Les satellites météorologiques

12 au 16 avril 2021

Sylvain Le Moal
Direction des opérations pour la prévision
Centre de météorologie spatiale

sylvain.lemoal@meteo.fr
@SylvainLeMoal
Sylvain Le Moal

Météorologie satellitaire

Lundi 12 avril

- l'Histoire des satellites météo ;
- orbitographie ;
- rayonnement & radiométrie ;
- principe des sondages atmosphériques ;
- capteurs actifs (radars).

Mardi 13 avril

- les satellites géostationnaires ;
- les satellites en orbite polaire.

Mercredi 14 avril

- les produits élaborés à partir des mesures par satellites ;
- les produits climatiques ;
- les programmes futurs ;
- les moyens de diffusion.

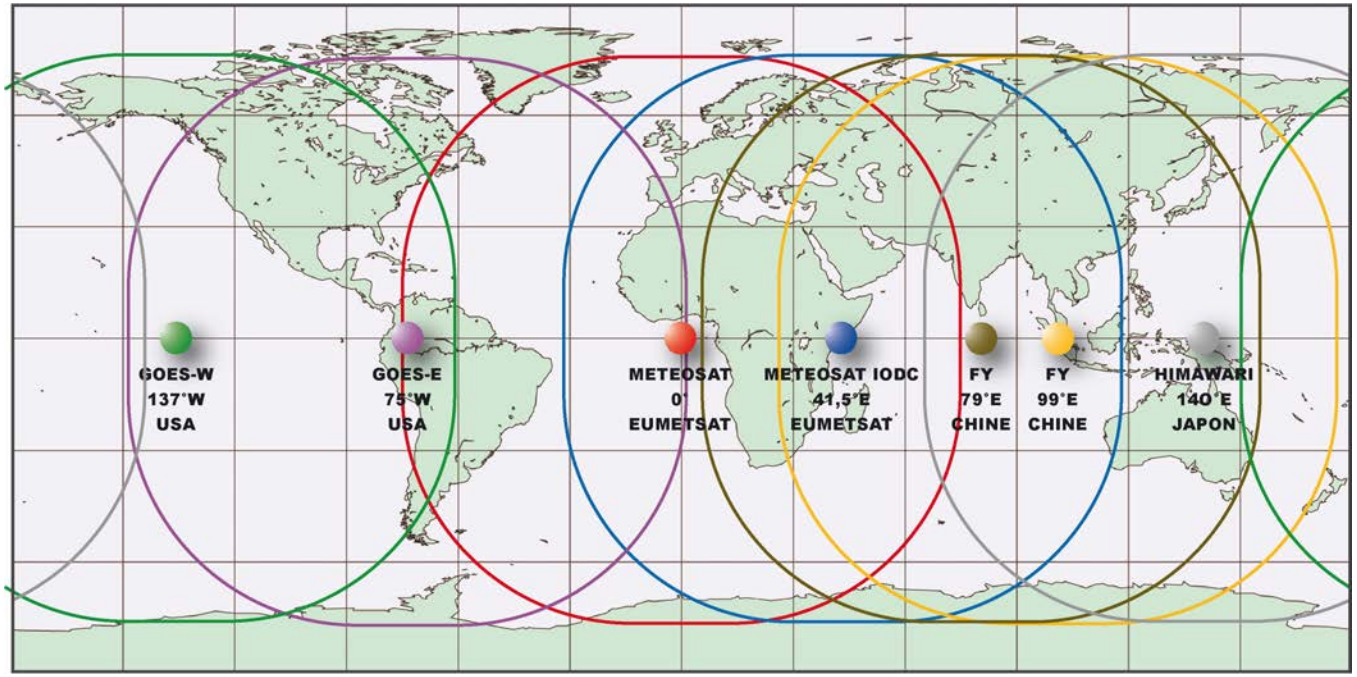
Vendredi 16 avril

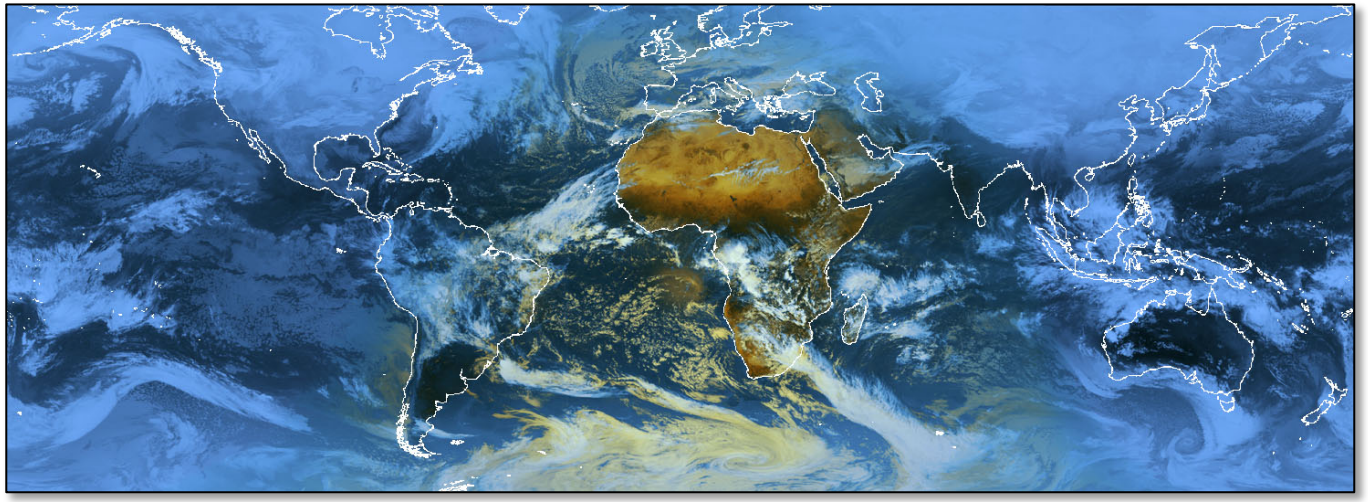
- imagerie et compositions colorées.

Les satellites géostationnaires

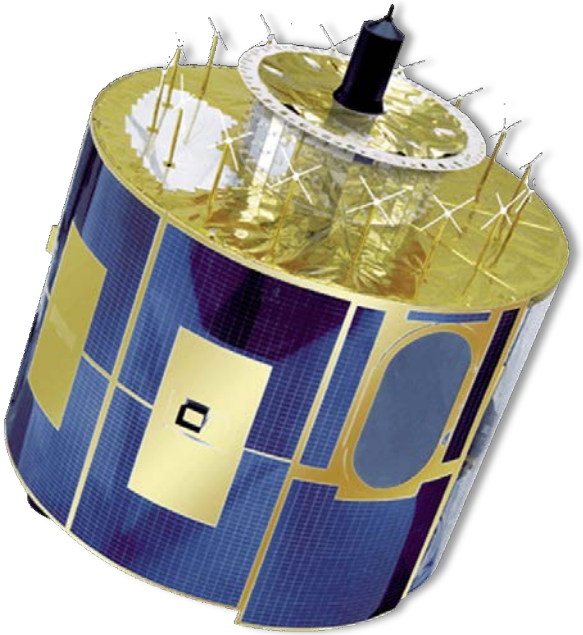
Satellites géostationnaires :

- ils sont fixes par rapport à un repère lié à la Terre
- altitude : 36 000 km – résolution d'environ 3 km
- surveillent en permanence la même zone du globe
- limitation à 65°S – 65°N
- utilisés pour effectuer des animations et suivre le déplacement des phénomènes météorologiques

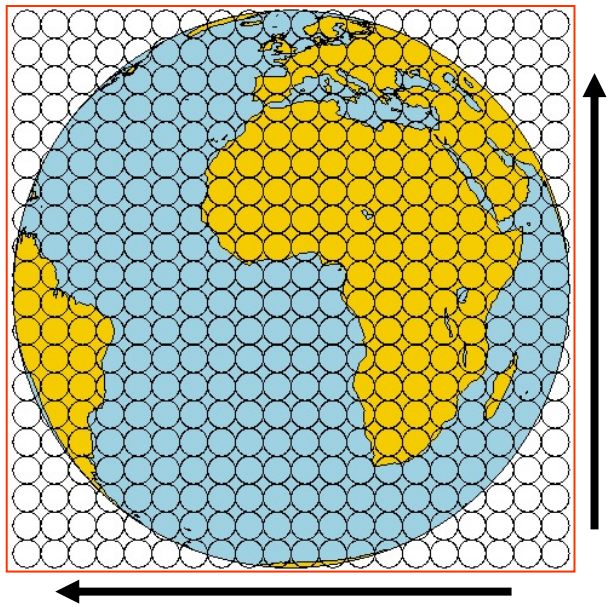


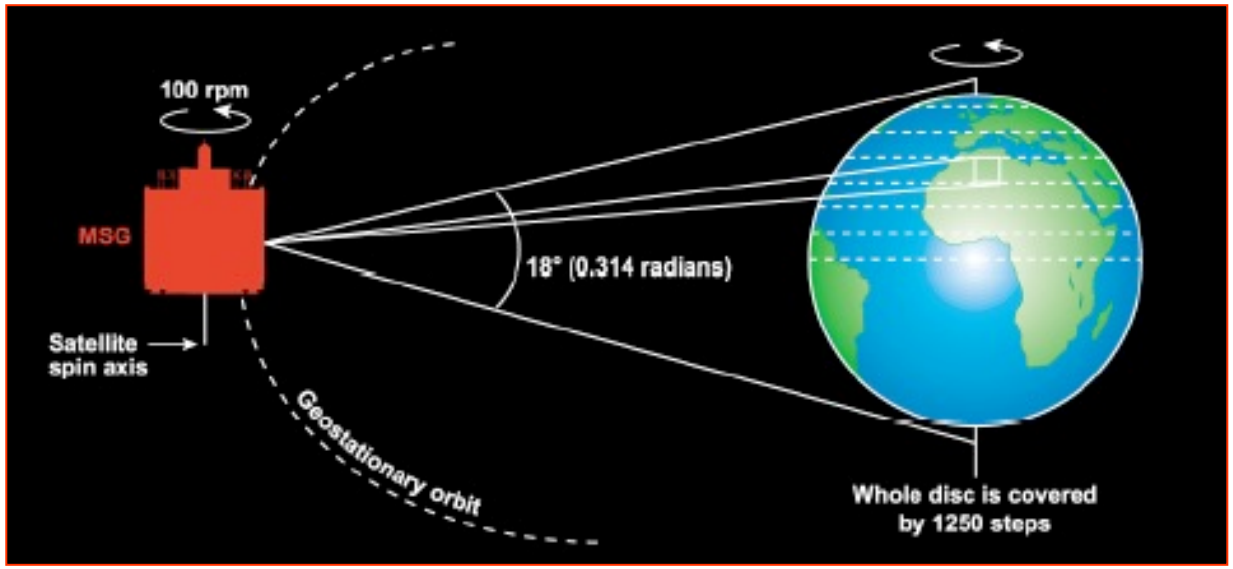


Meteosat seconde génération



Diamètre	3,22 m
Masse en orbite	2010 kg
Stabilisation	Par rotation (100 tours par minute)
Durée de la mission	7 ans
Acquisition des images	15 minutes

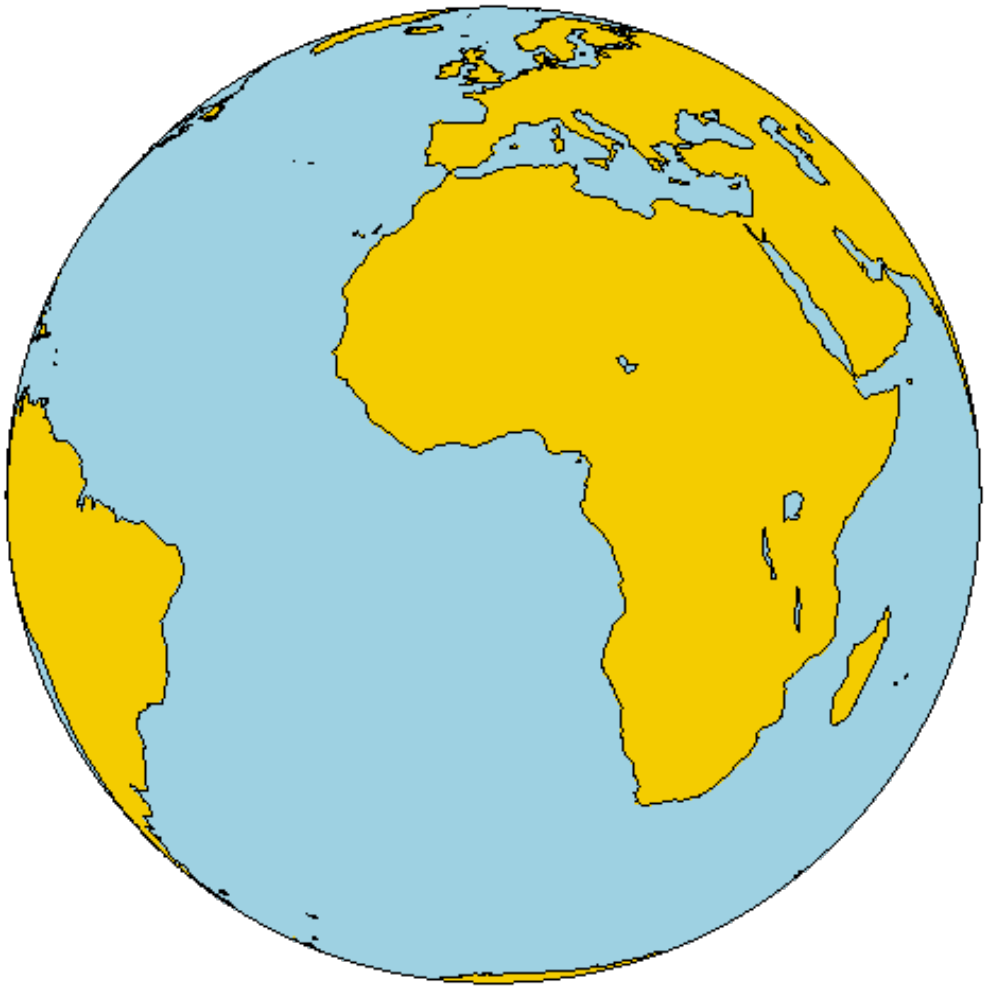




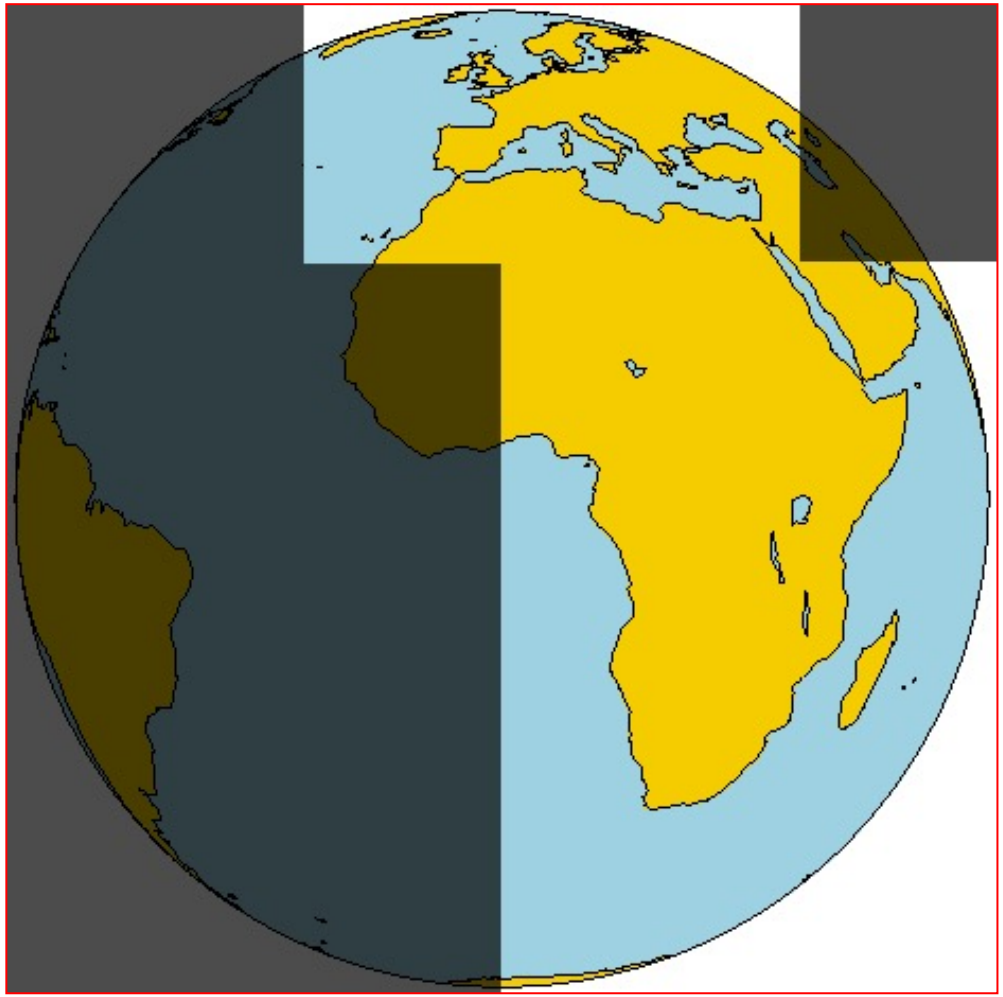
Meteosat profite de la rotation sur lui-même :
L'imageur de Meteosat Seconde Génération (SEVIRI) construit ainsi une image en 1250 tours et en 12 minutes et 30 secondes.

Meteosat seconde génération

C'est un satellite géostationnaire à la longitude 0° (à la verticale du Golfe de Guinée) qui voit constamment :

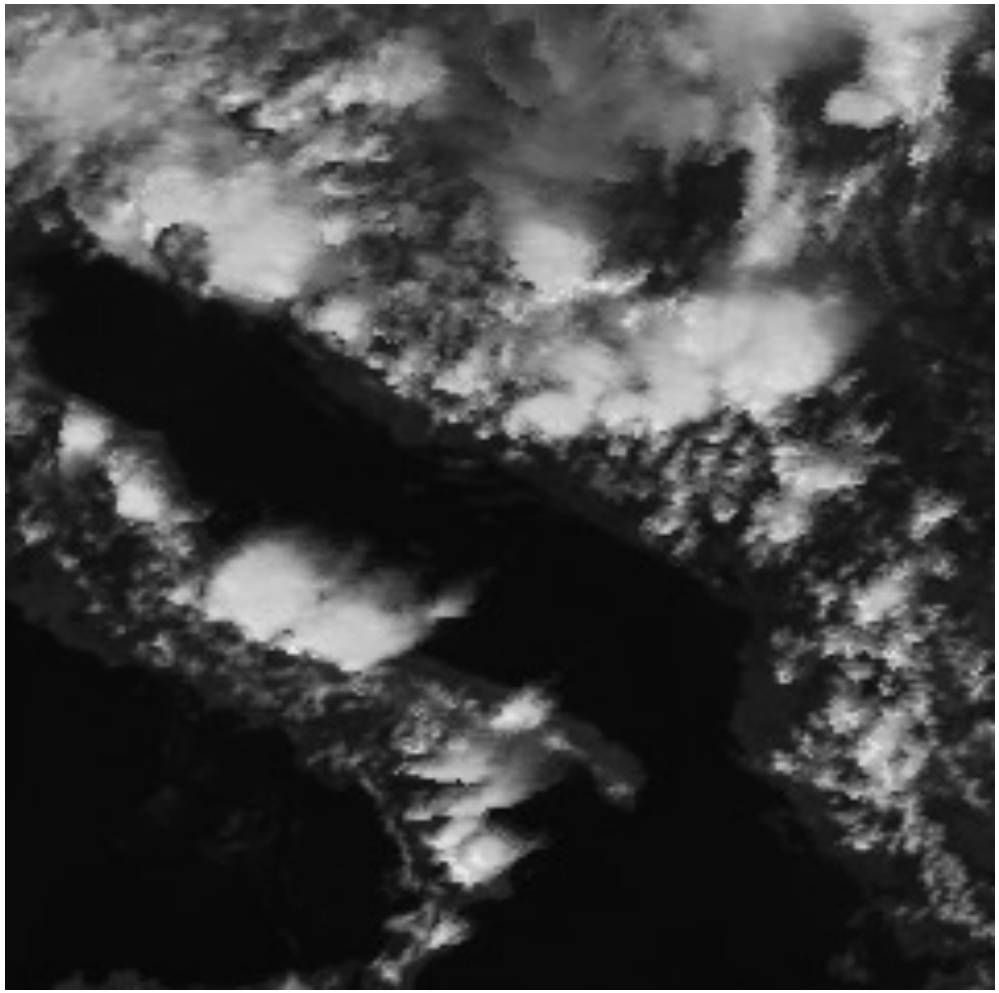


Le HRV, un demi-disque, configurable en vol, dont les parties nord et sud se décalent en fonction de l'heure :

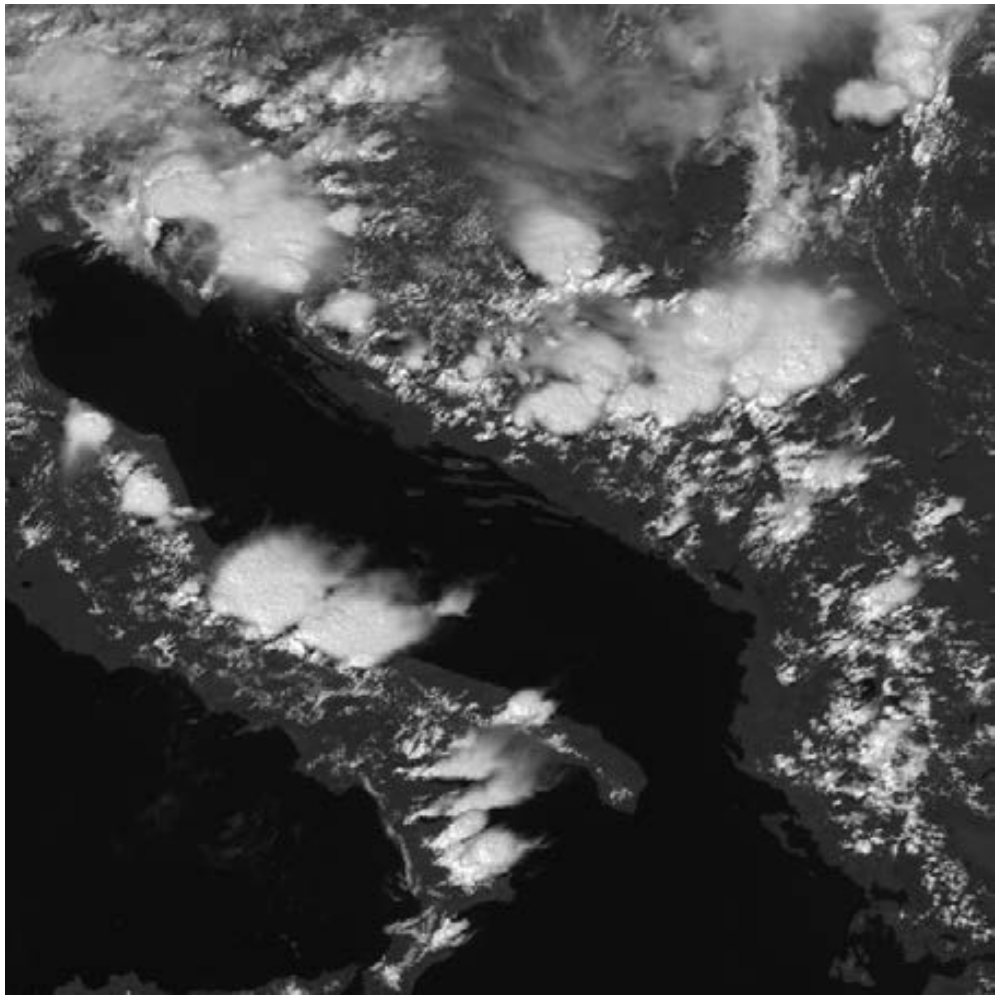


Meteosat seconde génération

La résolution au nadir est de 3 km pour 11 canaux → image de 3712 x 3712 pixels
1 km dans le cas particulier du canal HRV → image de 11136 x 11136 pixels



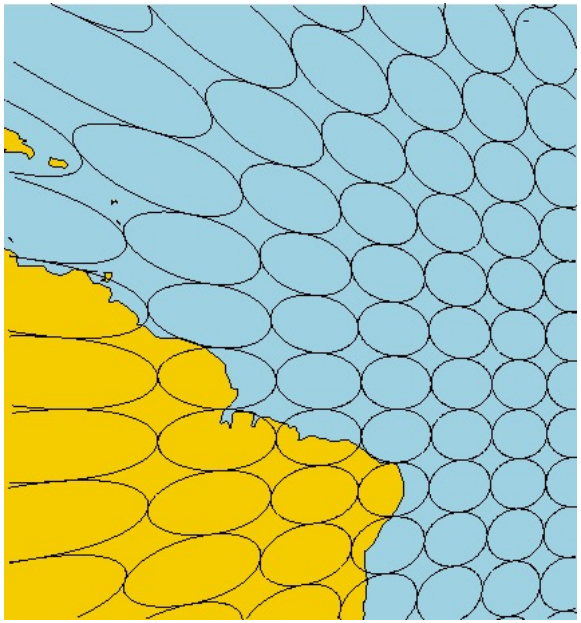
VIS 0,6 µm

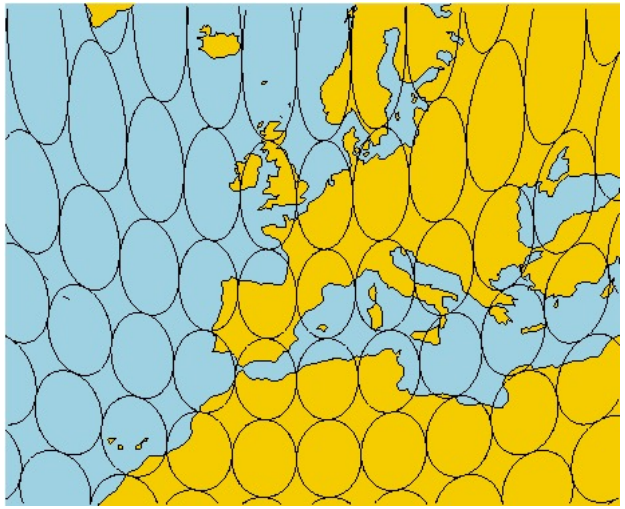


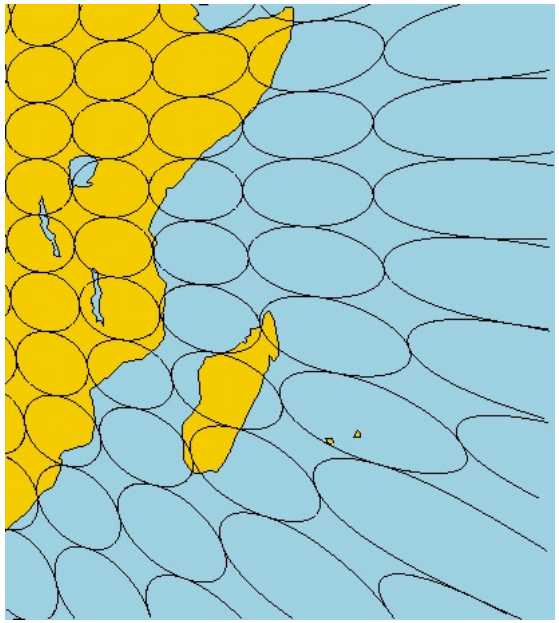
HRV

Meteosat seconde génération

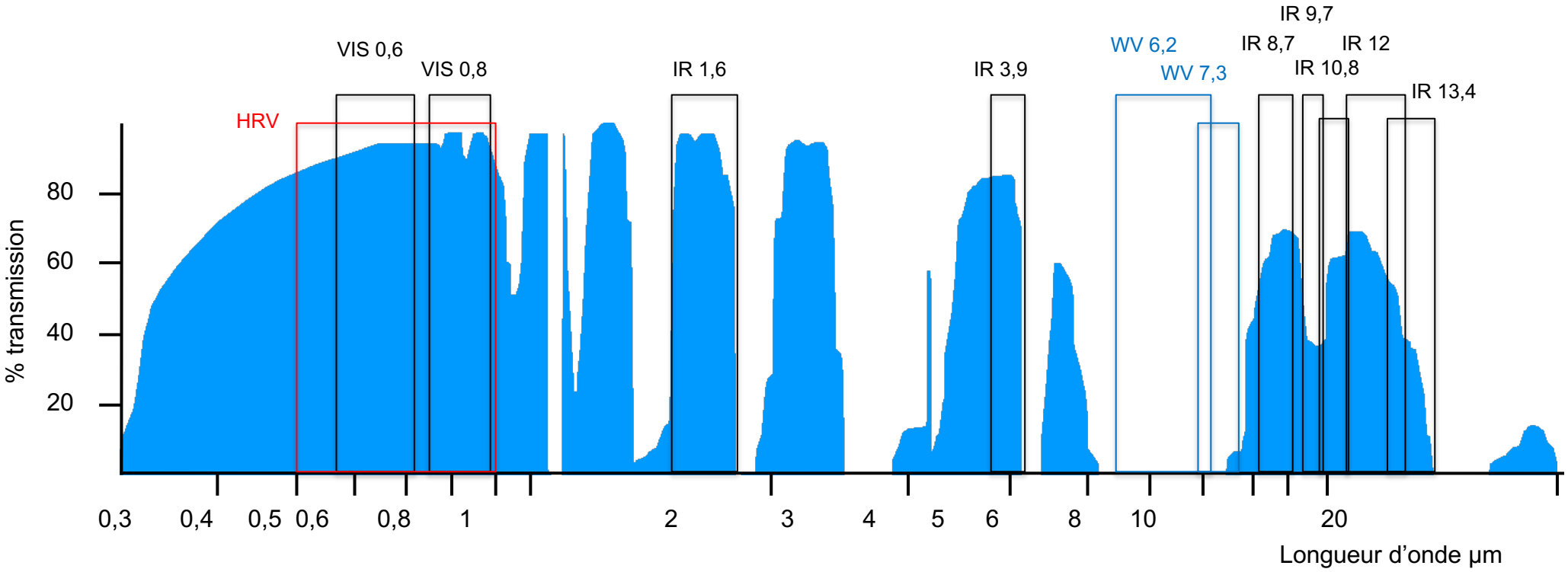
La résolution se dégrade en s'éloignant du nadir (visée oblique), la mesure également (tranche d'atmosphère plus épaisse).
Les erreurs de parallaxe sont corrigées.



