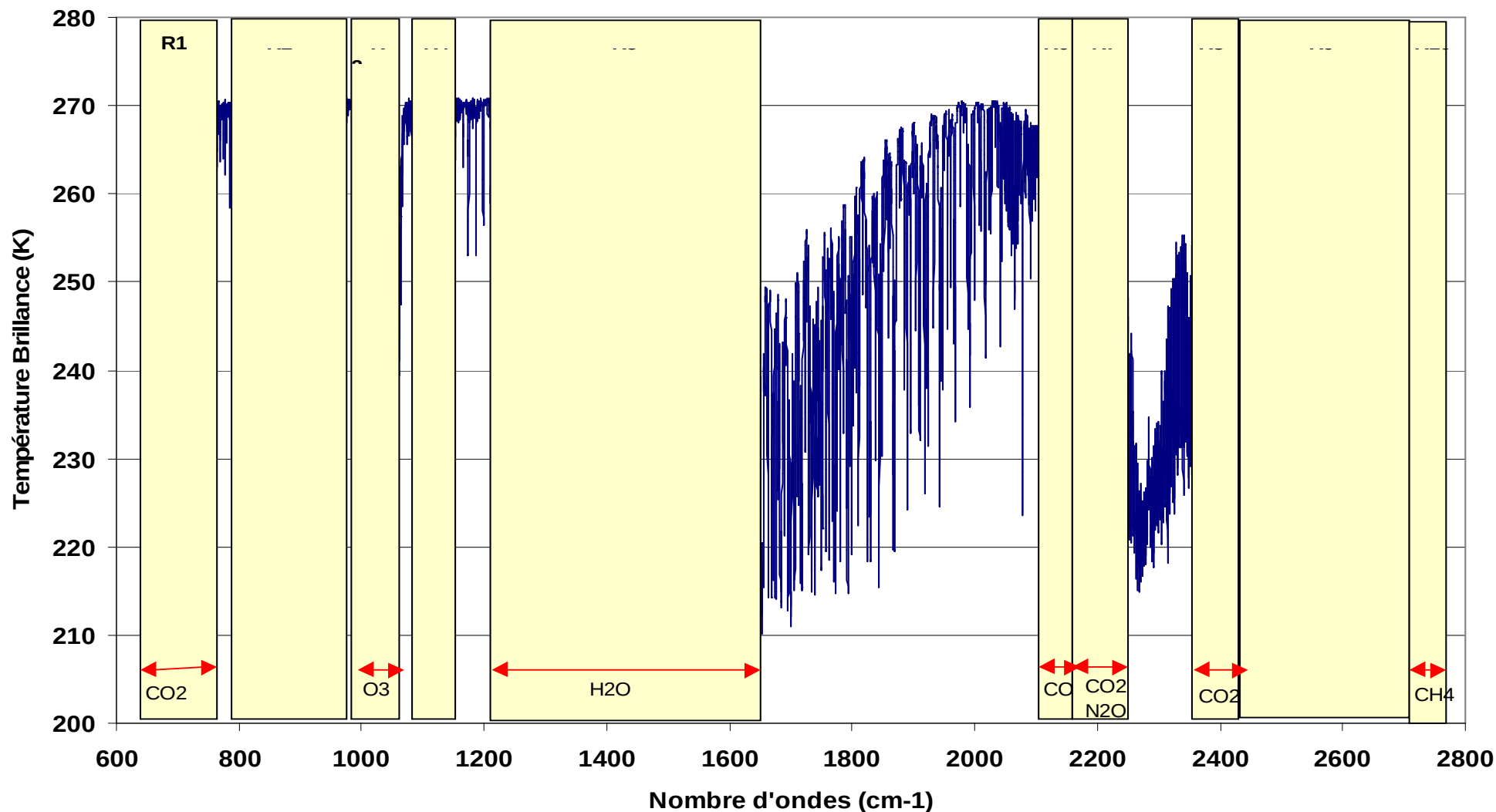


L'instrument de sondage IASI 1989-2006

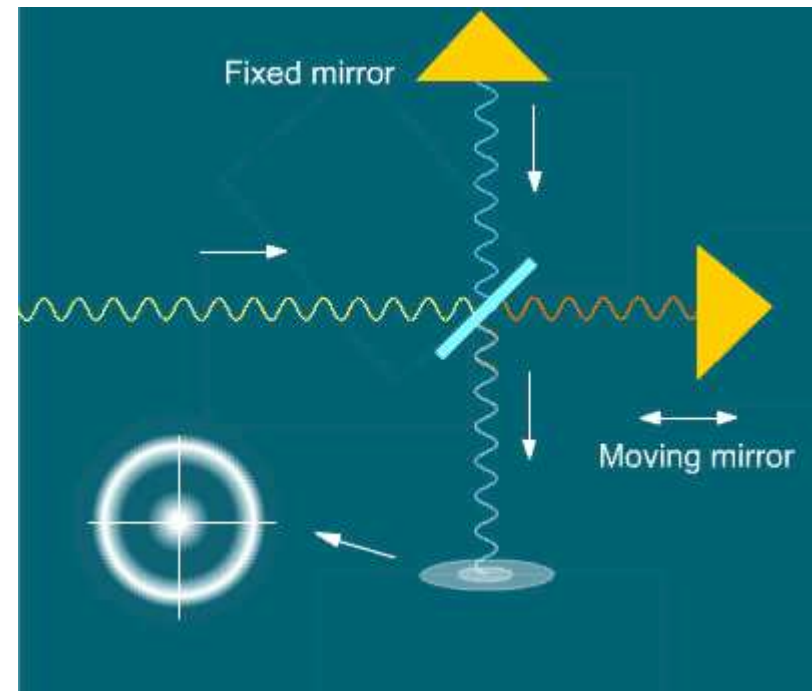
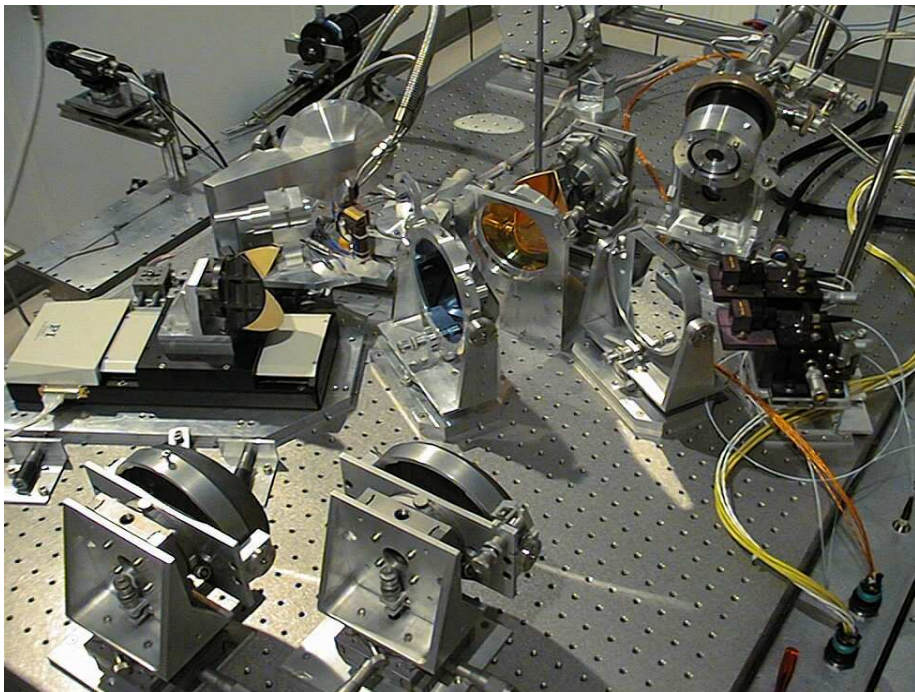
- **Années 80 : choix du principe**
- **1989 : Avant-projet IASI**
- **Octobre 2006 : lancement sur le satellite METOP**
- **Mi 2007 : passage à l'opérationnel**

15 ans de mesures sont prévues (3 instruments successifs)

Principe de l'instrument IASI : spectre infra-rouge de l'atmosphère terrestre



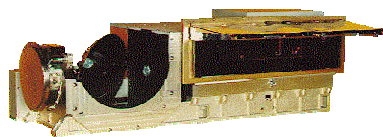
La spectrométrie par transformée de Fourier



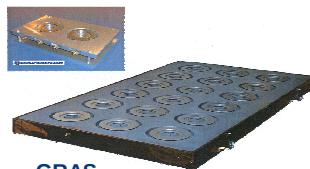
IASI : integration sur le satellite



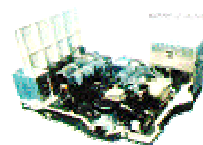
Le satellite METOP et ses instruments



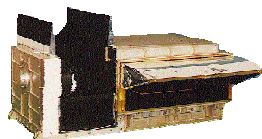
AVHRR-3



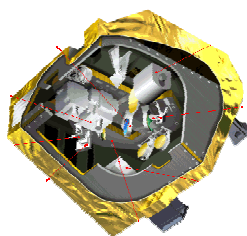
GRAS



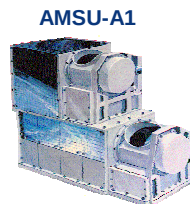
GOME-2



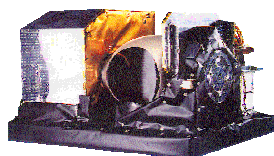
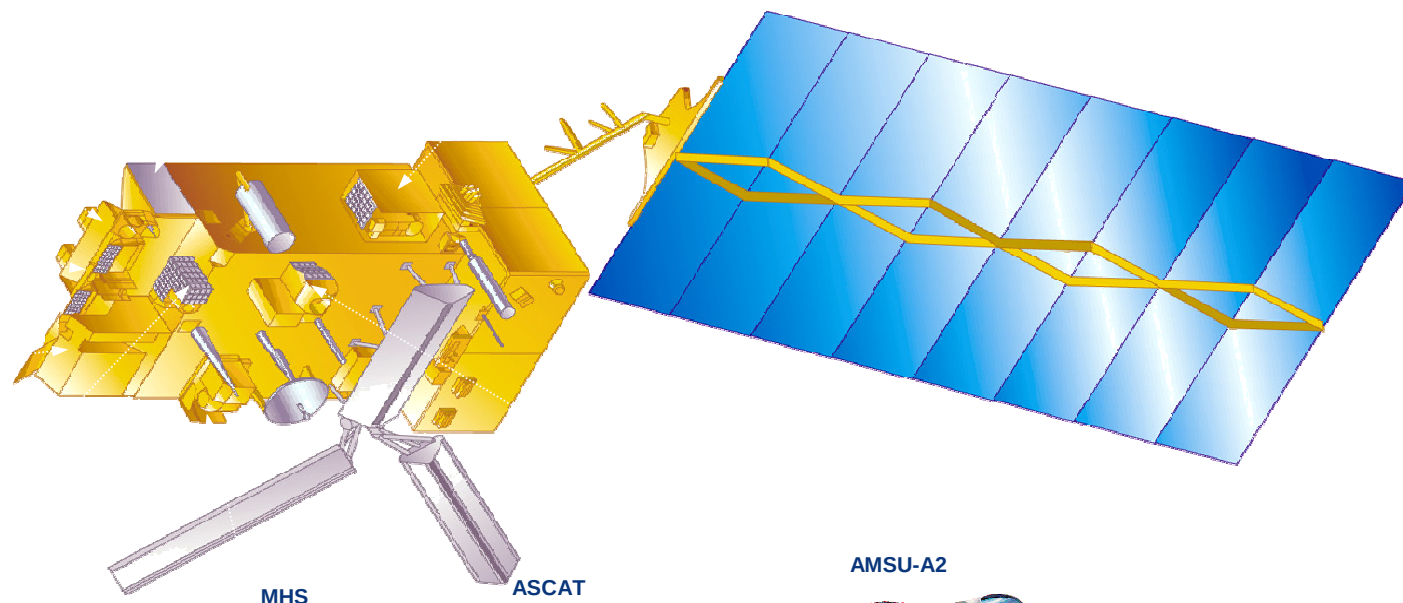
HIRS-4



IASI



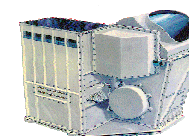
AMSU-A1



MHS

ASCAT

AMSU-A2



L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Relation Soleil Terre

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

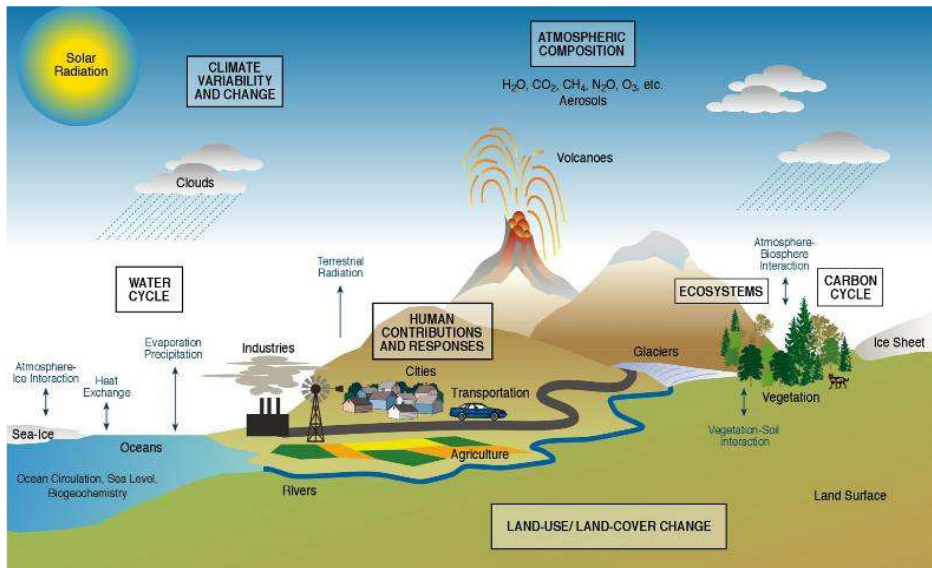
Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

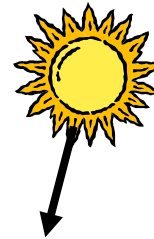
Conclusion





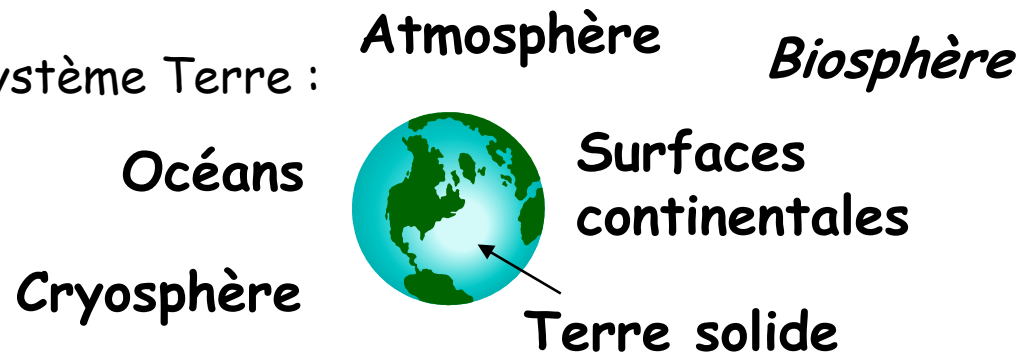
La Terre :

système intégré de plusieurs
«compartiments» en interaction
permanente



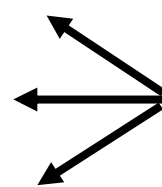
Soleil

Les composantes du système Terre :



Plusieurs bilans pour mesurer l'équilibre de la Terre :

- bilan radiatif
- cycle de l'eau
- cycle du carbone
- chimie atmosphérique
- etc...



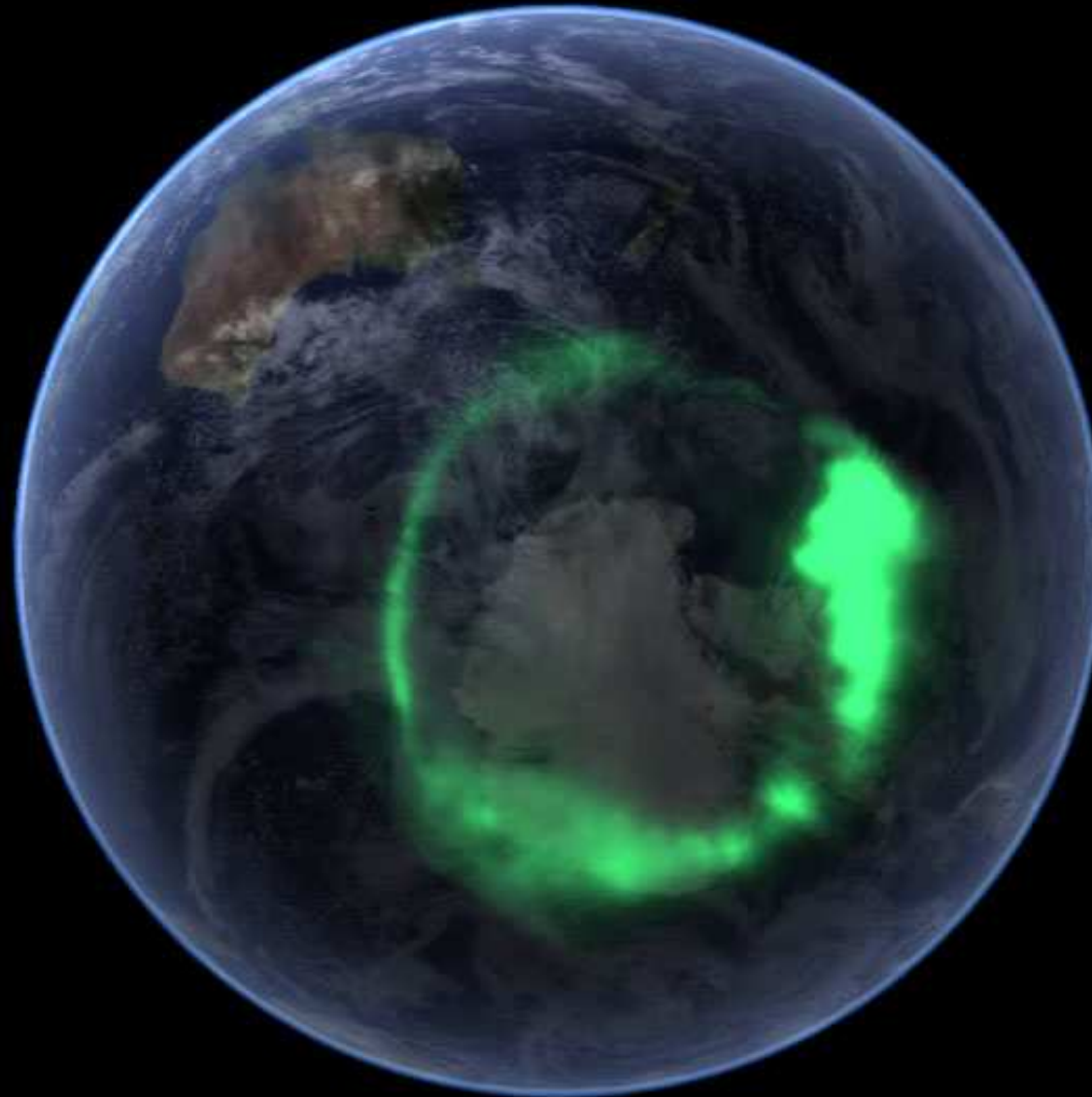
Fortes
interactions
entre les
différents bilans

Le Soleil

Source NASA

IMAGE-NASA

Imager for Magnetopause to Aurora Global Exploration



Aurore boréale vue de la station spatiale internationale



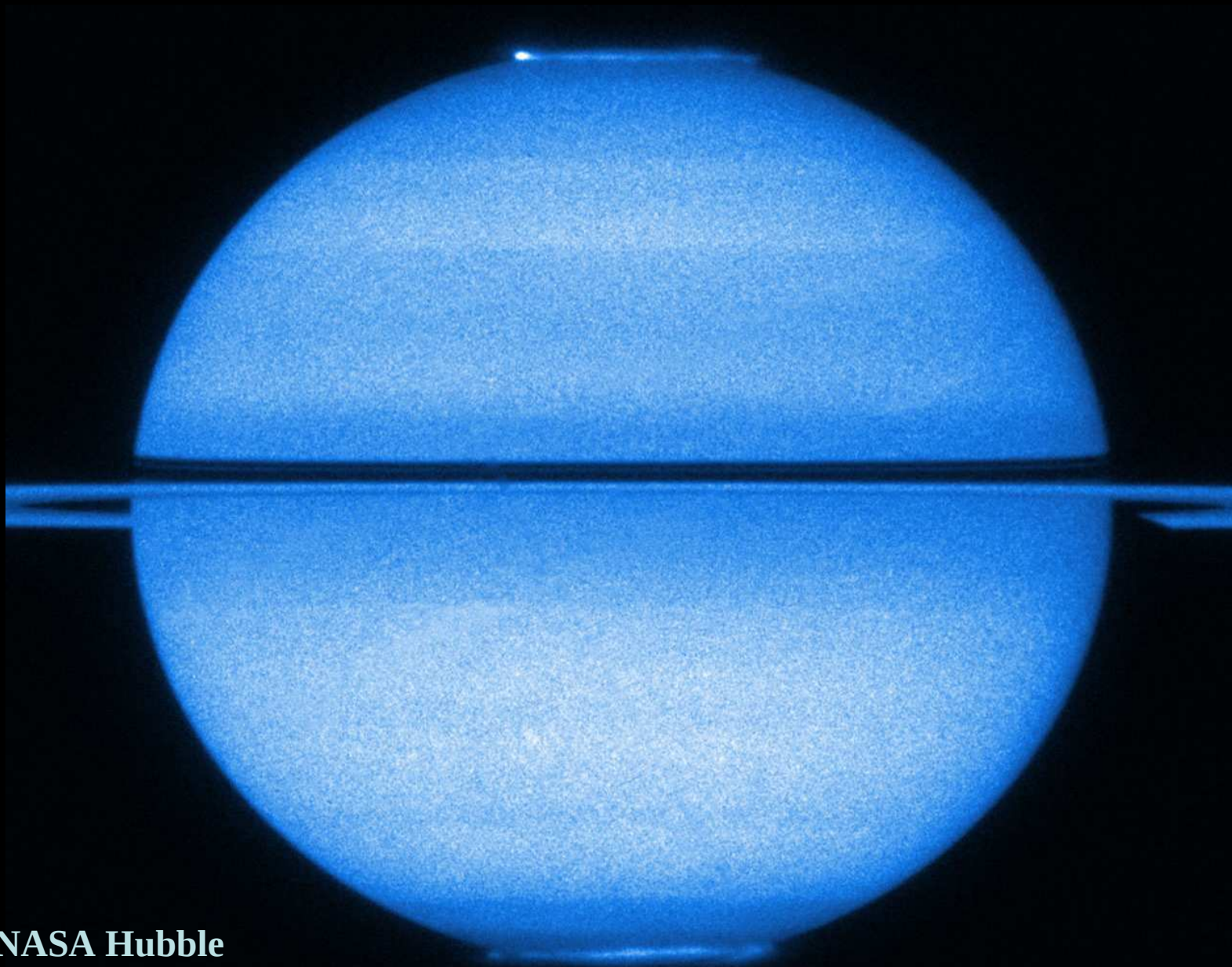


Image NASA Hubble

L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Relation Soleil Terre

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

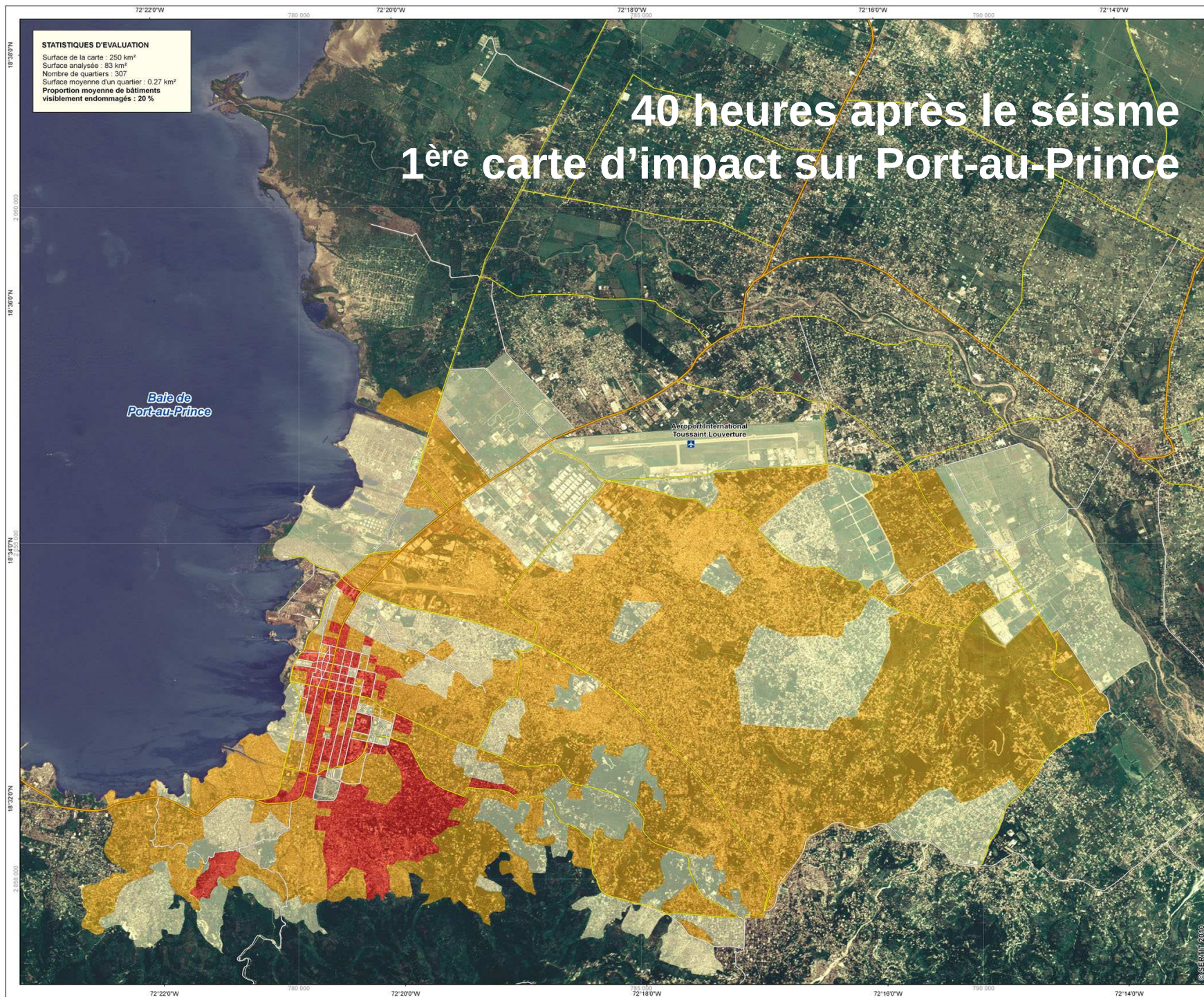
Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