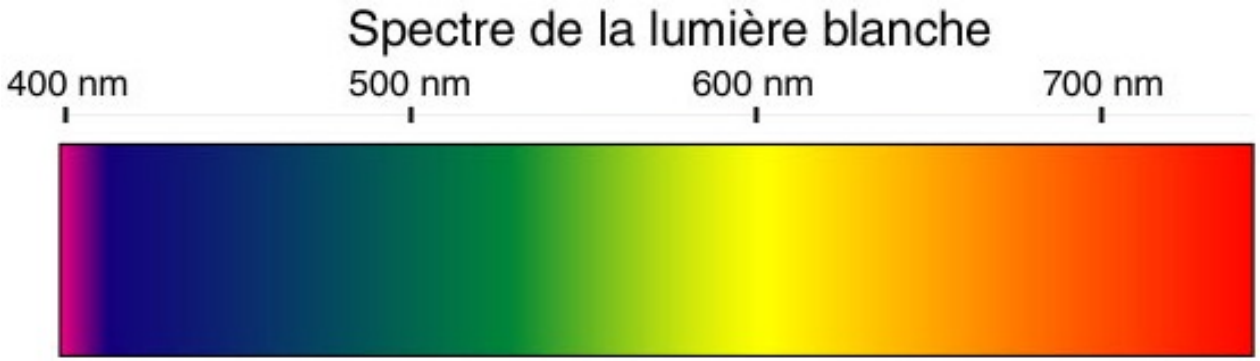




Meteosat seconde génération



Meteosat seconde génération



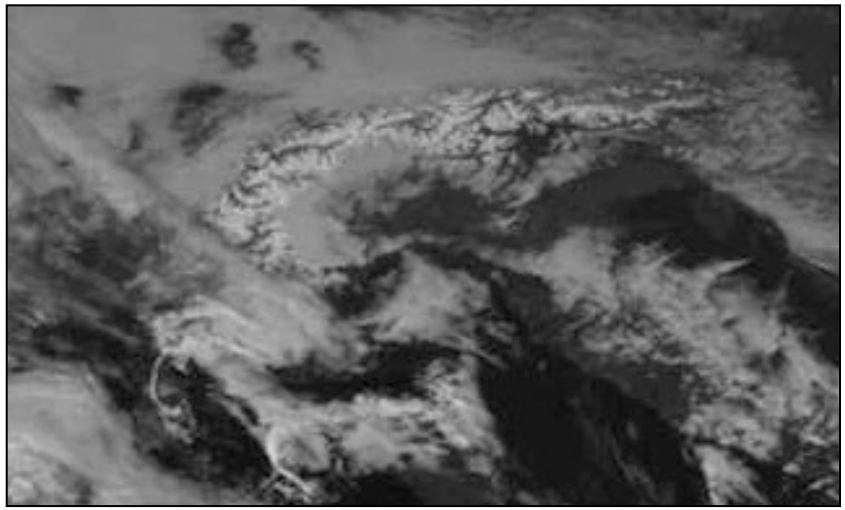
Trois canaux VIS

2 canaux à la résolution de 3 km :
un « jaune » et un « rouge » qui donnent un début d'information sur les couleurs (nuages, sols, poussières, végétation…).

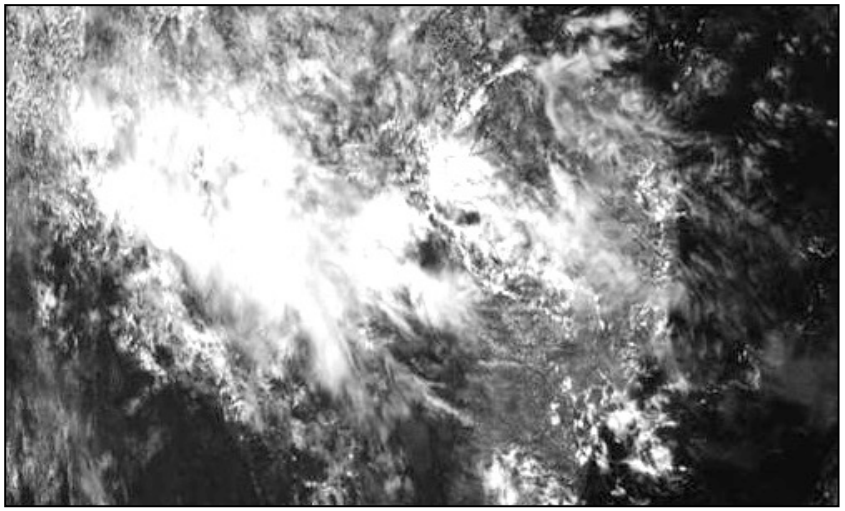
1 canal (le HRV) à la résolution de 1 km :
Canal « gris » qui couvre presque tout le spectre visible, c'est un compromis entre la finesse spectrale et la résolution géographique.

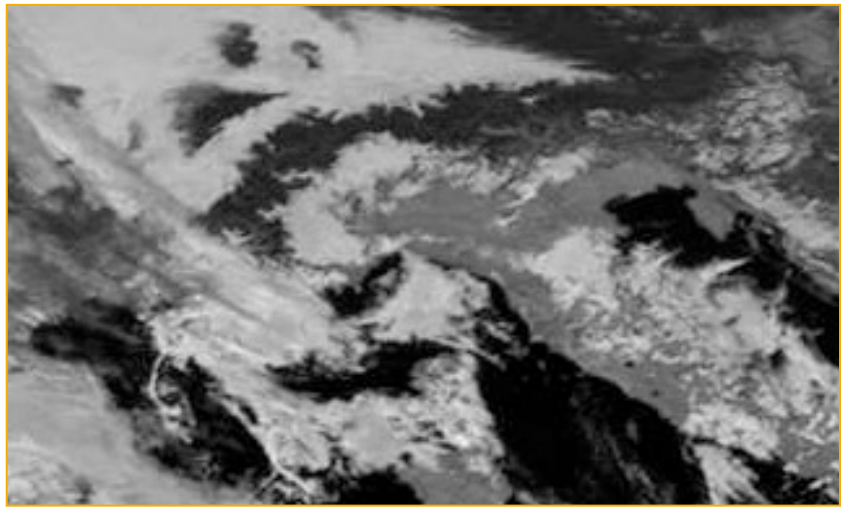
Meteosat seconde génération

Le canal 1,6 µm permet la détection de neige au sol et de glace dans les nuages (de jour seulement).

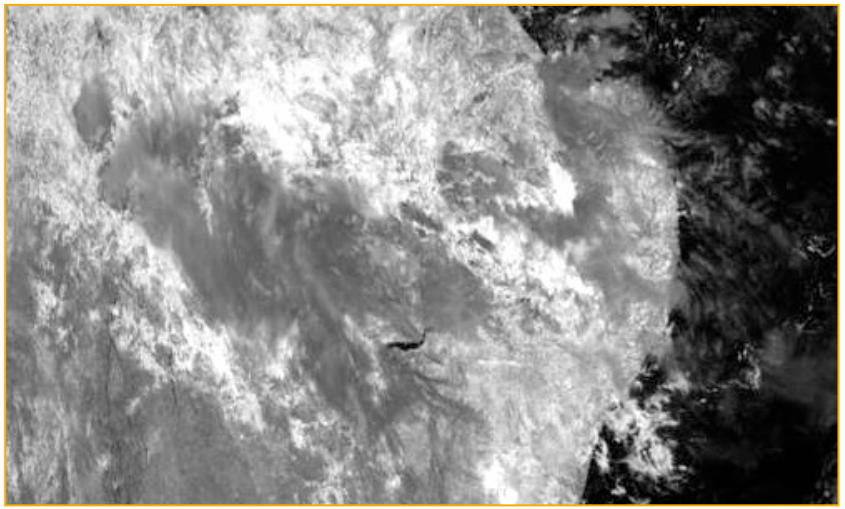


VIS 0.6





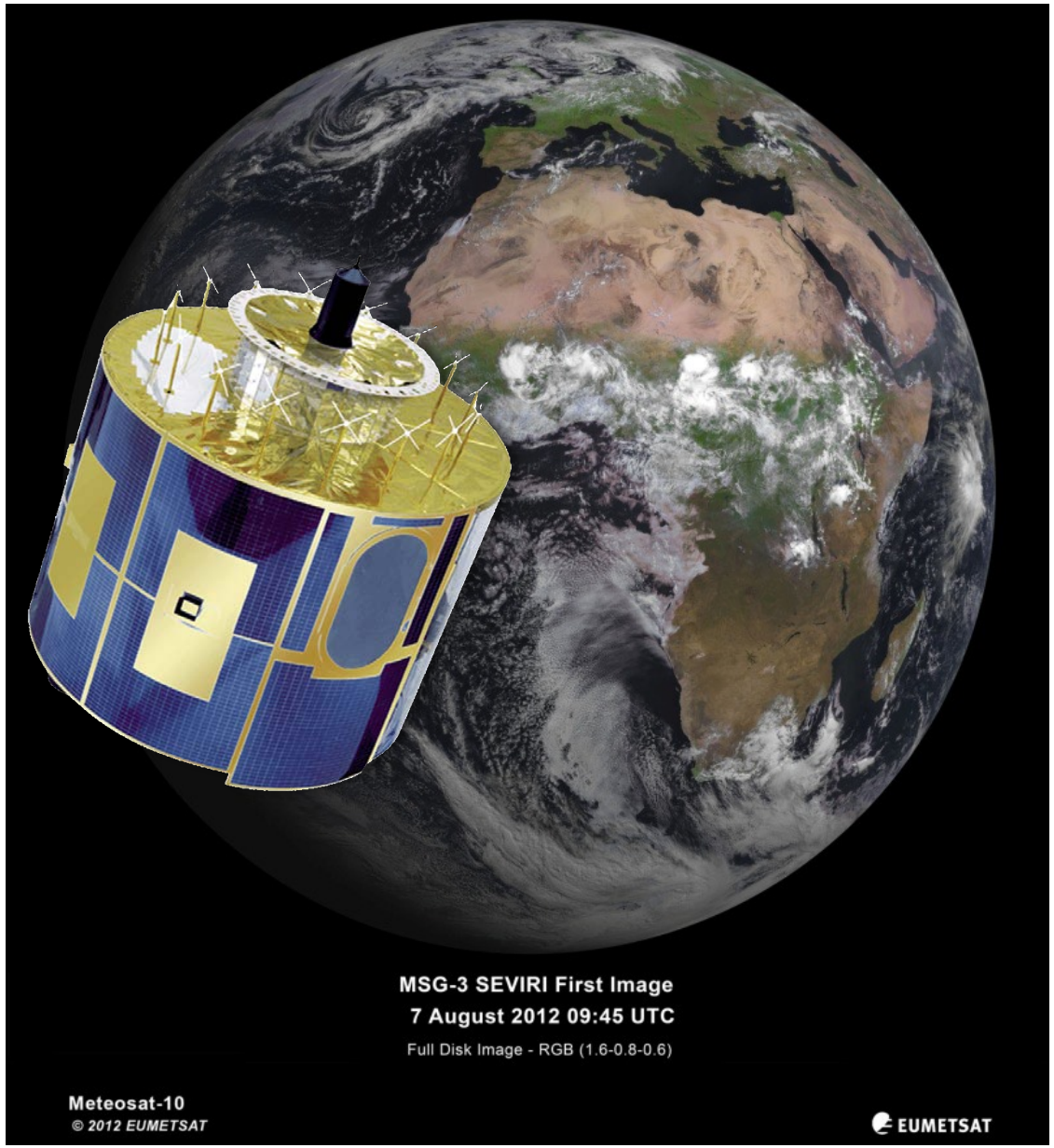
NIR 1.6



Les Alpes enneigées

Amas convectif sur le Brésil

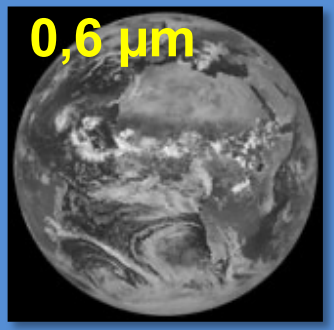
Meteosat seconde génération

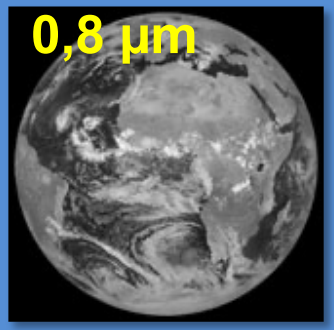


Nom du canal	Bande spectrale (µm)	Résolution
HRV	0,50 – 0,90	1 km
VIS 0,6	0,56 – 0,71	3 km
VIS 0,8	0,74 – 0,88	3 km
NIR 1,6	1,50 – 1,78	3 km
IR 3,9	3,48 – 4,36	3 km
IR 6,2 (WV)	5,35 – 7,15	3 km
IR 7,3 (WV)	6,85 – 7,85	3 km
IR 8,7	8,30 – 9,10	3 km
IR 9,7	9,38 – 9,94	3 km
IR 10,8	9,80 – 11,80	3 km
IR 12,0	11,00 – 13,00	3 km
IR 13,4	12,40 – 14,40	3 km

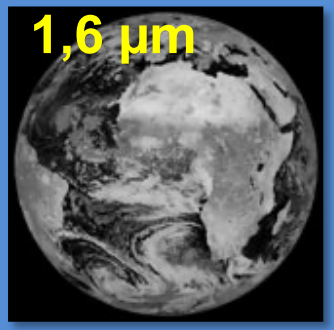
Meteosat seconde génération

Visible

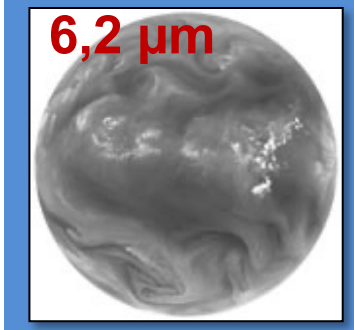


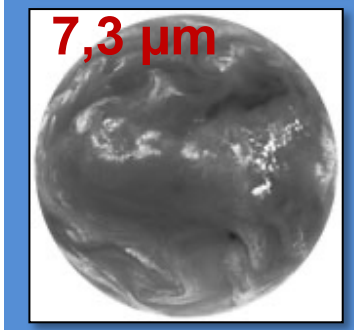


Proche infrarouge

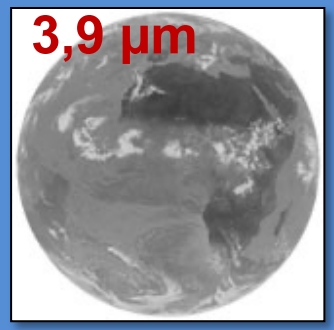


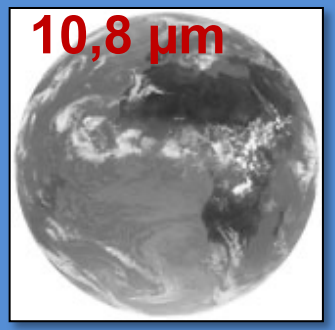
Vapeur d'eau

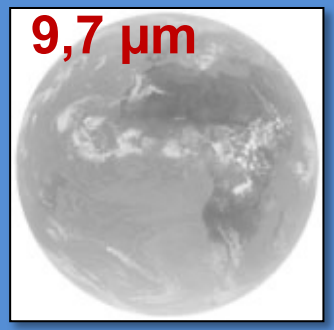


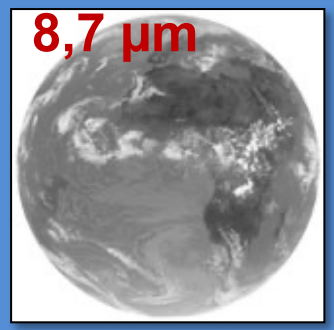


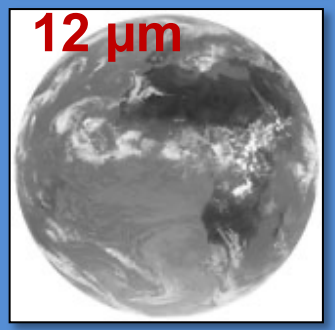
Infrarouge

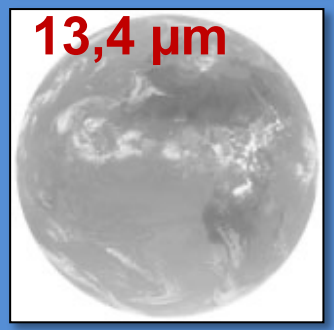








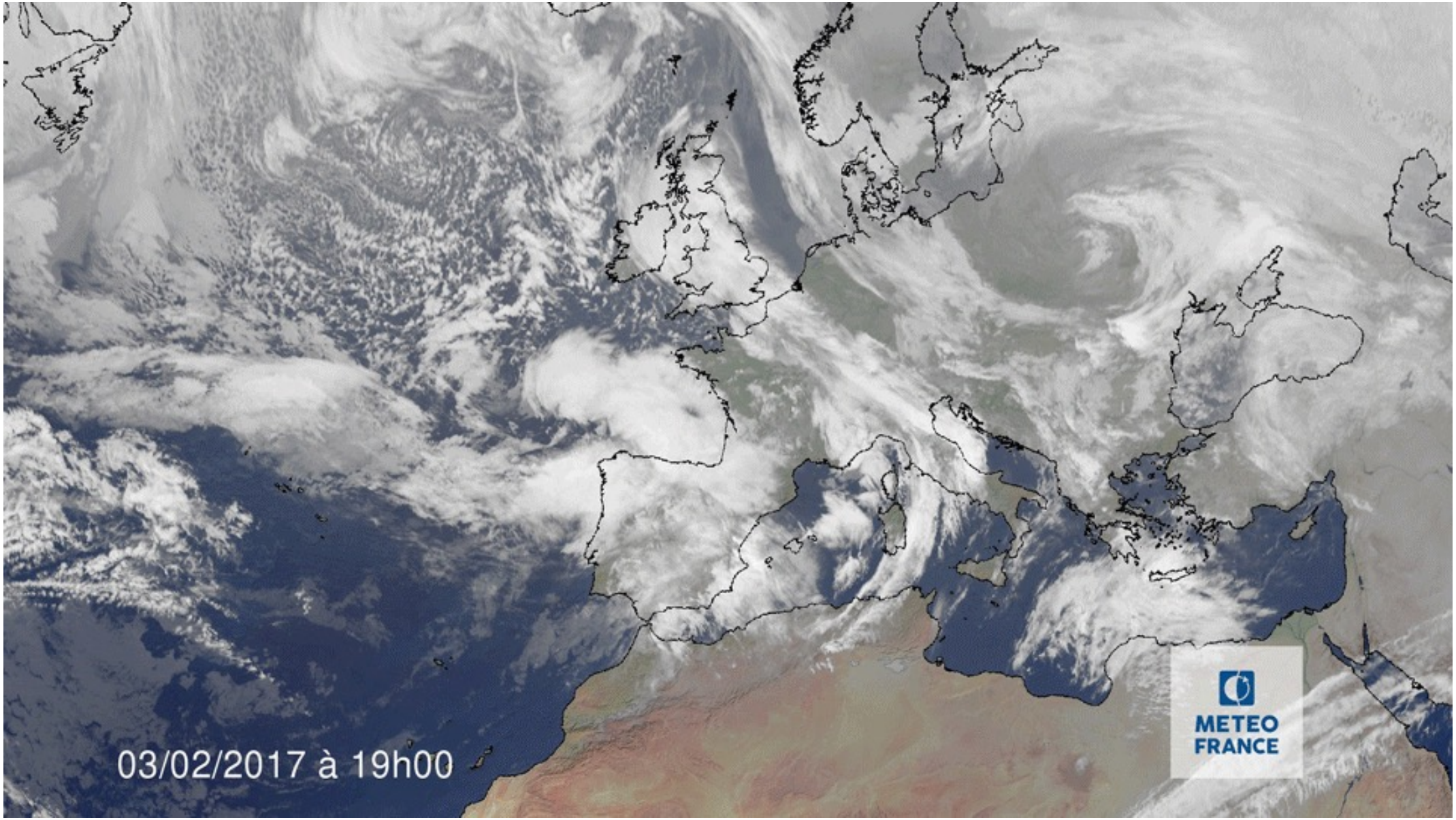




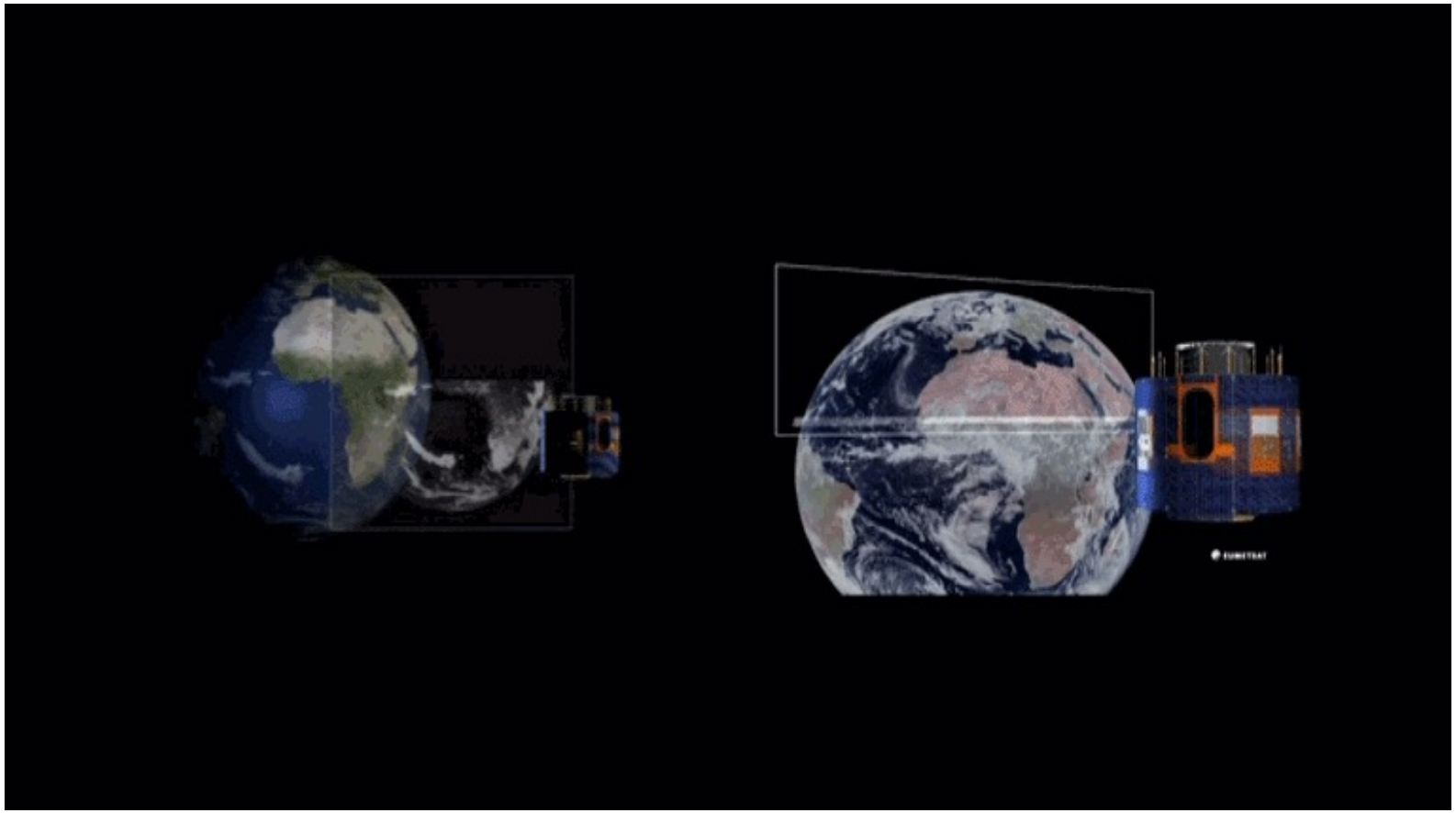
Meteosat seconde génération

Canal	Utilisation
0,6 et 0,8 µm	Détection des nuages, identification des structures, suivi des nuages, observation des aérosols, suivi de la végétation.
1,6 µm	Différenciation entre neige et nuage, nuage d'eau liquide et nuages de glace, information sur les aérosols.
3,9 µm	Détection des nuages bas de nuit, des feux de jour.
6,2 et 7,3 µm	Vapeur d'eau de moyenne et haute troposphère, suivi de la dynamique atmosphérique, hauteur des nuages semi-transparents.
8,7 µm	Informations quantitatives sur les cirrus fins, distinction entre les nuages de glace et d'eau liquide.
9,7 µm	Radiance de l'ozone pour assimilation en prévision numérique, évolution du champ total d'ozone.
10,8 et 12,0 µm	Mesure de la température de surface de la terre et de la mer, détection des cirrus et déduction des quantités d'eau précipitable au-dessus de la mer.
13,4 µm	Amélioration de la détermination du facteur de transmission des cirrus, information sur la température de la basse troposphère dépourvue de nuages pour les évaluations d'instabilité.

Animation en IR – Succession de tempêtes en Europe



Images à haute fréquence

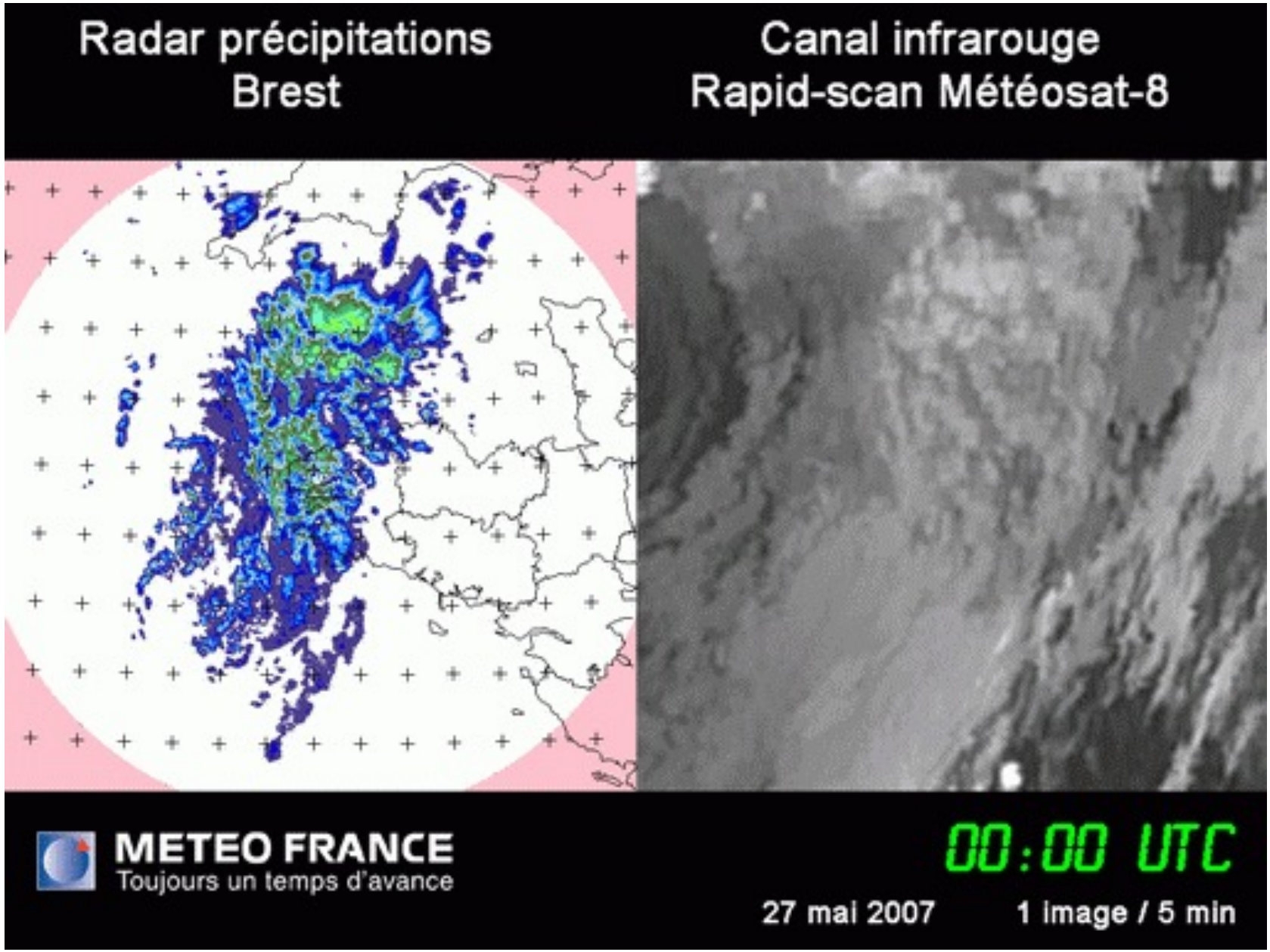


Le satellite nominal produit des plein-disques toutes les 15 minutes.