Conclusion





STATISTIQUES D'EVALUATION
Surface de la carte : 250 km²
Surface analysée : 83 km²
Nombre de quartiers : 307
Surface moyenne d'un quartier : 0,27 km²
Proportion moyenne de bâtiments visiblement endommagés : 20 %

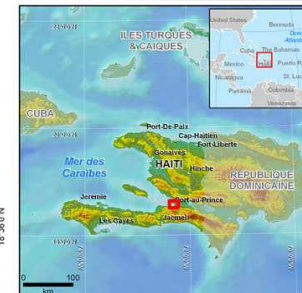
Baie de
Port-au-Prince

Aéroport International
Toussaint Louverture

Actions CHARTE 287 à 290 - SAFER N°024
Produit N°03

HAITI Port-au-Prince Dommages au bâti, évaluation par quartier

Carte de localisation



Légende

- Classes de dégâts**
- Dommages très visibles à généralisés (0-40%)
 - Dommages localement bien visibles (11-40%)
 - Dommages peu ou pas visibles (0-10%)
 - Secteur non analysé
- Pour chaque quartier, le pourcentage exprime une évaluation de la proportion de bâtiments avec des dommages observables.
- Réseaux de communication**
- Route principale
 - Route secondaire
 - Autre route
 - Aéroport

Interprétation

Le 12 janvier 2010 à 21h53 (GMT), 16h53 (locale), un violent séisme de magnitude 7 sur l'échelle de Richter a secoué Haïti. Cette carte constitue une première évaluation des dommages au bâti dans l'agglomération de Port-au-Prince fondée sur l'exploitation d'images satellites. Cette appréciation des dommages est réalisée sur la base d'une observation de la proportion de bâtiments présentant des dégâts observables. Cette première estimation doit être utilisée avec précaution, elle sera précisée dans les jours à venir.

Information cartographique

0 1 2 km
Projection locale : UTM Zone 18 Nord, Datum: WGS 84
Projection géographique : Lat/Lon (DMS), Datum: WGS 84
Echelle : 1:25 000 pour impression A1

Sources des données

Fond cartographique
Image SPOT 5 (2,50 m) en couleurs naturelles
acquise le 03 juillet 2007
© CNES 2007, distribution Spot Image S.A.
Les classes de dégâts sont dérivées des images GeoEye (65 cm) et ALOS AVNIR-2 (10 m) acquises le 13 janvier 2010.
© SERTIT 2010
Les routes sont dérivées de l'image SPOT 5 du 03 juillet 2007
© SERTIT 2010.
Autres couches thématiques & toponymie
© SERTIT 2010, GIST, ESRI

Cadre de travail

Les produits élaborés dans le cadre de cette action de cartographie rapide sont réalisés dans un court laps de temps, en optimisant au mieux la donnée disponible. Toutes les informations géographiques ont des limitations dues à l'échelle, la résolution, la date ainsi que l'interprétation de la donnée source. La responsabilité de l'auteur de cette carte ne peut être engagée quant à son contenu et son éventuelle utilisation.
Carte produite le 14 janvier 2010 par le SERTIT
© SERTIT 2010
sertit@sertit.u-strasbg.fr
http://sertit.u-strasbg.fr

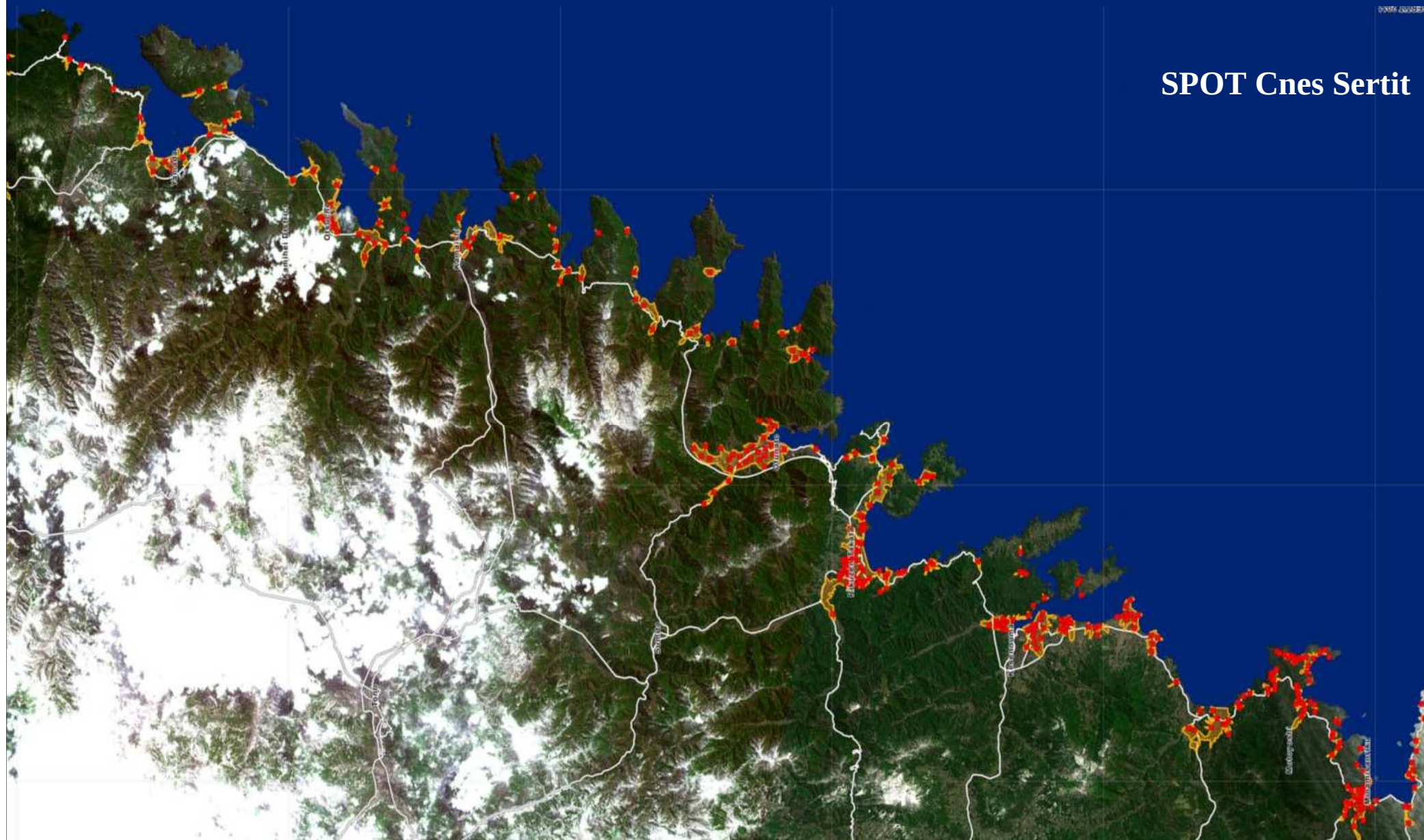


Cette opération de la Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures est gérée par l'Agence Spatiale Française - le CNES.

Image US
GeoEye
à 50 cm

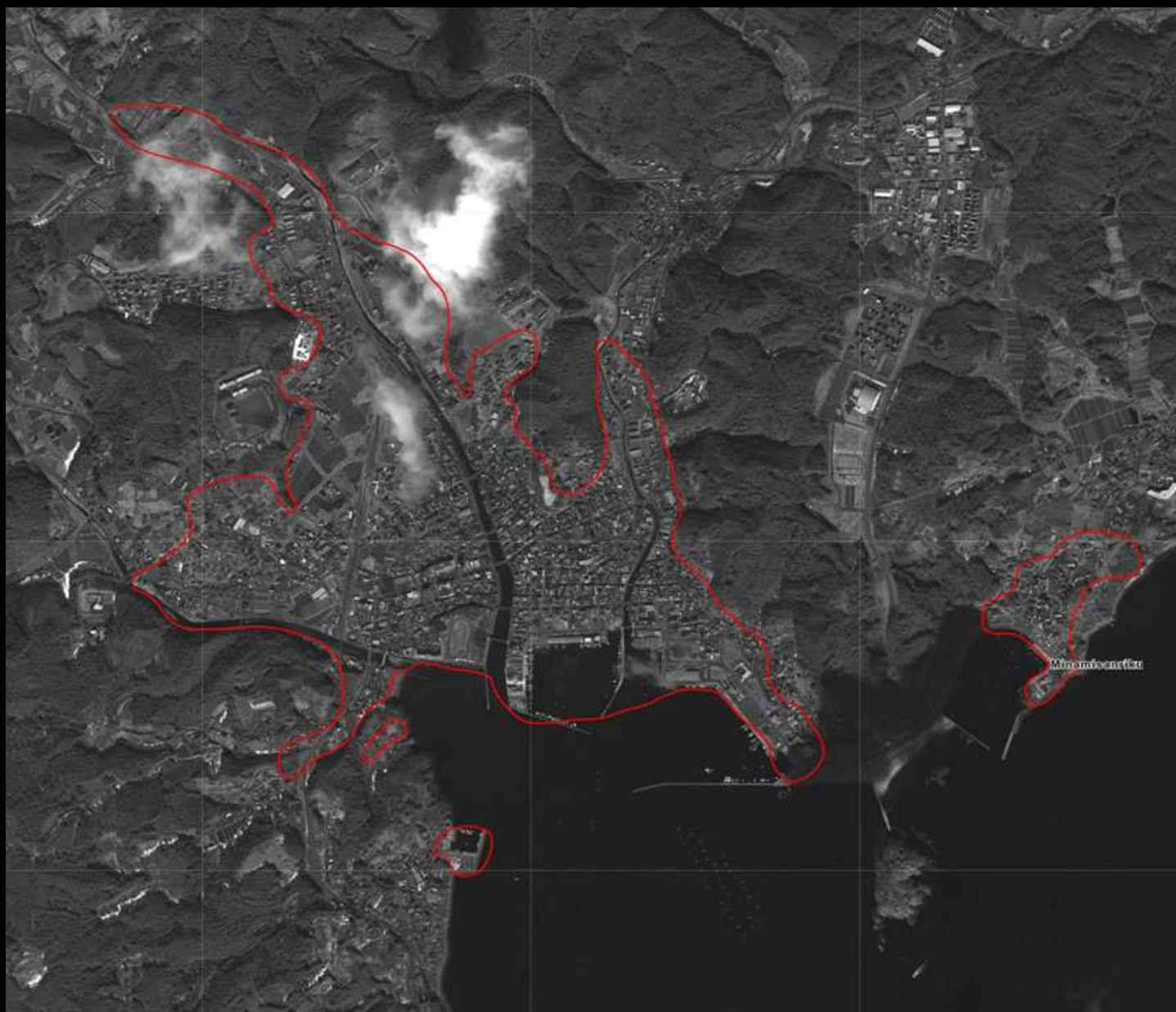
Regroupement
de population
dans le stade de
Port-au-Prince