Une fonction est activée sur le satellite de secours sur un domaine restreint du disque :

Le balayage rapide (images toutes les 5 minutes)

Images à haute fréquence



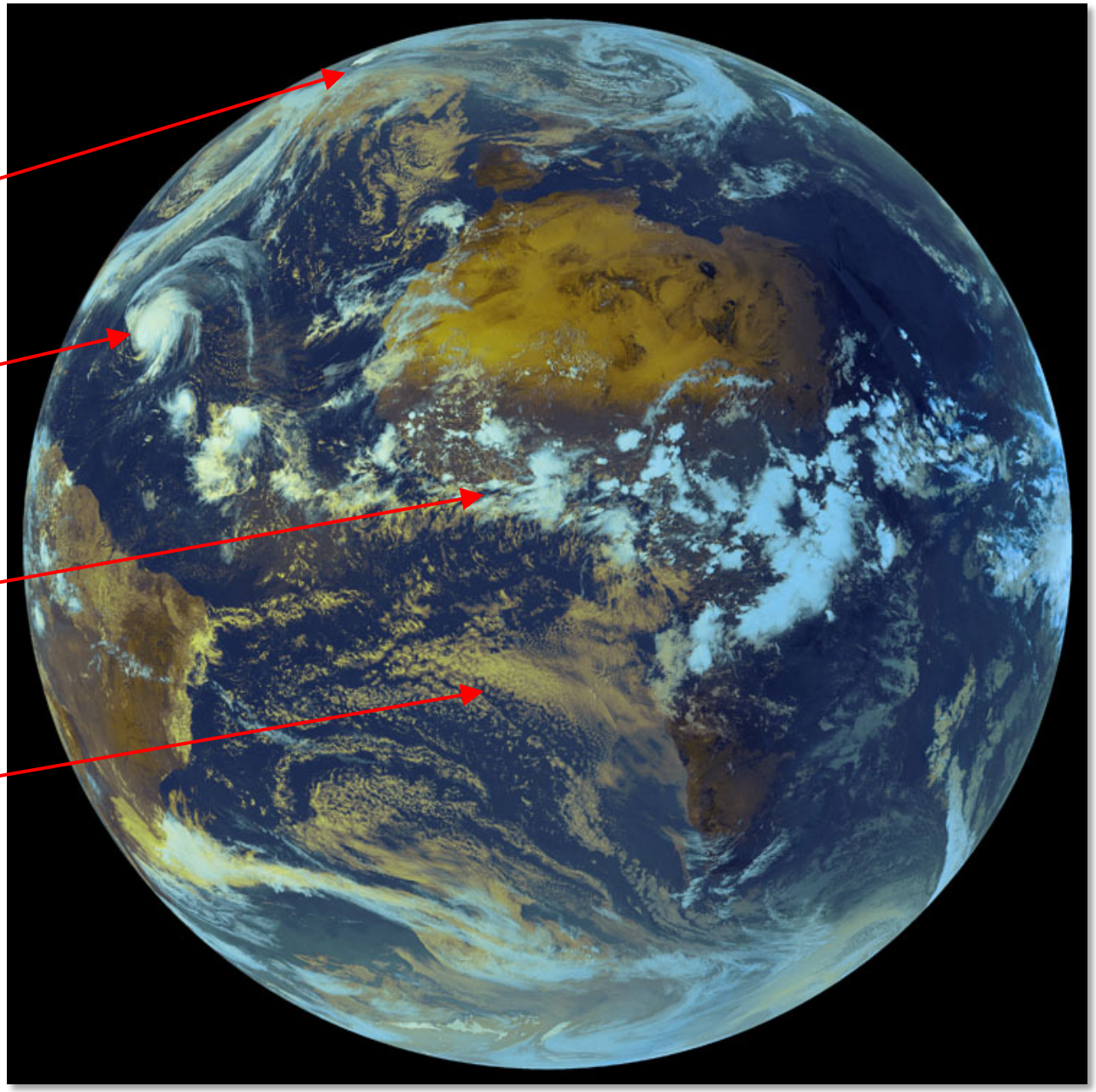
Composition colorée générale de Météo-France

Neige au sol

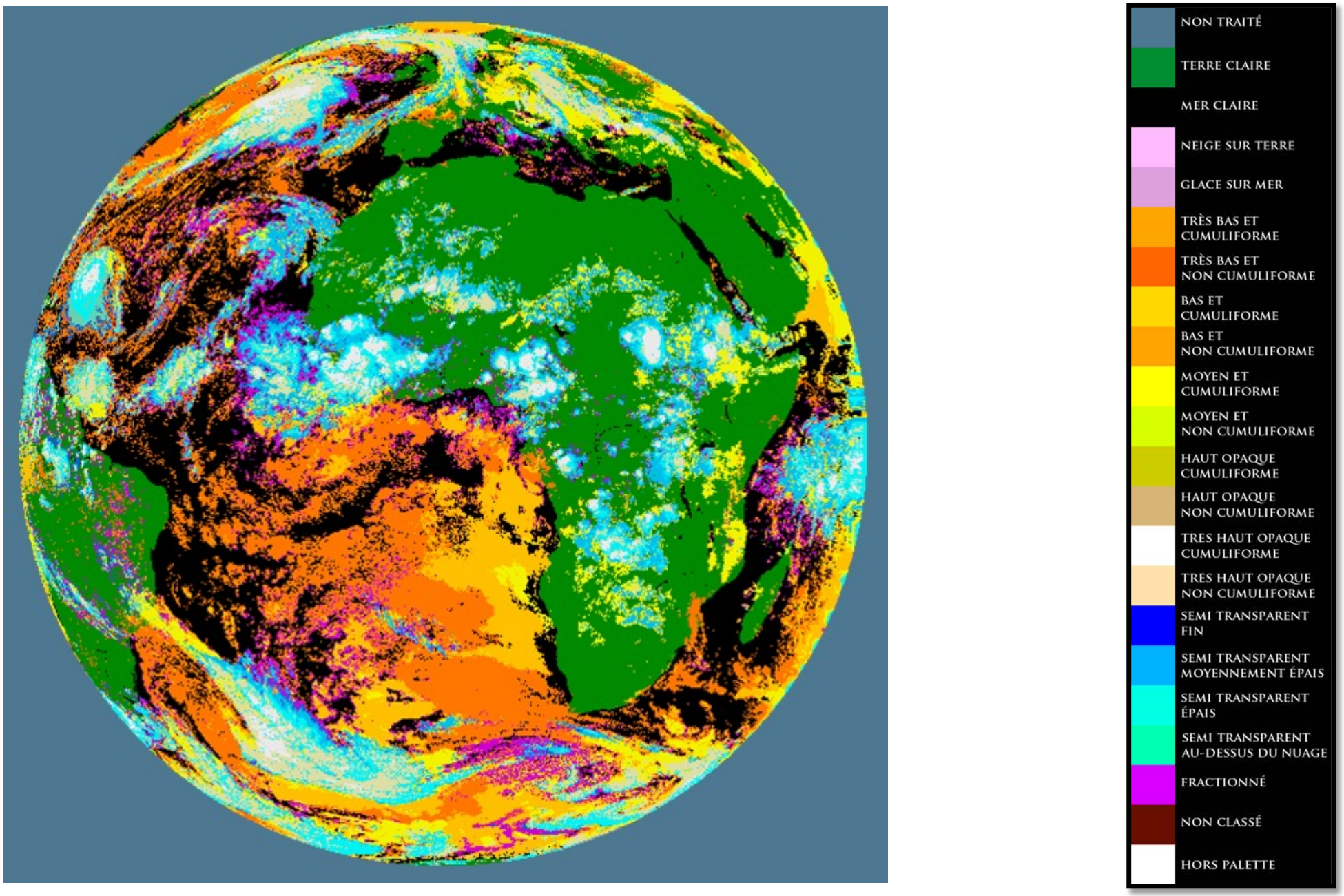
Cyclone Karl

Z.I.C.

Nuages bas

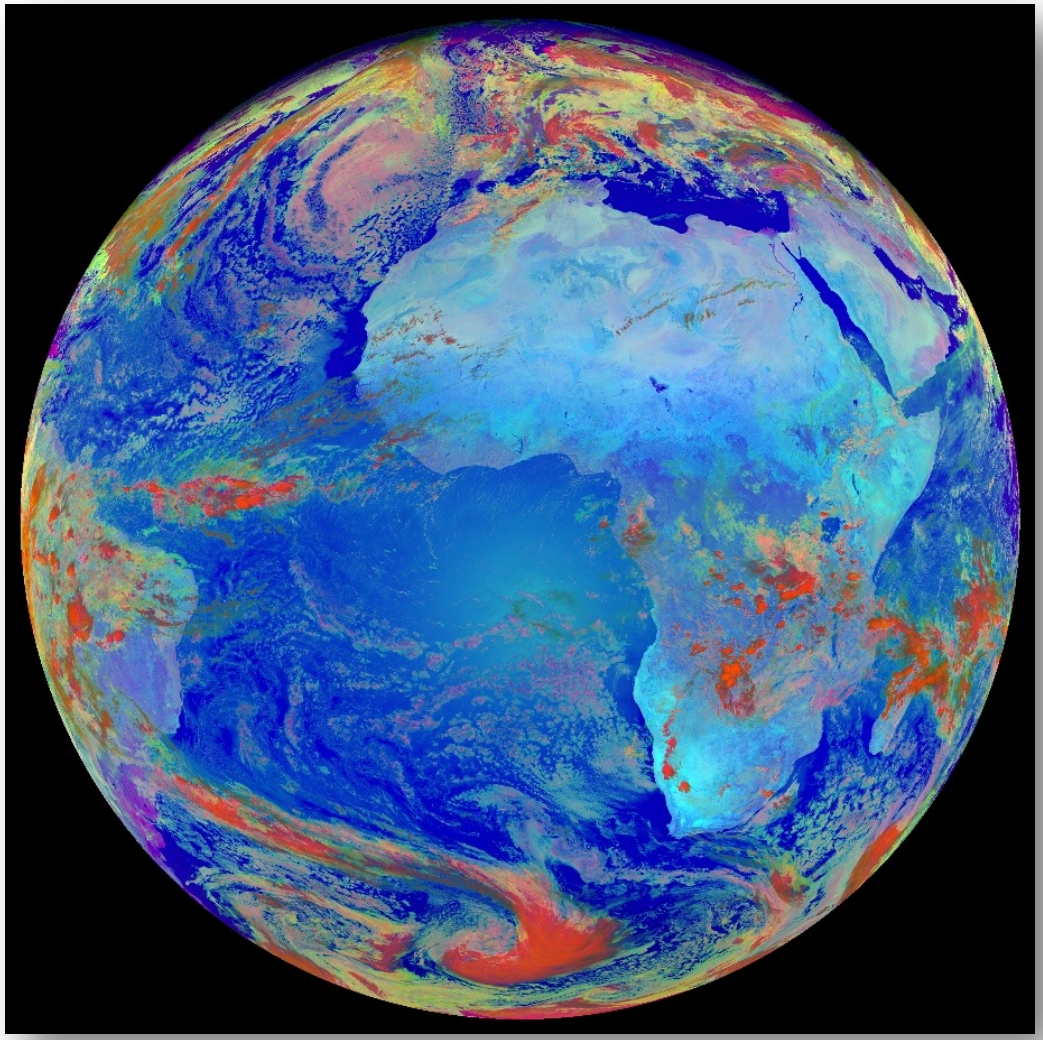


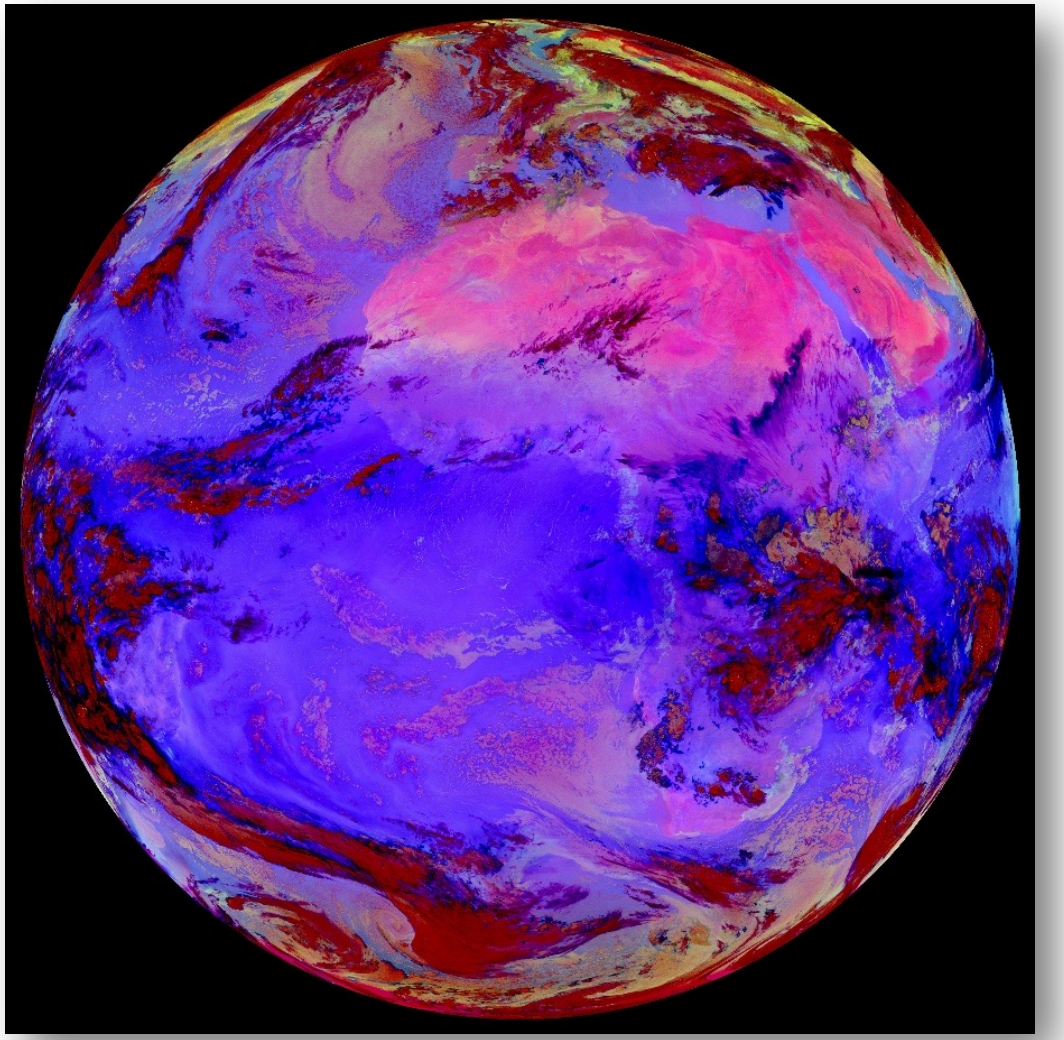
La classification nuageuse



Composition colorée microphysique

Elle fournit des éléments d'appréciation de la taille des particules et de l'épaisseur des nuages en période diurne.
De jour, les canaux suivants sont utilisés : VIS0.8, IR3.9 & IR10.8



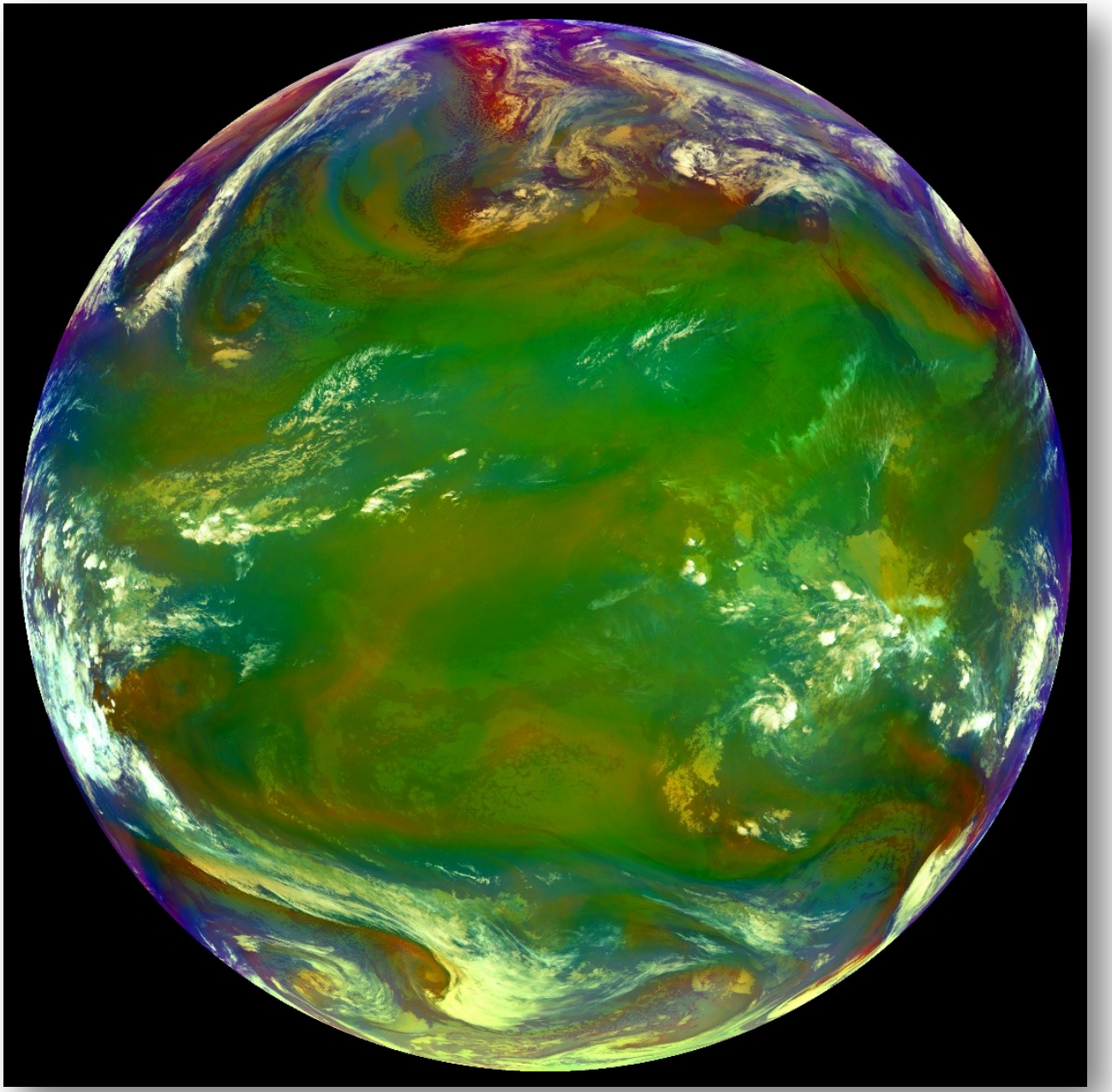


Composition colorée masses d'air

Elle fournit des éléments d'appréciation à propos de :

- l'évolution des perturbations, particulièrement en cas de cyclogénèse rapide ;
- la détection des jets ;
- les anomalies de tourbillon potentiel.

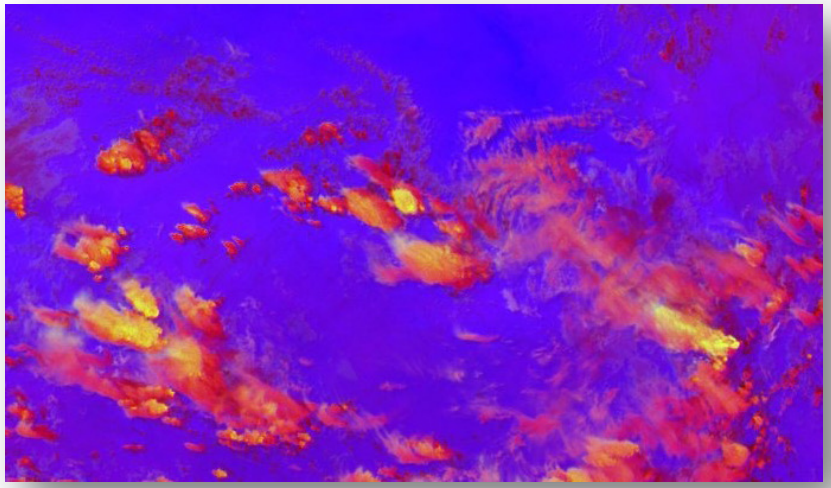
Les canaux suivants sont utilisés : WV6.2, WV7.3, IR9.7 et IR10.8

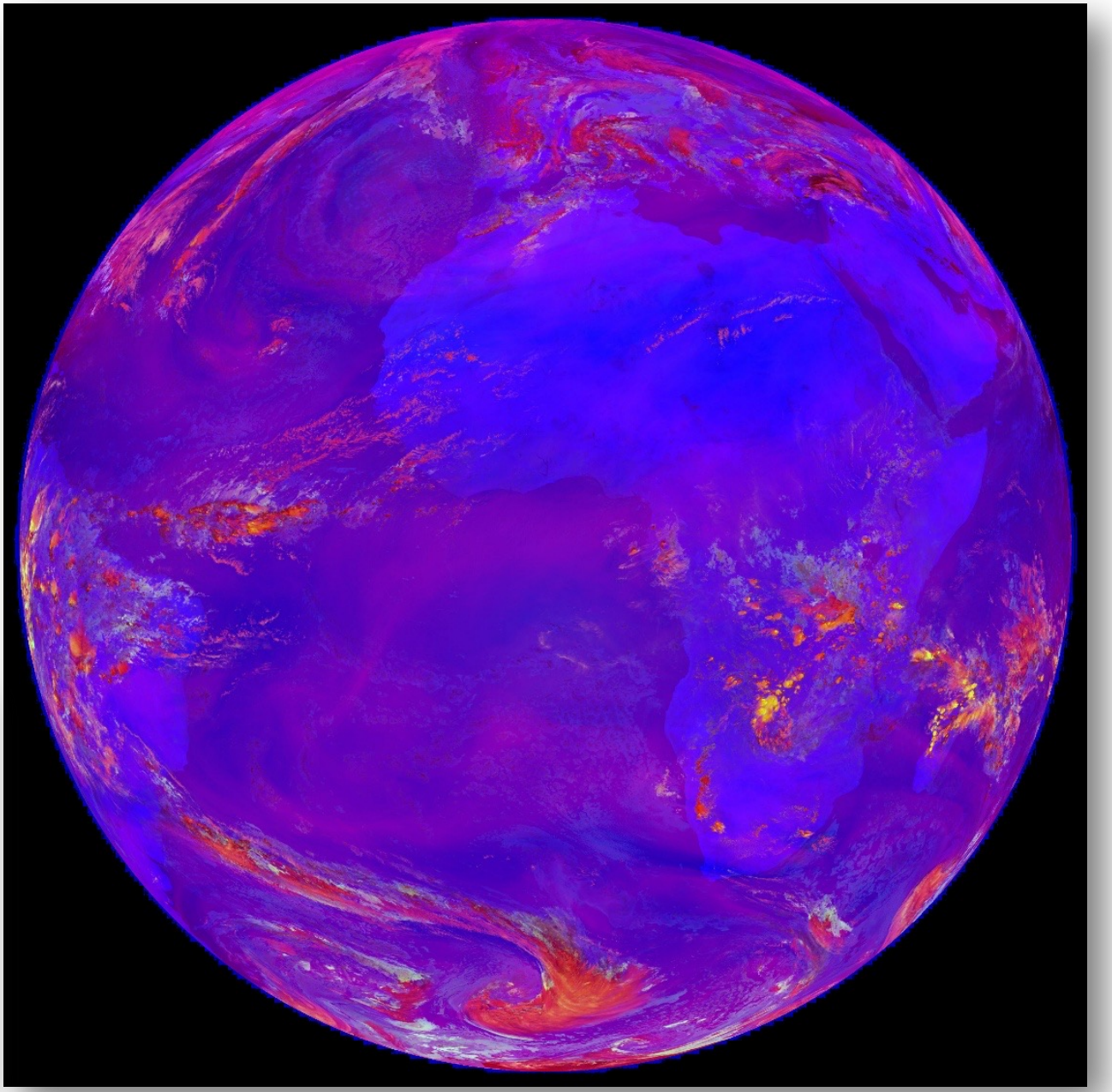


Composition colorée *convective storm*

Structure fine des nuages convectifs et identification des *overshooting tops*.

Les canaux suivants sont utilisés : VIS0.6, NIR1.6, IR3.9, WV6.2, WV7.3 & IR10.8

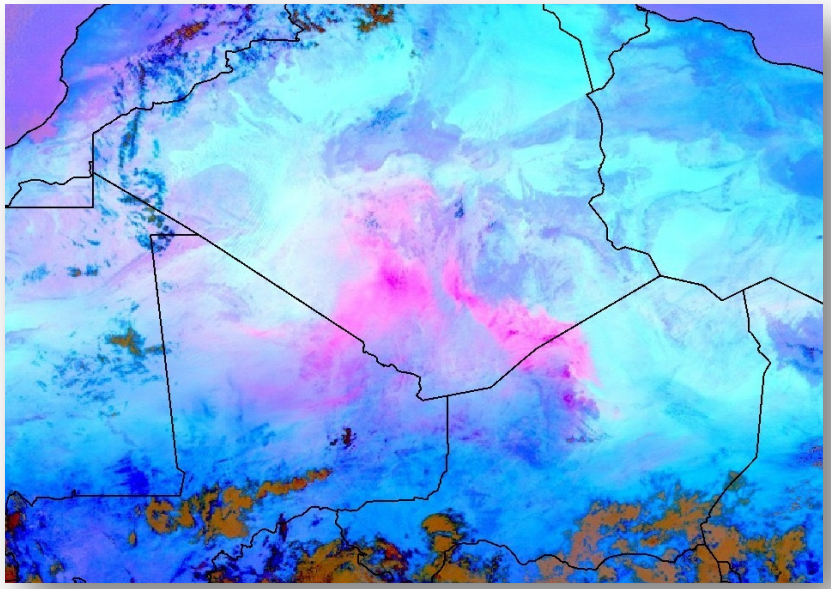


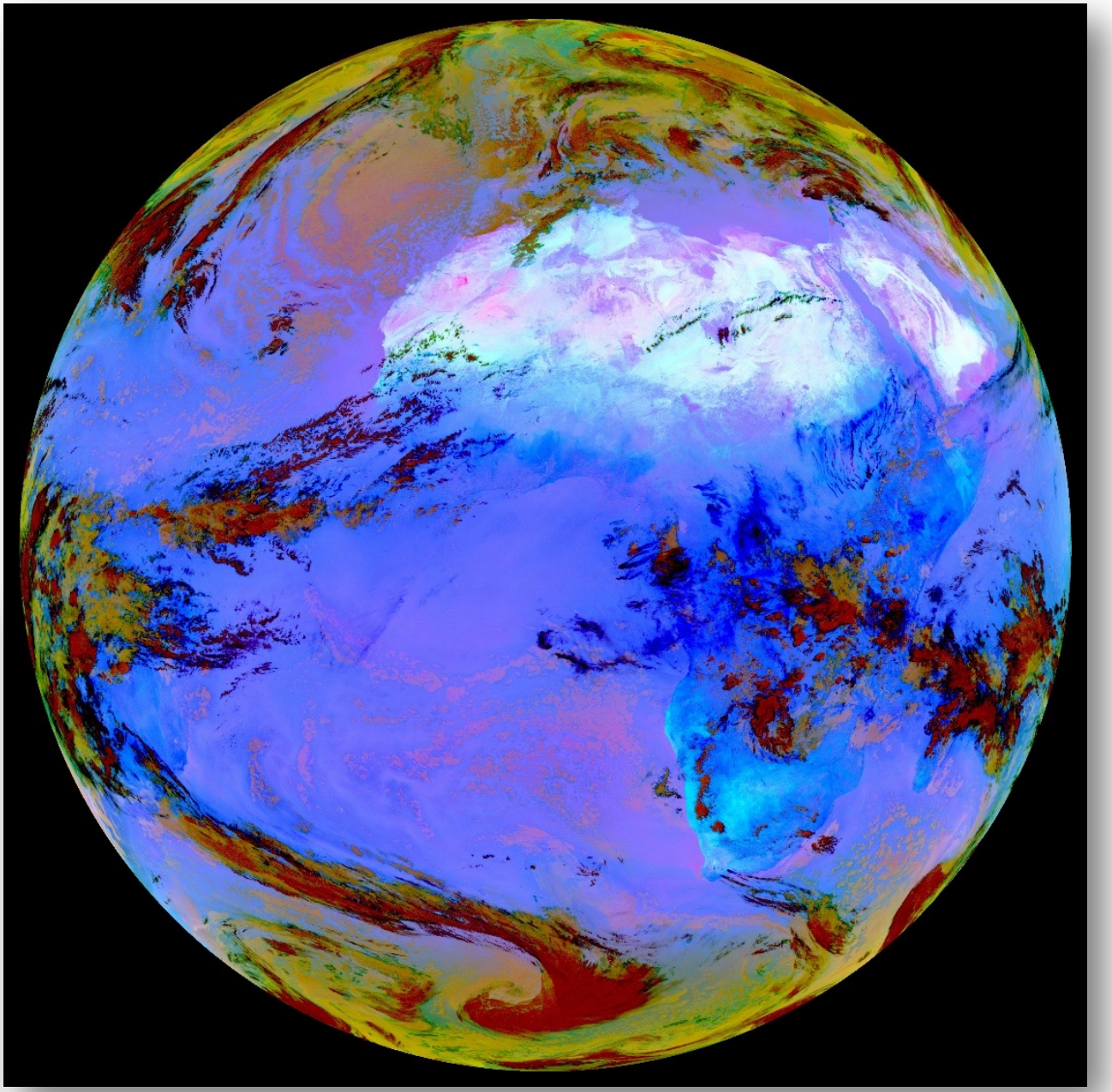


Composition colorée aérosols

Elle fournit des éléments d'appréciation à propos de tempêtes de poussières de sable.

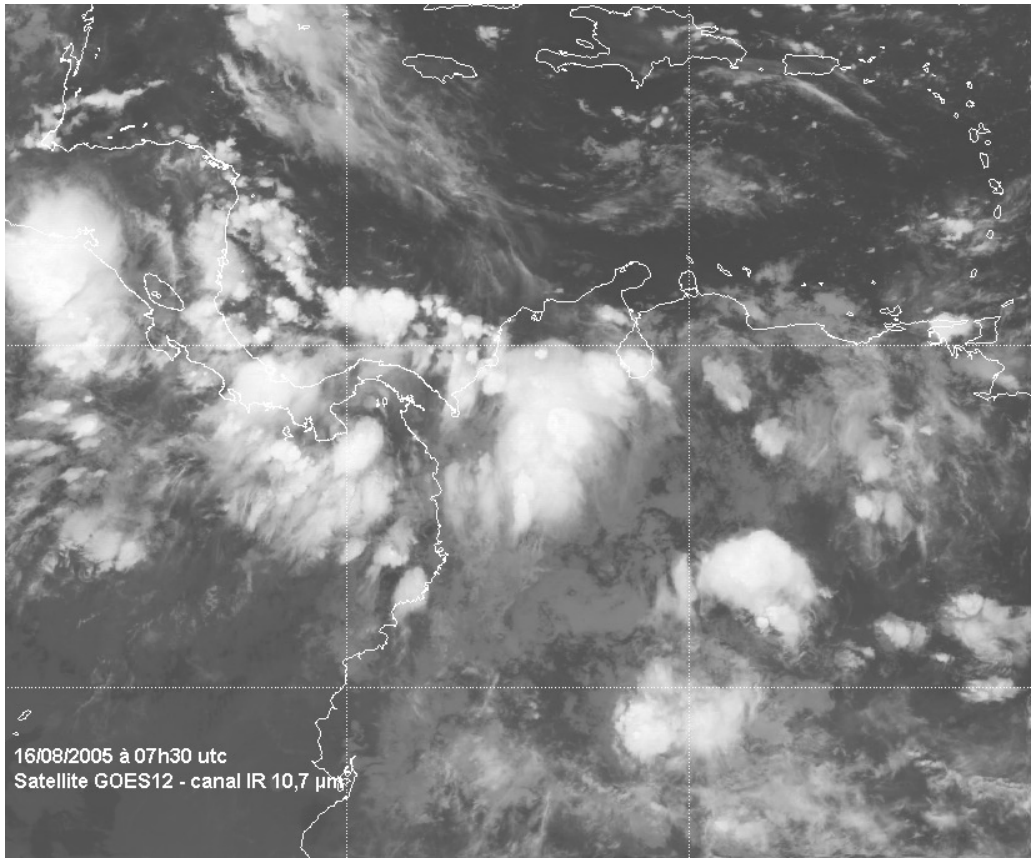
Les canaux suivants sont utilisés : IR8.7, IR10.8 and IR12.0

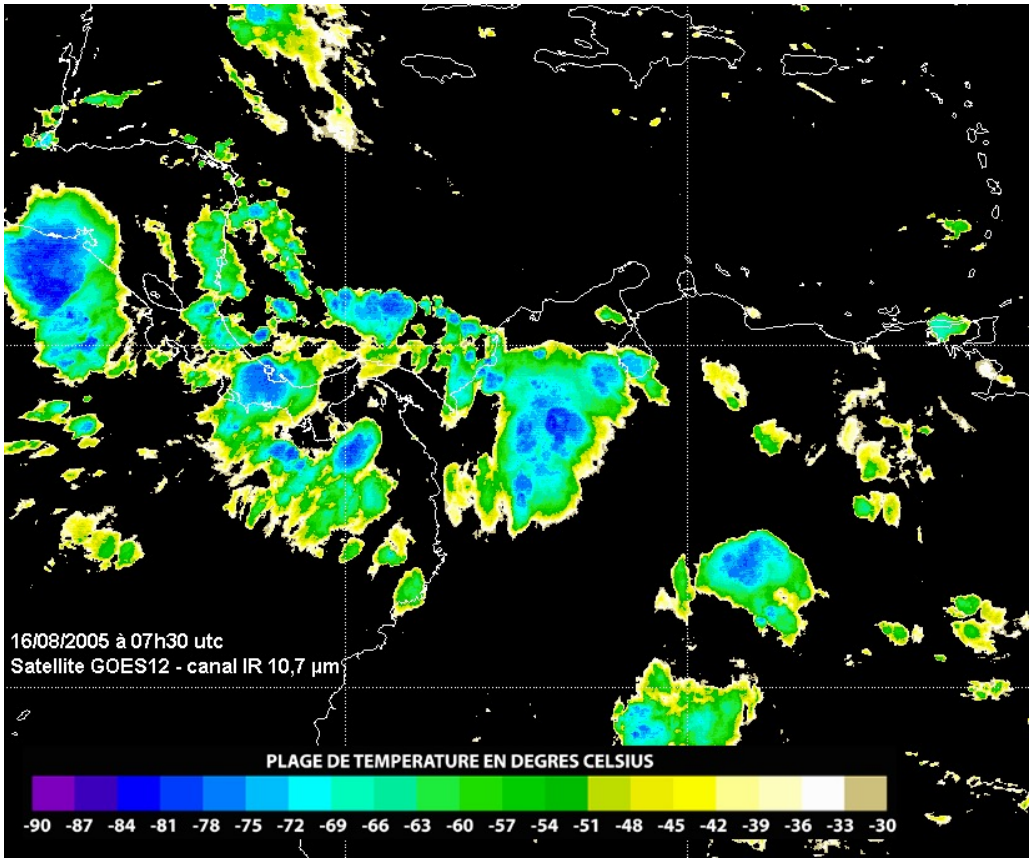




Expertise

Fourniture d'éléments pour le BEA : Image en N&B visualisant les nuages présents (canal IR 10.7 de GOES) avec une plage de températures s'étendant de 190 K à 340 K ainsi qu'une image en couleur constituée d'une gamme de 20 couleurs par plage de 3 degrés entre 183 K et 243 K (de -90 °C à -30 °C) mettant en évidence les sommets les plus froids et, par voie de conséquence, les nuages convectifs les plus actifs.

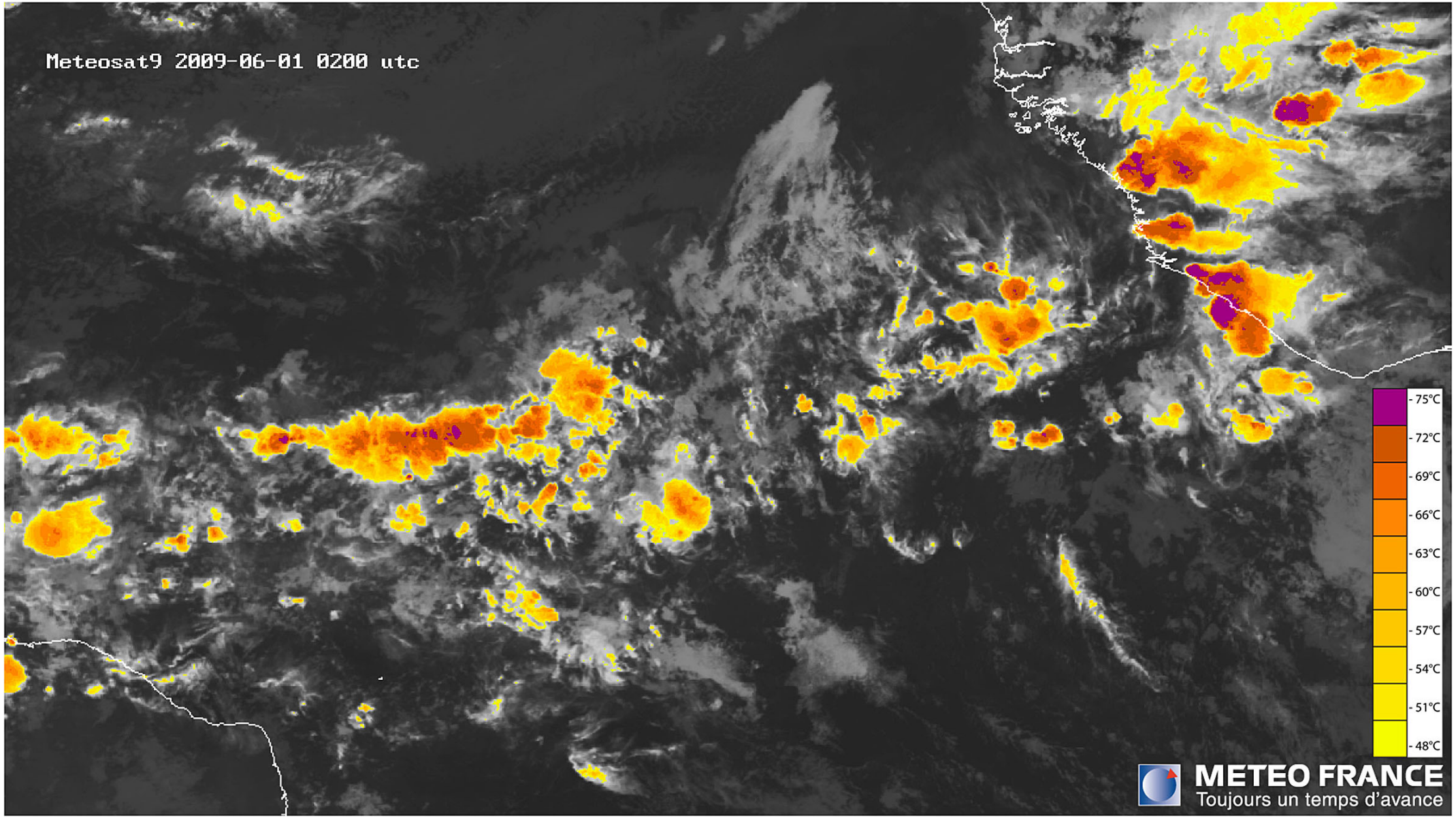




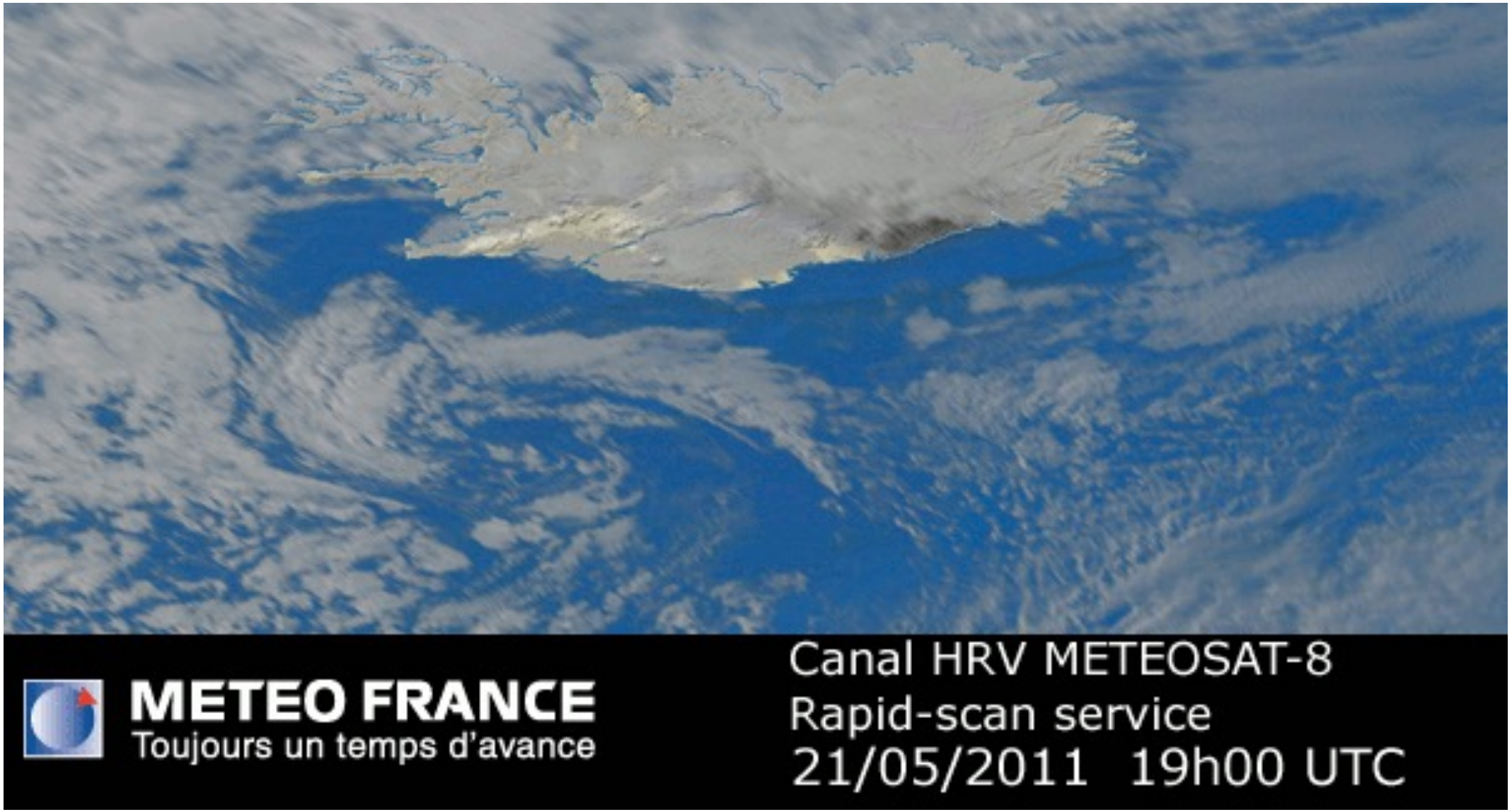
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

METEO FRANCE

Crash de l'AF 447 RIO / PARIS

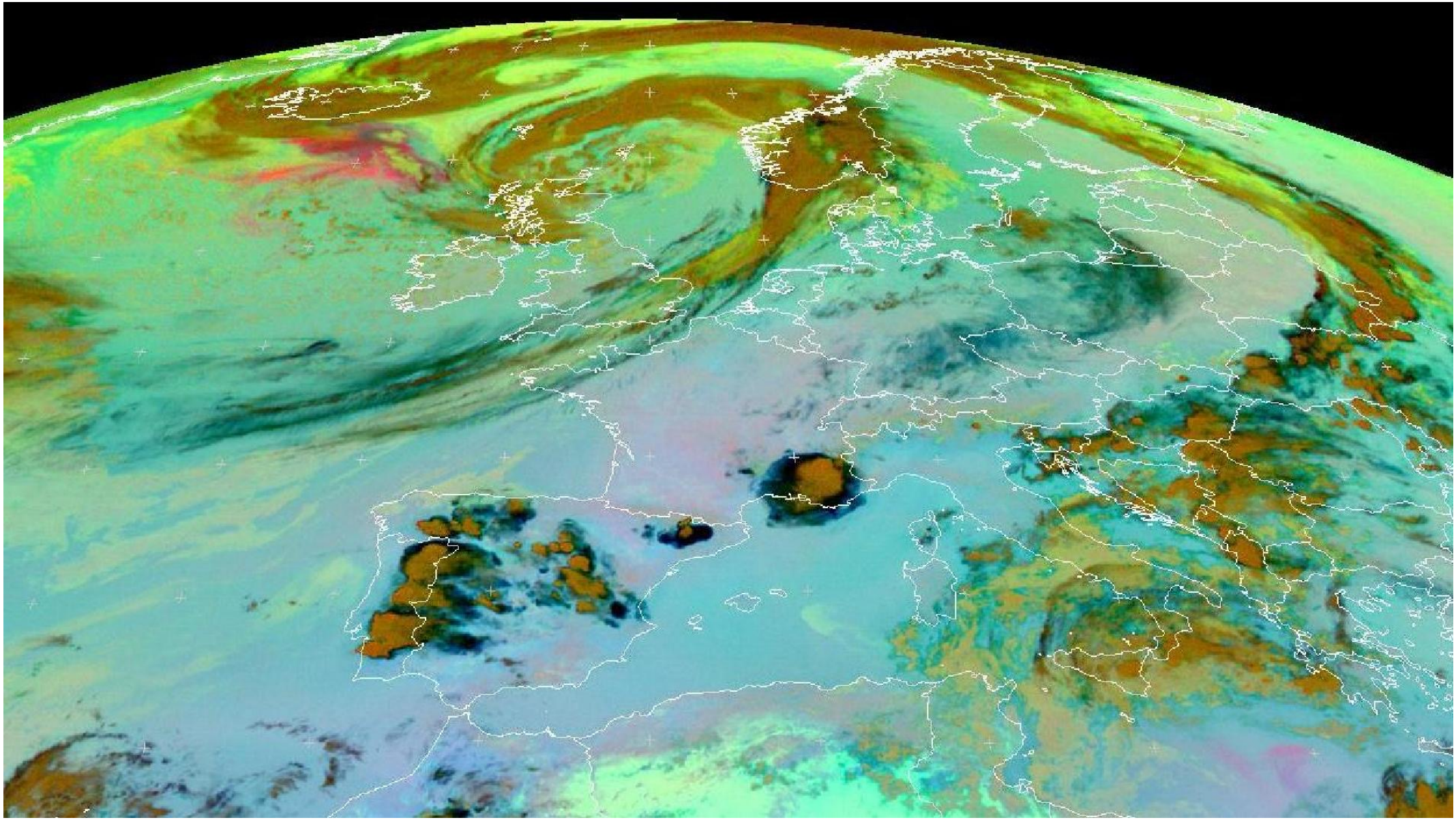


L’éruption du volcan Grimsvötn

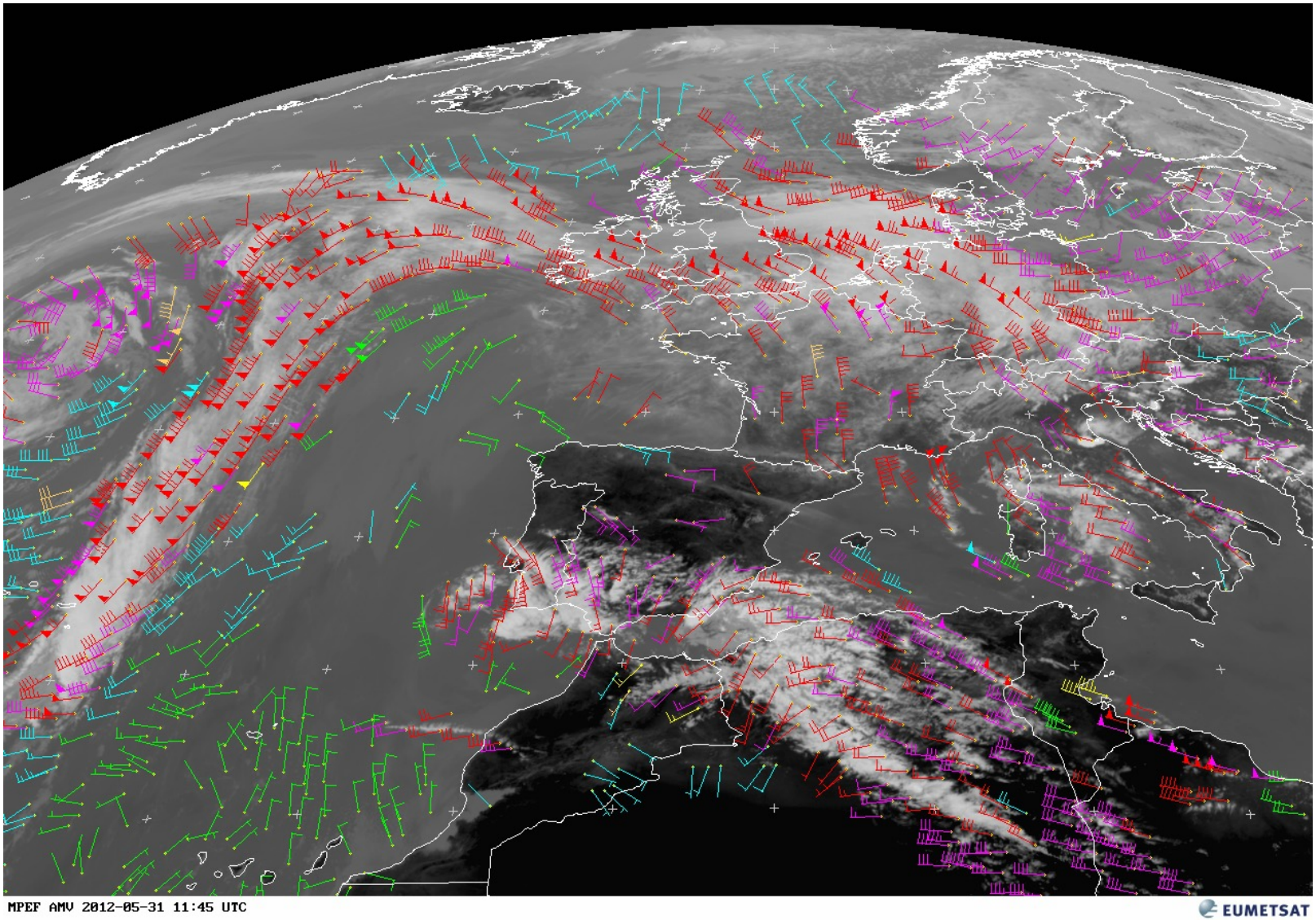


L’éruption du volcan Grimsvötn

image du 23 mai 2011 à 19 h UTC



Des données de vent
Atmospheric motion vector



- > 950 hPa
- 800 hPa – 950 hPa
- 650 hPa – 800 hPa
- 500 hPa – 650 hPa
- 350 hPa – 500 hPa
- < 350 hPa

Le *pan-sharpening*

Le pan-sharpening est une technique à l'origine utilisée pour fondre une image couleur basse résolution avec une image panchromatique haute résolution pour obtenir une image couleur haute résolution.

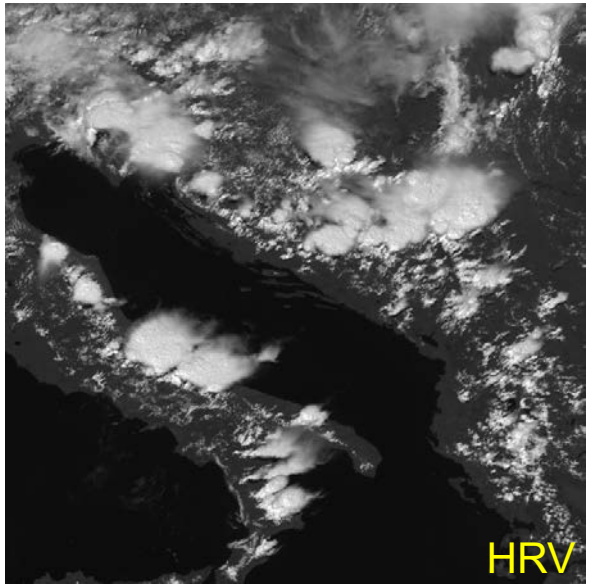
C'est une thématique classique en traitement d'images des satellites à haute résolution spatiale (Spot, Pléiades…). Leurs images à haute résolution spatiale sont issues d'un capteur à large bande spectrale correspondant à une grande partie du spectre visible.

Il existe différentes techniques (par projection-substitution, par un filtrage passe-haut ou une modulation passe-haut, par injection de structures, par approche statistique, par des méthodes hybrides…)

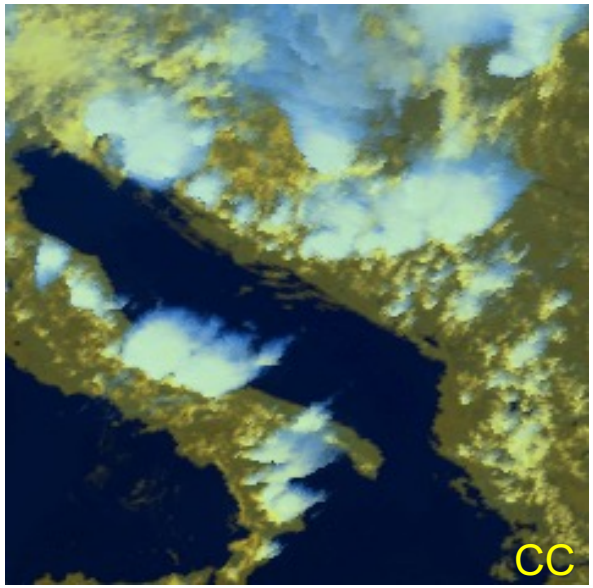
Les méthodes les plus simples sont rapides mais peuvent générer de gros défauts colorimétriques. En revanche, les plus complexes sont gourmandes en temps de calcul.

Cette technique est bien adaptée aux images des satellites géostationnaires.
Par exemple, MSG dispose du canal visible HRV à large bande et à la résolution spatiale de 1 km, alors que tous les autres canaux sont à la résolution de 3 km.