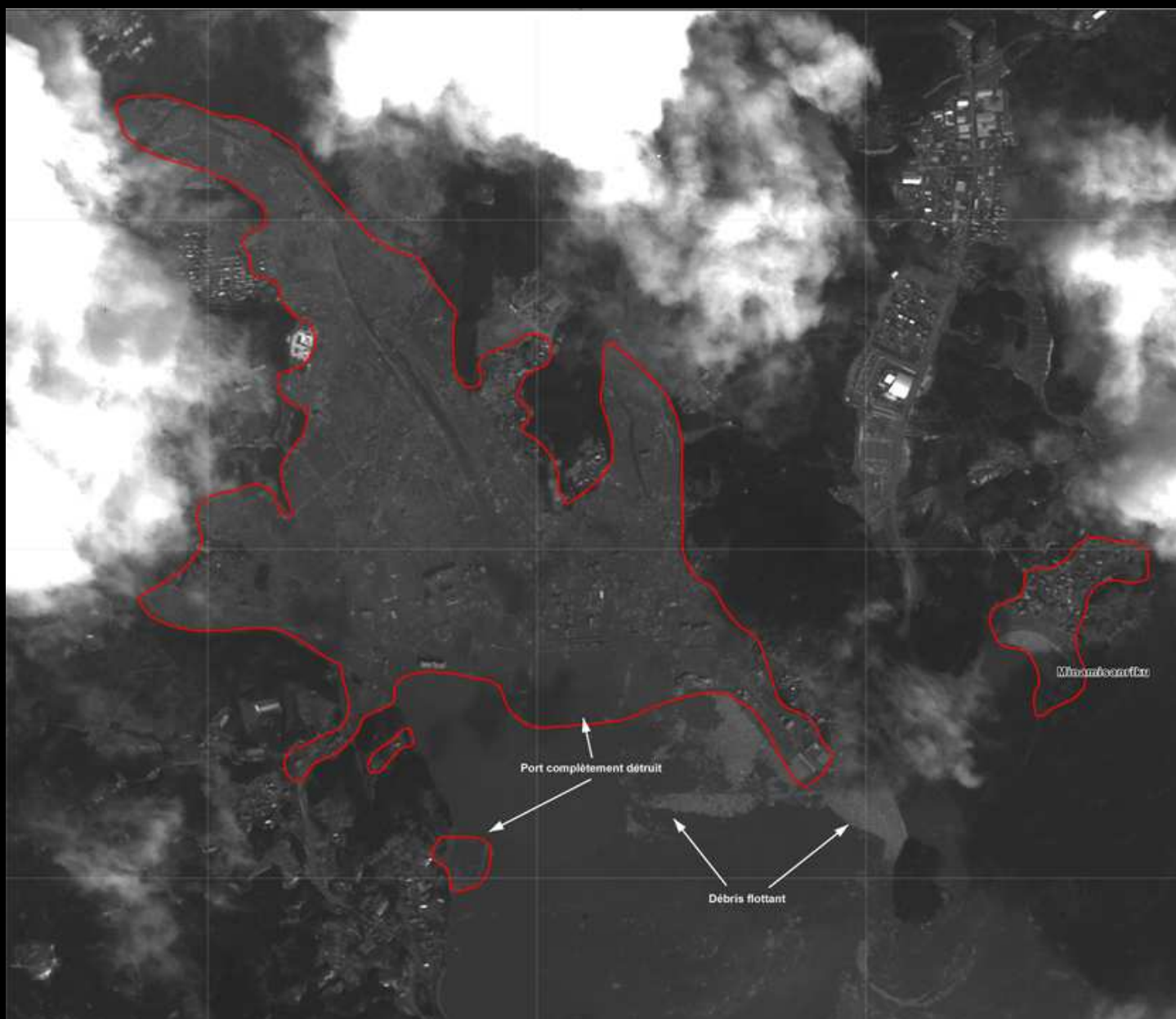


Avant évènement

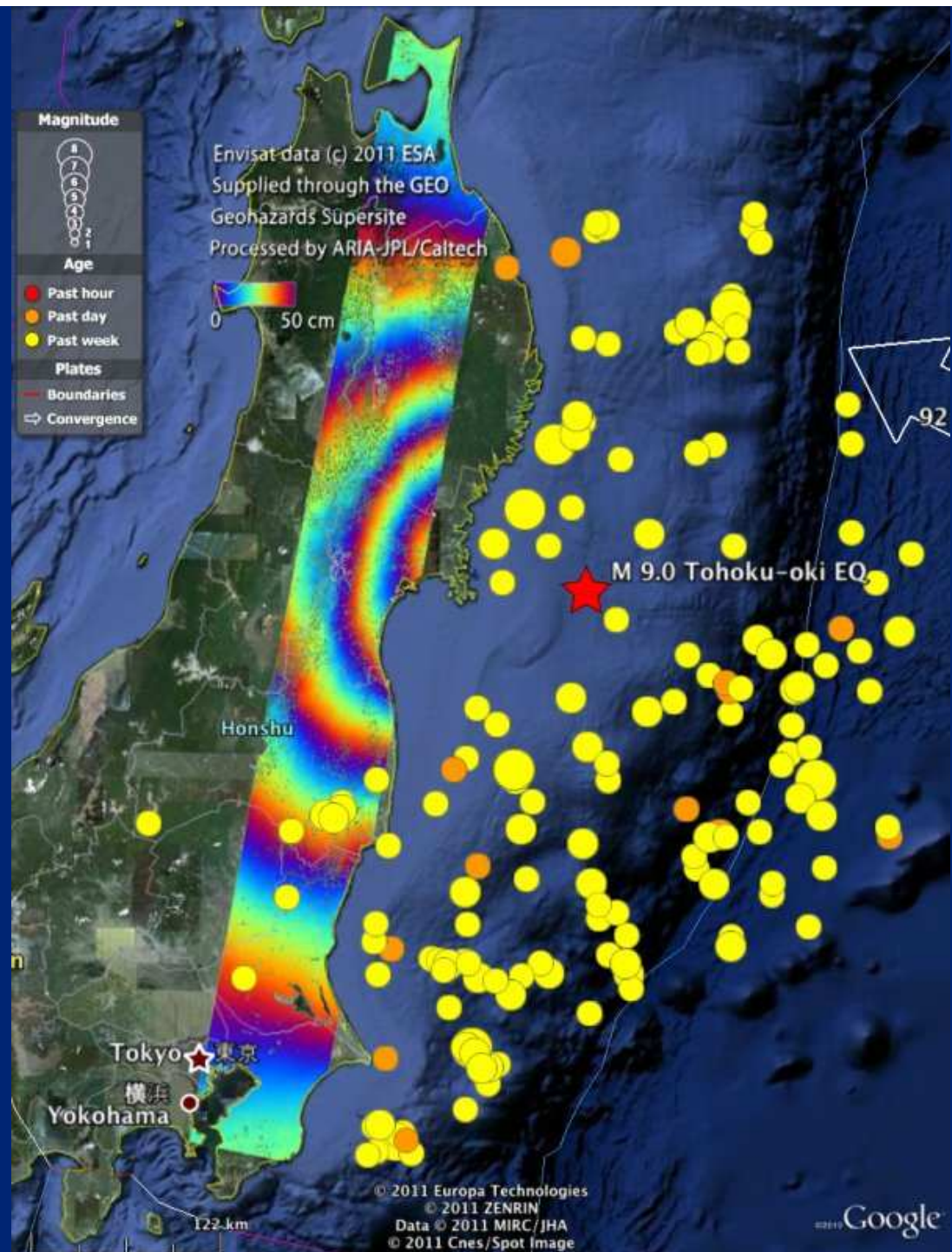
SPOT

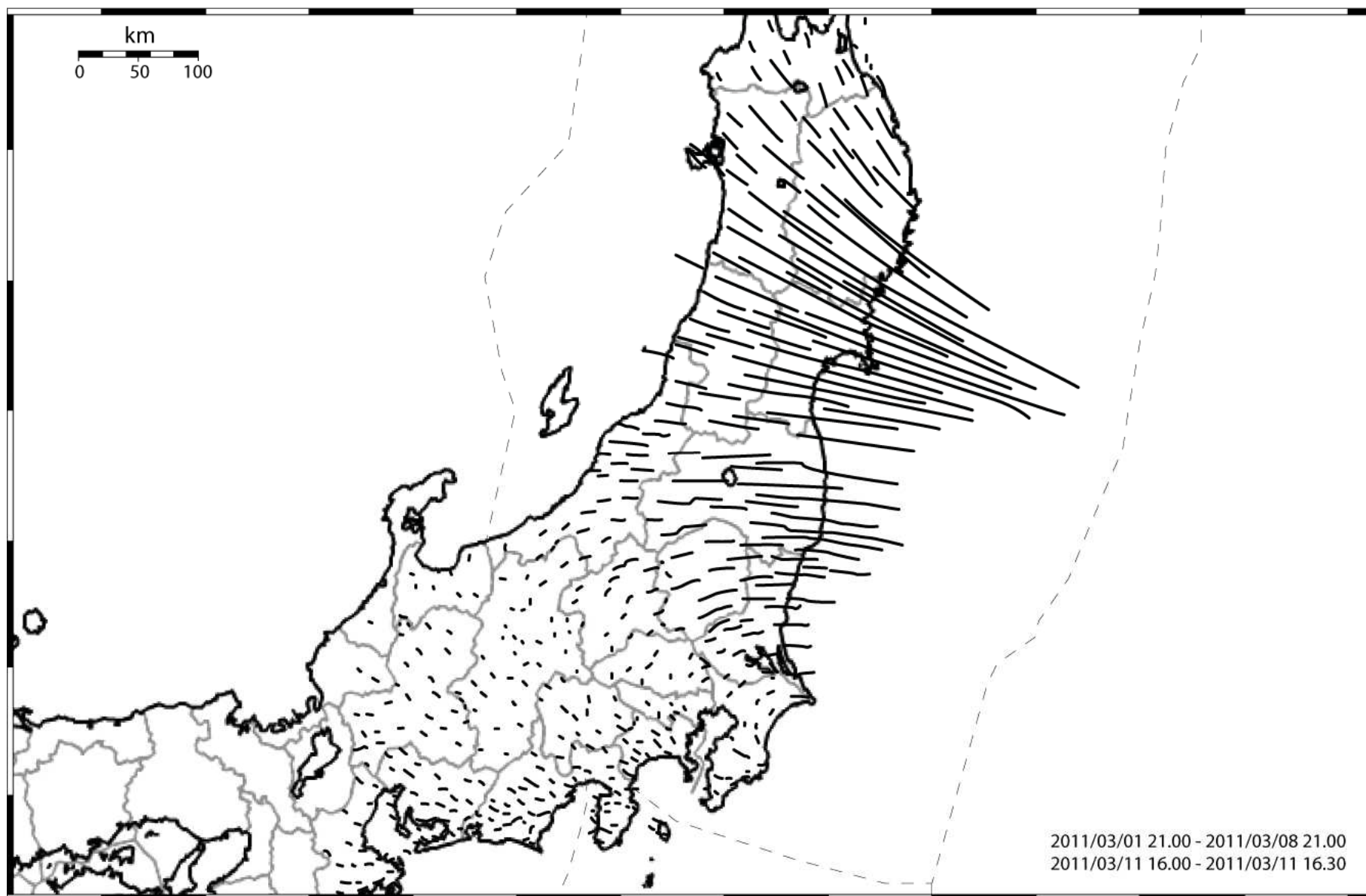


SPOT



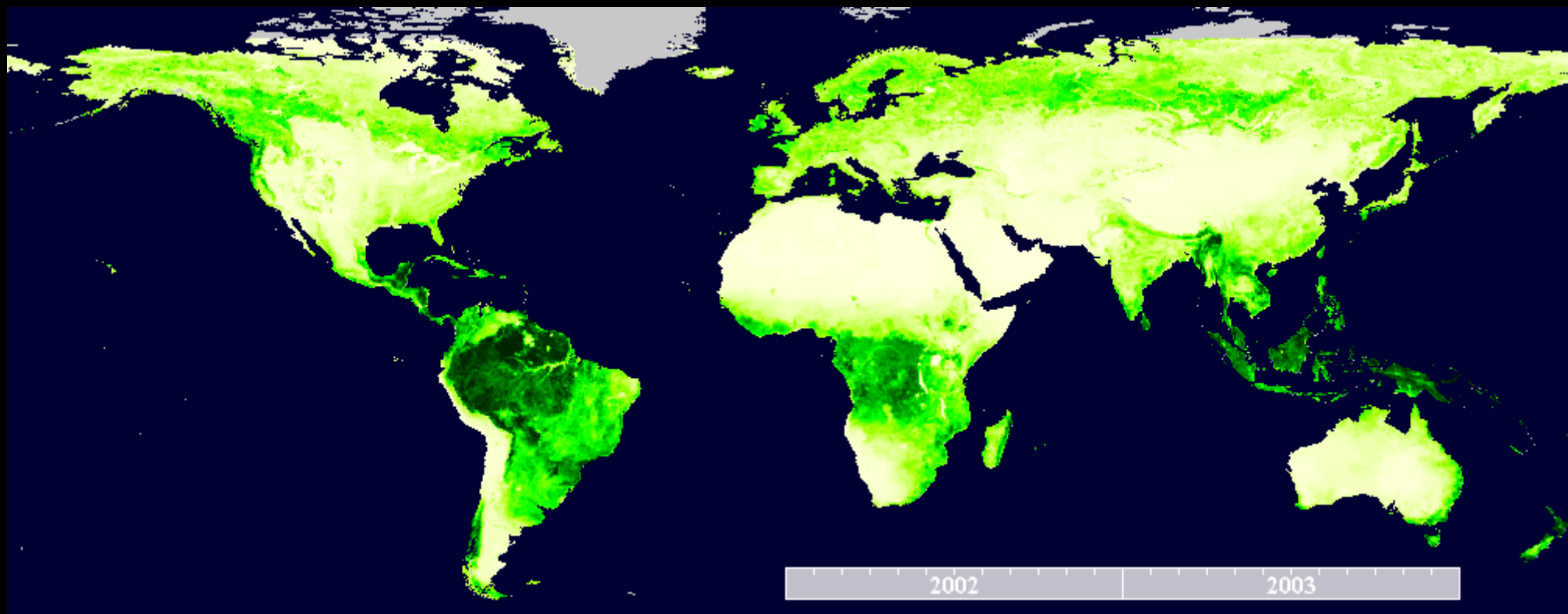
Données ESA Envisat
Traitement JPL Caltech





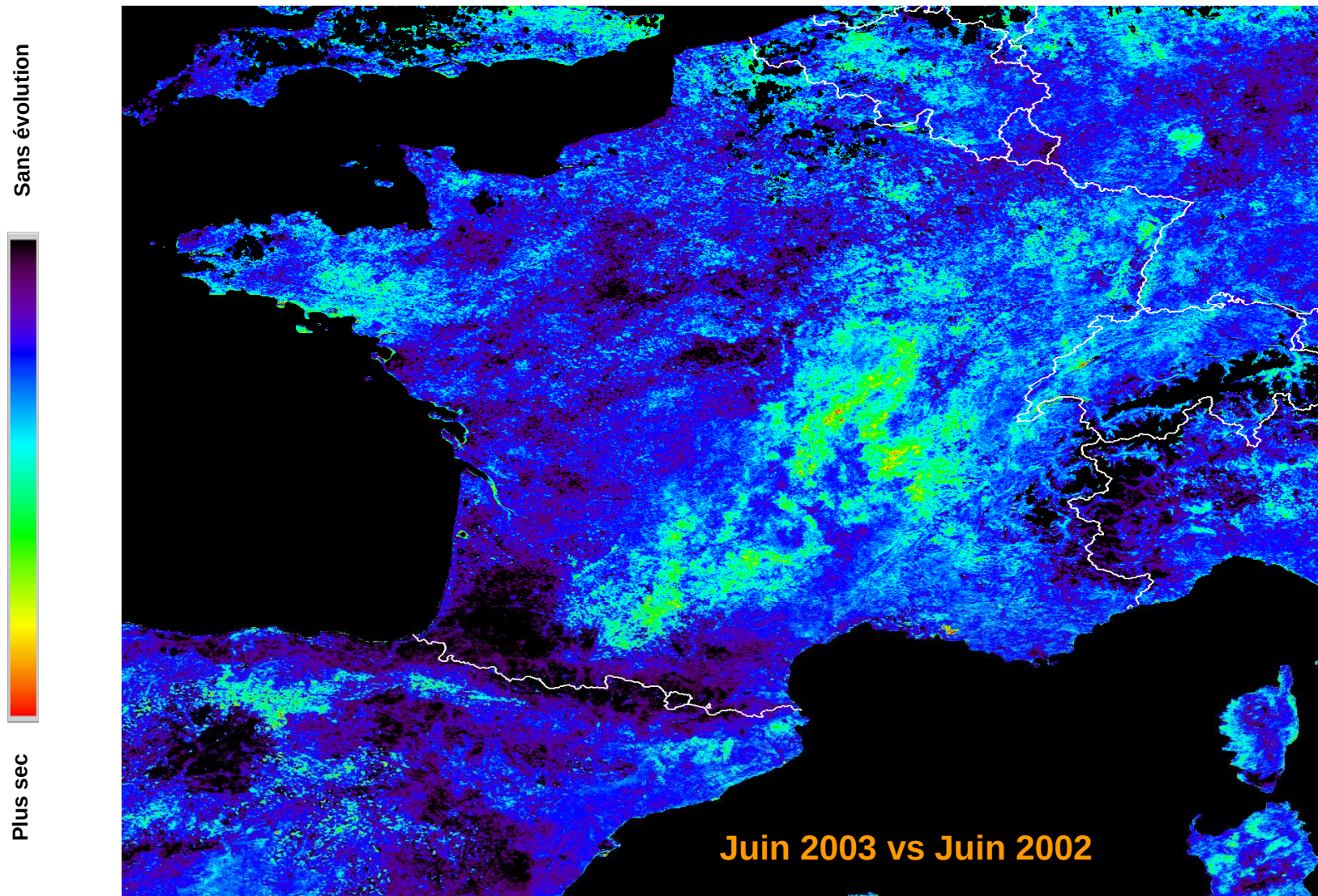
Surfaces continentales végétation

Suivi de la végétation sur 2 années par l'instrument VGT

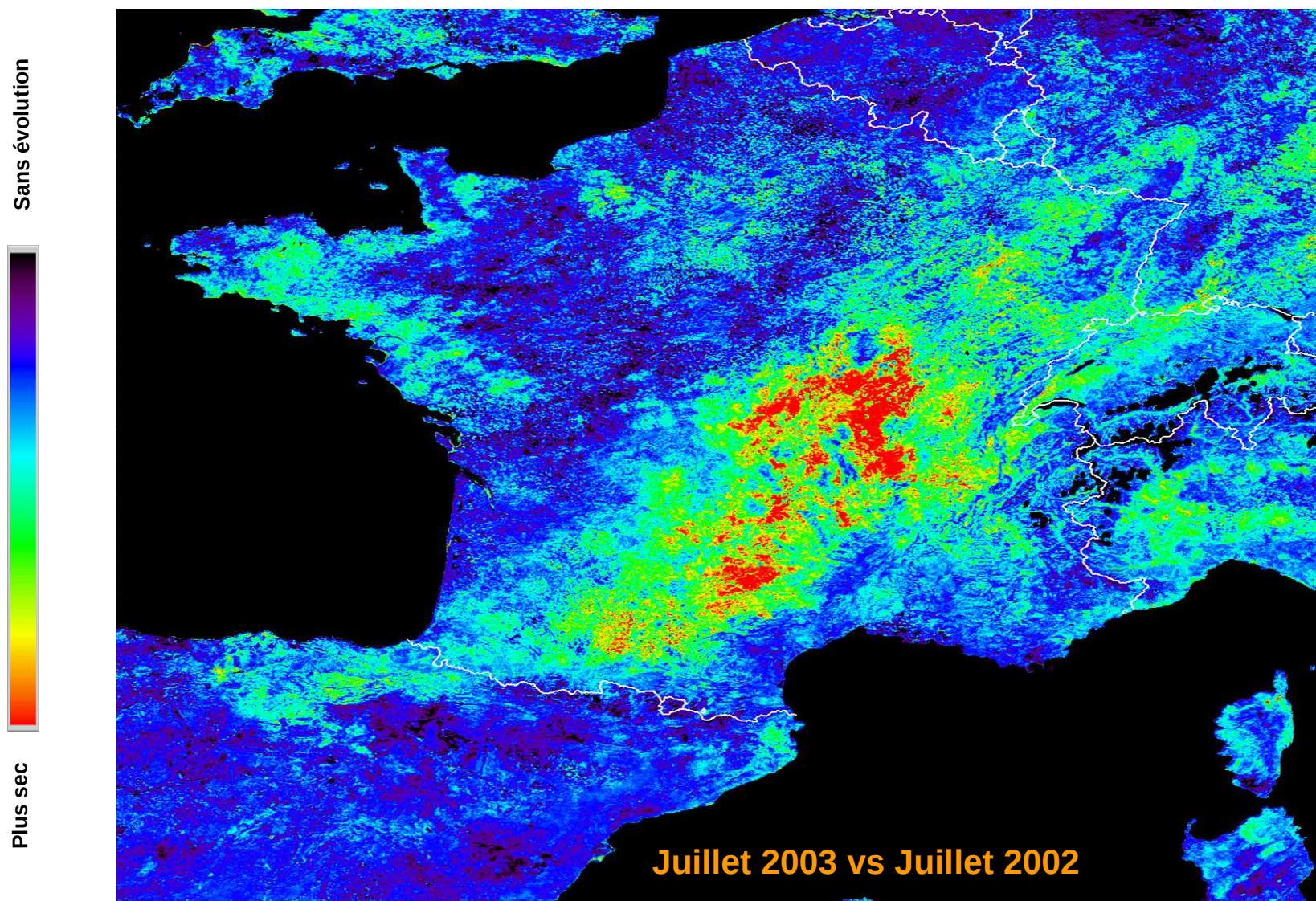


Surfaces continentales : végétation

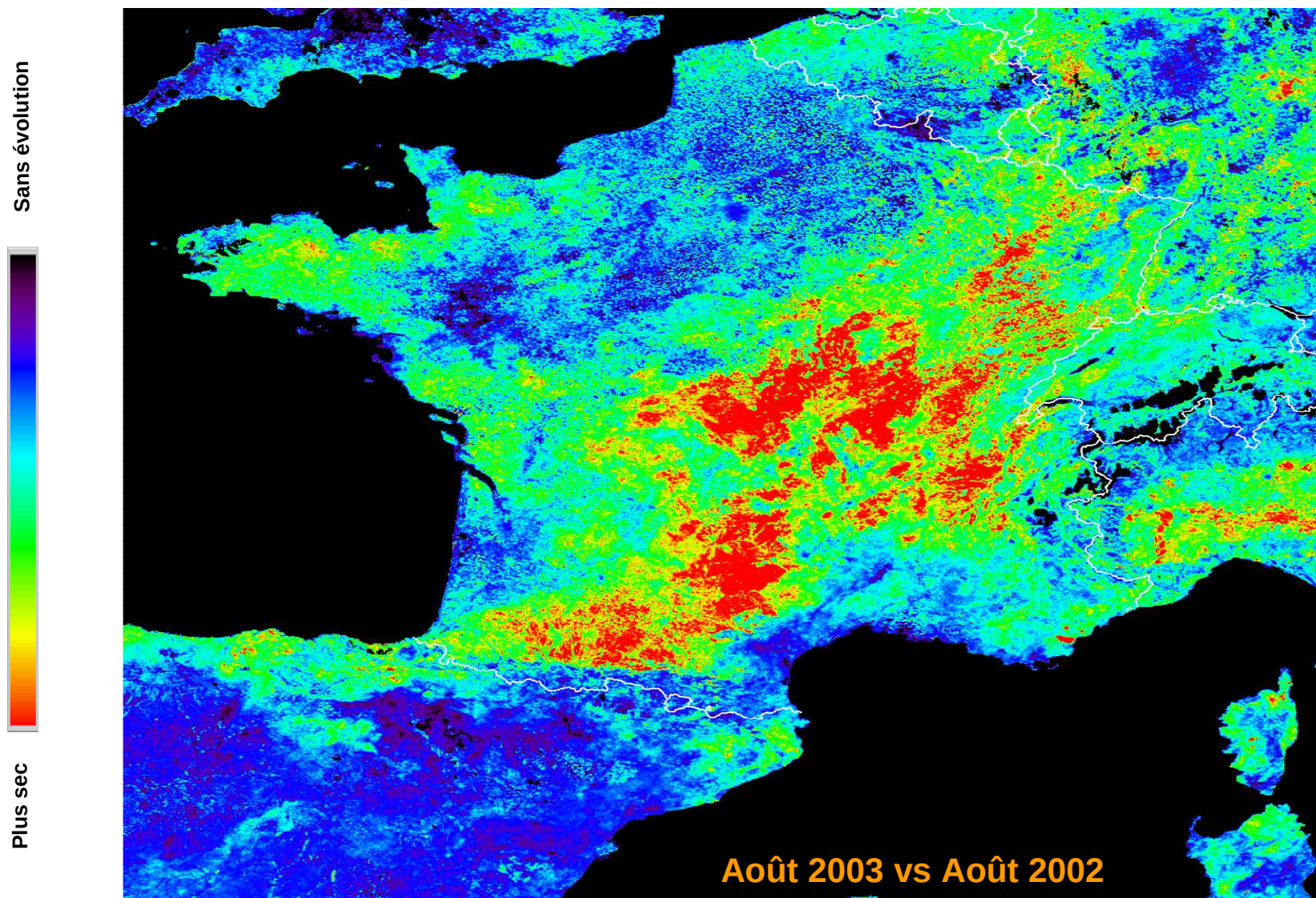
(canicule 2003 avec VGT)

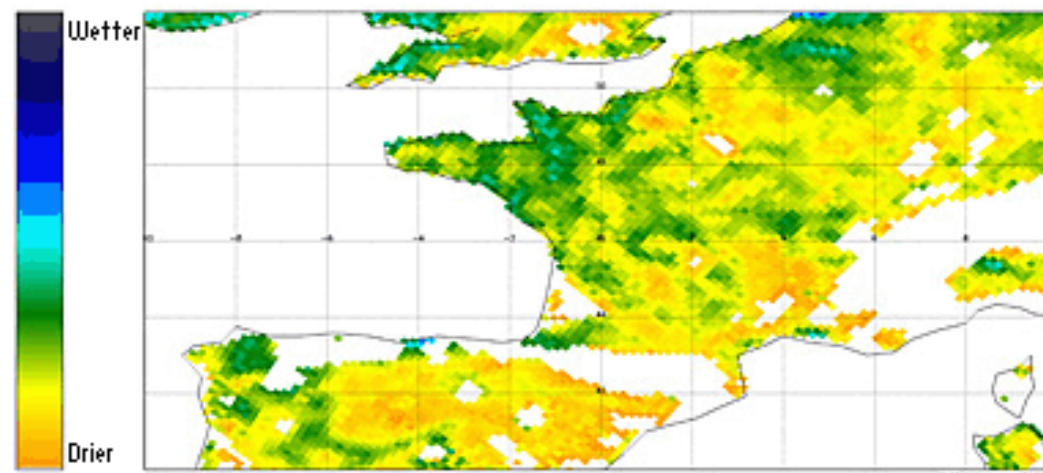
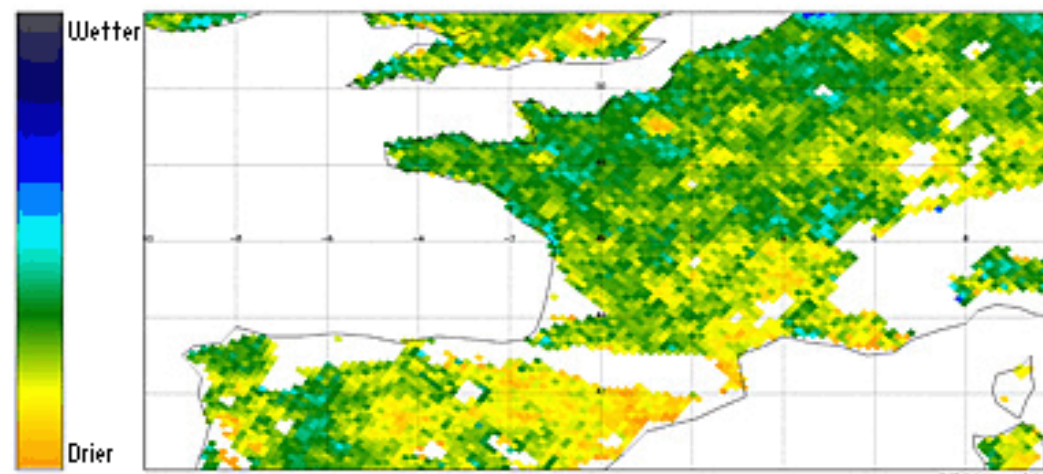


Surfaces continentales : végétation (canicule 2003 avec VGT)



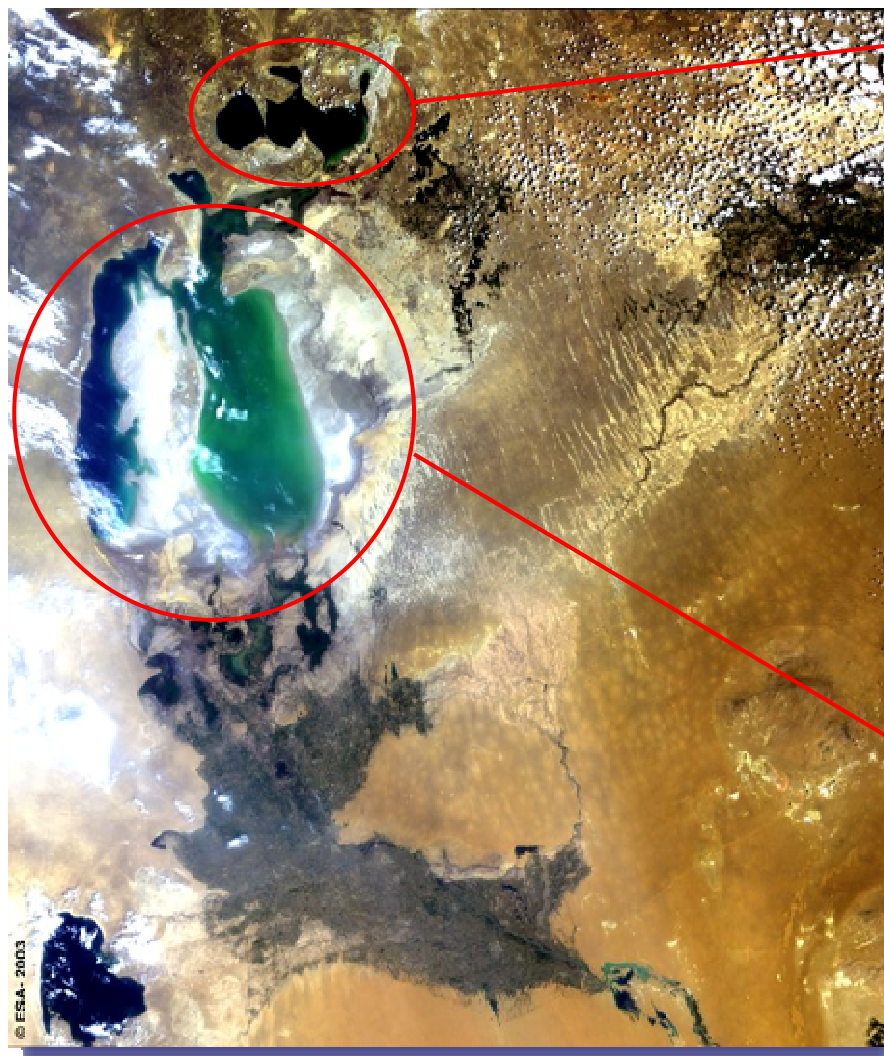
Surfaces continentales : végétation (canicule 2003 avec VGT)





CESBIO

La mer d'Aral, une baisse dramatique



© ESA

mètres

44

Petite Aral

39

38

Grande Aral

31

1982

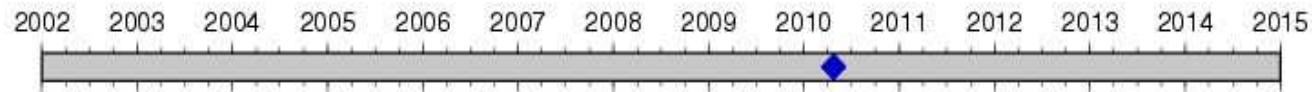
2004

© Legos

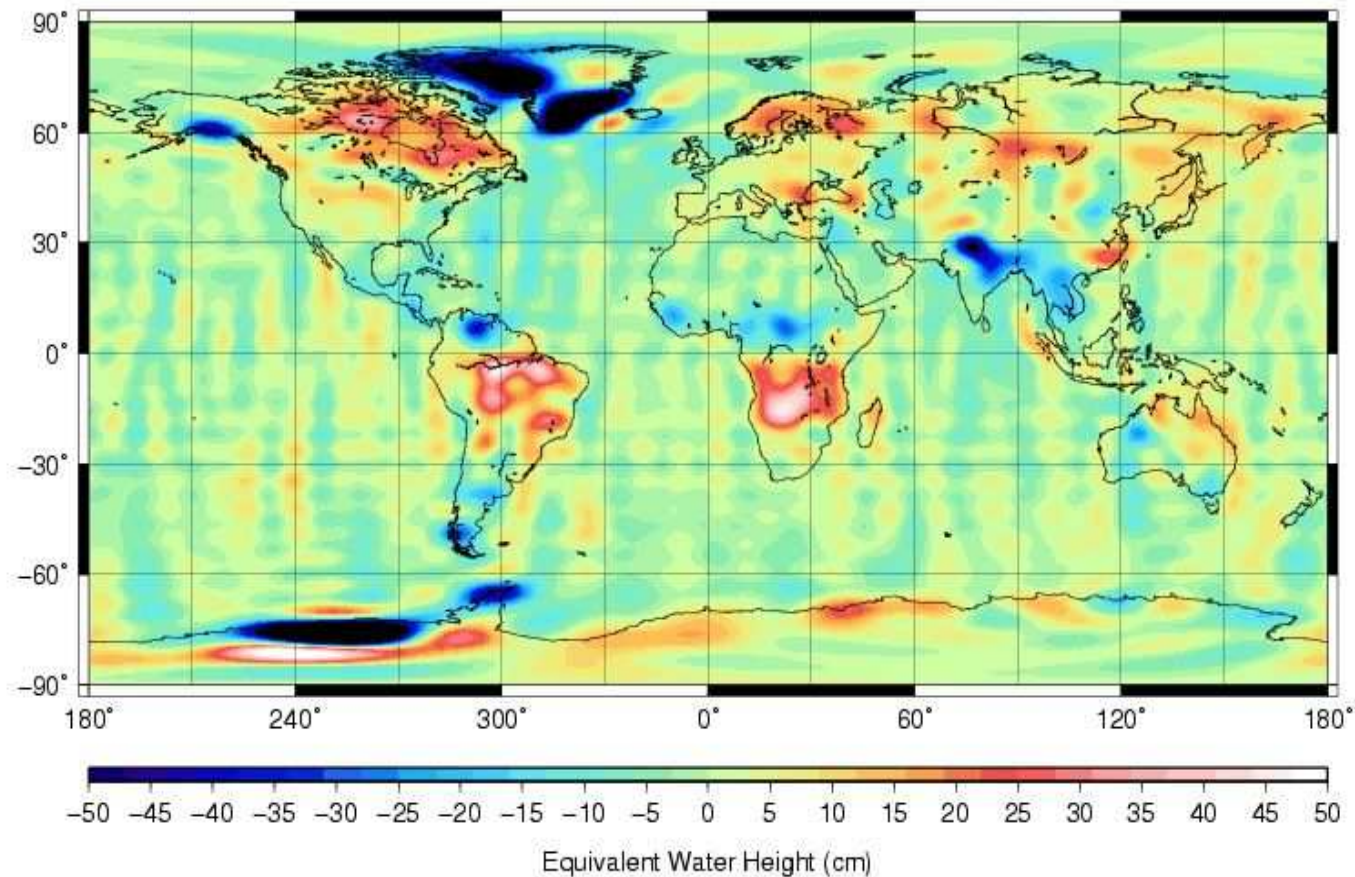
Le Géoïde pour l'étude des eaux continentales