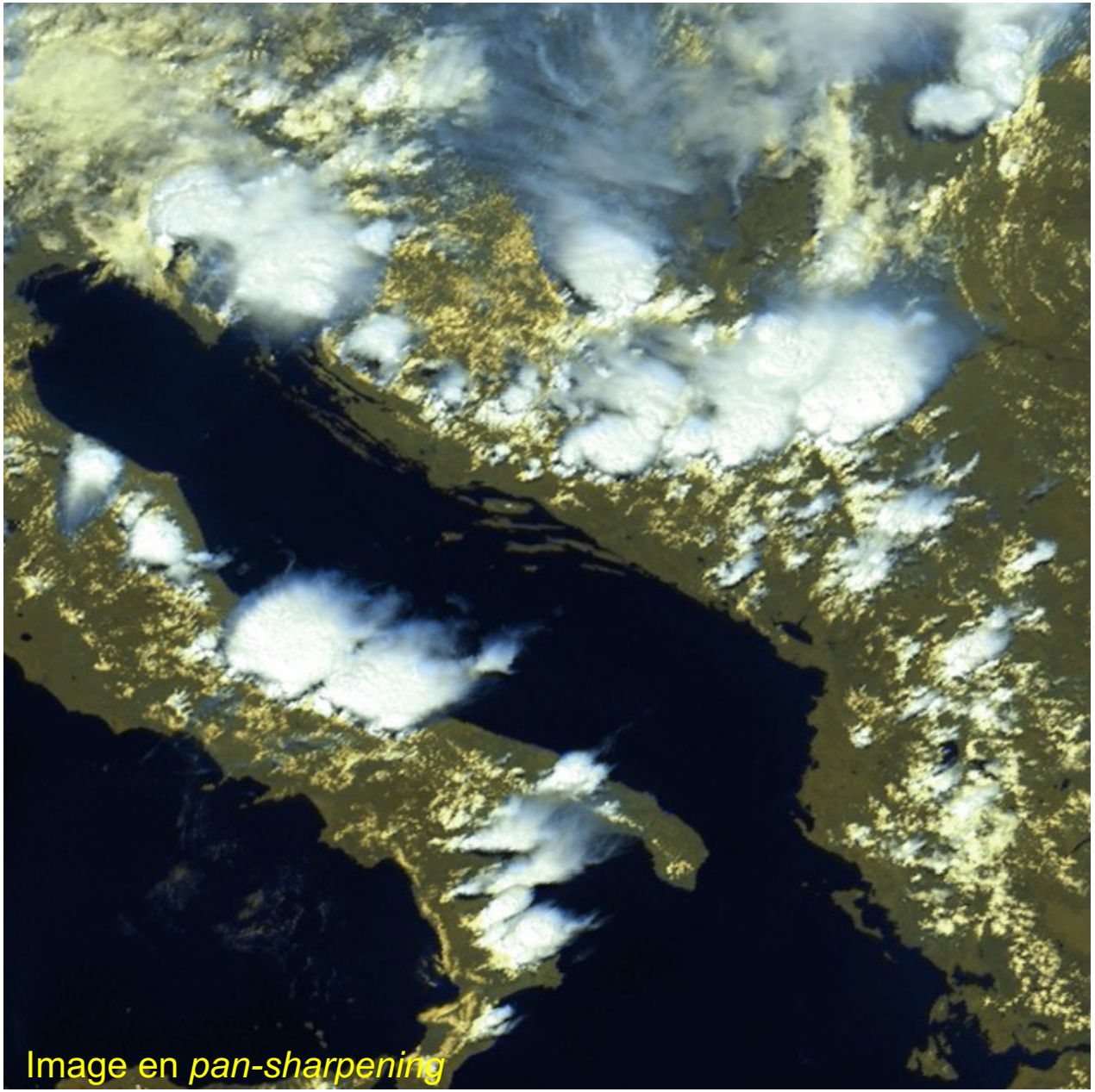
Le *pan-sharpening*



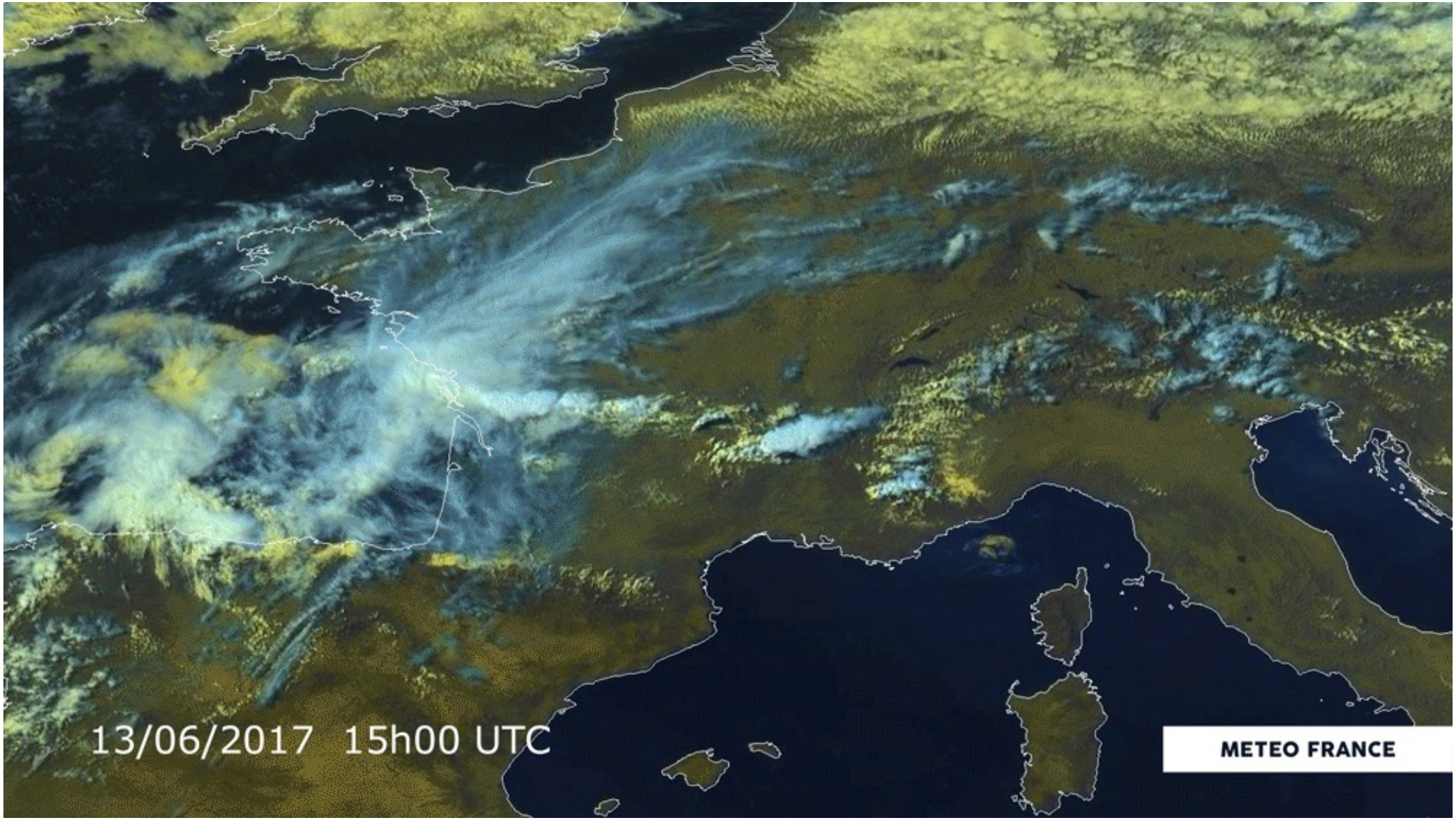
+



=



Orages violents du 13 juin 2017



Les produits sandwich

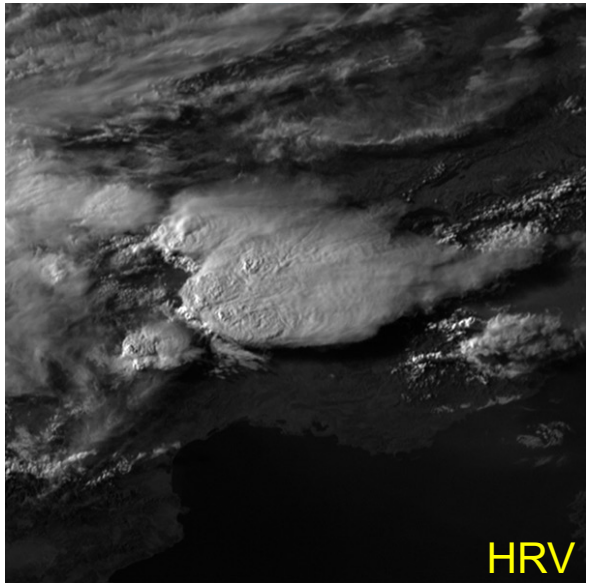
Combinaison de deux canaux par une méthode de superposition de couches et de transparence, notamment utilisé pour les nuages convectifs

- structure des nuages grâce à l'image visible ;
- température des sommets grâce à l'image infrarouge (utilisation d'une palette arc-en-ciel, du bleu pour le plus chaud au rouge pour les sommets, entre 240 K à 200 K).

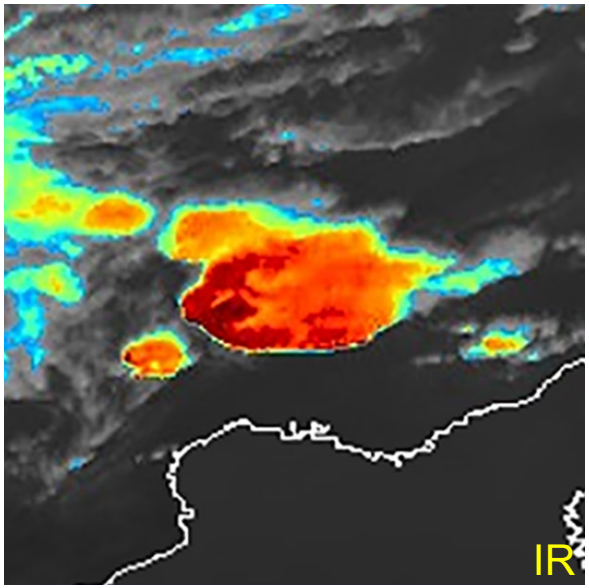
→ détection des *overshooting tops*, des formes en U/V, des formes en anneau, des points chauds (*central warm spot*, *embedded warm spot*)

La technique « sandwich » peut être étendue à d'autres produits, comme les RGB *convective storm* ou *RGB microphysics*.

Image sandwich – MSG



+



=

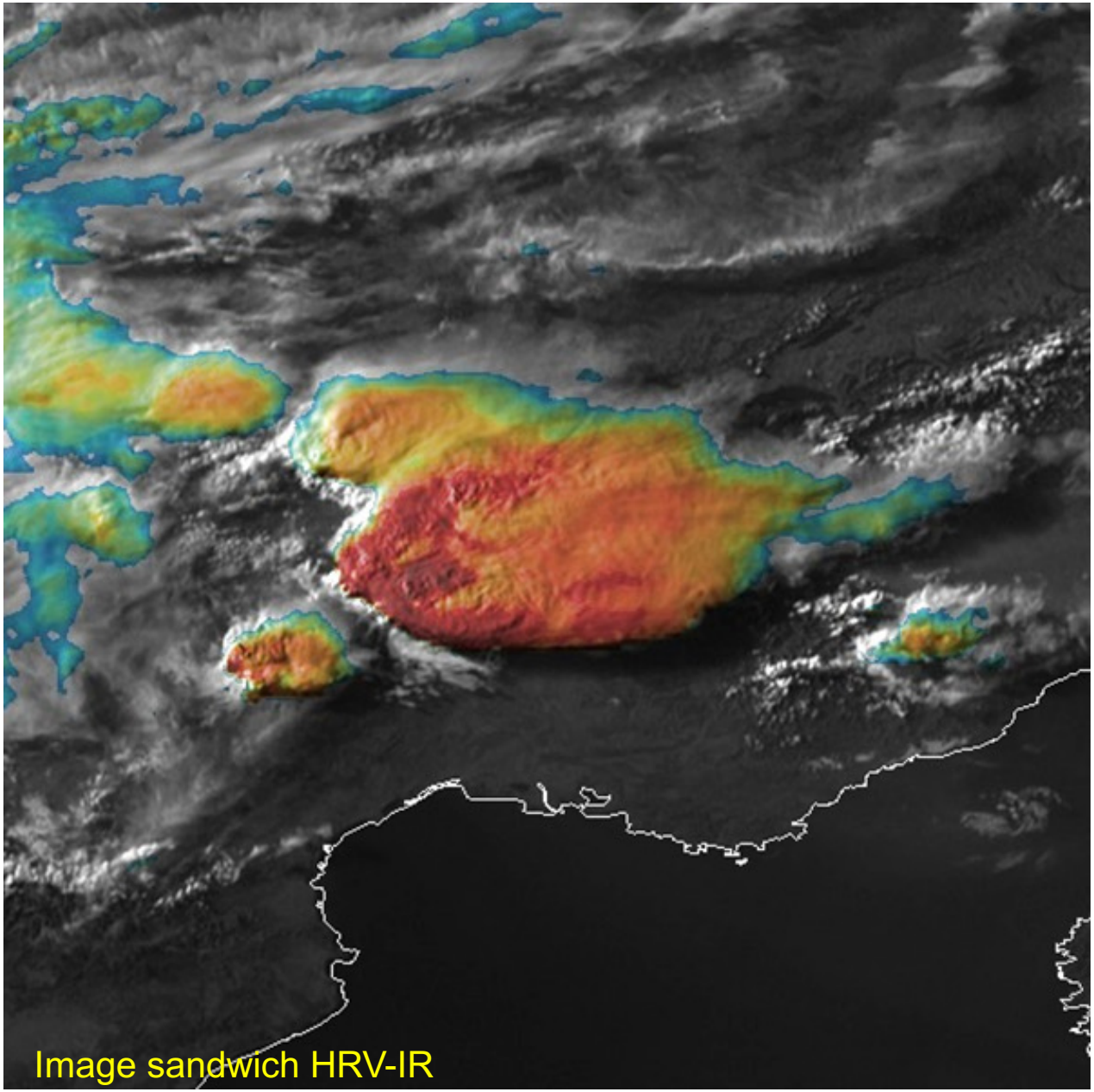
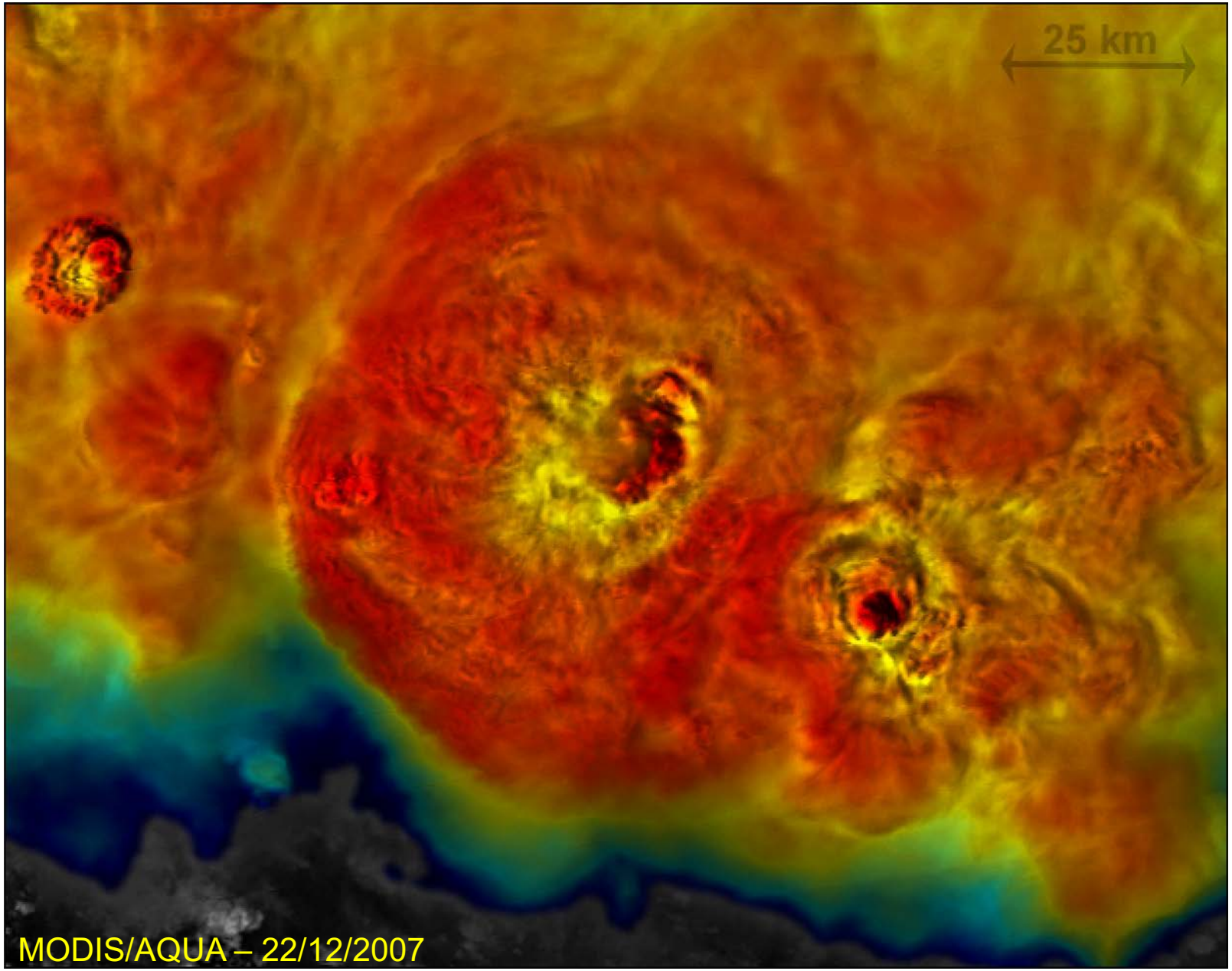


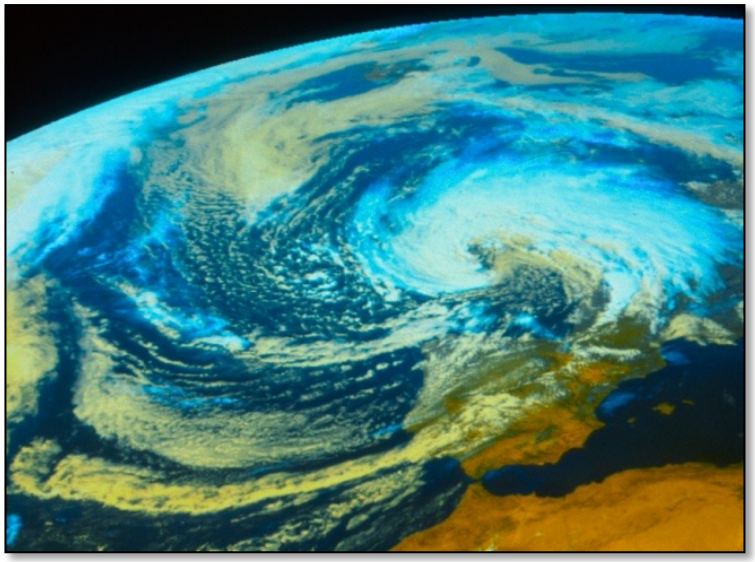
Image sandwich à haute résolution



Des images pour les médias

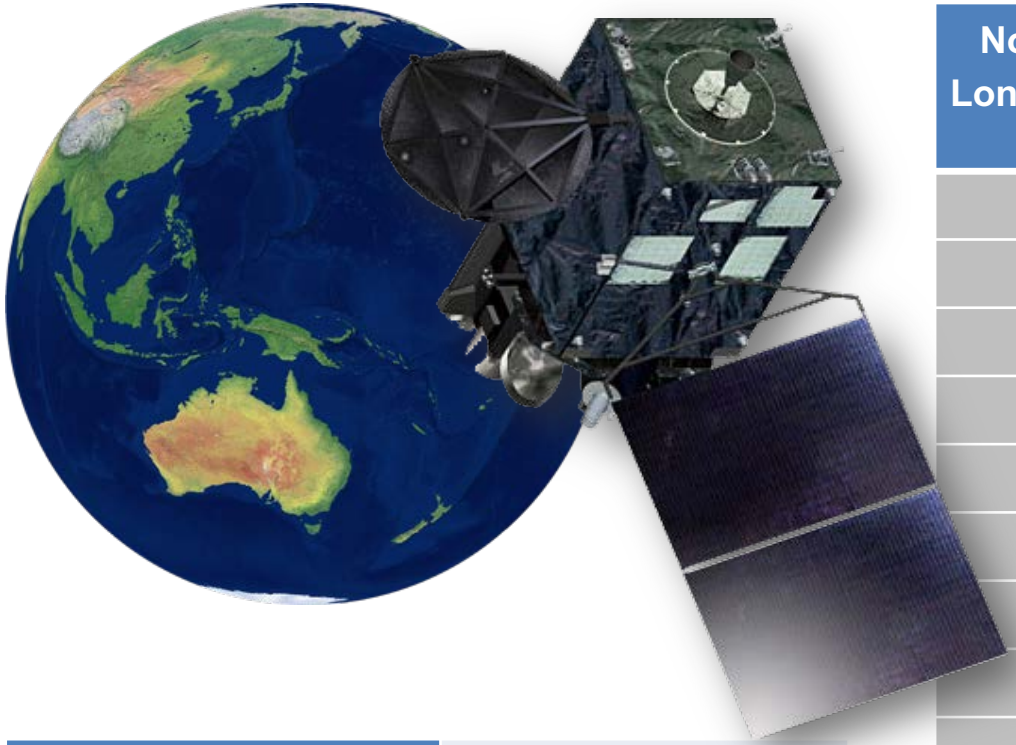
16 juin 1990 :
première diffusion sur TF1 d'une image satellite adaptée au format de la télévision, grâce au système IMSAT-64, via Numéris.

12 septembre 1993 :
première image « événementielle » transmise.



L'ex-tempête tropicale Floyd

Satellite japonais HIMAWARI



Masse en orbite	3500 kg
Stabilisation	3 axes
Durée de la mission	7 ans
Acquisition des images	10 minutes

Nom du canal Longueur d'onde (µm)	Résolution	HimawariCast		EumetCast	
VIS 0,47	1 km			x	2 km
VIS 0,51	1 km			x	2 km
VIS 0,64	500 m	x	1 km	x	2 km
VIS 0,86	1 km	x	4 km	x	2 km
NIR 1,6	2 km	x	4 km	x	2 km
NIR 2,3	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 3,9	2 km	x	2 km / 4 km	x	2 km
WV 6,2	2 km	x	4 km	x	2 km
WV 6,9	2 km	x	4 km	x	2 km
WV 7,3	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 8,6	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 9,6	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 10,4	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 11,2	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 12,4	2 km	x	4 km	x	2 km
IR 13,3	2 km	x	4 km	x	2 km

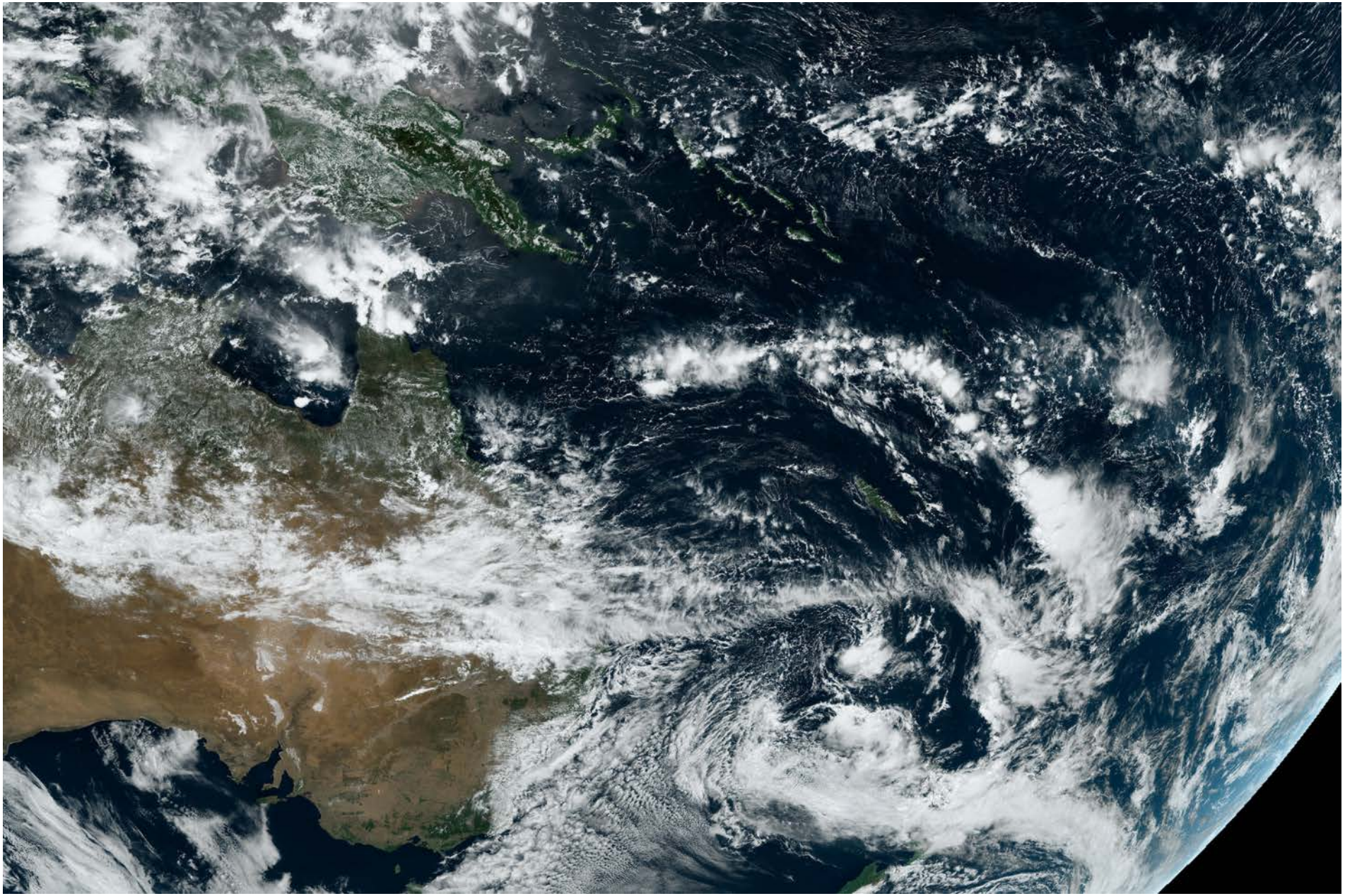
Satellite japonais HIMAWARI

Canal	Utilisation
0,46 µm	Visible bleu. Observation des aérosols. Cartographie des zones côtières.
0,51 µm	Visible vert. Observation des aérosols.
0,64 µm	Visible rouge. Détection et suivi des nuages, identification des structures. Observation des aérosols. Suivi de la végétation.
0,86 µm	Détection des cirrus de jour. Suivi de la végétation. Inondation.
1,6 µm	Détection de la neige au sol. Différenciation entre nuages d'eau liquide et nuages de glace, taille des particules.
2,3 µm	Détection de la neige au sol. Informations sur la végétation. Propriétés microphysiques des nuages.
3,9 µm	Détection des nuages bas de nuit. Détection des feux.
6,2 µm	Vapeur d'eau de haute troposphère. Suivi de la dynamique atmosphérique.
7,0 µm	Vapeur d'eau de moyenne troposphère. Suivi de la dynamique atmosphérique.
7,3 µm	Vapeur d'eau de basse-moyenne troposphère. Suivi de la dynamique atmosphérique.

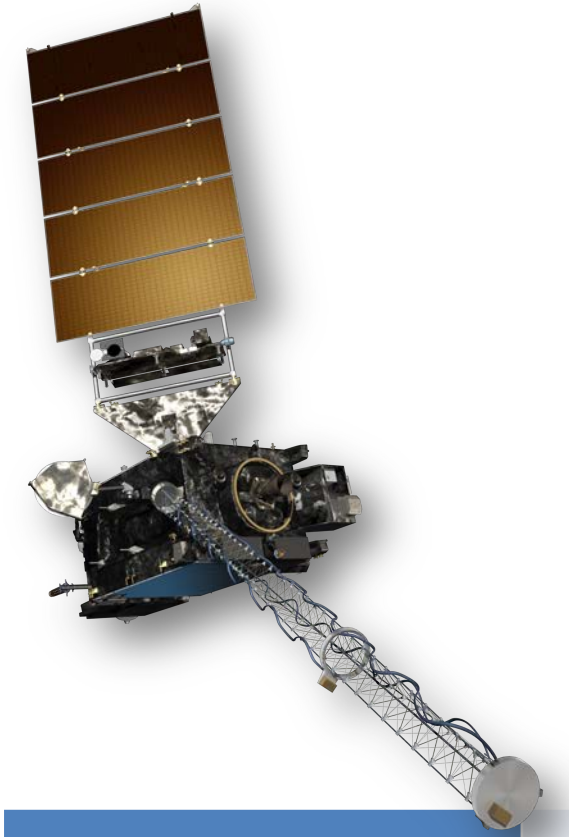
Satellite japonais HIMAWARI

Canal	Utilisation
8,6 µm	Informations quantitatives sur les cirrus fins, distinction entre les nuages de glace et d'eau liquide. Dioxyde de soufre.
9,6 µm	Champ total d'ozone pour assimilation en prévision numérique.
10,4 µm	Mesure de la température des sommets des nuages, des surfaces continentales et maritimes. Détection des cirrus. Intensité des cyclones par la méthode Dvorak.
11,2 µm	Mesure de la température des sommets des nuages, des surfaces continentales et maritimes. Détection des cirrus. Déduction des quantités d'eau précipitable au-dessus de la mer. Détection de cendres volcaniques.
12,3 µm	Mesure de la température des sommets des nuages, des surfaces continentales et maritimes. Détection des cirrus. Déduction des quantités d'eau précipitable au-dessus de la mer. Détection et concentration des cendres volcaniques.
13,3 µm	Amélioration de la détermination du facteur de transmission des cirrus, information sur la température de la basse troposphère dépourvue de nuages pour les évaluations d'instabilité.