Modèles décennaux CNES/GRGS
à partir des données GRACE
et LAGEOS

R.Biancale GRGS-CNES
M.Diament IPGP-Paris



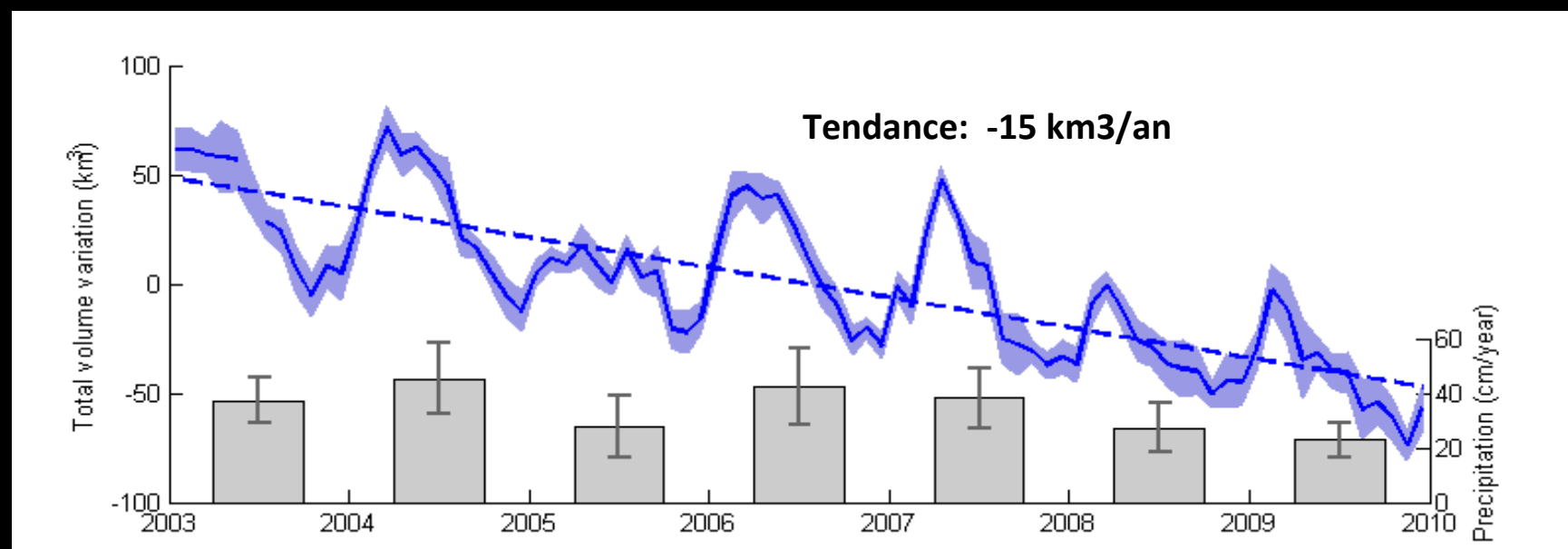
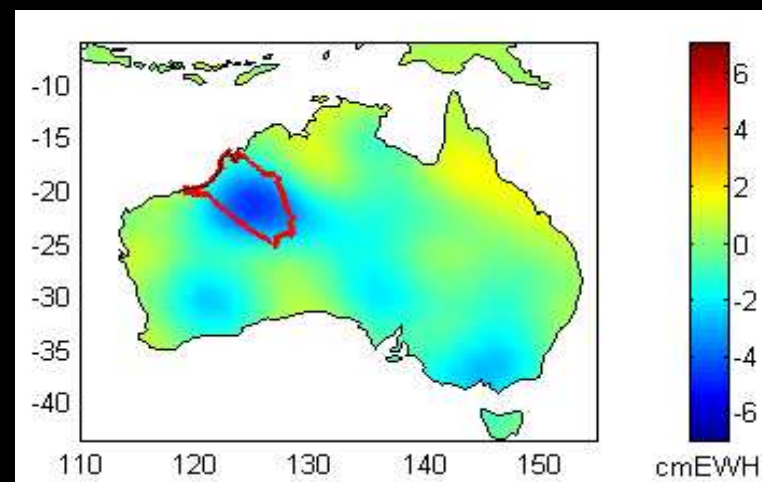
10-day gravity field from GRACE



Bassin de Canning

- Surface : 400 000 km²
- Climat : semi-aride
- Faible densité de population
- Faible utilisation des eaux souterraines (< 1km³/an)

Tendances GRACE (2002-2010)



L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

Conclusion



Les grandes applications de l'étude de l'atmosphère

- **La météorologie**

Prévision du temps de l'heure à la quinzaine de jours

Vie quotidienne, économie, sécurité

- **La climatologie**

De quelques années à quelques siècles

Impact de l'homme sur le climat ; réglementations internationales, adaptation

- **La chimie atmosphérique**

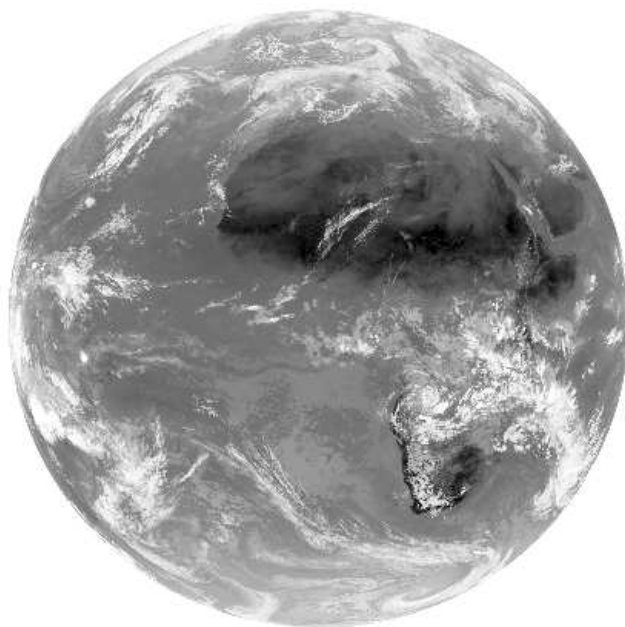
Temps longs, temps courts ; chimie stratosphérique (trou de l'ozone), chimie troposphérique (pollutions, qualité de l'air)

Impact sur la santé humaine

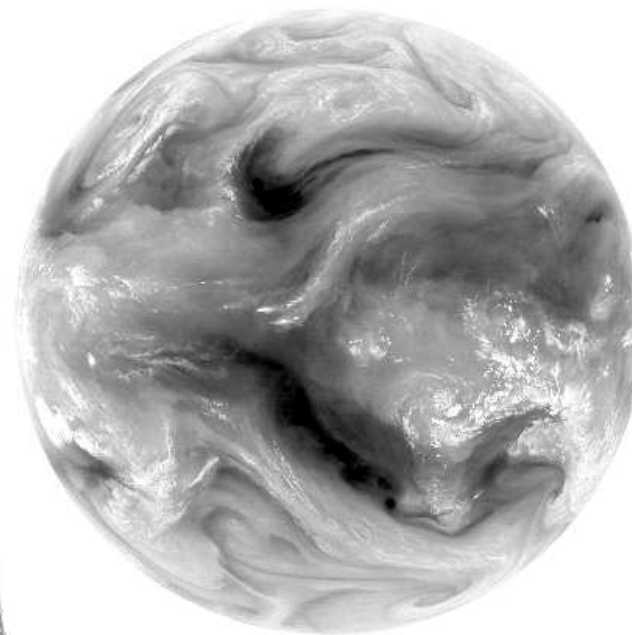
Météorologie : Météosat



Visible
0.4-1.1 μm

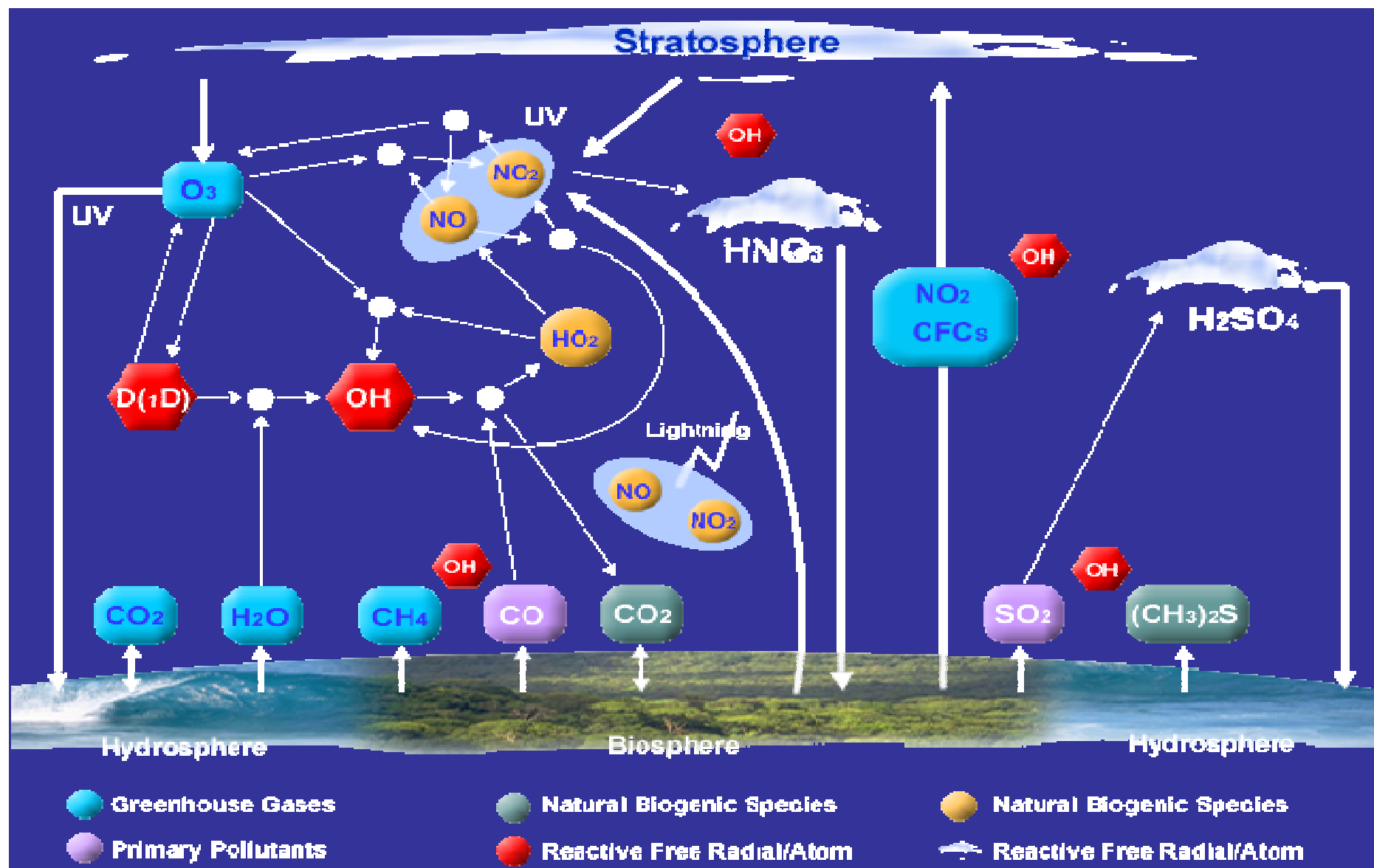


Infrarouge thermique :
10.5-12.5 μm



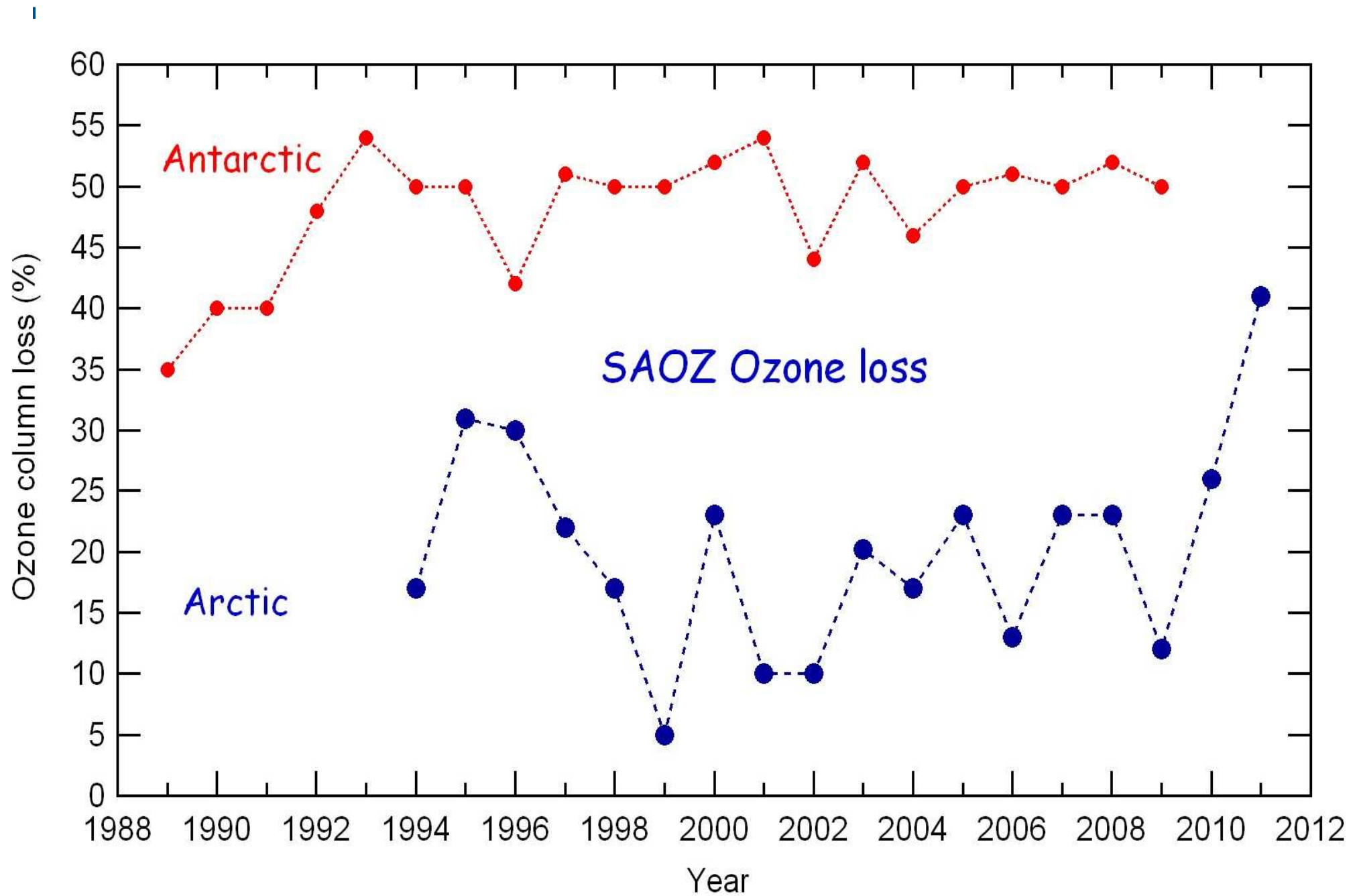
Infrarouge
Vapeur d'eau
5.7-7.1 μm

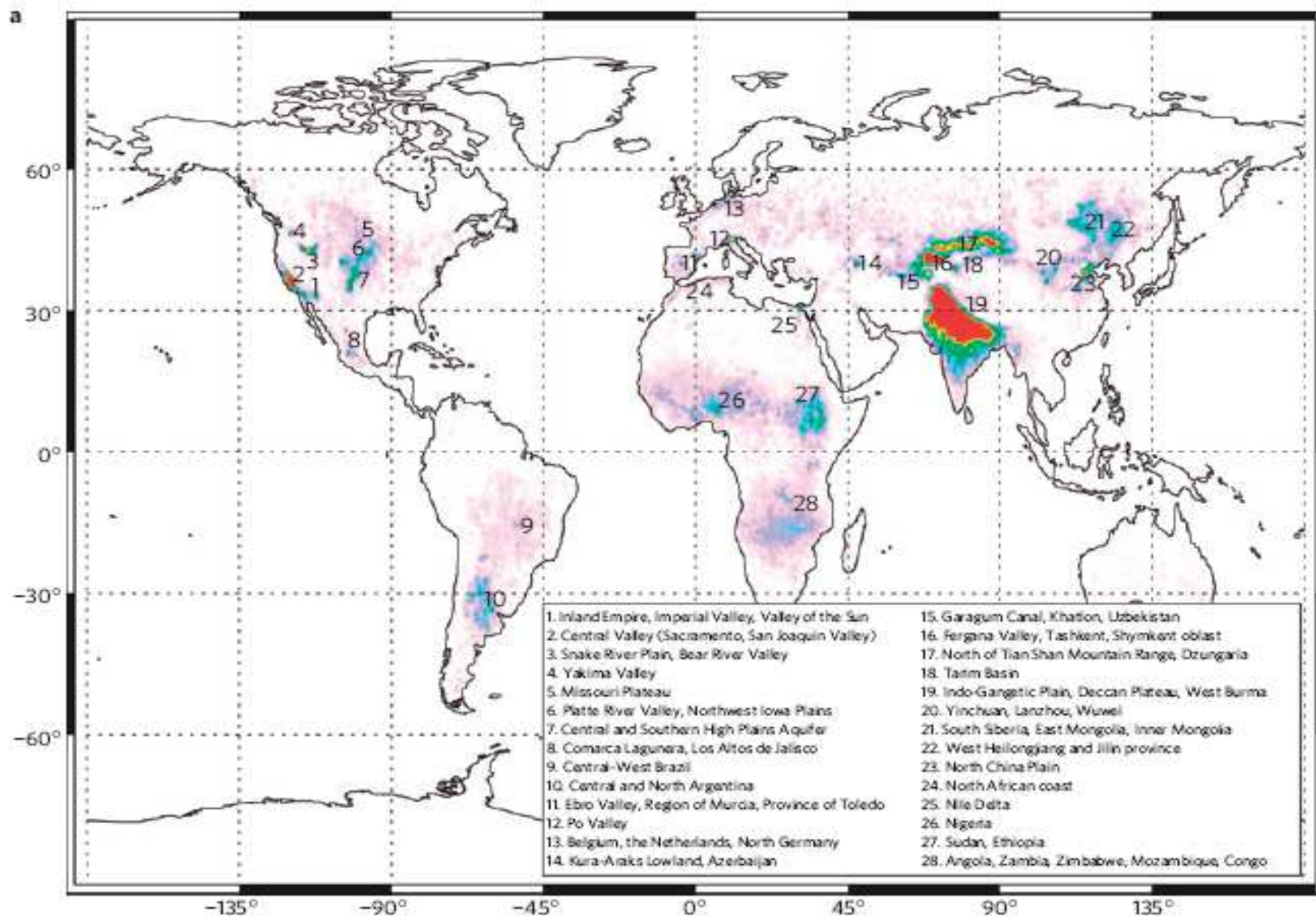
Chimie atmosphérique



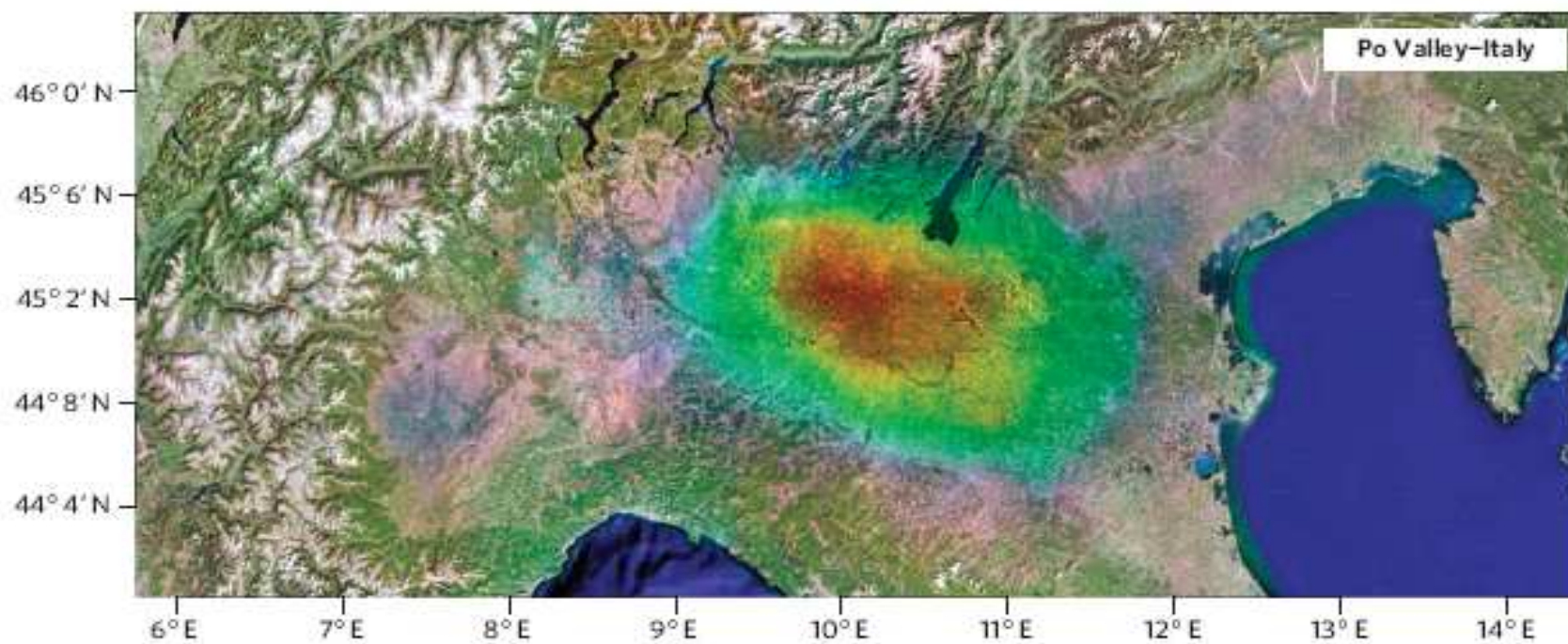
Dynamique du trou de l'ozone sur l'Antarctique Septembre-novembre 2004







Chimie atmosphérique : NH₃



Volcan islandais

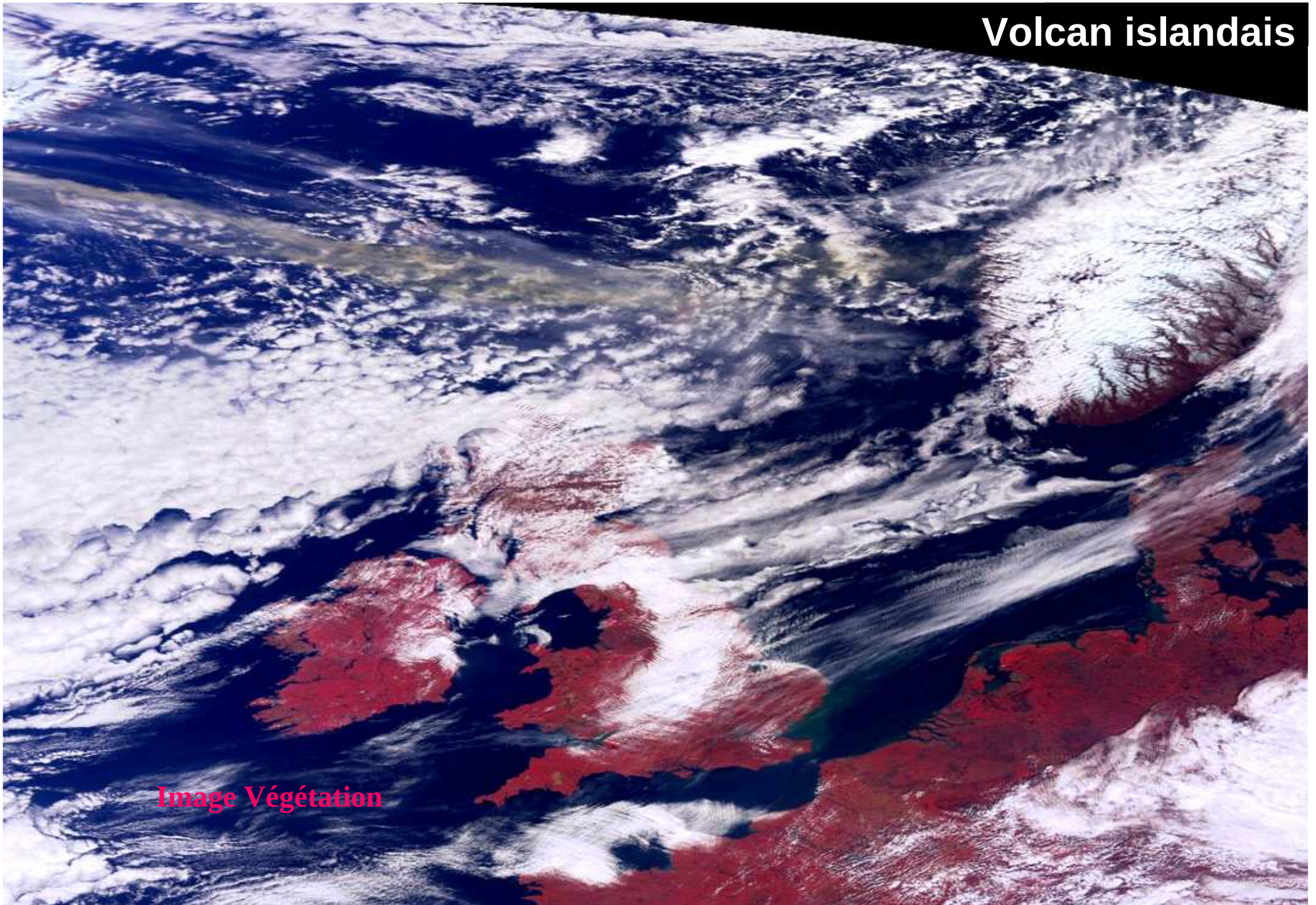
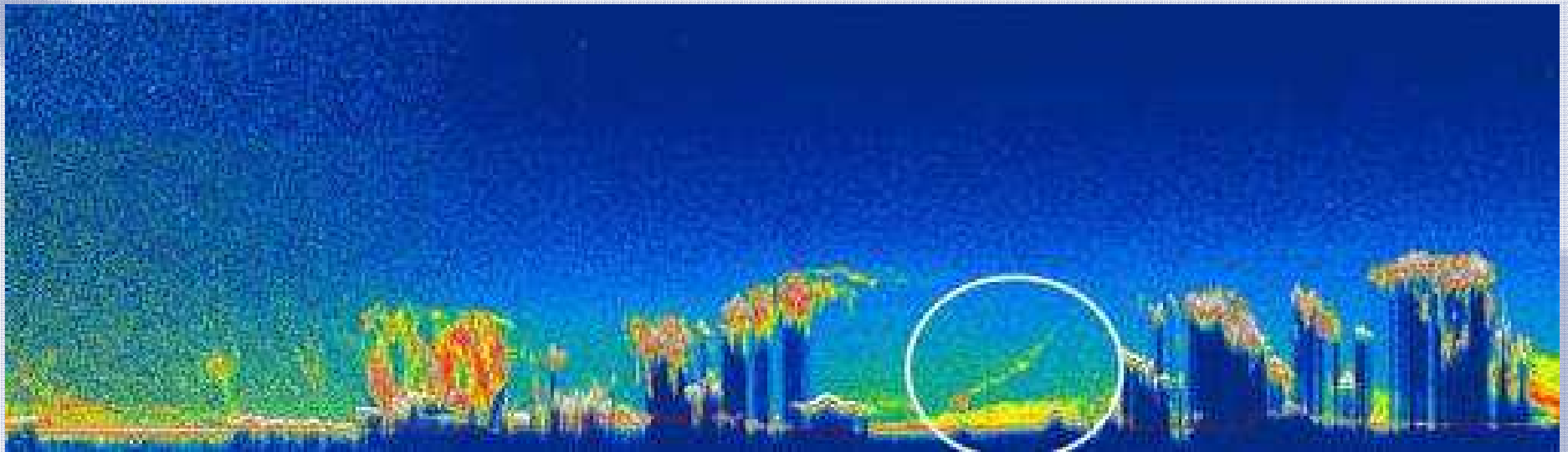
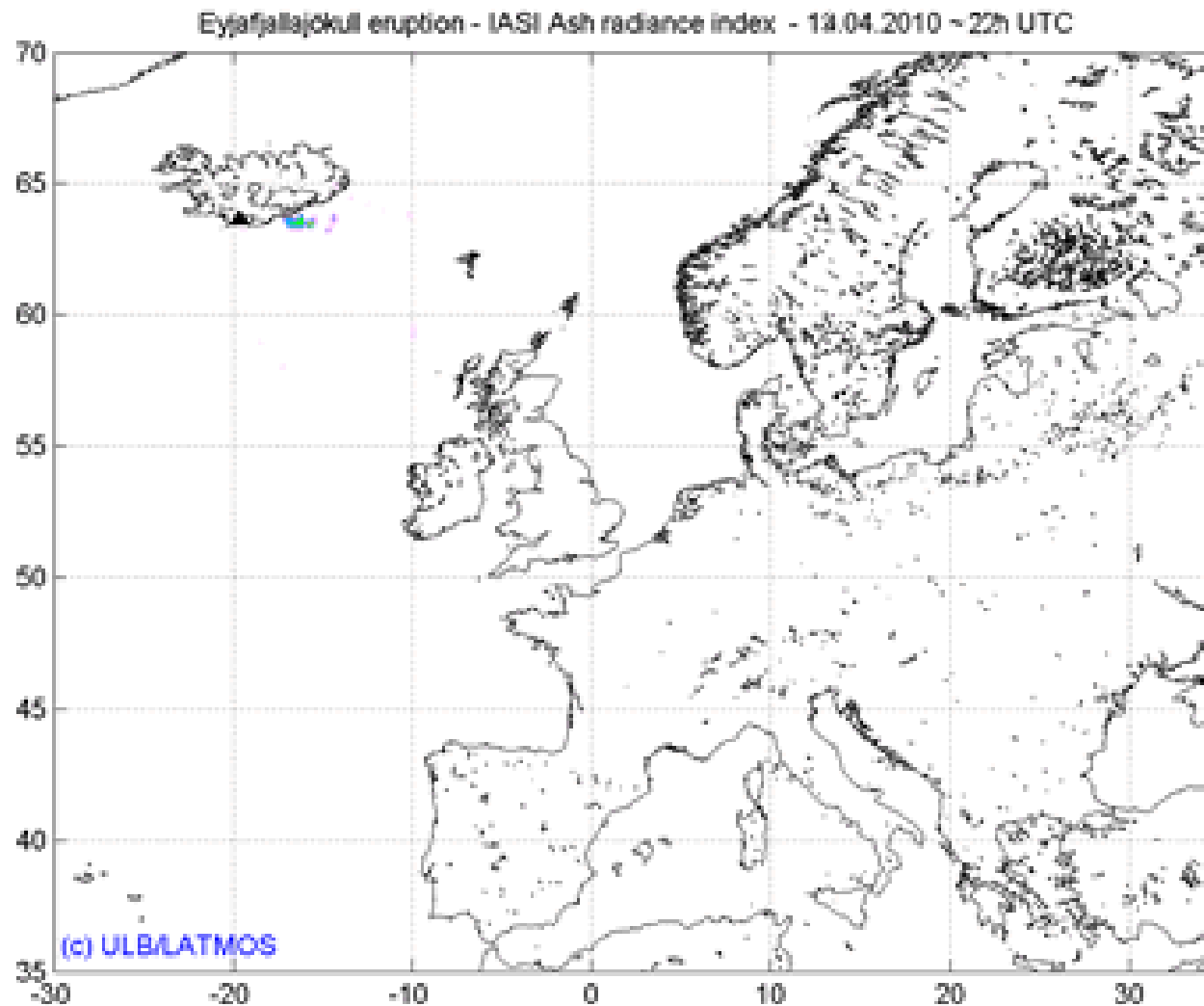


Image Végétation

Nuage de cendres volcan islandais par lidar Calipso



Nuage de cendres volcan islandais par IASI





Feux de forêts Russie 2010

Image MERIS
ENVISAT
ESA



Russian fires 2010

IASI CO data

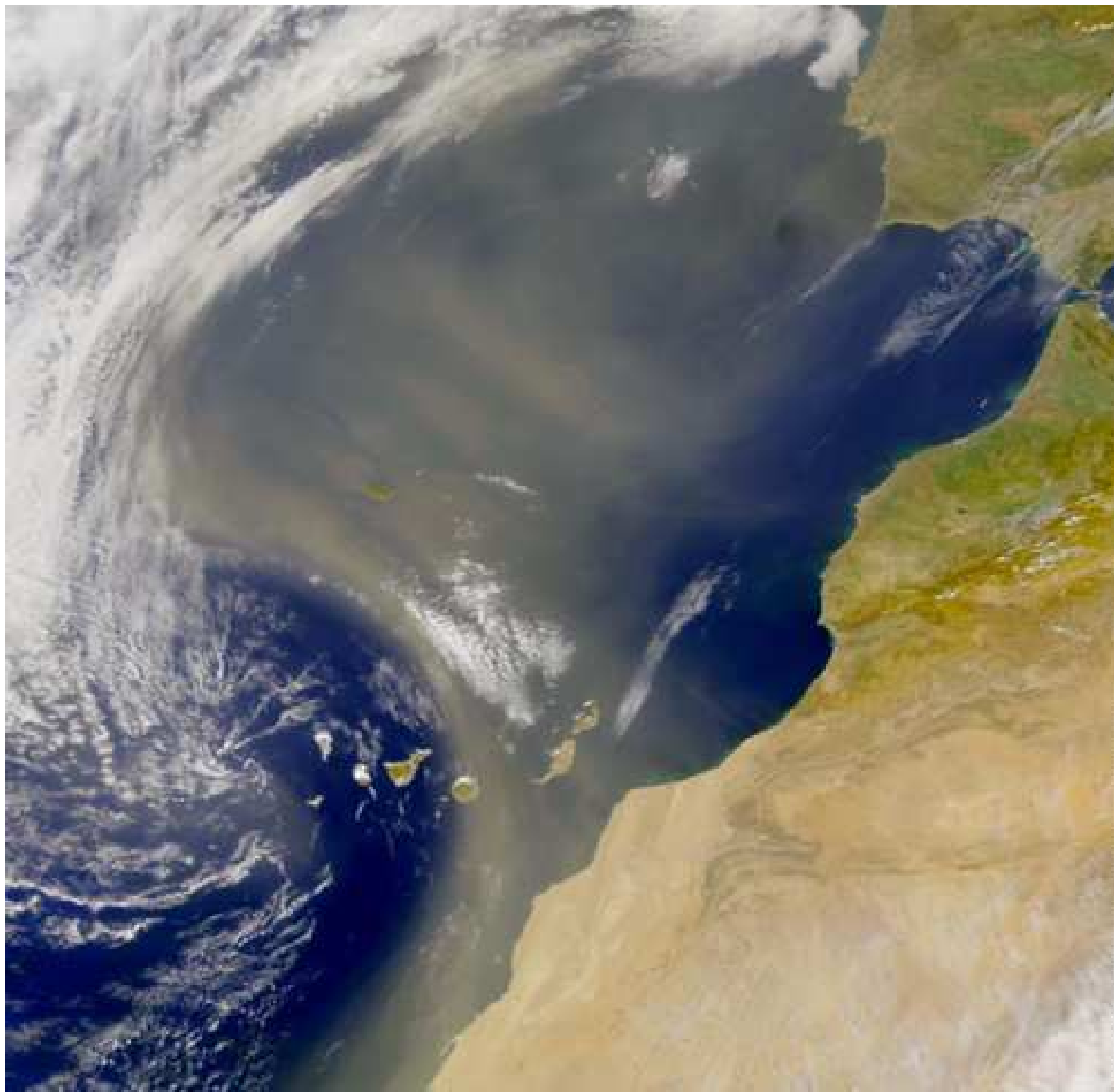
LATMOS-IPSL / ULB

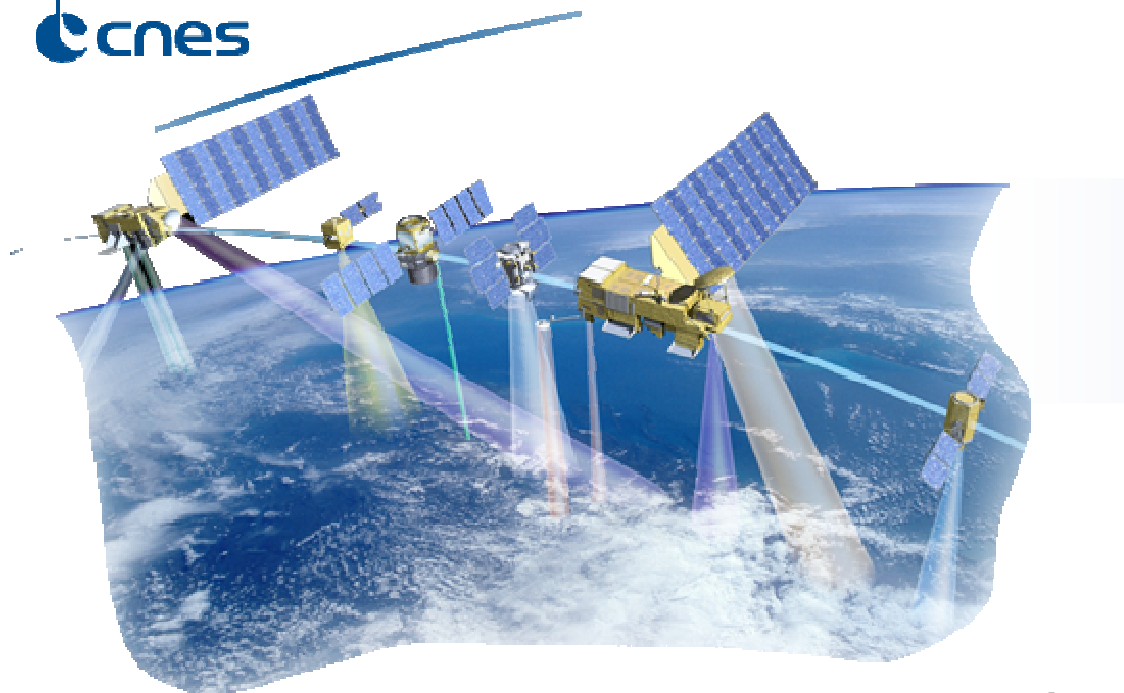


CO total column measurements derived from the IASI/MetOp observations from July 22 to August 22, 2010. These data are averaged over 3 days on a $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ grid and only daytime concentrations above 2.2×10^{18} molecules/cm² are shown.

Climat, pollutions : Aérosols

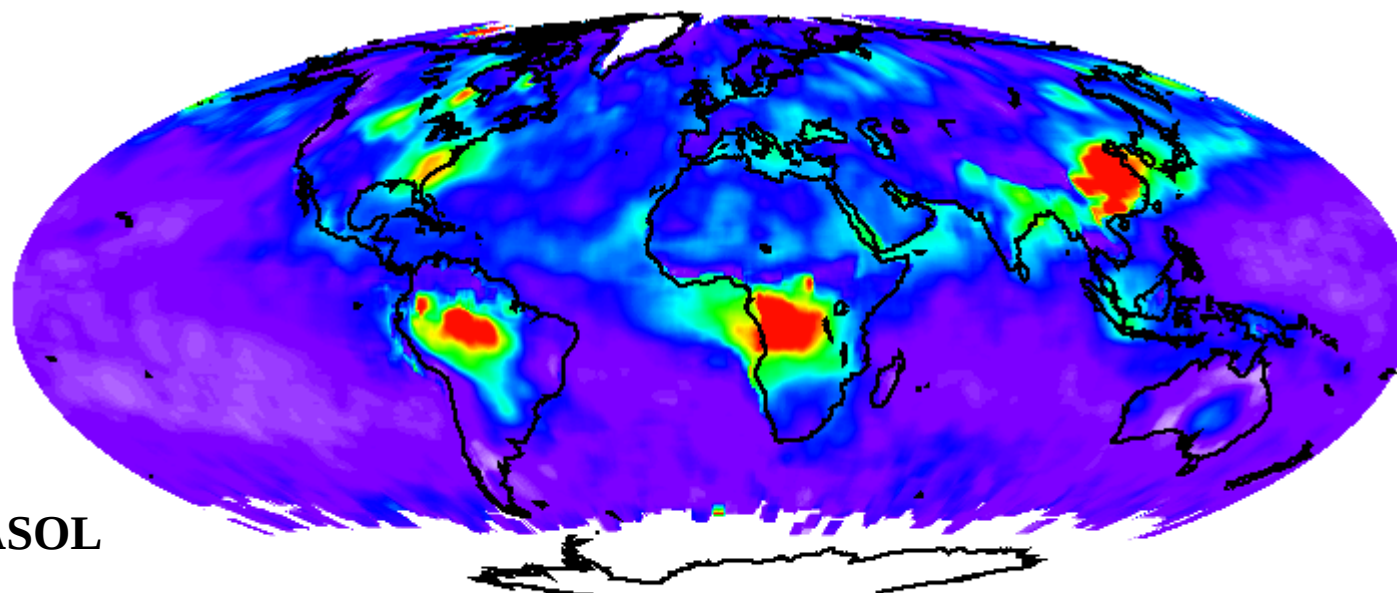
Mise en évidence
d'aérosols
désertiques sur une
image VEGETATION





Imagerie

Observation
des aérosols et nuages



Données PARASOL

Traitement :

LOA LSCE

ICARE

Data: CNES

Processing: LOA/LSCE/ICARE

550nm Fine Mode Optical Thickness

0.1 0.2 0.3 0.4

PARASOL

JUN-JUL-1

L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

Conclusion



Importance de l'océan :

dans le climat de la Terre
dans les activités humaines

Circulation océanique (altimétrie) :

Paramètres océaniques :

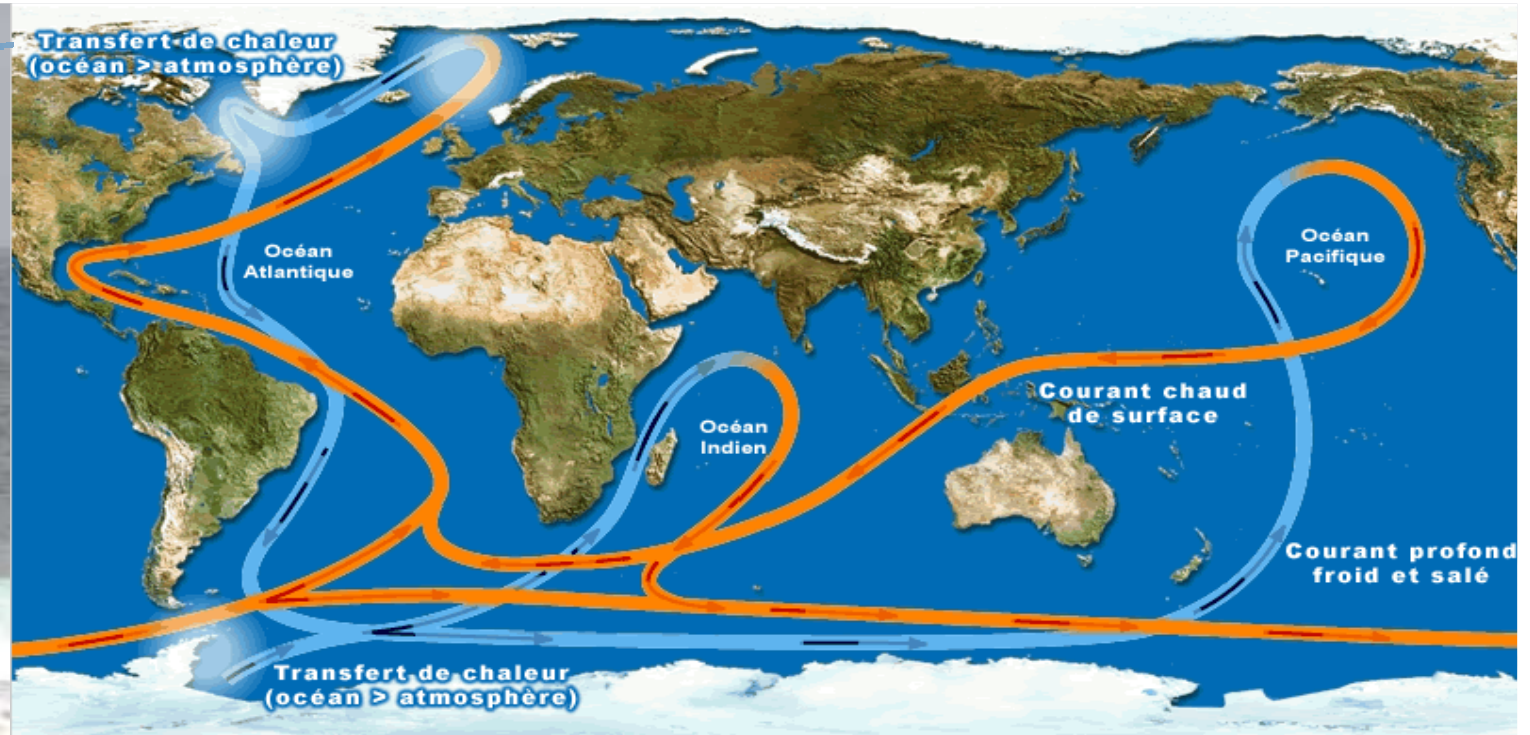
vent à la surface de la mer
hauteur & spectre des vagues
température de surface
Salinité

Couleur de l'eau :

contenu en phytoplancton



L'océan et le climat



Rôle régulateur de l'océan:

Emmagasine, transporte et redistribue la chaleur du système climatique

Dynamique plus lente que l'atmosphère

→ mémoire à long terme

Puits pour le carbone "anthropique"