L’imagerie en vraies couleurs d’Himawari



Satellites américains de la série GOES-R



Instruments	
Imageur (ABI - *Advanced baseline imager*)	Imageur d'éclairs (GLM - *Geostationary lightning mapper*)
Détection des particules provenant de la magnétosphère, les ions à haute énergie et les protons (SEISS - *Space environmental in-situ suite*)	Mesure du champ magnétique terrestre (MAG – *Magnetometer*)
Détection des rayons X et γ (EXIS – *Extreme ultraviolet and X-ray irradiance sensor*)	Imageur solaire dans l'UV (SUVI - *Solar ultraviolet imager*)

Masse en orbite	5192 kg
Stabilisation	3 axes (6,1 m x 5,6 m x 3,9 m)
Durée de la mission	5 ans de stockage et 10 ans d'opérations
Acquisition des images	10 à 15 minutes (plein disque) + 5 min (CONUS) + rapid scan (30 s)

Satellites américains de la série GOES-R

https://www.goes-r.gov/multimedia/print.html#Fact%20Sheets

GOES-R SERIES FACT SHEETS

GOES-R SERIES OVERVIEW

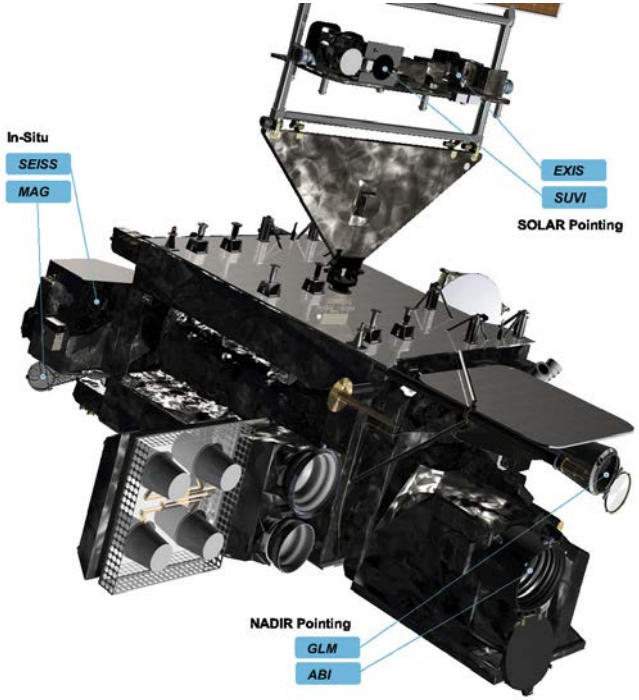
Overview

FACT SHEETS

Click link for details

- Mission
- Ground System
- Instruments
- Science Applications
  - Aerosols
  - Cloud and moisture imagery
  - Fire detection and characterization
  - Hurricane monitoring
  - Lightning detection
  - Snow and ice applications
  - Volcanic ash detection
- Proving Ground
- Communications Services

Satellites américains de la série GOES-R



Caractéristiques de l'imageur d'éclairs GLM
Détection des éclairs intra-nuages, inter-nuages et nuages-sol
Résolution de 8 km au nadir, 14 km sur les bords
Couverture jusqu'à 52°N
Une seule bande : 0,7774 µm

Nom du canal Longueur d'onde (µm)	Résolution
VIS 0,47	1 km
VIS 0,64	500 m
NIR 0,86	1 km
NIR 1,37	2 km
NIR 1,6	1 km
NIR 2,2	2 km
IR 3,9	2 km
WV 6,2	2 km
WV 6,9	2 km
WV 7,3	2 km
IR 8,4	2 km
IR 9,6	2 km
IR 10,3	2 km
IR 11,2	2 km
IR 12,3	2 km
IR 13,3	2 km

Satellites américains de la série GOES-R

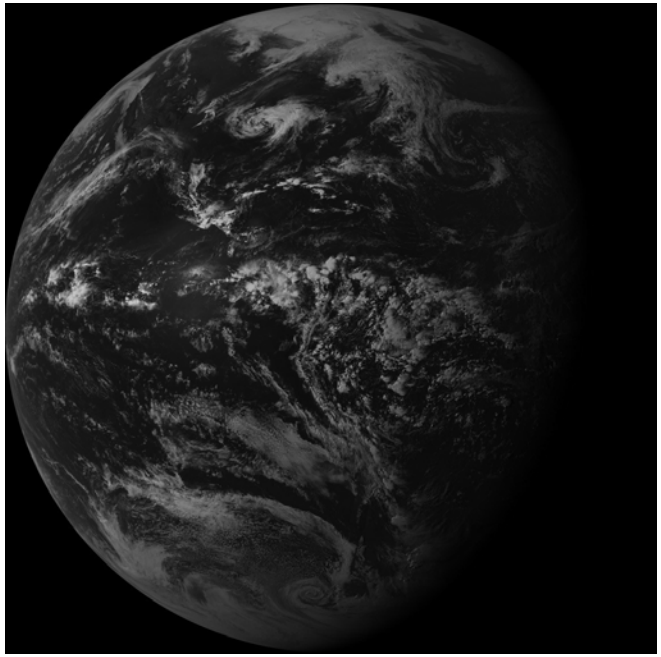
Canal	Utilisation
0,47 µm	Observation des aérosols au-dessus des surfaces continentales. Cartographie des zones côtières.
0,64 µm	Nuages bas et risques de brouillard. Insolation et vents.
0,86 µm	Détection et suivi des nuages, identification des structures. Observation des aérosols au-dessus des surfaces maritimes. Suivi de la végétation et des terres brûlées. Vents.
1,37 µm	Détection des cirrus de jour.
1,6 µm	Détection de la neige au sol. Différenciation entre nuages d'eau liquide et nuages de glace, taille des particules.
2,2 µm	Détection de la neige au sol. Informations sur la végétation. Propriétés microphysiques des nuages.
3,9 µm	Détection des nuages bas de nuit. Détection des feux. Vents.
6,2 µm	Vapeur d'eau de haute troposphère. Suivi de la dynamique atmosphérique. Précipitations. Vents.
6,9 µm	Vapeur d'eau de moyenne troposphère. Suivi de la dynamique atmosphérique. Précipitations. Vents.
7,3 µm	Vapeur d'eau de basse-moyenne troposphère. Suivi de la dynamique atmosphérique. Vents. Dioxyde de soufre.

Satellites américains de la série GOES-R

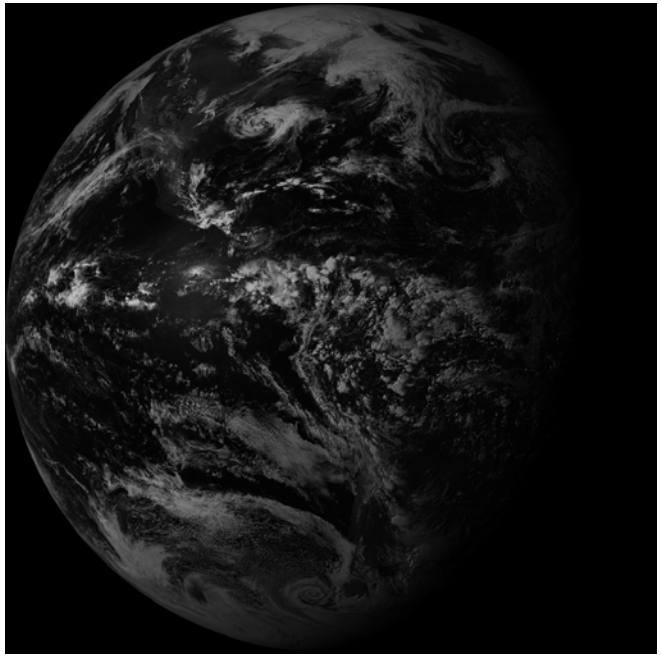
Canal	Utilisation
8,4 µm	Informations quantitatives sur les cirrus fins, distinction entre les nuages de glace et d'eau liquide. Dioxyde de soufre. Aérosols. Précipitations.
9,6 µm	Champ total d'ozone pour assimilation en prévision numérique. Turbulence et vents.
10,3 µm	Mesure de la température des sommets des nuages, des surfaces continentales et maritimes. Détection des cirrus. Intensité des cyclones par la méthode Dvorak.
11,2 µm	Mesure de la température des sommets des nuages, des surfaces continentales et maritimes. Détection des cirrus. Déduction des quantités d'eau précipitable au-dessus de la mer. Détection de cendres volcaniques.
12,3 µm	Mesure de la température des sommets des nuages, des surfaces continentales et maritimes. Détection des cirrus. Déduction des quantités d'eau précipitable au-dessus de la mer. Détection et concentration des cendres volcaniques.
13,3 µm	Amélioration de la détermination du facteur de transmission des cirrus, information sur la température de la basse troposphère dépourvue de nuages pour les évaluations d'instabilité.

GOES-R : imagerie en vraies couleurs

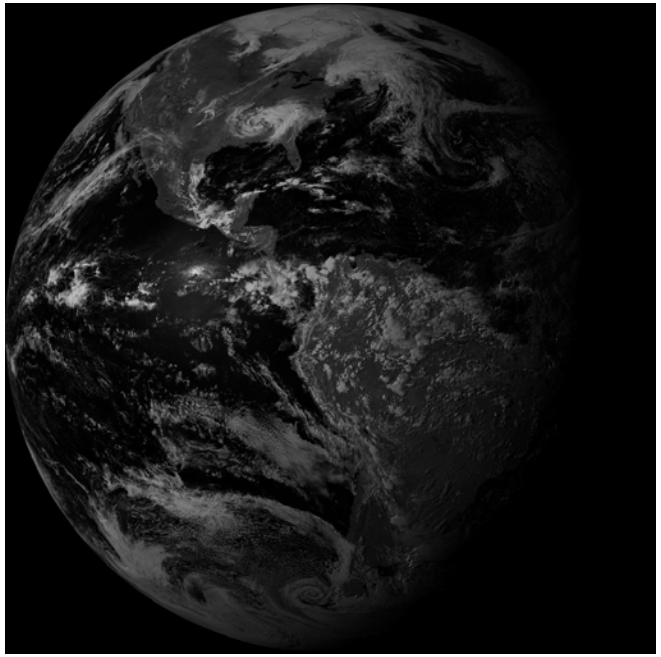
Le rendu de l'imagerie en vraies couleurs est proche de ce que verrait l'œil d'un humain depuis l'espace. C'est possible par la combinaison des canaux du spectre visible rouge, vert et bleu de l'imageur.
S'il dispose bien de canaux rouge (0,64 µm) et bleu (0,47 µm), l'imageur ABI des nouveaux satellites GOES n'est pas doté de canal vert. On le crée...



0,47 µm



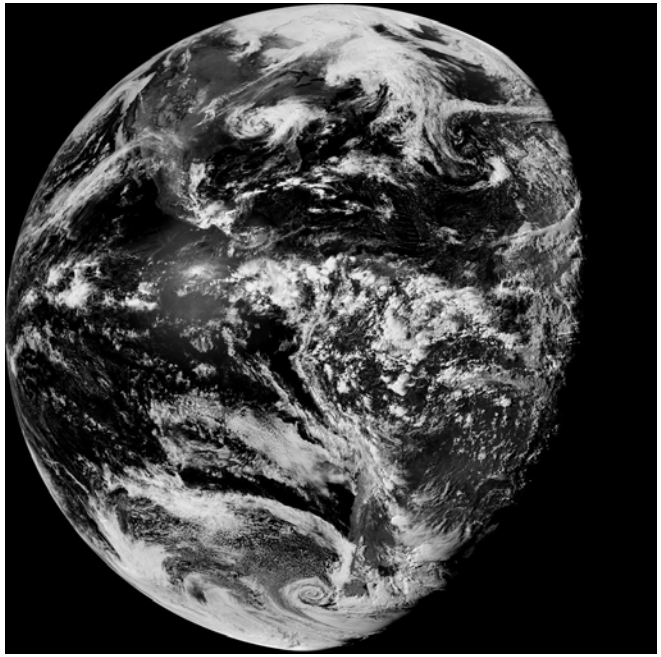
0,64 µm



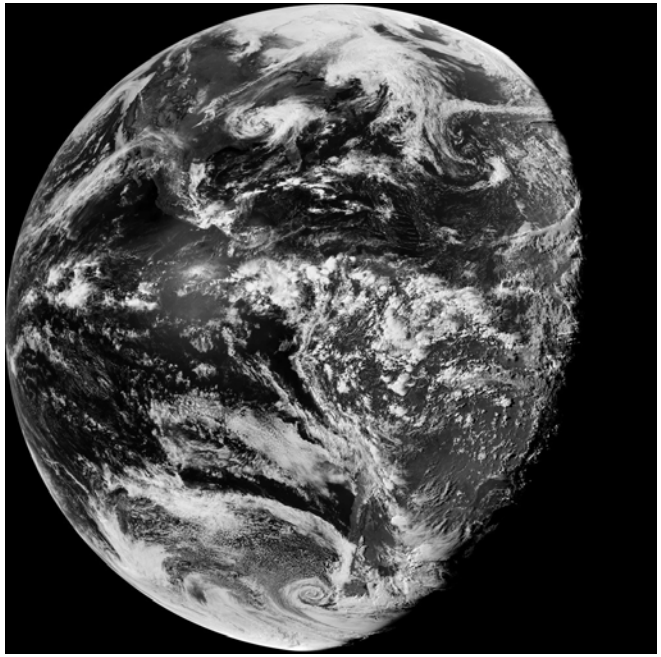
0,86 µm

GOES-R : imagerie en vraies couleurs

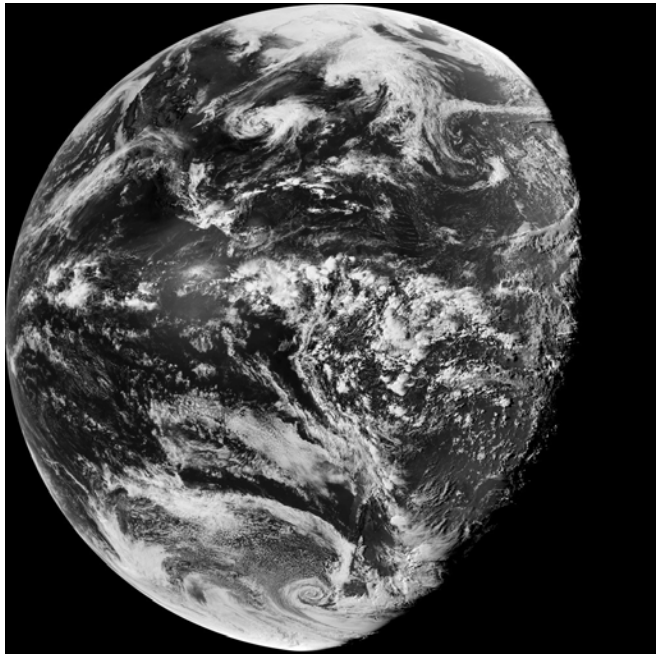
0,64 µm + corrections (angle solaire, Rayleigh,…)
→ composante rouge



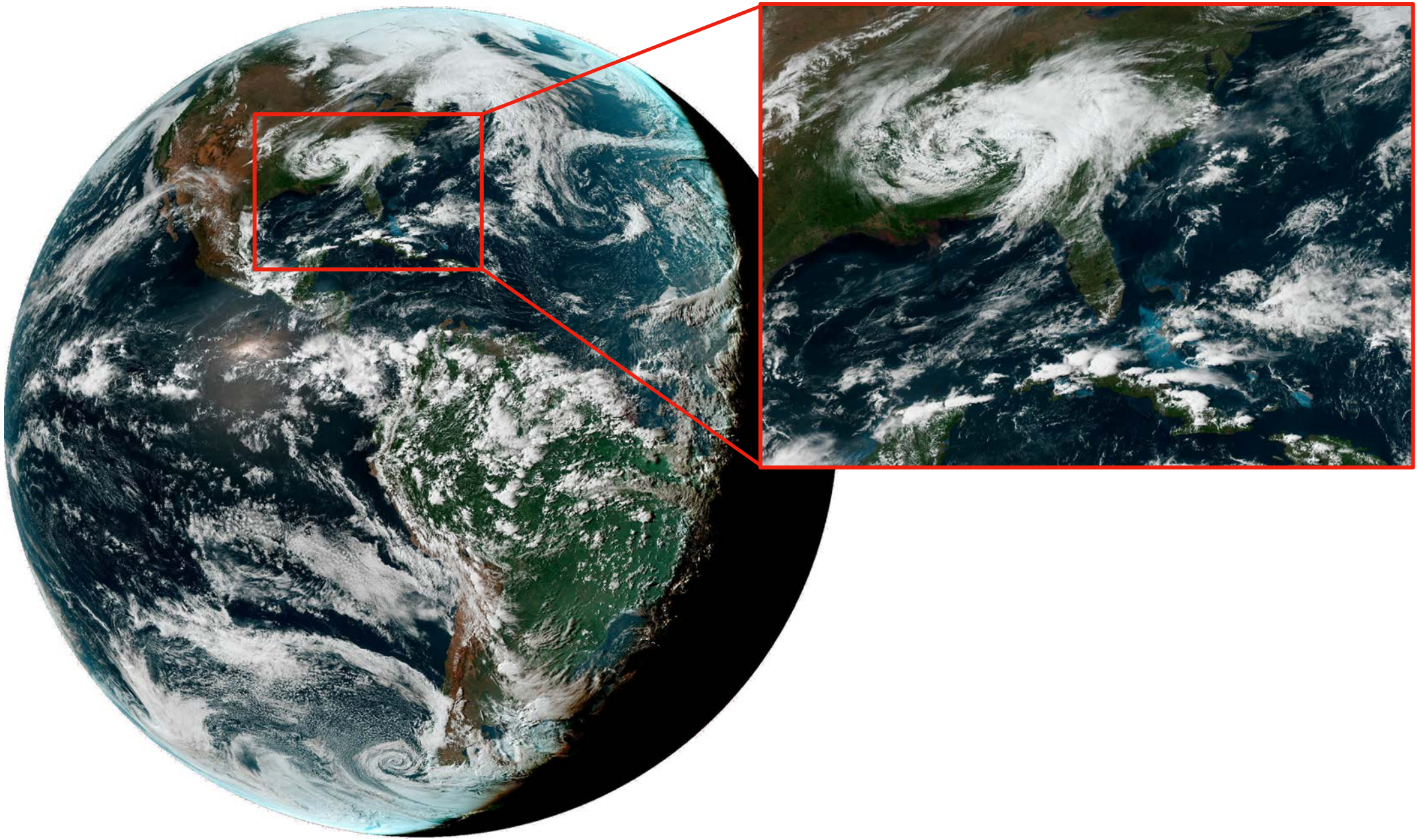
0,1 x (0,86 µm + correction d'angle solaire)
+ 0,6 x composante bleue
+ 0,3 x composante rouge
→ composante verte



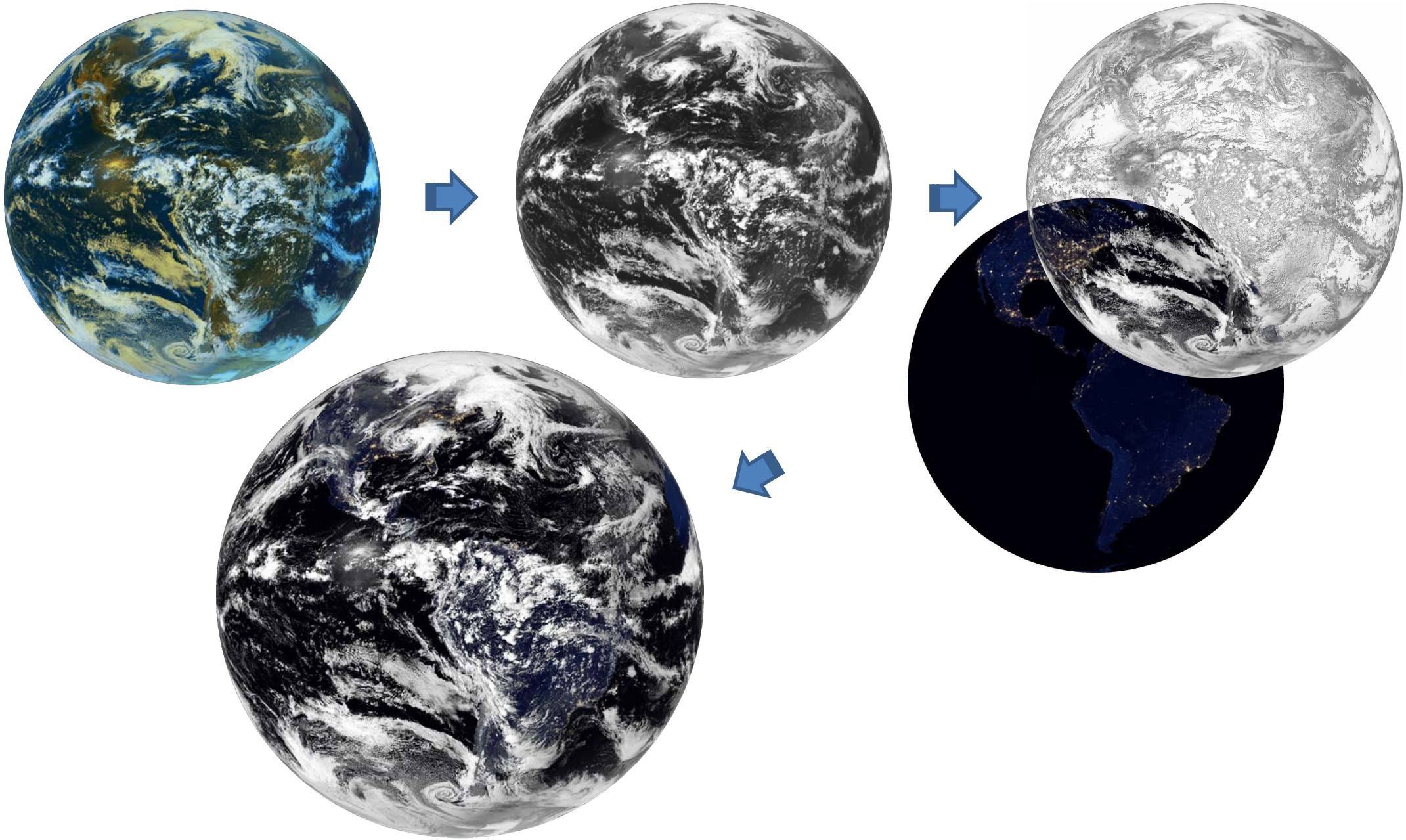
0,47 µm + corrections (angle solaire, Rayleigh,…)
→ composante bleue



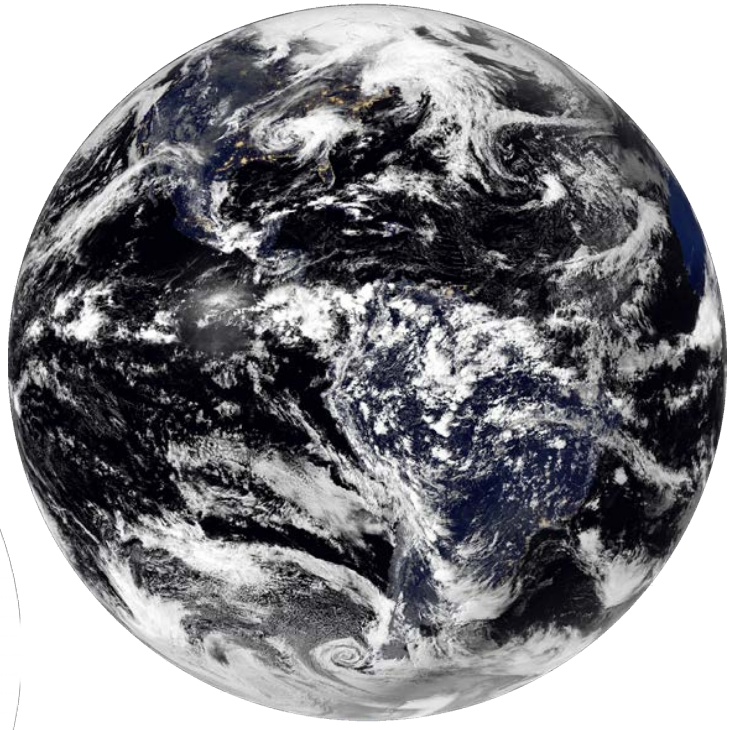
GOES-R : imagerie en vraies couleurs



GOES-R : imagerie en géocouleurs



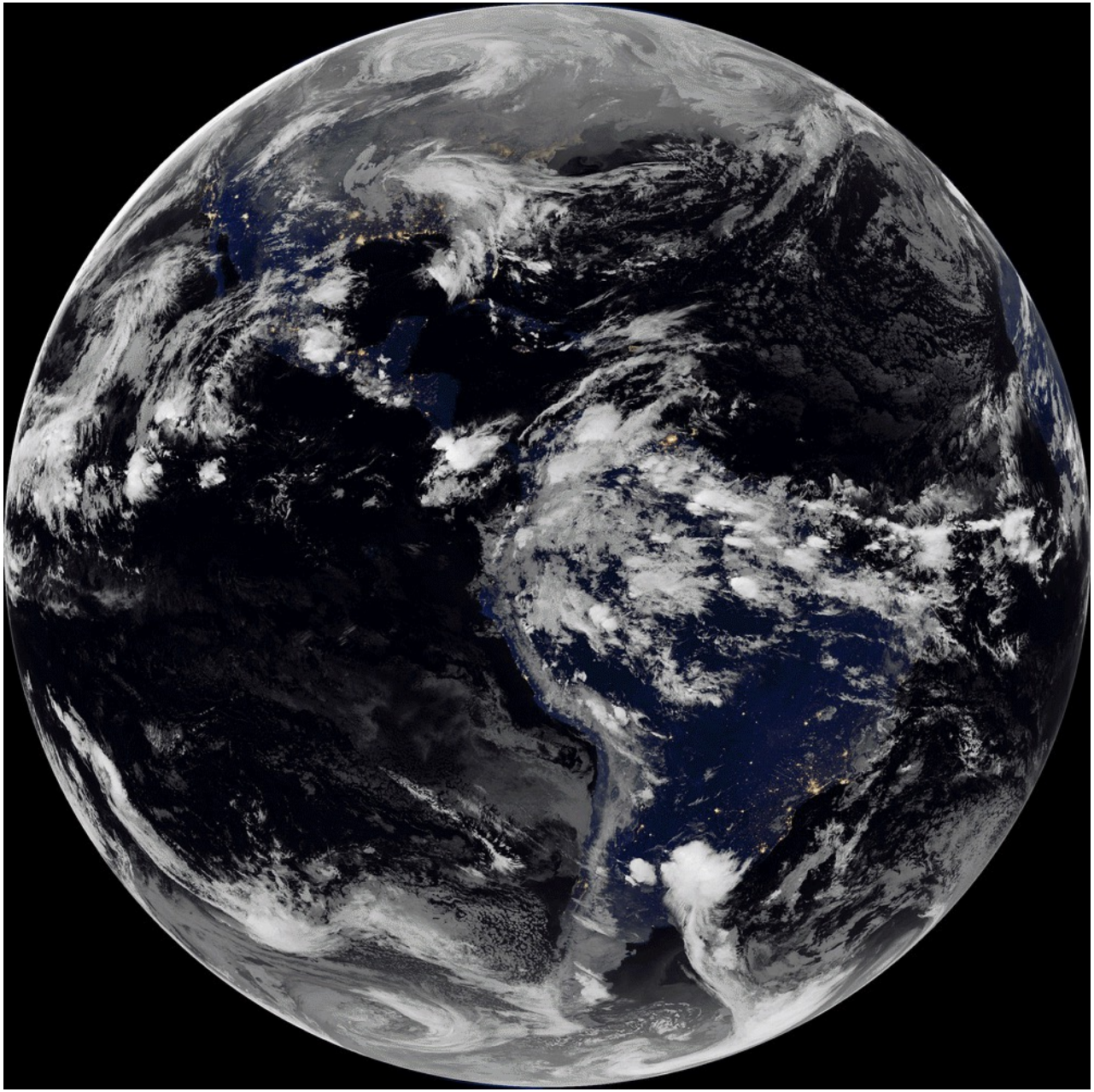
GOES-R : imagerie en géocouleurs



Utilisation d’un masque :

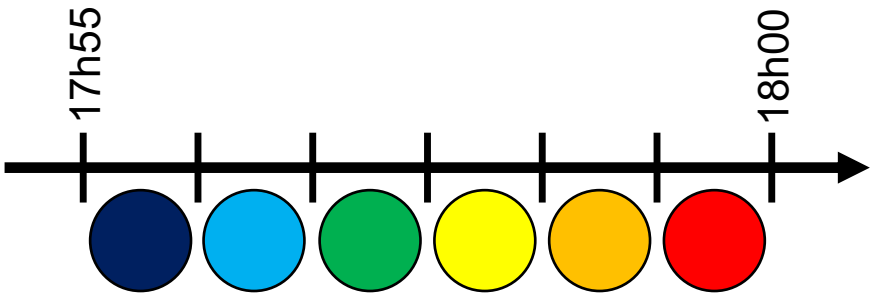
- jour si l’angle zénithal solaire est inférieur à 65°
- nuit si l’angle zénithal solaire est supérieur à 75°
- transition douce entre les deux

GOES-R : imagerie en géocouleurs

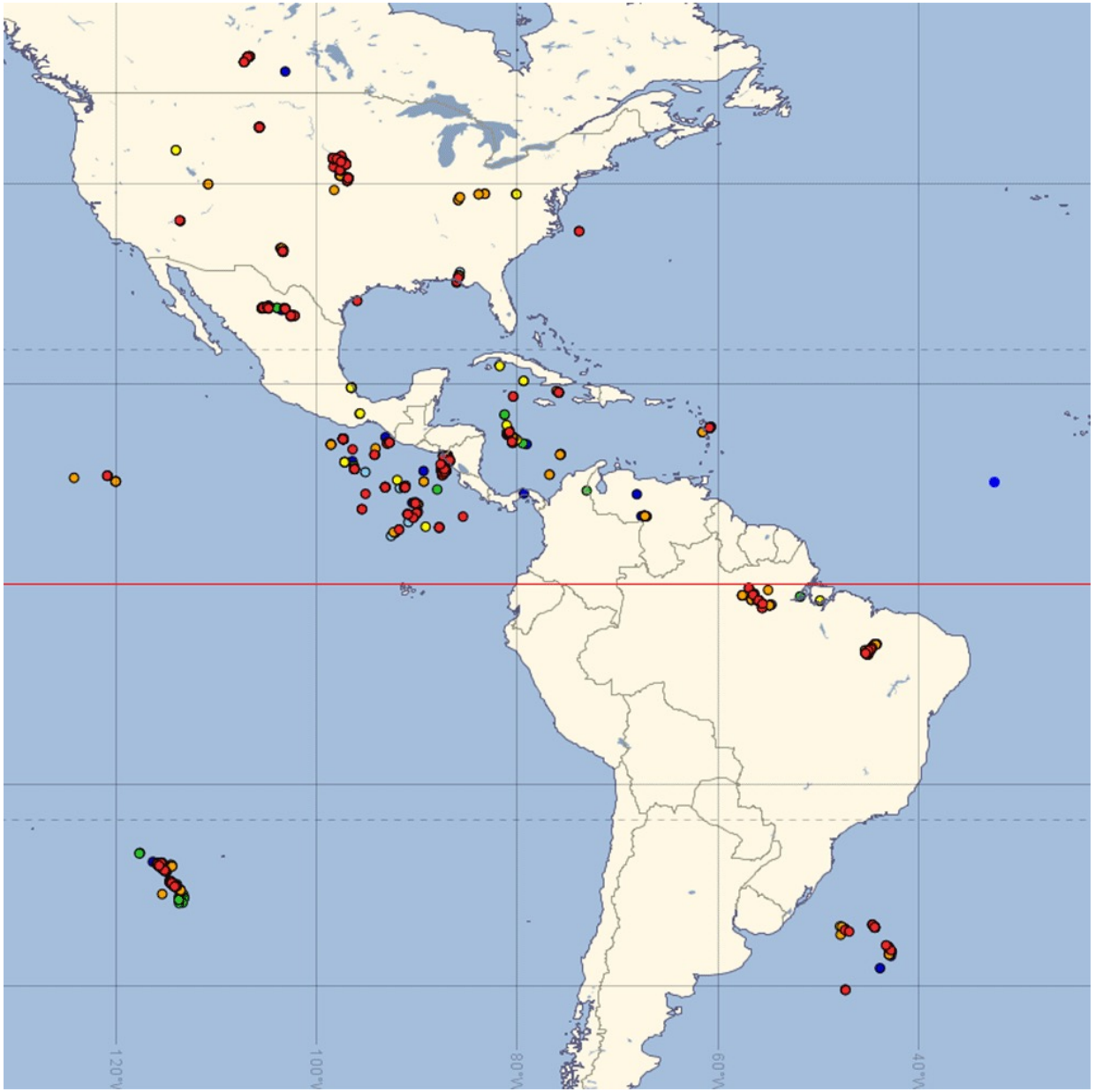


Satellites américains de la série GOES-R

La couleur des éclairs dépend de leur datation sur la période de 5 minutes :