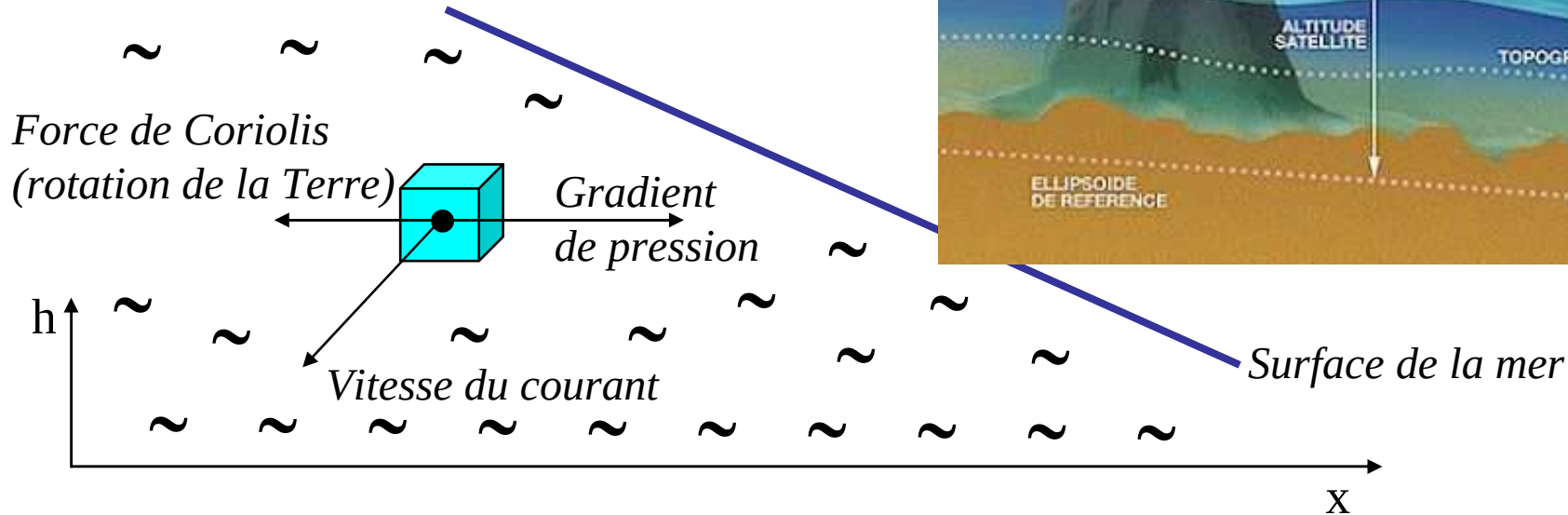
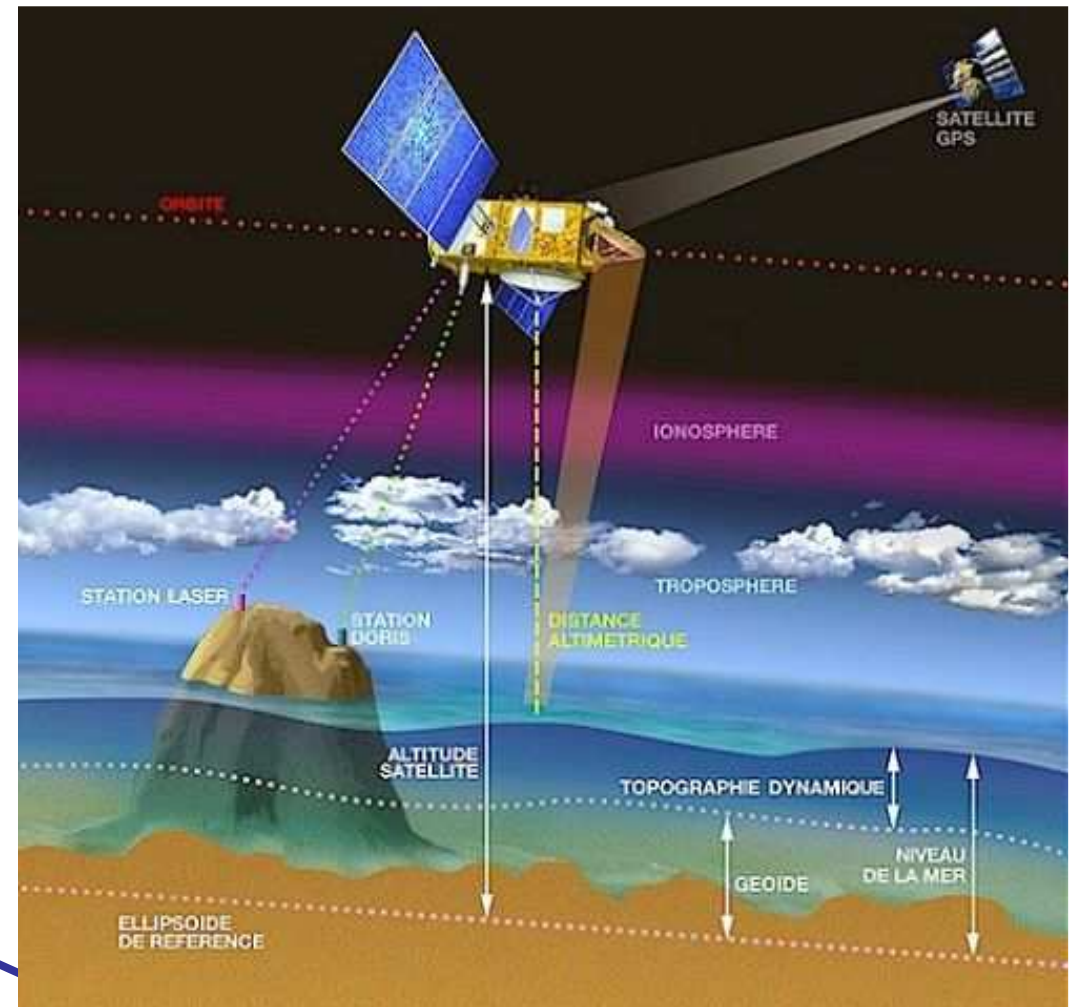
Importance :

l'océan mondial assure la moitié du transport énergétique de l'équateur vers les pôles.

Rôle des couplages océan/atmosphère dans la météo et le climat (phénomène ENSO-El Niño).

Mesure de la circulation océanique

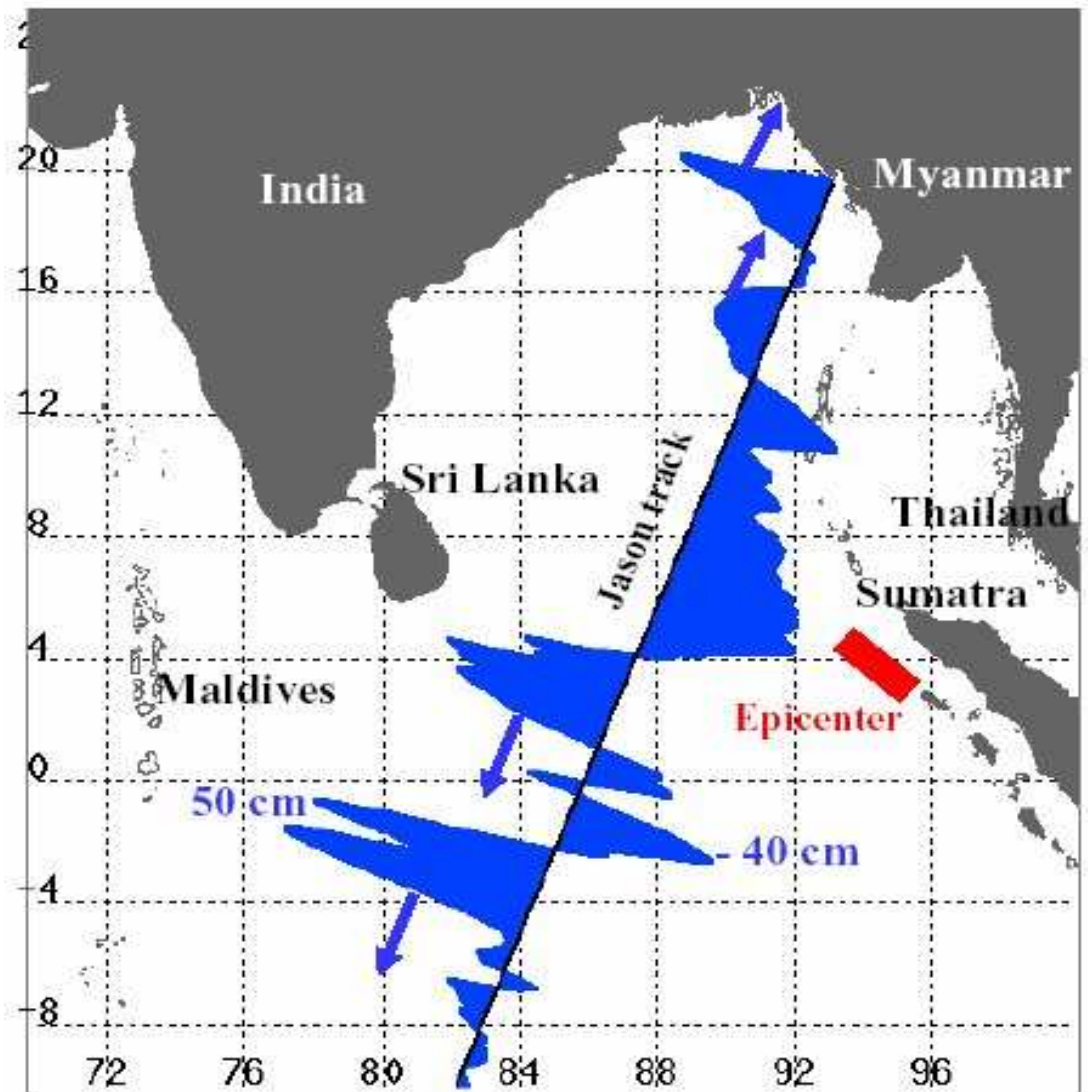
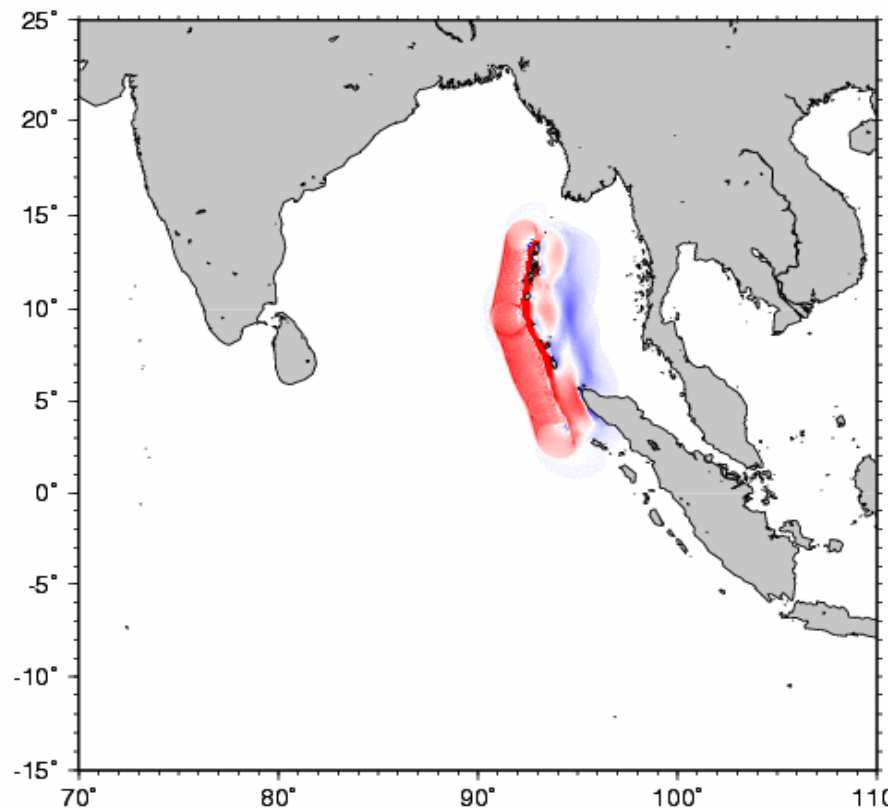
De TOPEX-POSEIDON expérimental
à JASON opérationnel



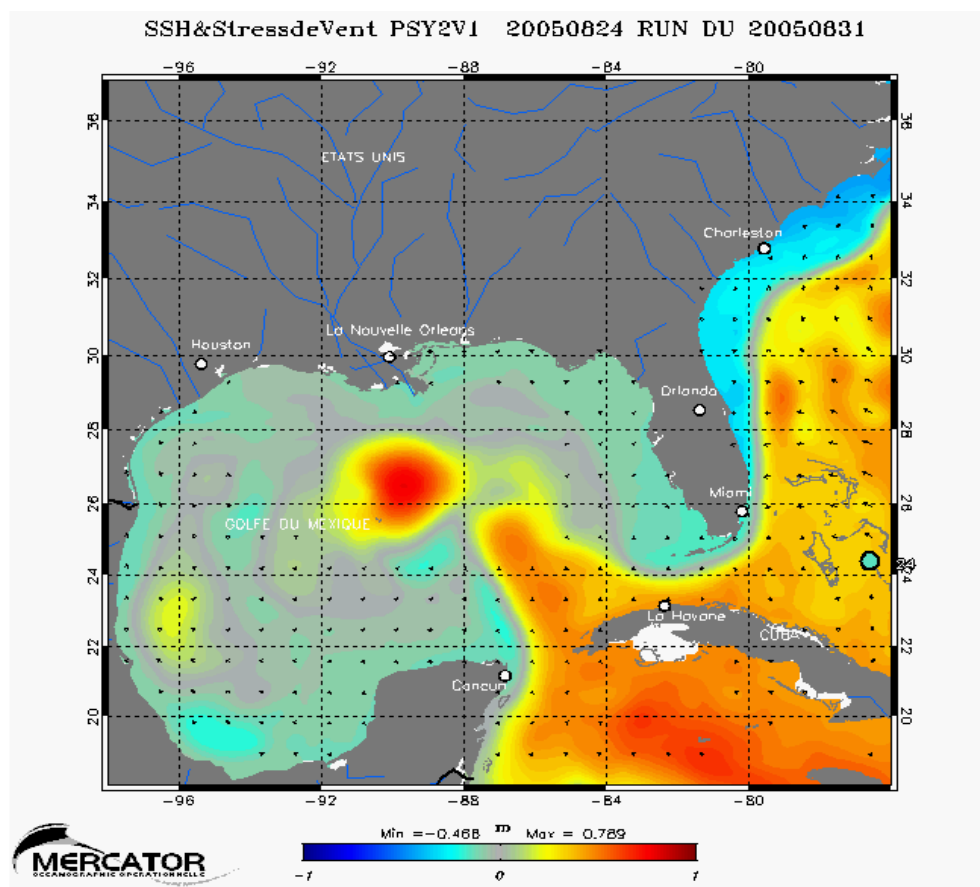
Un modèle simple : l'équilibre géostrophique

Tsunami de décembre 2004 vu par Jason 1

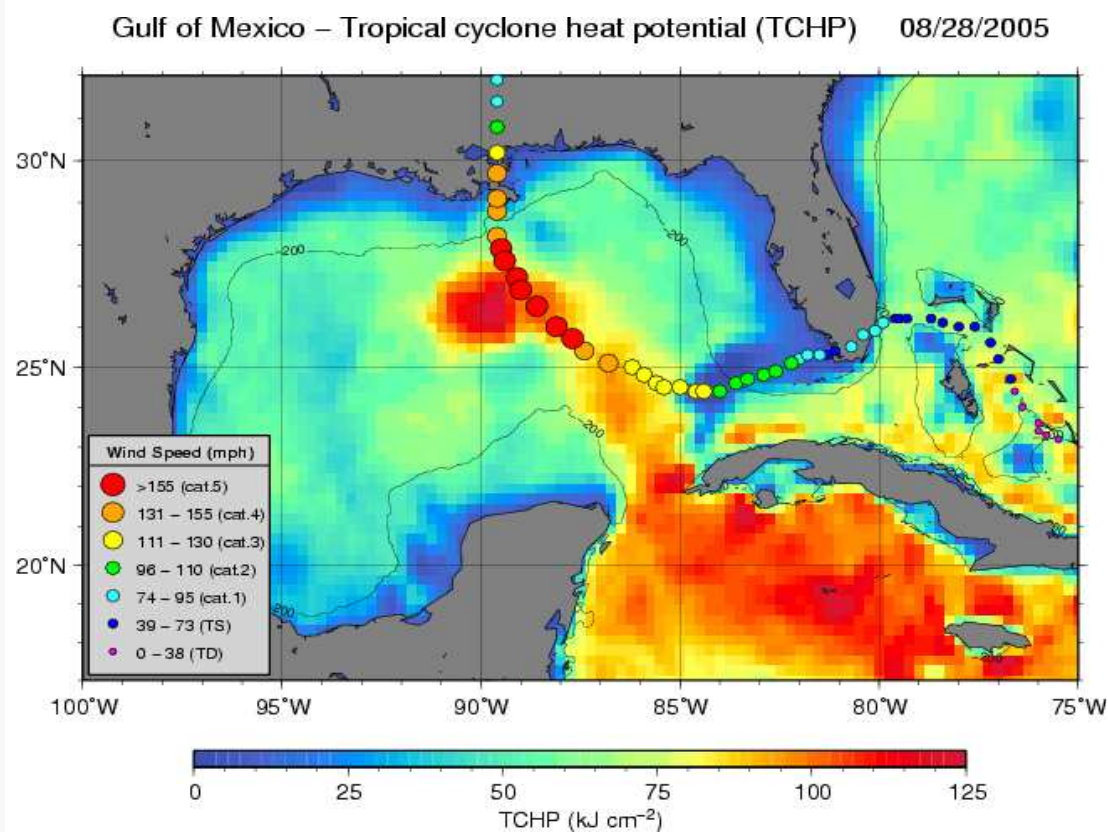
2004 Sumatra Earthquake 010 min



Utilisation des données altimétriques et de modèles océaniques pour améliorer la prévision des cyclones

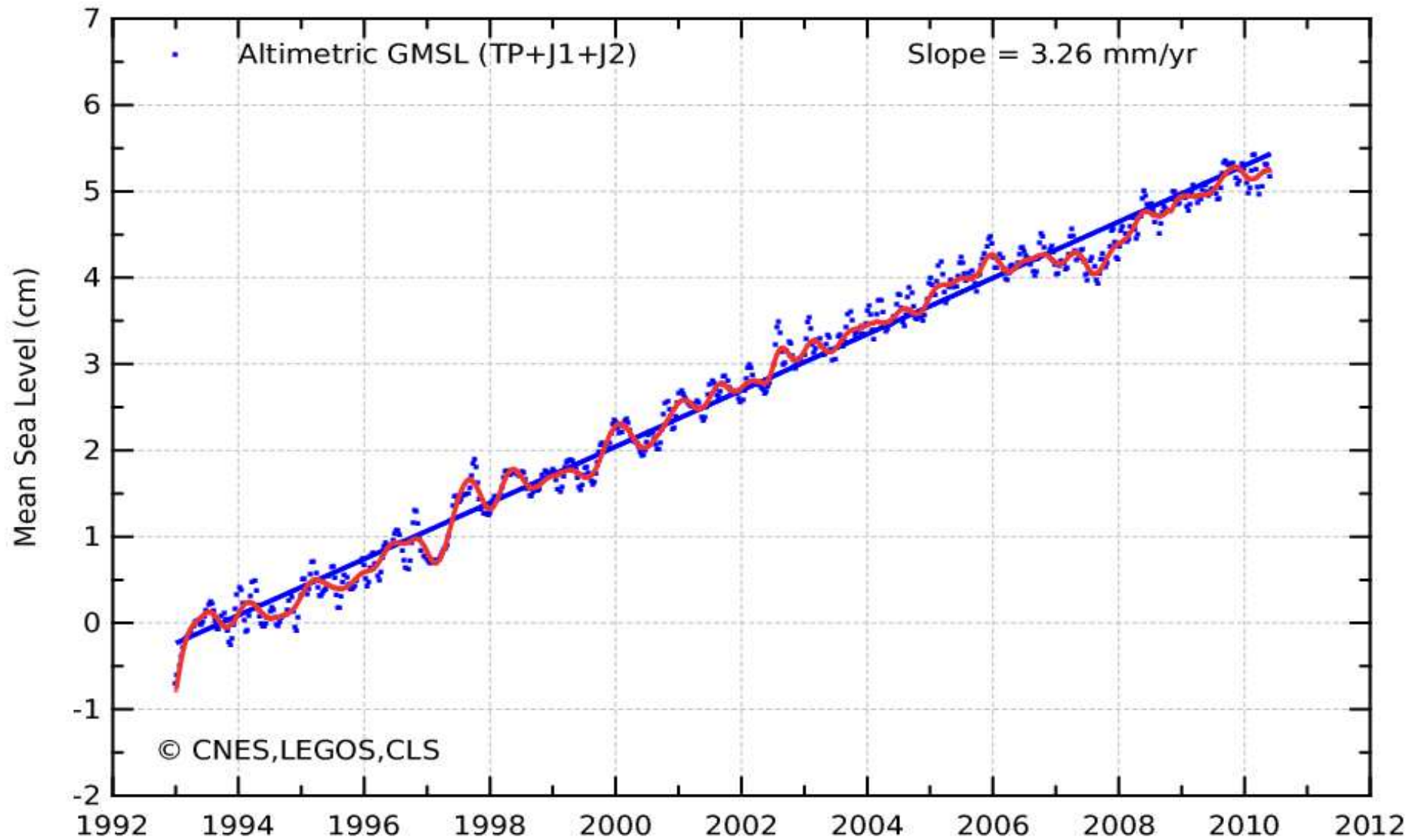


Système de prévision MERCATOR

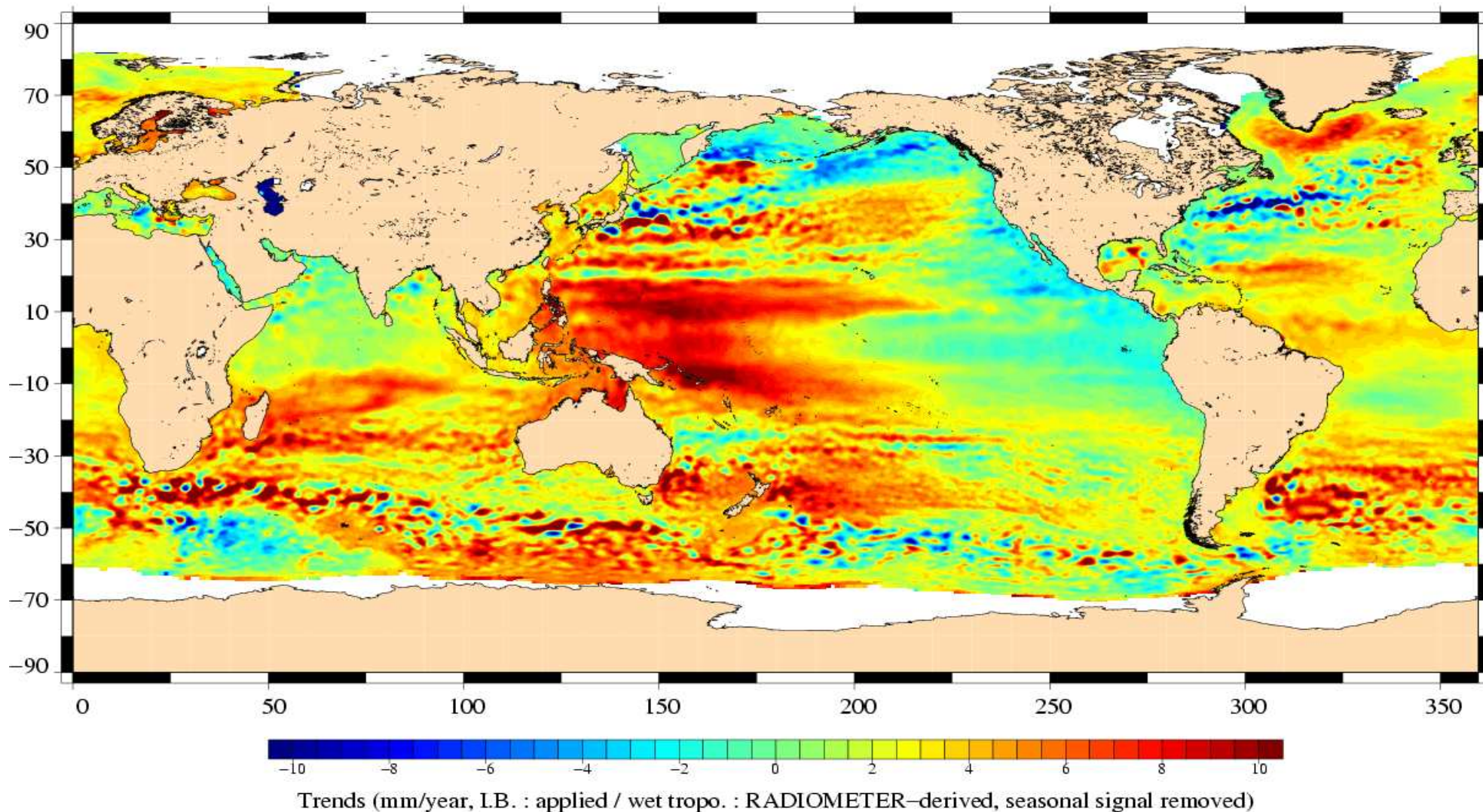


TCHP - Gustavo Goni, NOAA/OAR/AOML

Niveau moyen par altimétrie



Multi-Mission Sea Level Trends (period : Oct-1992 to Jan-2008)