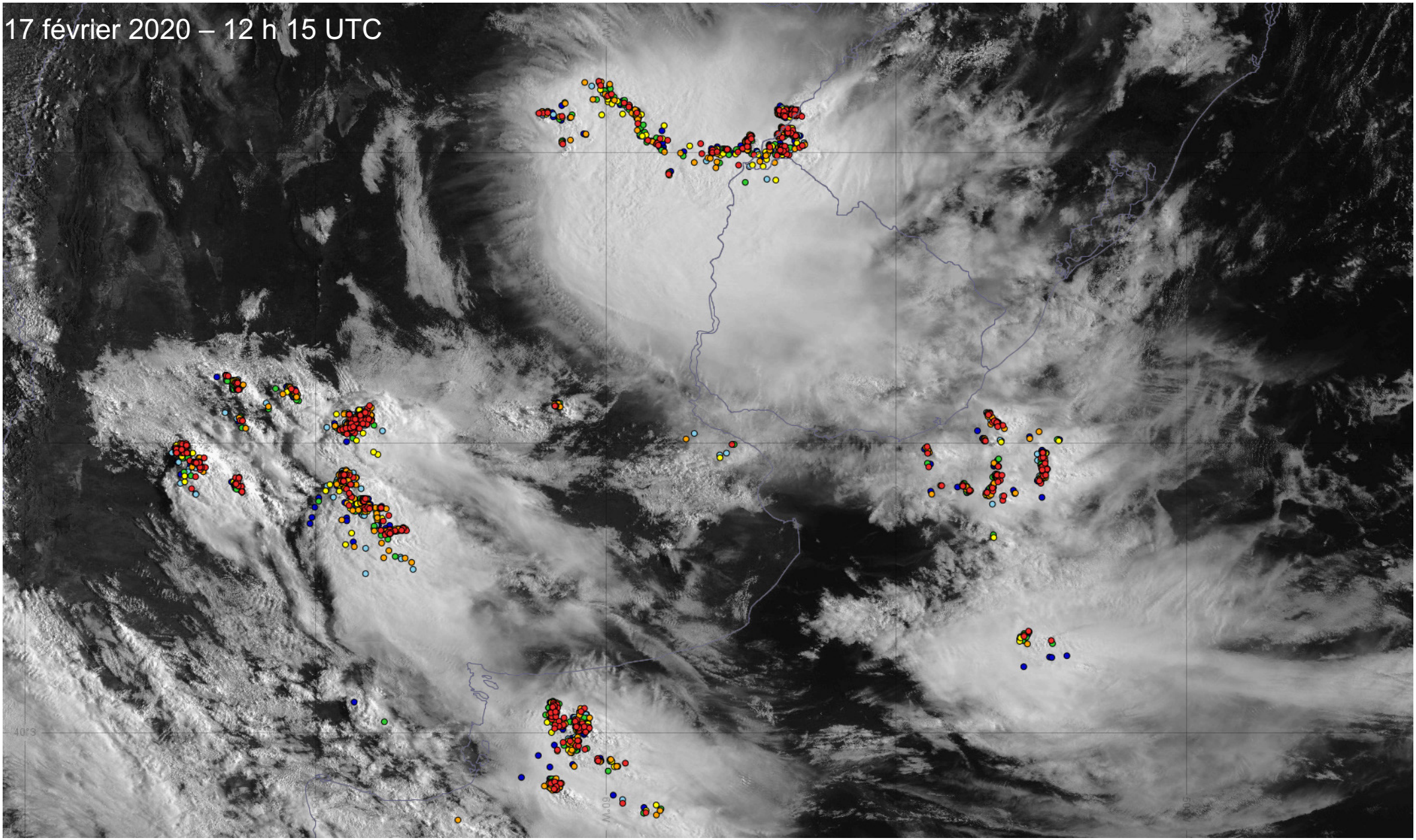


Satellites américains de la série GOES-R



23 mai 2018

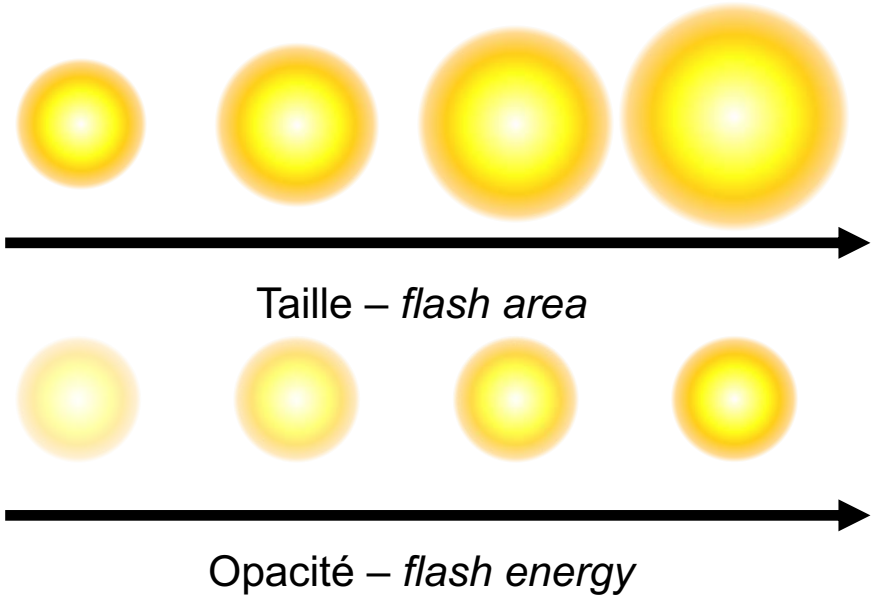
Satellites américains de la série GOES-R



Satellites américains de la série GOES-R

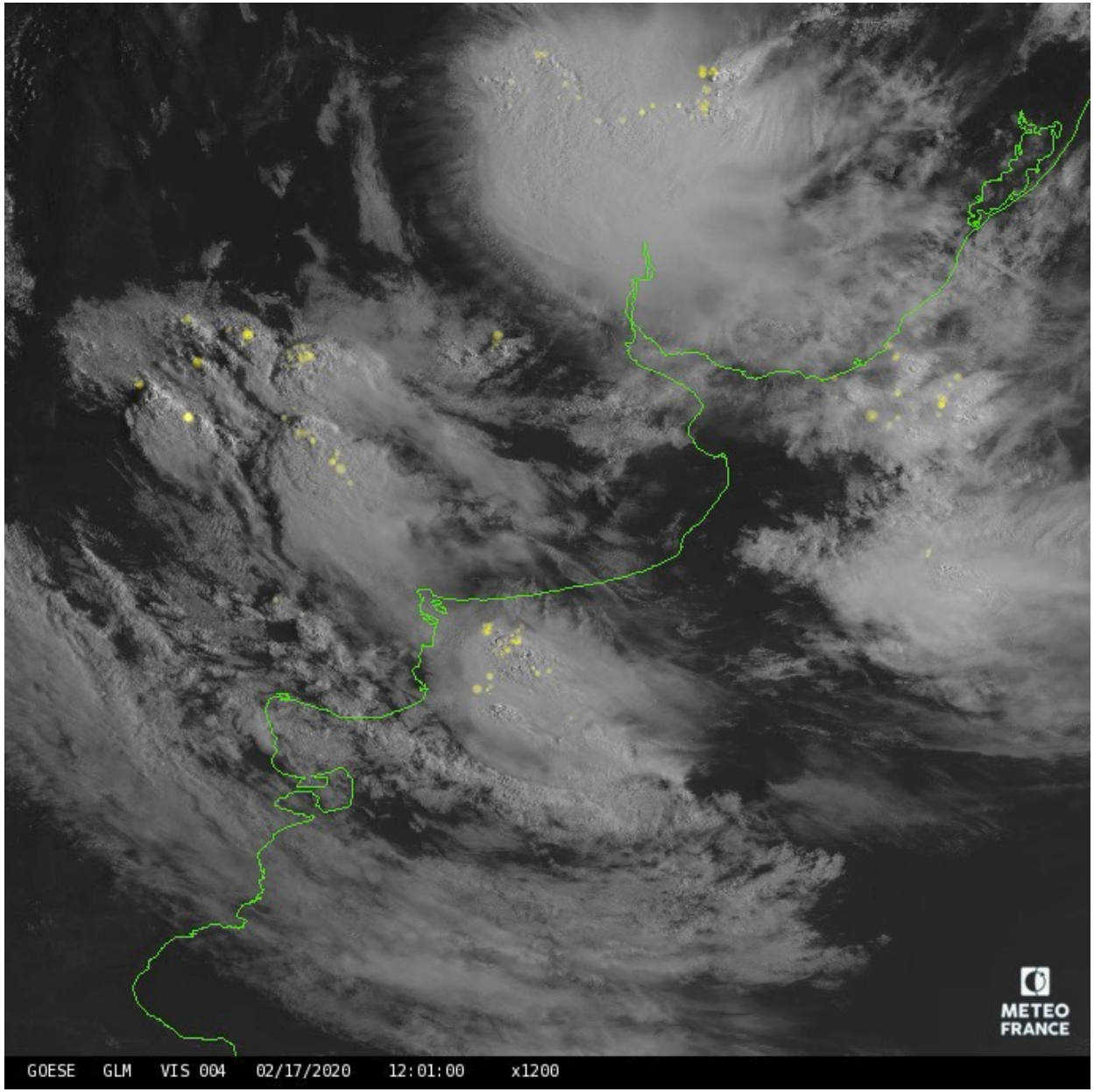
But : proposer aux médias des images satellitaires (éclairs + nuages) aussi proches que possible de la vision qu'on s'en fait depuis l'espace…

Chaque éclair est représenté par un motif circulaire (dont on peut choisir la couleur) dont la taille et l'opacité dépendent respectivement des champs *flash area* et *flash energy*.



Satellites américains de la série GOES-R

Le choix de la couleur des éclairs doit s'adapter aux images satellitaires (imagerie noir et blanc, images en varies couleurs…).

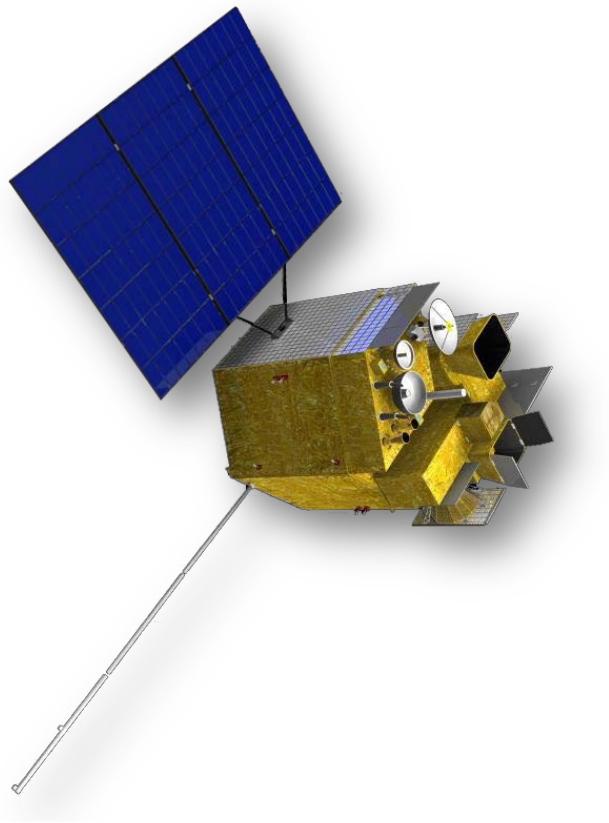


Satellites chinois FY-2

Masse en orbite	600 kg
Stabilisation	Par rotation (100 tours par minute)
Durée de la mission	3 ans
Acquisition des images	30 minutes

Nom du canal	Bande spectrale (µm)	Résolution
VIS	0,55 – 0,99	1,25 km
IR 3	3,50 – 4,00	5 km
WV	6,30 – 7,60	5 km
IR 1	10,30 – 11,30	5 km
IR 2	11,50 – 12,50	5 km

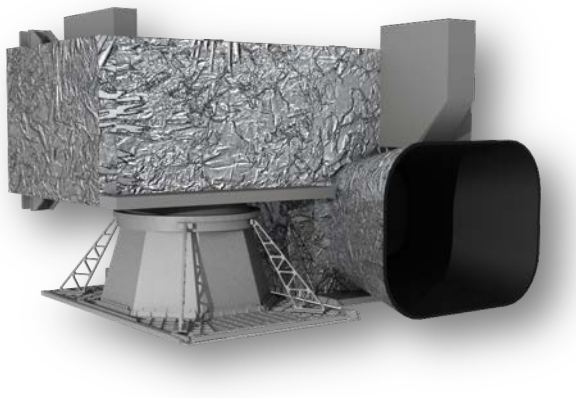
Satellites chinois FY-4



Intruments	
Imageur (AGRI - Advanced Geostationary Radiation Imager)	Imageur d'éclairs (LMI – Lightning Mapping Imager)
Sondeur IR (GIIRS - Geostationary Interferometric Infrared Sounder)	Mesure du champ magnétique terrestre (SEMIP/SEM & fields – Space Environment Monitoring Instrument Package)

Masse au décollage	5300 kg
Stabilisation	3 axes
Durée de la mission	5 ans
Acquisition des images	15 minutes + 1 min (secteur de 1000 km x 1000 km)

Satellites chinois FY-4



GIIRS
Sondage en T° et humidité et profils de vent (suivi de formes dans les canaux vapeur d'eau)
913 canaux sur le 1er instrument, 1188 sur les suivants
Résolution de 16 km au nadir pour le 1er instrument, 8 km pour les suivants
Couverture n°1 : Chine (5000 km x 5000 km) toutes les 67 minutes Couverture n°2 : méso-échelle (1000 km x 1000 km) toutes les 35 minutes

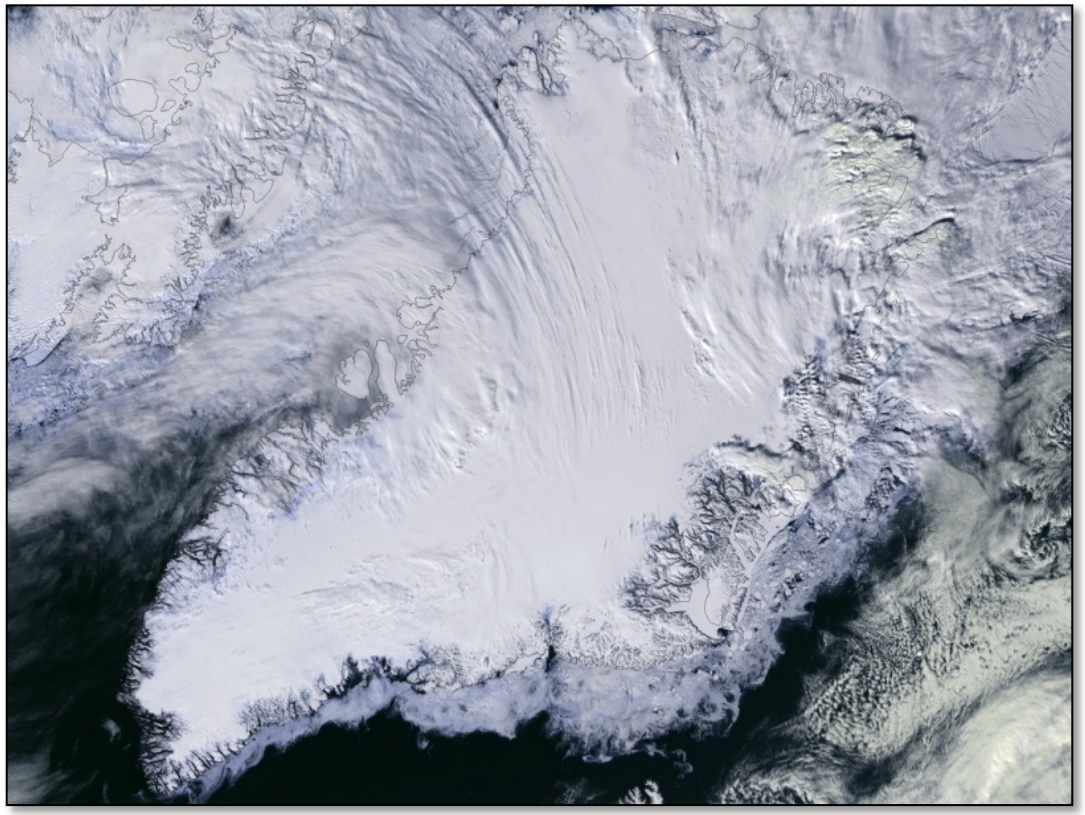
Nom du canal Longueur d'onde (µm)	Résolution
VIS 0,47	1 km
VIS 0,65	500 m – 1 km
NIR 0,825	1 km
NIR 1,375	2 km
NIR 1,61	2 km
NIR 2,25	2 km – 4 km
IR 3,75	2 km
IR 3,75	4 km
WV 6,25	4 km
WV 7,1	4 km
IR 8,5	4 km
IR 10,7	4 km
IR 12,0	4 km
IR 13,5	4 km

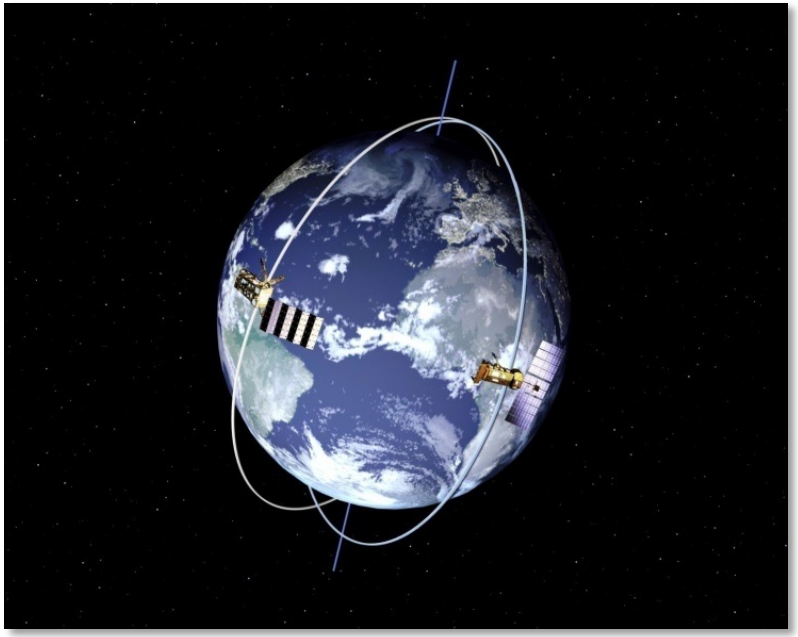
Caractéristiques de l'imageur d'éclairs LMI
Détection des éclairs intra-nuages, inter-nuages et nuages-sol
Résolution de 6 km au nadir
Couverture du territoire chinois
Une seule bande : 0,7774 µm

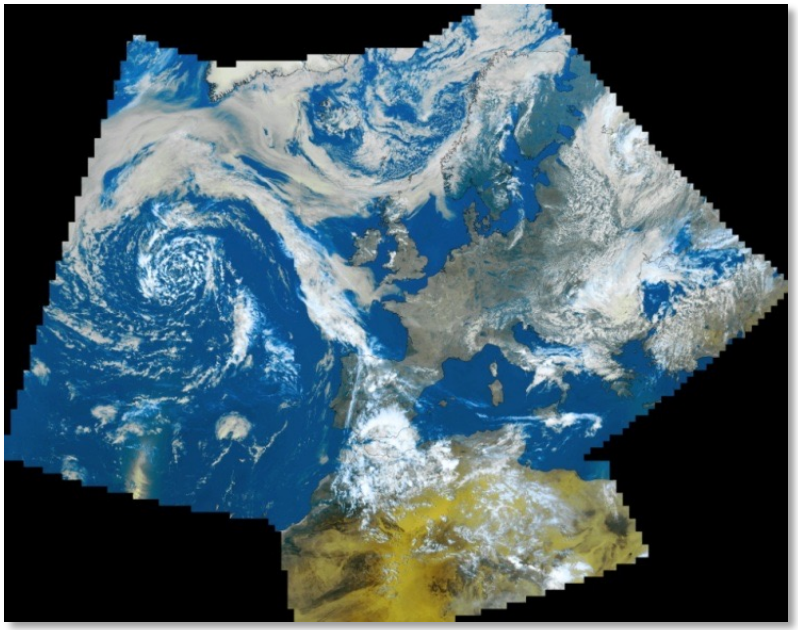
Les satellites défilants

Satellites défilants :

- altitude : 850 km – résolution d'environ 1 km
- héliosynchrones
- Durée de révolution : 102 minutes
- Largeur de fauchée : 2900 km
- survolent une même zone 2 fois par jour
- voient les zones polaires
- embarquent de nombreux instruments de mesure







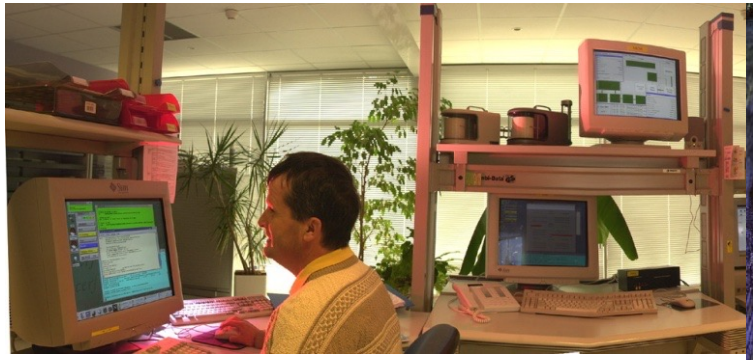
Le satellite Metop

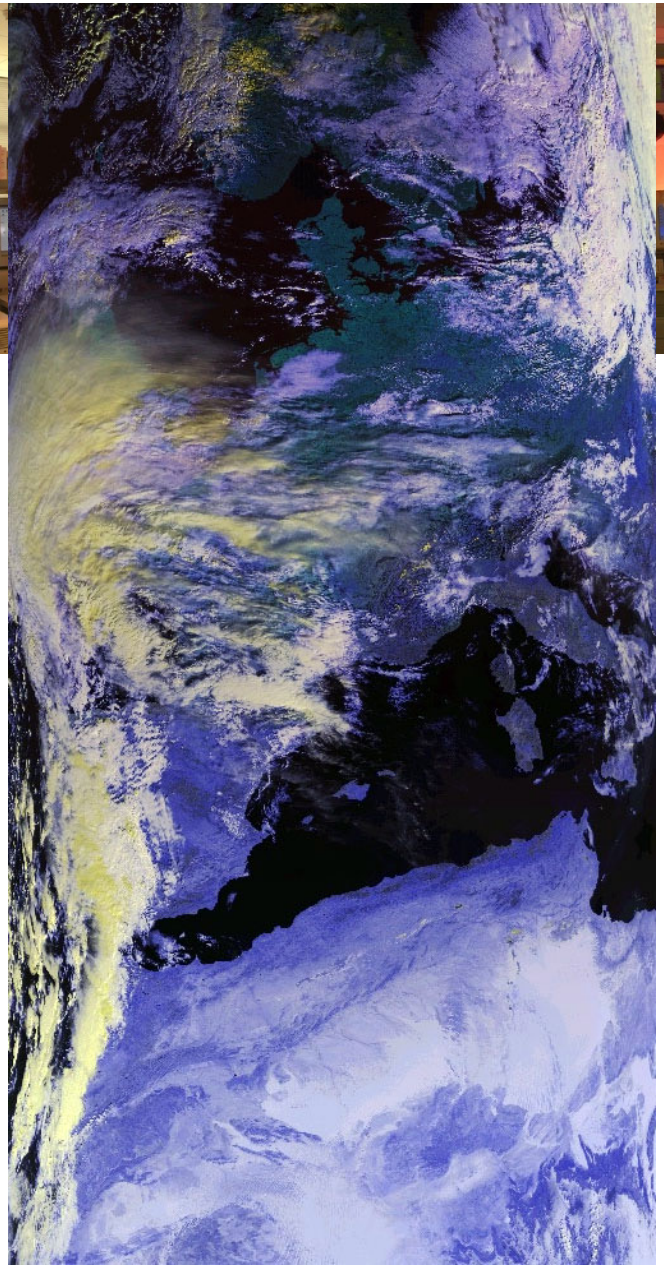
Après de nombreuses tentatives en juillet puis octobre 2006, le satellite MetOp-A a pris son envol le 19 octobre à 16h28 UTC à partir du cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan.

MetOp-B a été placé en orbite le 17 septembre 2012.

Metop-C le 7 novembre 2018.

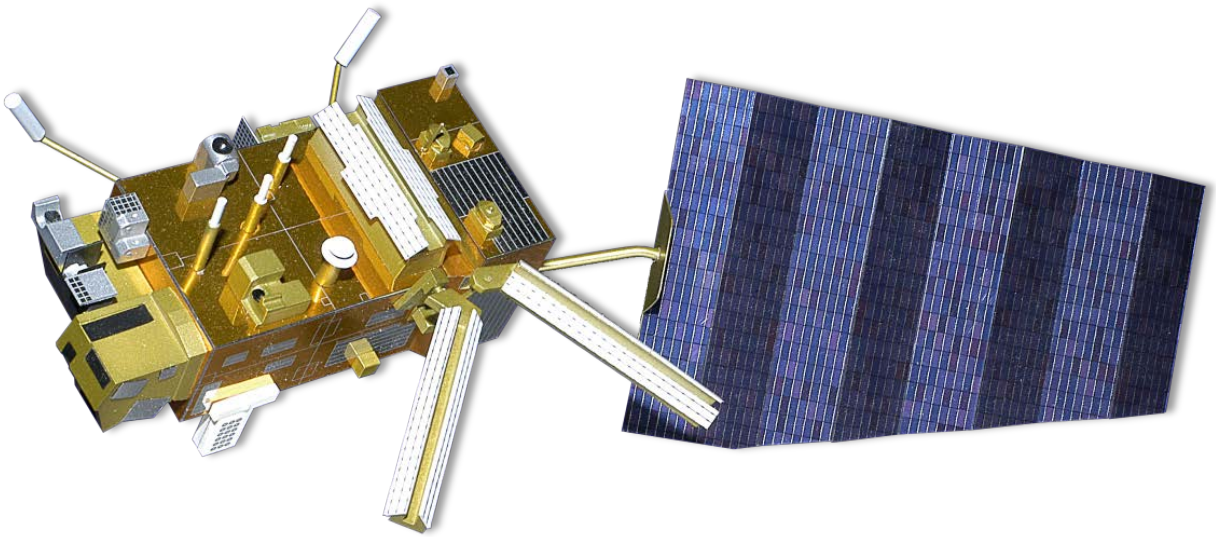
Le satellite Metop





Le 25 octobre entre 09h39 et 09h52 UTC, au cours de l'orbite 81, et seulement 6 jours après le lancement de MetOp-A.

Le satellite Metop



Dimension en orbite	5 m x 6,6 m x 17,6 m
Masse	4093 kg
Durée de vie	5 ans
Stabilisation	3 axes
Altitude	840 km
Inclinaison	98,7°
Heure locale au nœud descendant	9 h 30

Instruments embarqués à bord des satellites METOP :

- AVHRR/3 : imageur 6 canaux
- HIRS : sondeur infrarouge à 20 canaux (T° en conditions claires).
- AMSU-A : sondeur hyperfréquence à 15 canaux (T°).
- MHS : sondeur hyperfréquence à 5 canaux (U).
- IASI : interféromètre infrarouge à haute résolution (T° & U).
- ASCAT : diffusiomètre (vent à la surface des océans)
- et aussi GRAS, GOME, SEM, A-DCS & SARP.