L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

Conclusion



Glaces polaires

Source
LEGOS

(glaces de mer et calottes polaires) et glaciers



Calottes polaires
Glaces de mer
Neige continentale

HN
1.5 (Groenland)
7-15
0-50

HS
15 (Antarctique)
1-18

Océan: 360
Glace hiver: 80
Glace été 45

L'Antarctique

1000 km

15 millions de km²
30 millions de km³
75% de l'eau douce
90% des glaces
60 m niveau des océans

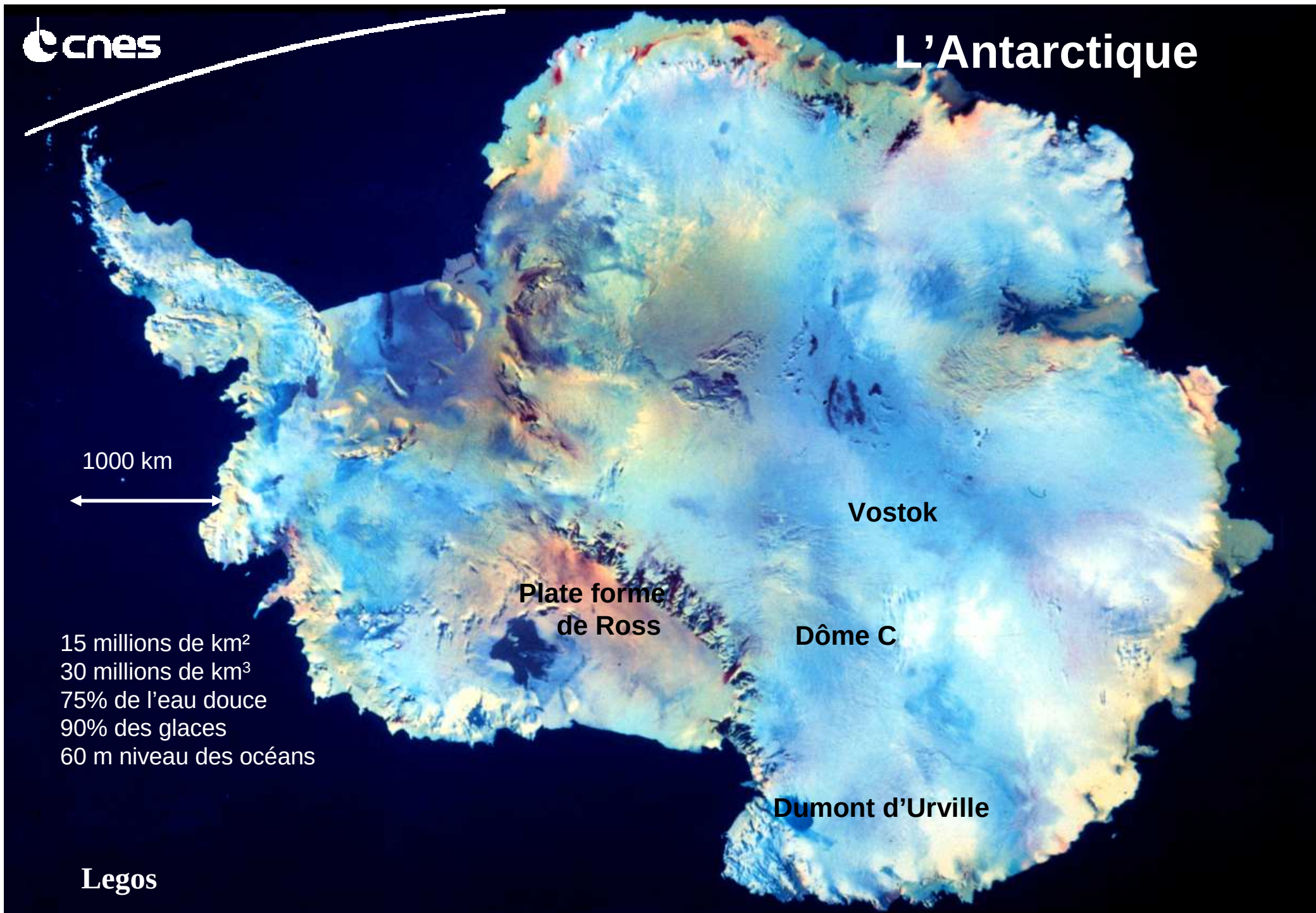
Plate forme
de Ross

Vostok

Dôme C

Dumont d'Urville

Legos

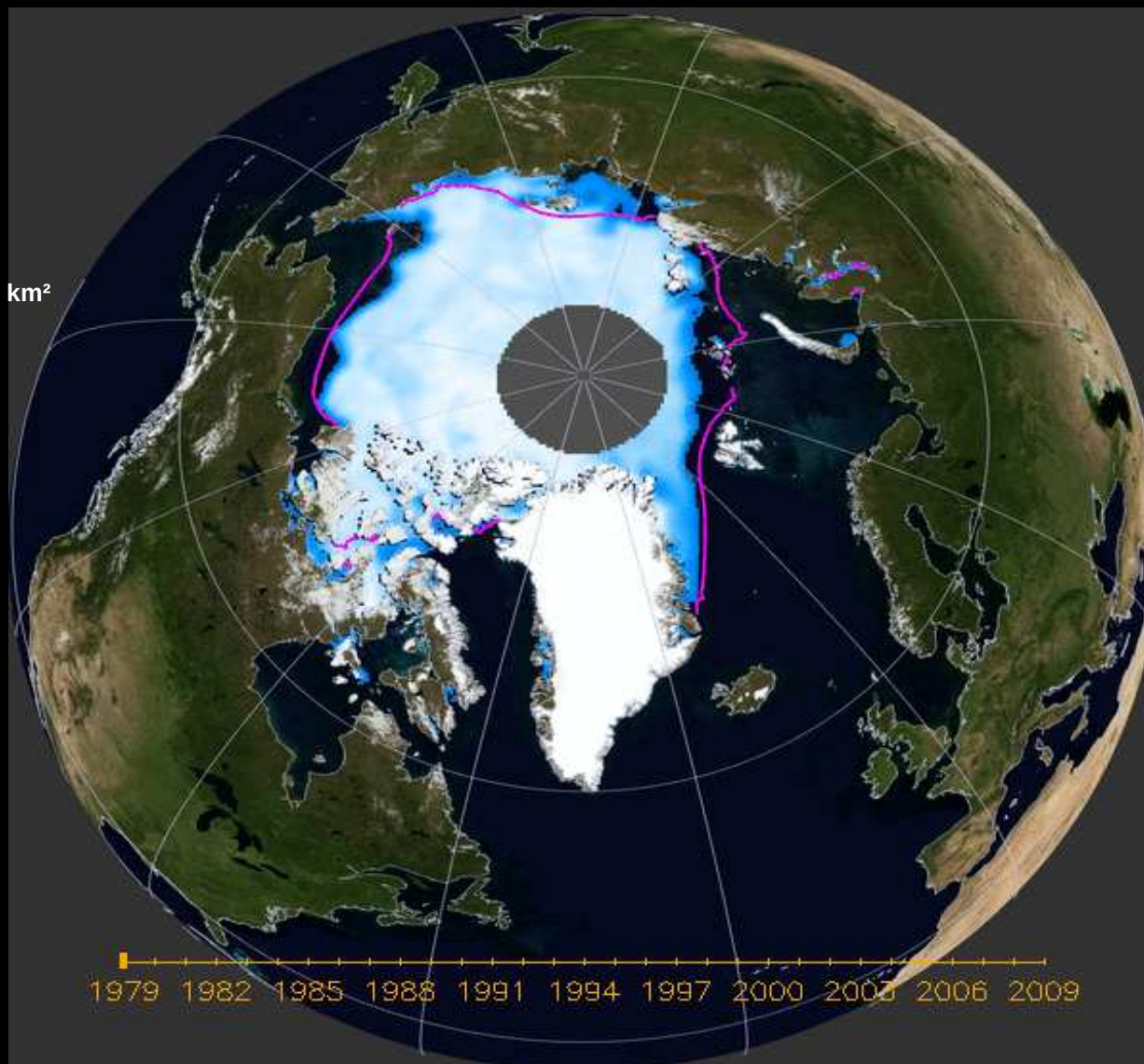


■ Étendue minimale de la glace de mer Arctique

1979-2007

■ maximum hivernal
autour de 15 à 14 millions de km²

■ minimum estival autour
de 7 à 5 millions de km²,
vers septembre

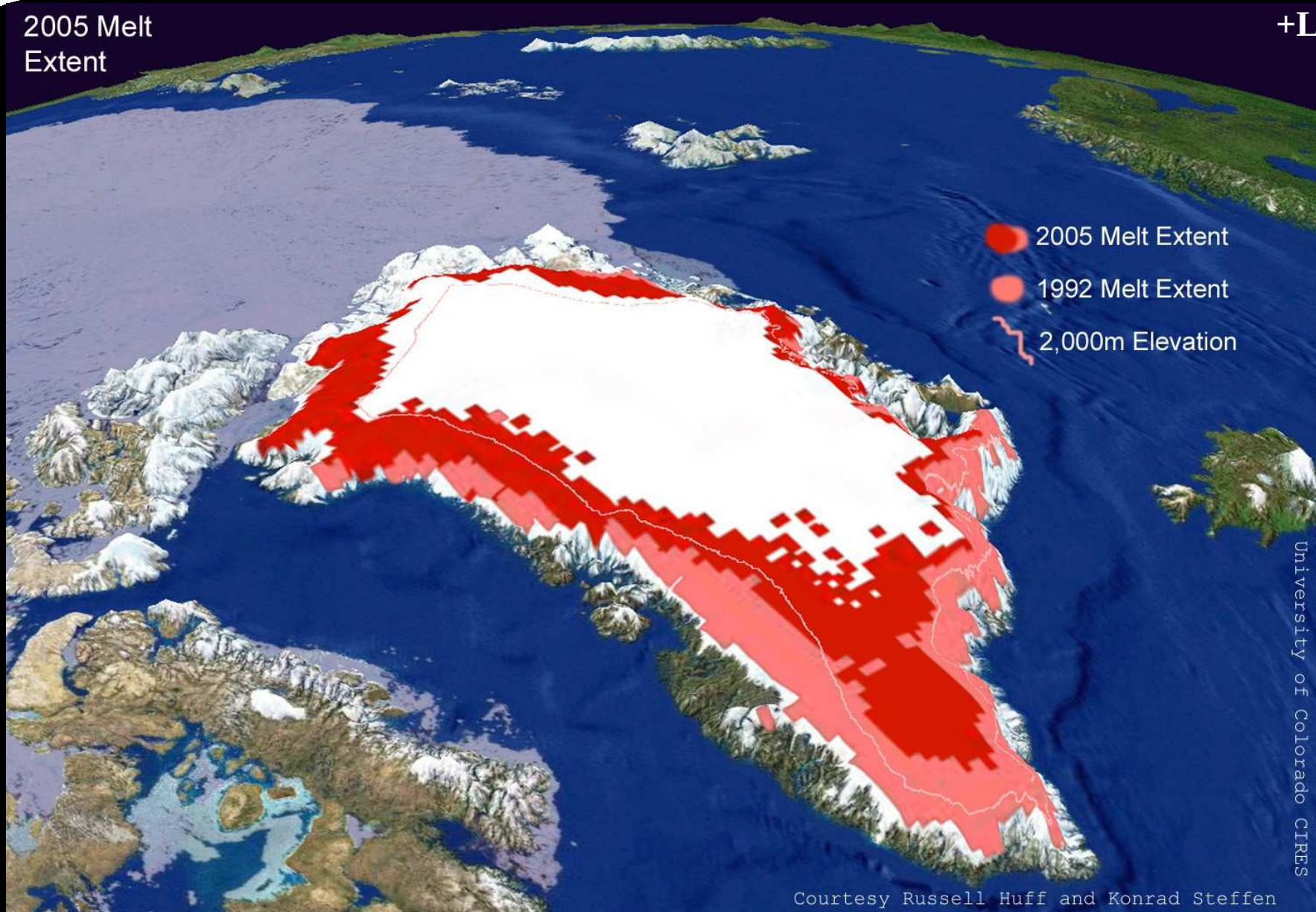


Source
LEGOS

Hémisphère nord: Groenland

Univ
Colorado
+Legos

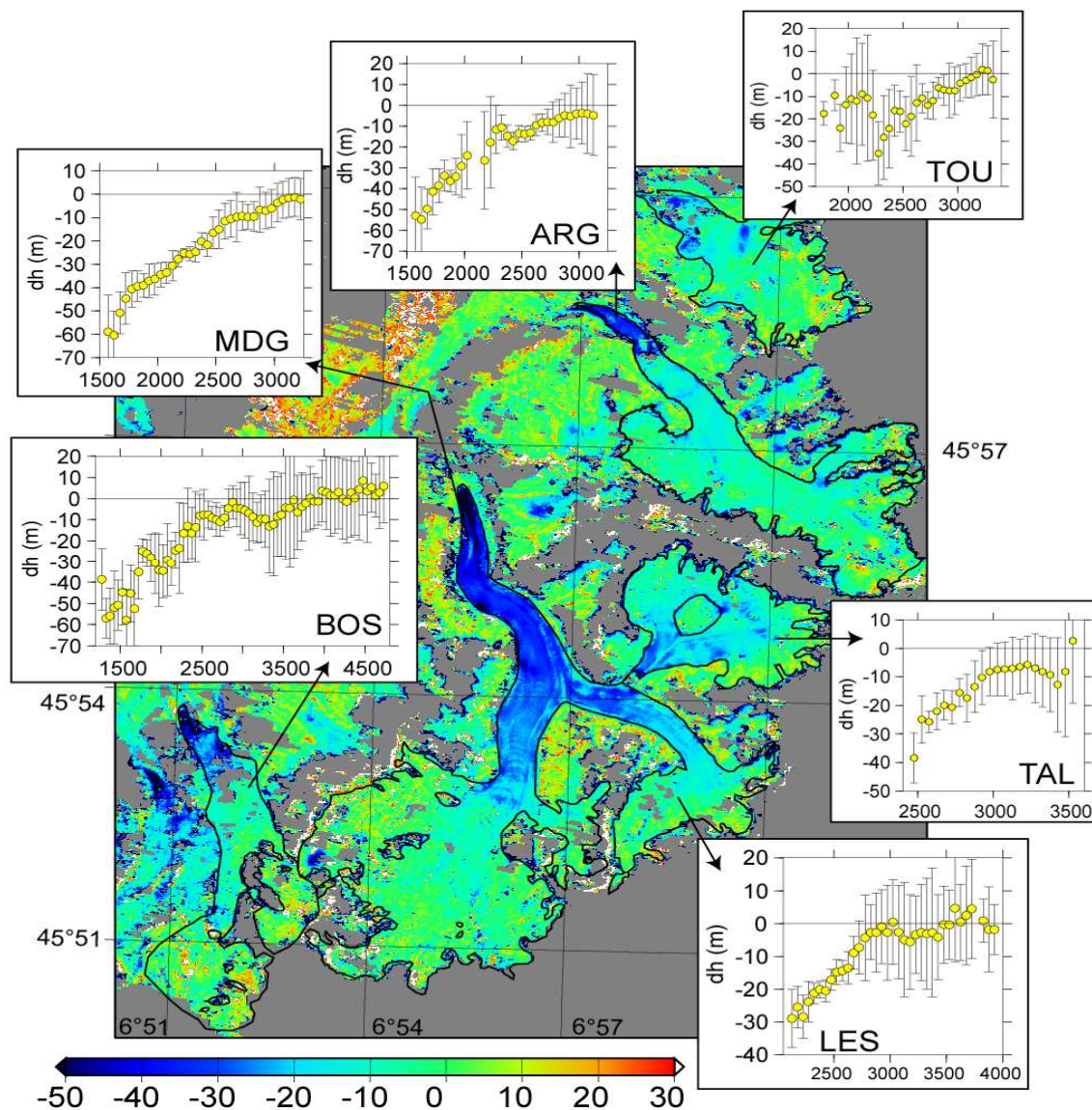
2005 Melt
Extent



Courtesy Russell Huff and Konrad Steffen

Fonte des glaciers alpins entre 1979 et 2003

Image SPOT 5
du massif
du Mont Blanc

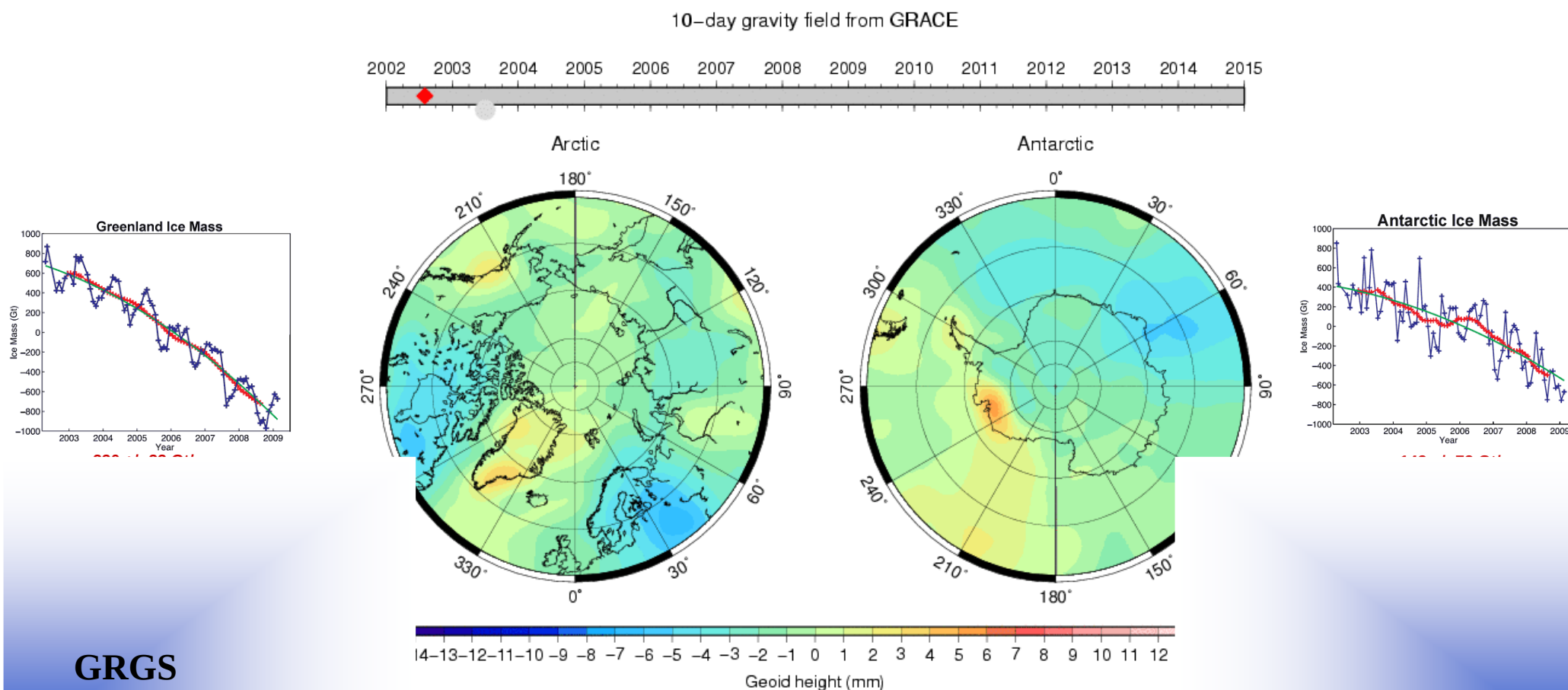


LEGOS



Voici le glacier Mariner (A) qui se jette dans la mer pour former des langues glaciaires de plusieurs kilomètres de long (B).
Les points foncés (C) dans la mer sont des nappes glaciaires plus récentes ou de l'eau.

→ Variations temporelles de la gravité → redistribution des masses



Résumé

→ Recul des glaces de mer Arctique

→ Débâcle précoce

→ Recul de la majorité glaciers

→ Stabilité des glaces australes

→ Antarctique vit sa vie et semble continuer à s'ajuster aux conditions de l'Holocène

L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

Conclusion



1994 Thèse : Etude d'un radiomètre imageur à synthèse d'ouverture et traitement du signal interférométrique

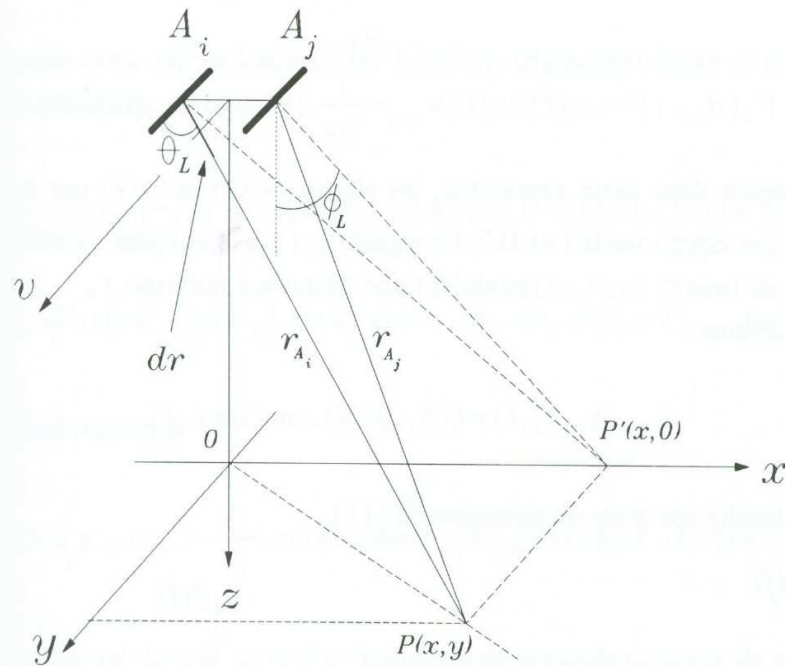


Fig II.2 : Différence des trajets optiques

2 Construction d'un échantillon de la fonction de visibilité

2.1 Formulation mathématique

Nous nous intéressons à un couple d'antennes A_i et A_j regardant une même scène. L'interféromètre réalise le produit des signaux délivrés par ces 2 antennes.

Considérons tout d'abord l'antenne A_i qui regarde la scène avec les paramètres d'observation décrits sur la figure II.2. On considère une incidence d'observation normale à la surface de la terre ($\psi = 0$).

Nous noterons $v_i(t)$ le signal sur l'antenne A_i à l'instant t . Il est de la forme :

$$v_i(t) = \int_{\phi_L = -\pi/2}^{\pi/2} \int_{\theta_L = 0}^{\pi} \alpha_i \cdot g_i(\phi_L, \theta_L) \cdot \zeta_{RF}(\phi_L, \theta_L, t) \cdot d\theta_L \cdot d\phi_L \quad \text{Eq II.1}$$

avec :

α_i : gain du filtre récepteur de l'antenne A_i .

g_i : gain complexe de l'antenne A_i . Diagramme de rayonnement.

$\zeta_{RF}(\phi_L, \theta_L)$: signal RF émis par le point $P(x, y)$ vu dans la direction (ϕ_L, θ_L) .

Au même instant t , le signal $v_j(t)$ sur l'antenne A_j a pour expression :

$$v_j(t) = \int_{\phi_L = -\pi/2}^{\pi/2} \int_{\theta_L = 0}^{\pi} \alpha_j \cdot g_j(\phi_L, \theta_L) \cdot \zeta_{RF}\left(\phi_L, \theta_L, t - \frac{dr}{c}\right) \cdot d\theta_L \cdot d\phi_L$$

Eq II.2

avec :

α_j : gain du filtre récepteur de l'antenne A_j .

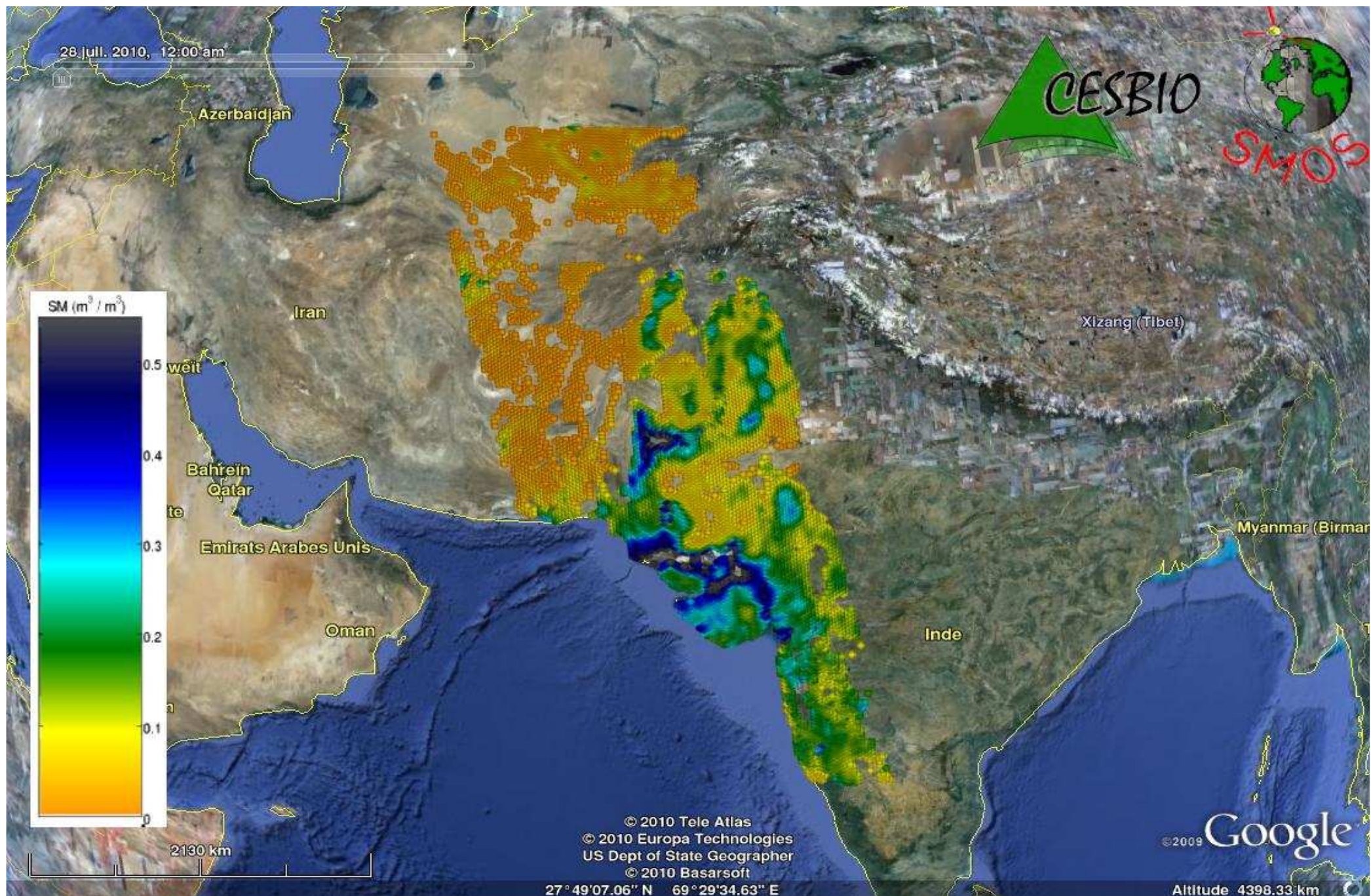
g_j : gain complexe de l'antenne A_j . Diagramme de rayonnement.

SMOS : salinité des océans, humidité des sols,

lancement 2/11/2009

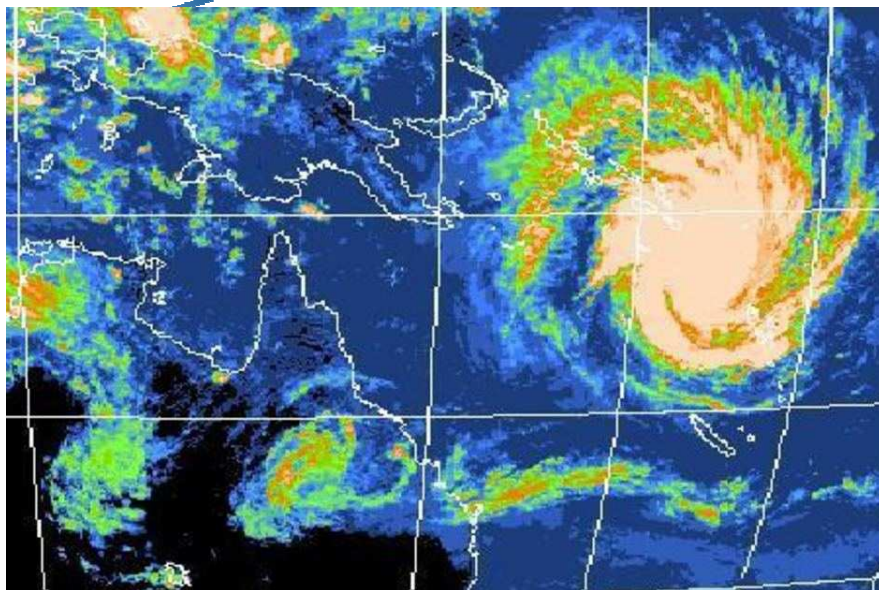
Yann Kerr et l'équipe SMOS



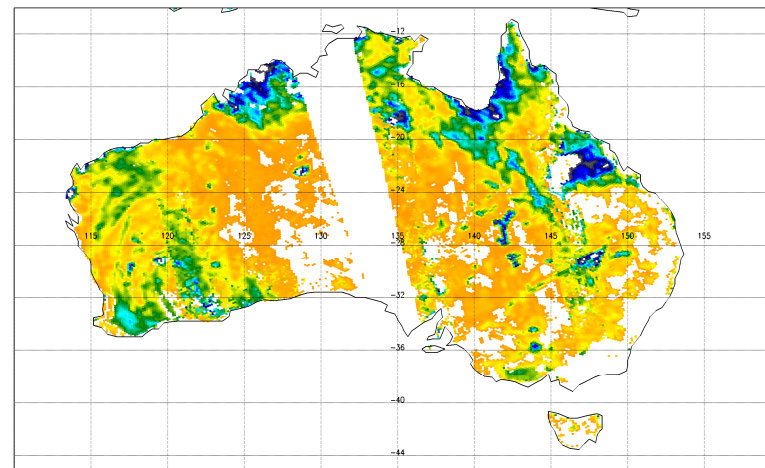
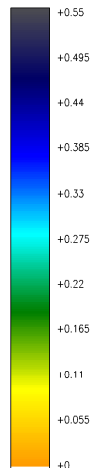


http://www.cesbio.ups-tlse.fr/SMOS_blog/

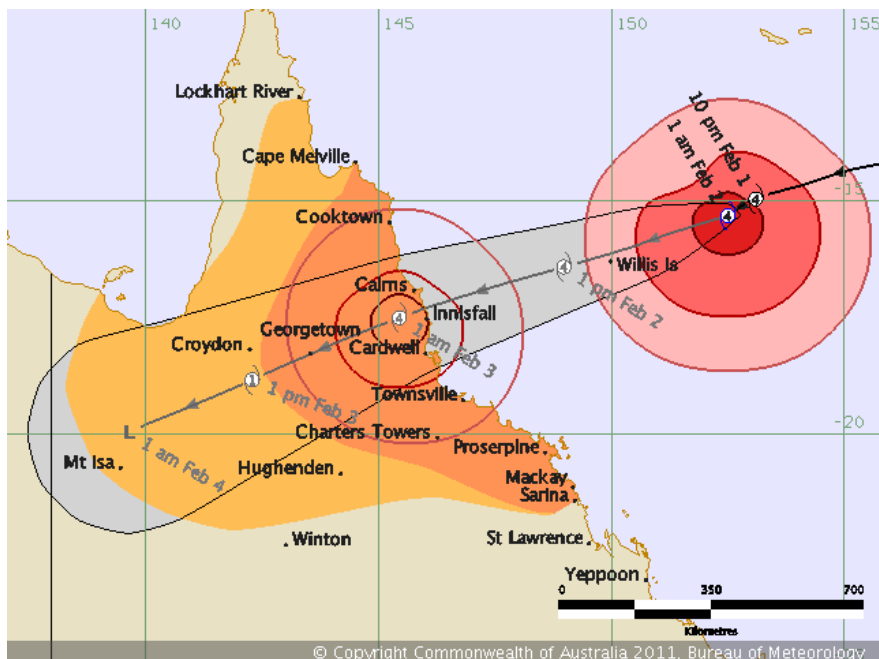
C. Gruhier A. Mialon



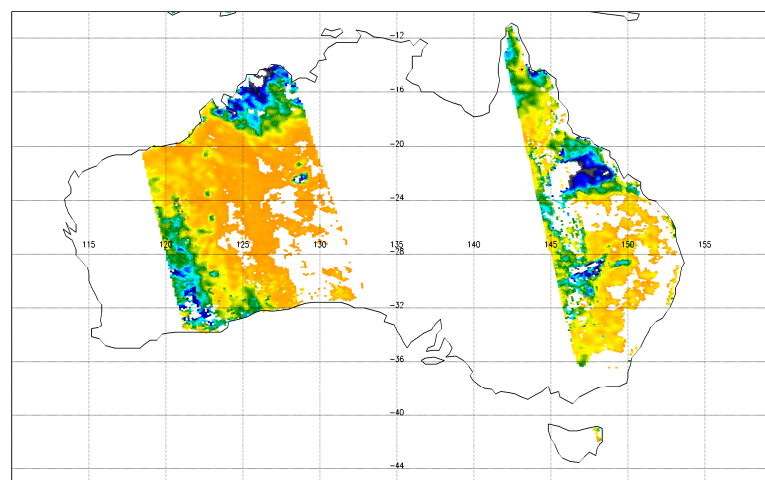
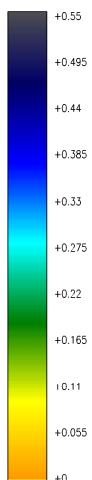
MIR_SMUDP2 - Soil_Moisture (m3m-3) - 20110129T003054 - 20110131T205753
Cylindrical projection - 82 product(s) - Generated on 20110201T143035
Orbits: Ascending - Fill value: -999.0



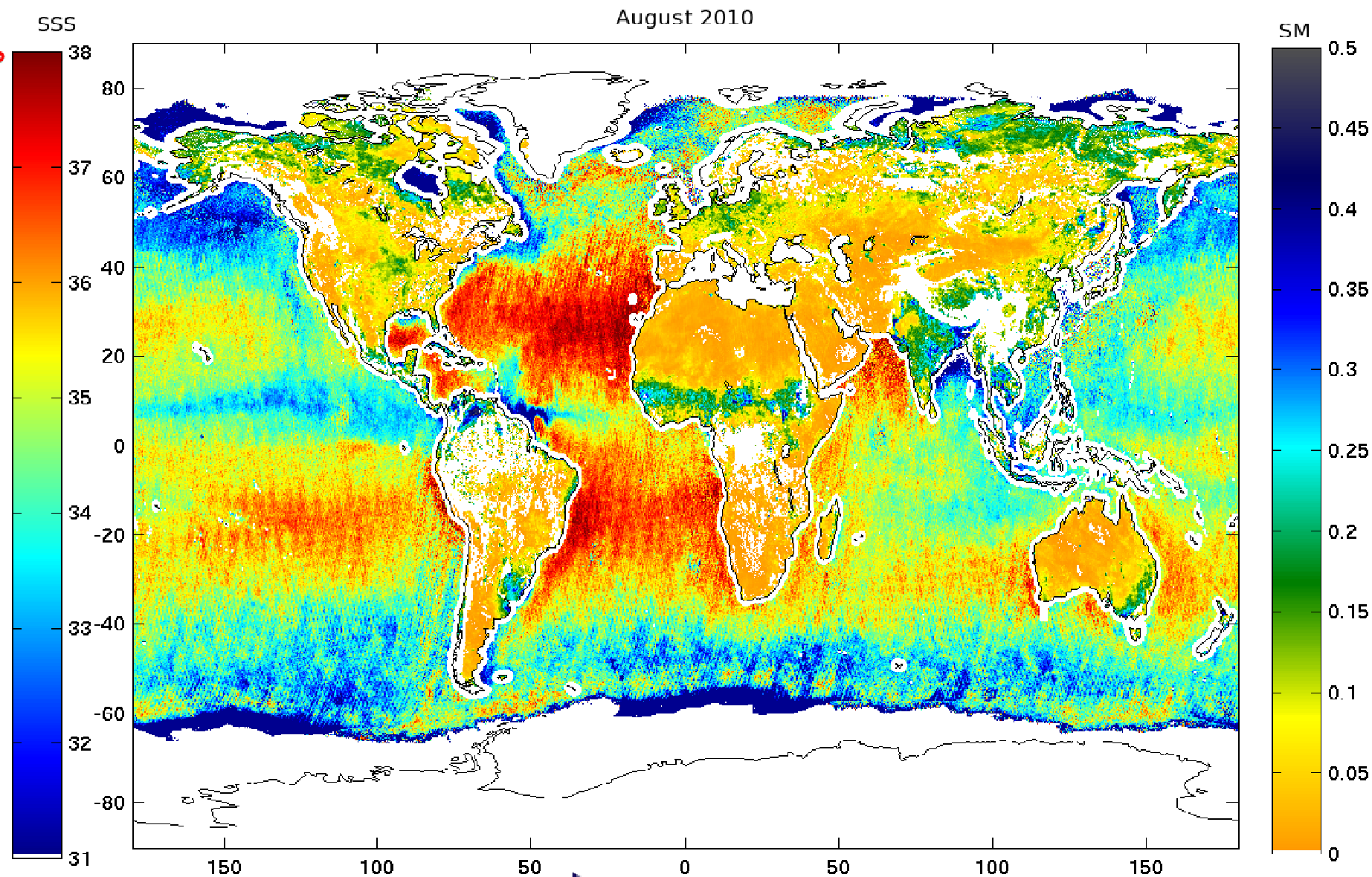
SMOS Global Mapping Tool v2.4



MIR_SMUDP2 - Soil_Moisture (m3m-3) - 20110130T004200 - 20110131T205753
Cylindrical projection - 53 product(s) - Generated on 20110201T143142
Orbits: Ascending - Fill value: -999.0



SMOS Global Mapping Tool v2.4



L'espace au service de la Terre et de l'environnement

Les satellites et la Terre, l'observation spatiale :
les racines, l'observation (orbites et observables), les capteurs

Applications aux composantes du système Terre

Compartiments et bilan

Surfaces continentales : eaux continentales, végétation...

Atmosphère

Océans

Cryosphère

L'arrivée d'un nouveau satellite !

Traitement des données et interprétation

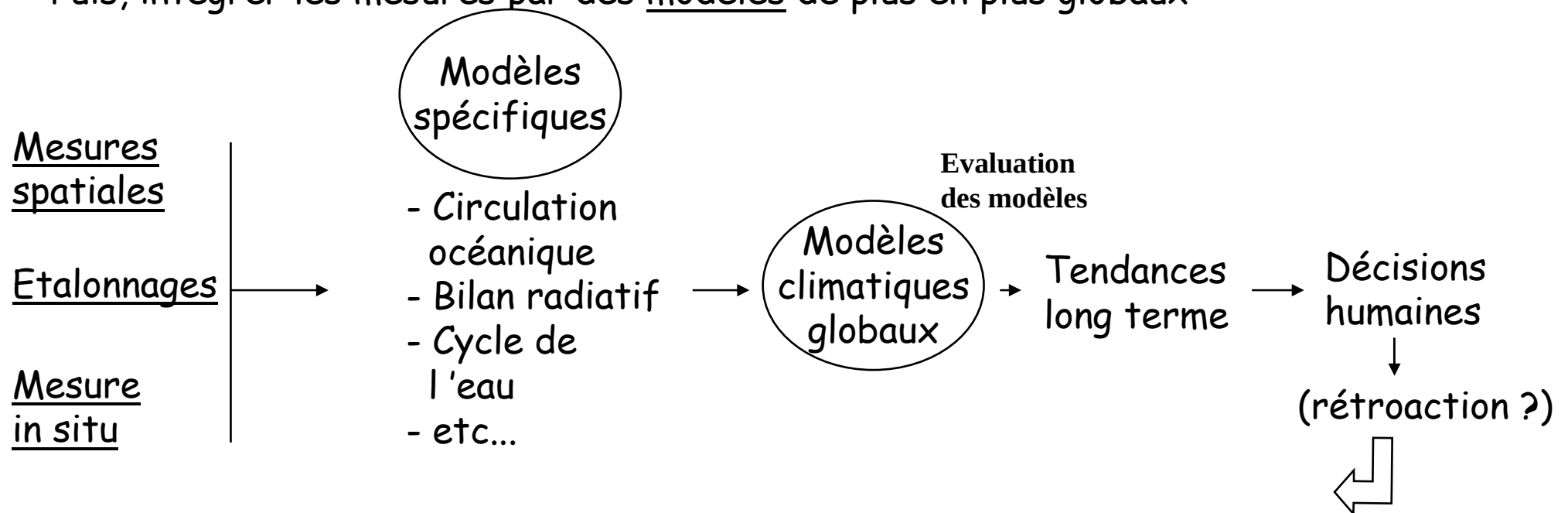
Conclusion



Traitement des données et interprétation

Comment intégrer et utiliser toutes les mesures possibles ?

- Traiter chaque type de bilan (radiatif, carbone, eau, ozone, ...) de la manière la plus précise possible ; multiplier les observables
- Puis, intégrer les mesures par des modèles de plus en plus globaux



Un triptyque important : mesure spatiale - étalonnage et donnée in situ - modèle

Observation du niveau 'absolu' de la mer par altimétrie spatiale et estimation des contributions climatiques

Bilan 1993-2009

Hausse en
mm par an

3 mm/an

Glaces

Total
climat

Hausse observée
par les satellites

2 mm/an

Antarct. +
Groenland

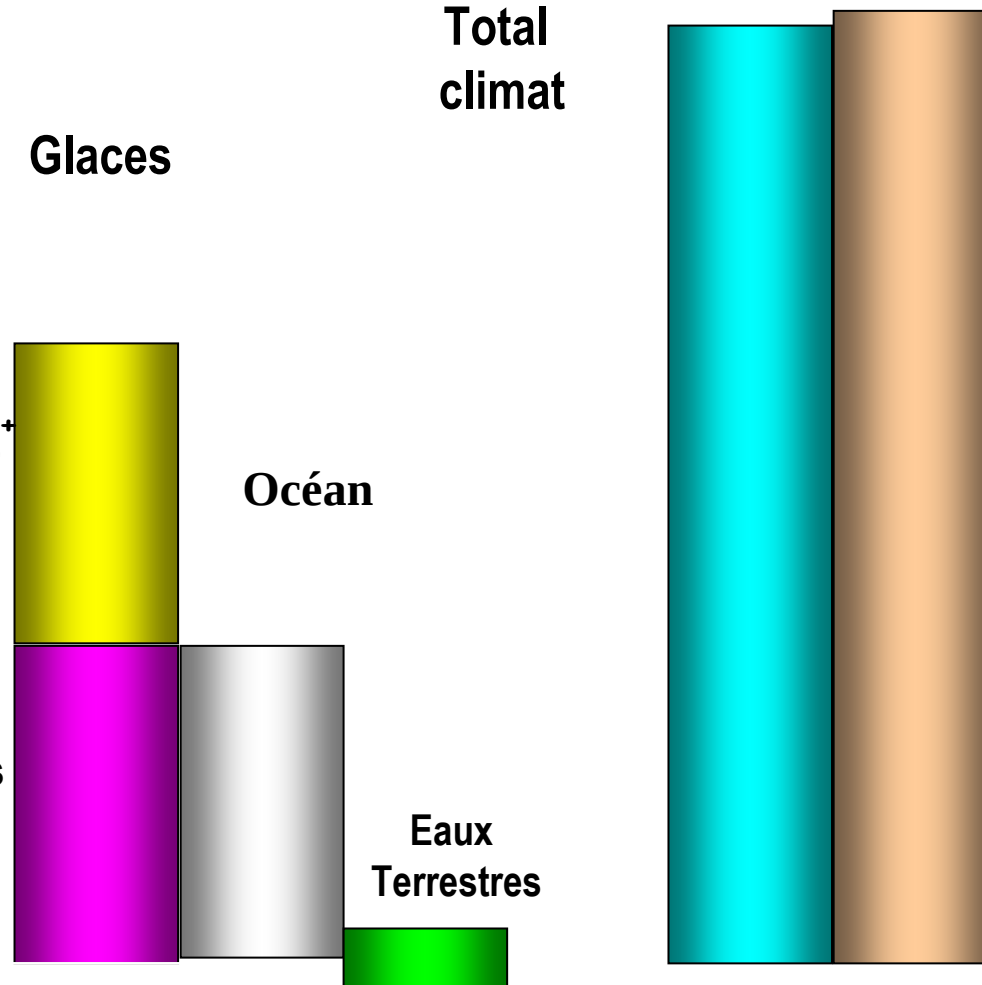
Océan

1 mm/an

Glaciers

Eaux
Terrestres

LEGOS



Un axe de réflexion : la valeur de la donnée spatiale

- **Exemple : le projet SWOT (Surface Water Ocean Topography : observation par altimétrie interférométrique des fleuves, lacs, zones inondées, océans côtiers et hauturiers)**

Coût de la mission : 650 M€ (Cnes 170, NASA 480)

- **Enjeux :**

Marché mondial de l'eau : 340G€ (2009)

Coût mondial des inondations décennie 1990 : 300G€

Tempête Xynthia 2010 : 1.3 G€



**Clichés NASA,
sonde Voyager 1**

« Regardez encore ce petit point. C'est ici. C'est notre foyer. C'est nous. Sur lui se trouve tous ceux que vous aimez, tous ceux que vous connaissez, tous ceux dont vous avez entendu parler, tous les humains qui ont existé et ont vécu leur vie. Toute la somme de nos joies et de nos souffrances, des milliers de confiantes religions, idéologies et doctrines économiques, tous les chasseurs et tous les cueilleurs, tous les héros et les lâches, tous les créateurs et destructeurs de civilisations, tous les rois et tous les paysans, tous les jeunes couples d'amoureux, toutes les mères et les pères, tous les enfants espérant, les inventeurs et explorateurs, tous les professeurs de morales, tous les politiciens corrompus, toutes les « superstars », tous les « guides suprêmes », tous les saints et pécheurs de l'histoire de notre espèce ont vécu ici – une petite poussière suspendue dans un rayon de soleil. »

Carl Sagan

Avec tous mes remerciements à :

- **Frédérique Rémy, Yann Kerr, Richard Biancale, Philippe Maisongrande, Anny Cazenave, Jean-Claude Souyris, Denis Blumstein, Benoît Meyssignac, Patrice Henry, Bruno Cugny, Hélène de Boissezon, Christophe Valorge, Lionel Baize, Laurence Mossay, Philippe Goudy, Simon Munier**
- **Et toutes les équipes LEGOS, CESBIO, GRGS-GS, CNES/SI, IPSL-LATMOS, LOA, CATDS, IFREMER, ICARE, CEA-LSCE, ECMWF, NASA, ESA, CNES, VITO, CLS, MERCATOR, IPGP, Météo-France, Univ Colorado, SERTIT, CERSAT, CNRS-INSU, RTRA/CYMENT**
- **Et toutes mes excuses à ceux dont je n'ai pas retrouvé les références**