Détail des instruments embarqués sur MetOp

- **AVHRR/3**. *Advanced very high resolution radiometer*
  Radiomètre imageur (6 canaux visible et proche infrarouge) à haute résolution horizontale (1 km) permettant de visualiser la couverture nuageuse et de mesurer, en l'absence de nuages, la température de surface de la mer, l'étendue et les caractéristiques des couvertures de glace, de neige et de végétation.
- **HIRS/4**. *High resolution infrared radiation sounder*
  Sondeur atmosphérique (19 canaux infrarouge dans la bande 3,8-15 µm et un canal visible) permettant d'effectuer, par temps clair, des profils de température et d'humidité et de mesurer la température de surface (résolution horizontale 10 km). Fournit également des informations sur certaines caractéristiques des nuages et sur l'ozone total.
- **AMSU-A1 et A2**. *Advanced microwave sounding unit A1 and A2*
  Sondeur micro-onde (15 canaux dans la bande de fréquence 23 à 90 GHz) pour des sondages de température quelles que soient les conditions météorologiques. Résolution horizontale 50 km.
- **MHS**. *Microwave humidity sounder*
  Radiomètre (5 canaux micro-onde dans la bande 89 à 190 GHz) fournissant une information sur la vapeur d'eau atmosphérique. Auto-calibré et balayage en travers de la trace au sol. Résolution horizontale au nadir : 15 km.
- **A-DCS**. *Advanced data collection system*
  Récepteur UHF (401,65 MHz) et traitement du signal pour localiser et/ou collecter des informations météorologiques en provenance de plus de 5000 plates-formes terrestres ou aériennes, fixes ou dérivantes (balises Argos).

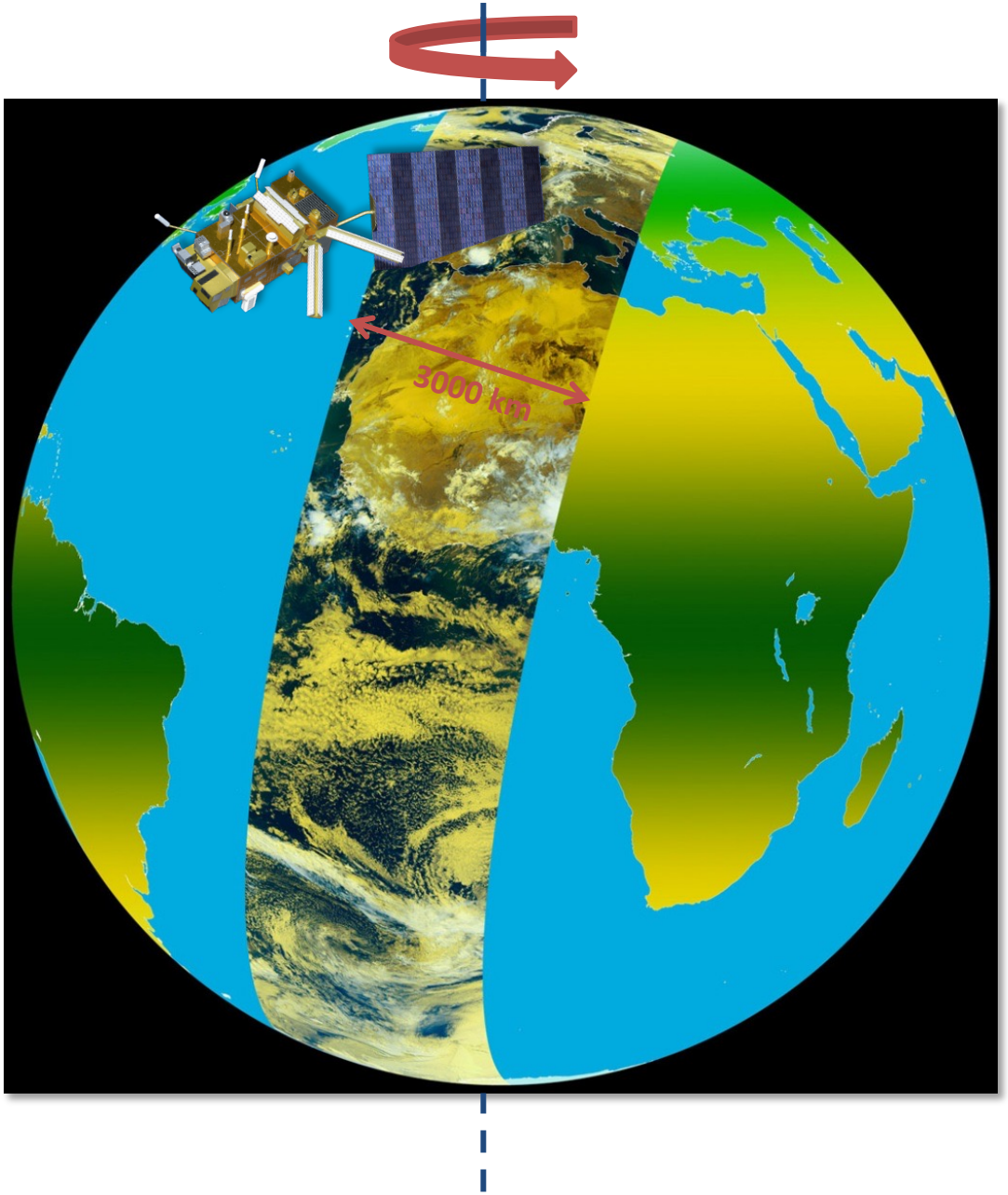
Détail des instruments embarqués sur MetOp

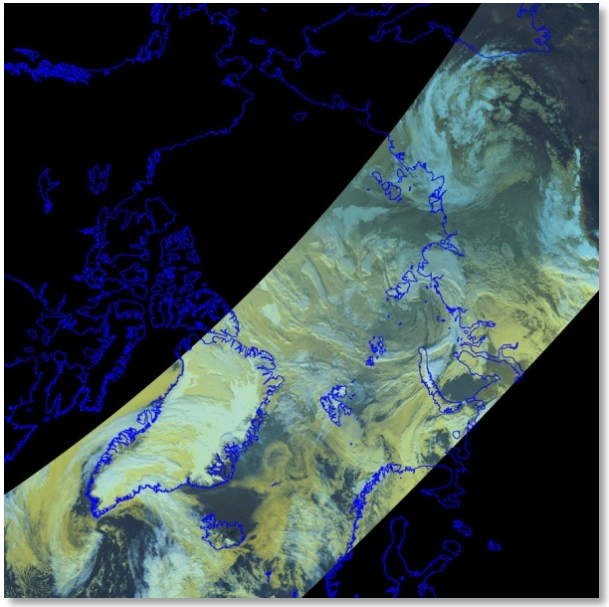
- **SARP/3**. *Search And Rescue Processor*
  Transpondeur VHF/UHF et traitement du signal pour recherche, localisation et collecte d'information en provenance de balises de détresse Sarsat-Cospas 406 MHz de type ELT (*Emergency locator transmitters*) ou EPIRB (*Emergency position indicating radio beacons*).
- **IASI**. *Infrared atmospheric sounding interferometer*
  Interféromètre Michelson à infrarouge pour le sondage de température, de vapeur d'eau et d'ozone par temps clair. Iasi couvre le domaine spectral de 3,62 à 15,5 µm, a une fauchée instrumentale de 2 112 km et une résolution horizontale de 12 km au nadir. La température est mesurée à 1 ° C près, l'humidité à 10 % et la résolution est de 1 km sur la verticale.
  IASI est un interféromètre doté de plus de 8 000 canaux. Il fournit aux météorologistes des profils atmosphériques d'une précision jusque là inégalée : une résolution verticale d'1 km, une précision d'1° C pour la température et de 10 % pour l'humidité. En comparaison, HIRS, le sondeur infrarouge actuel des satellites défilants de la NOAA, ne possède que 19 canaux. Ses profils ont une résolution verticale de quelques kilomètres et une précision de l'ordre de 2 ° C pour la température et de 30 % pour l'humidité relative.
  Iasi a été conçu et développé dans le cadre d'un partenariat entre EUMETSAT et le CNES. Le Centre de recherches et le Centre de météorologie spatiale (CMS) de Météo-France ont été impliqués dans la définition de l'instrument et des méthodes de traitement de ses données, en étroite coopération avec le CNES. Le CMS a participé aux travaux d'étalonnage et de validation des premières données Iasi, pendant les six mois de la recette en vol de MetOp-A.

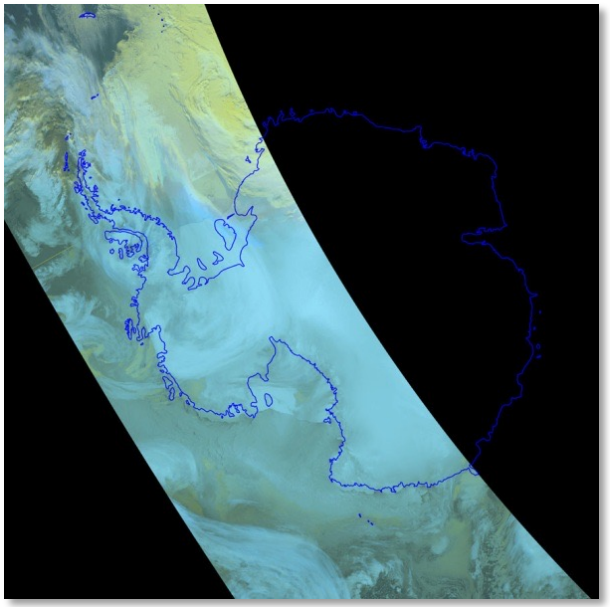
Détail des instruments embarqués sur MetOp

- **SEM**. *Space environment monitor*
  Spectromètre de particules multi-canal pour mesurer le flux des particules chargées du plasma solaire. Il comprend deux capteurs séparés : TED (Total energy detector) et MEPED (Medium energy proton and electron detector).
- **ASCAT**. *Advanced scatterometer*
  Diffusiomètre opérant en bande C (5,2555 GHz) pour la mesure des vents à la surface de la mer (vitesse et direction). Ascat délivre des mesures le long de deux fauchées de 500 km de large, de part et d'autre de sa trace, à raison d'une mesure tous les 12,5 km.
- **GRAS**. *Global navigation satellite system receiver and atmospheric sounding*
  Récepteur GPS mesurant l'atténuation du signal au cours de la traversée des hautes couches de l'atmosphère (sondages « aux limbes »). Permet d'accéder à la température et à l'humidité de la haute troposphère et de la stratosphère.
- **GOME/2**. *Global ozone monitoring experiment*
  Spectromètre ultraviolet et visible, opérant à la verticale et mesurant le rayonnement rétrodiffusé par l'atmosphère et réfléchi par la surface terrestre dans la bande 240 à 790 nm. Pour la surveillance globale de l'ozone.

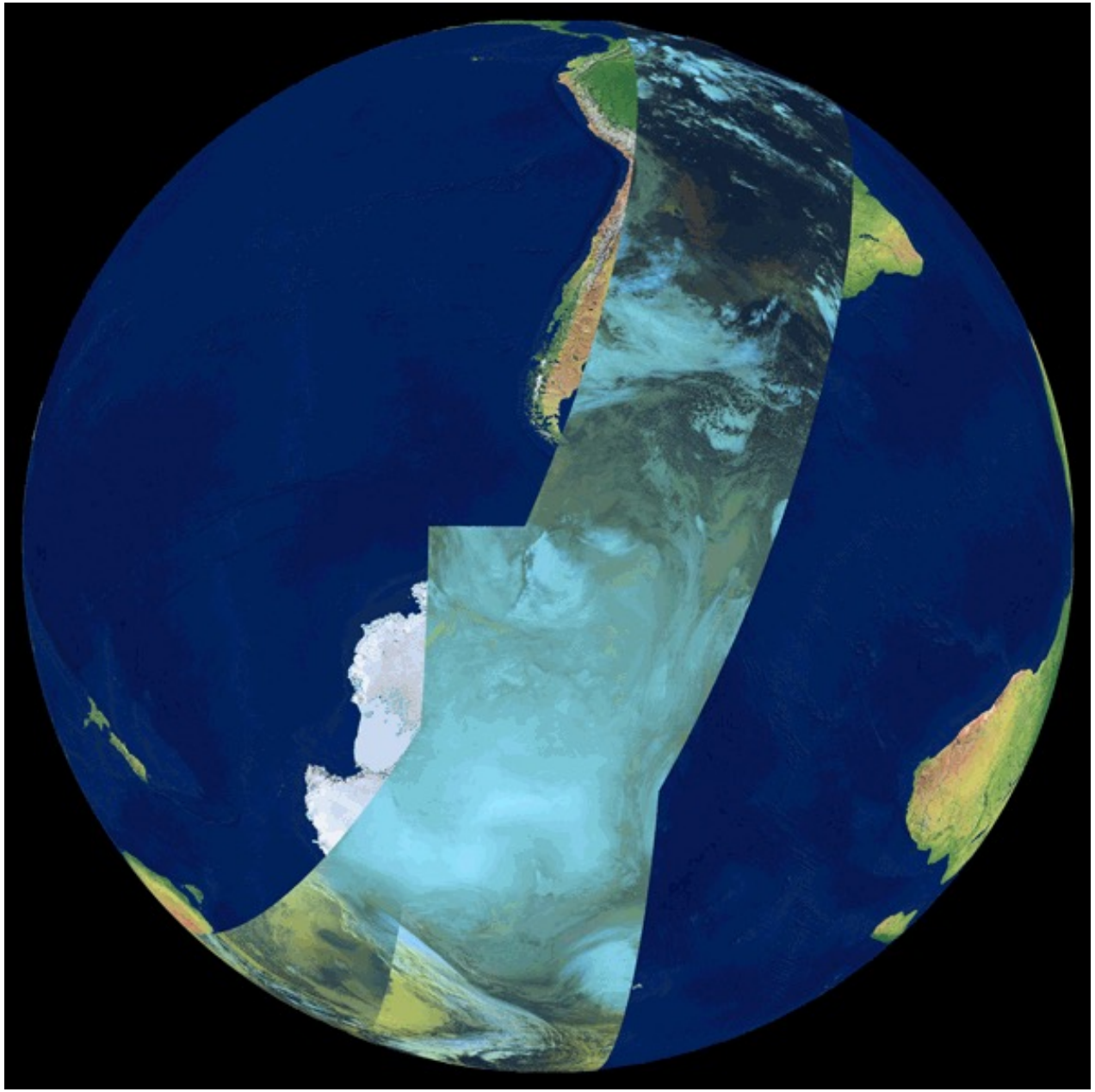
Satellite en orbite polaire



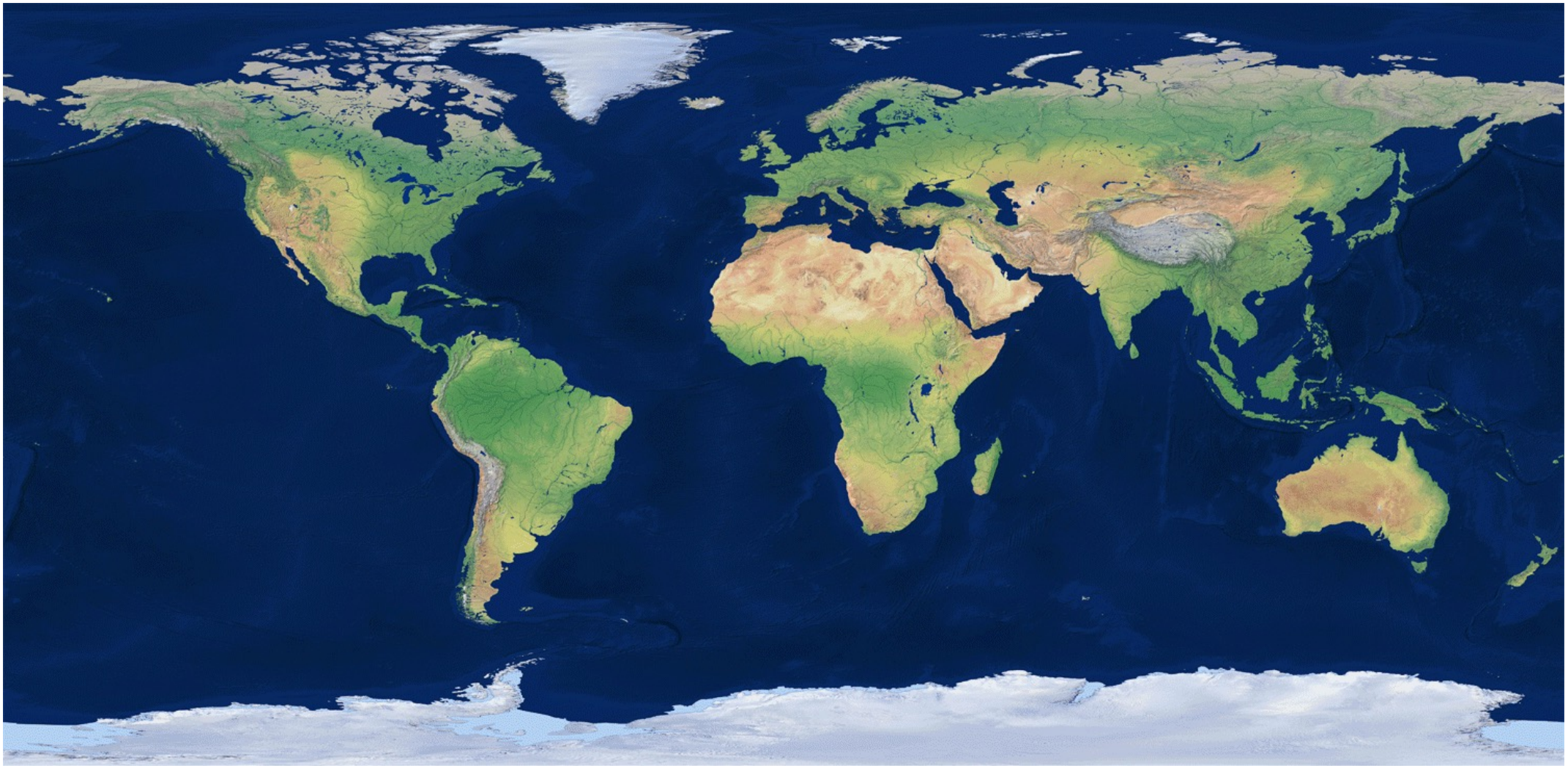




Satellite en orbite polaire

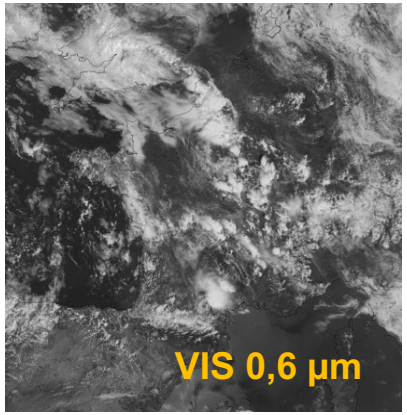


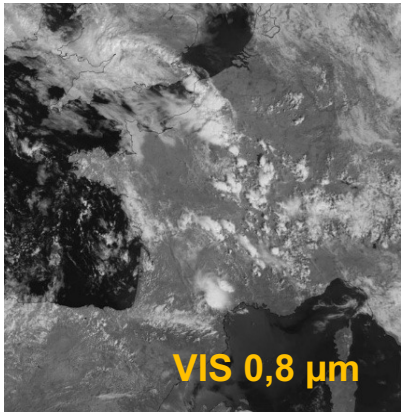
Satellite en orbite polaire

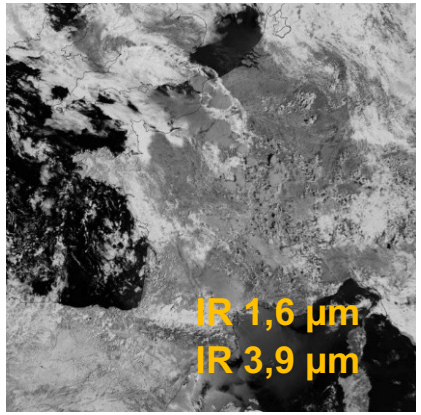


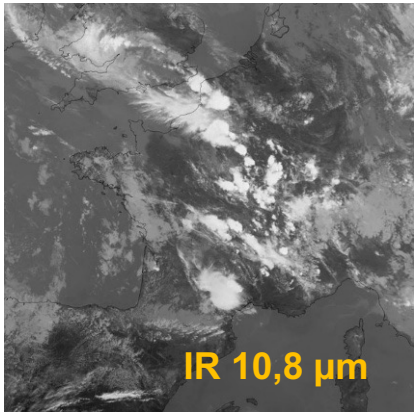
Satellite en orbite polaire

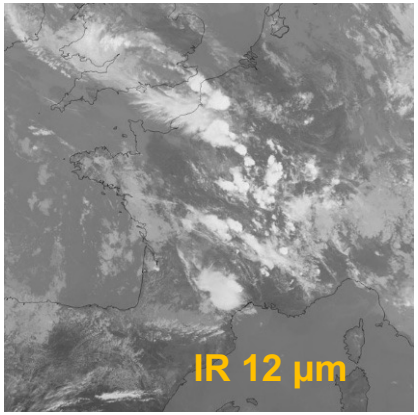
Le satellite Metop

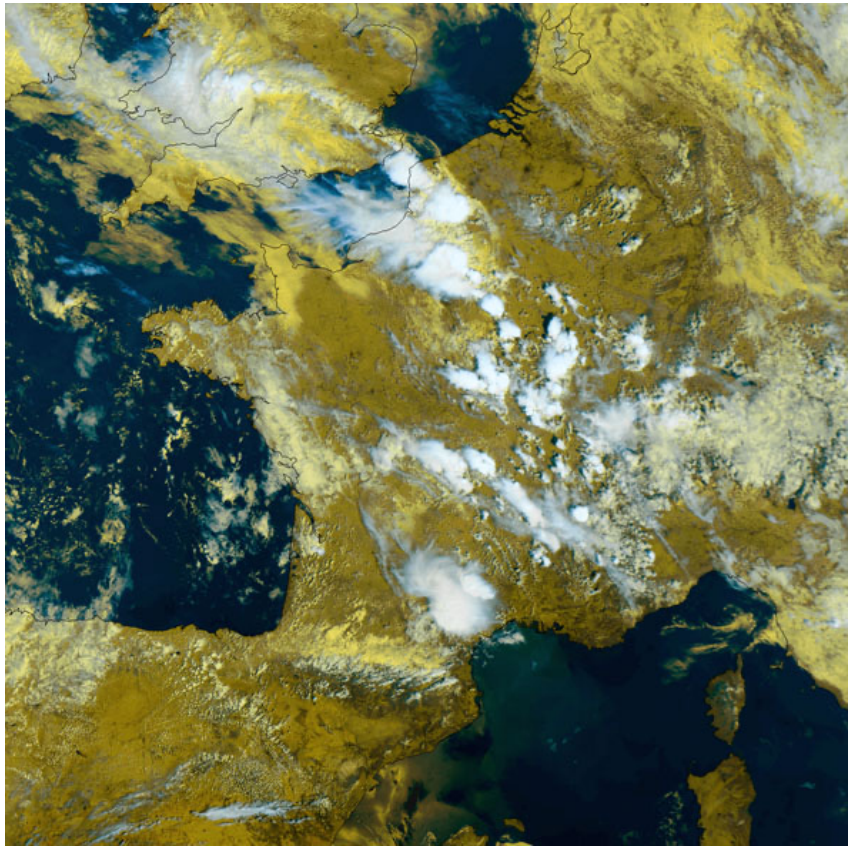




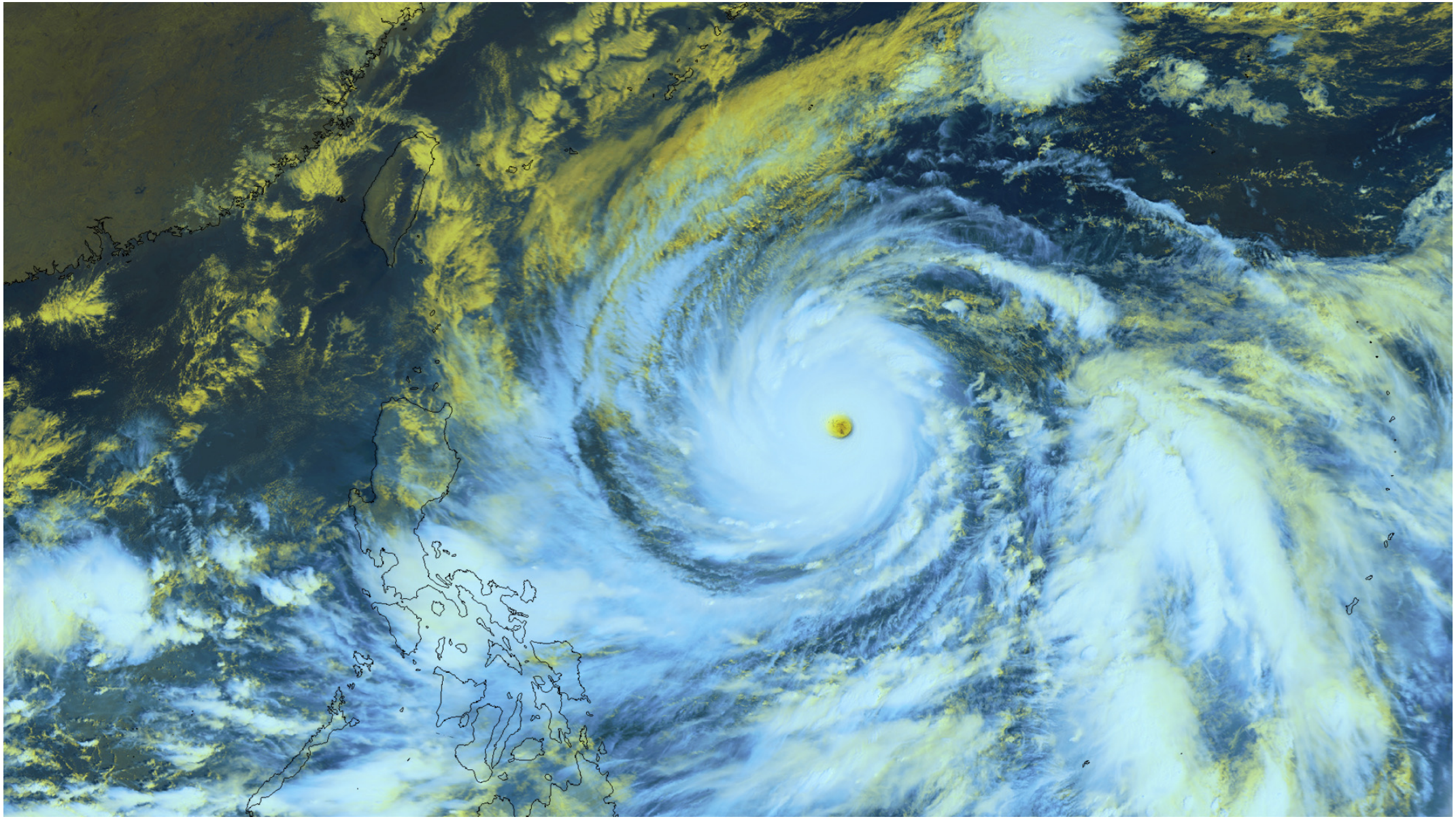






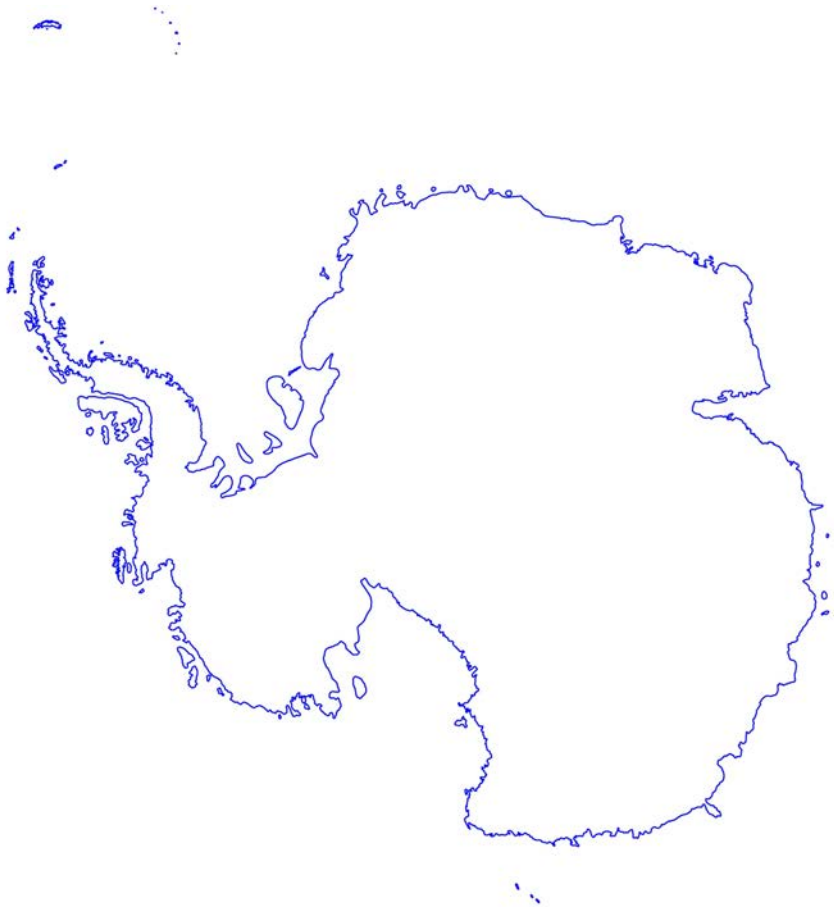


Le satellite Metop



Le satellite Metop

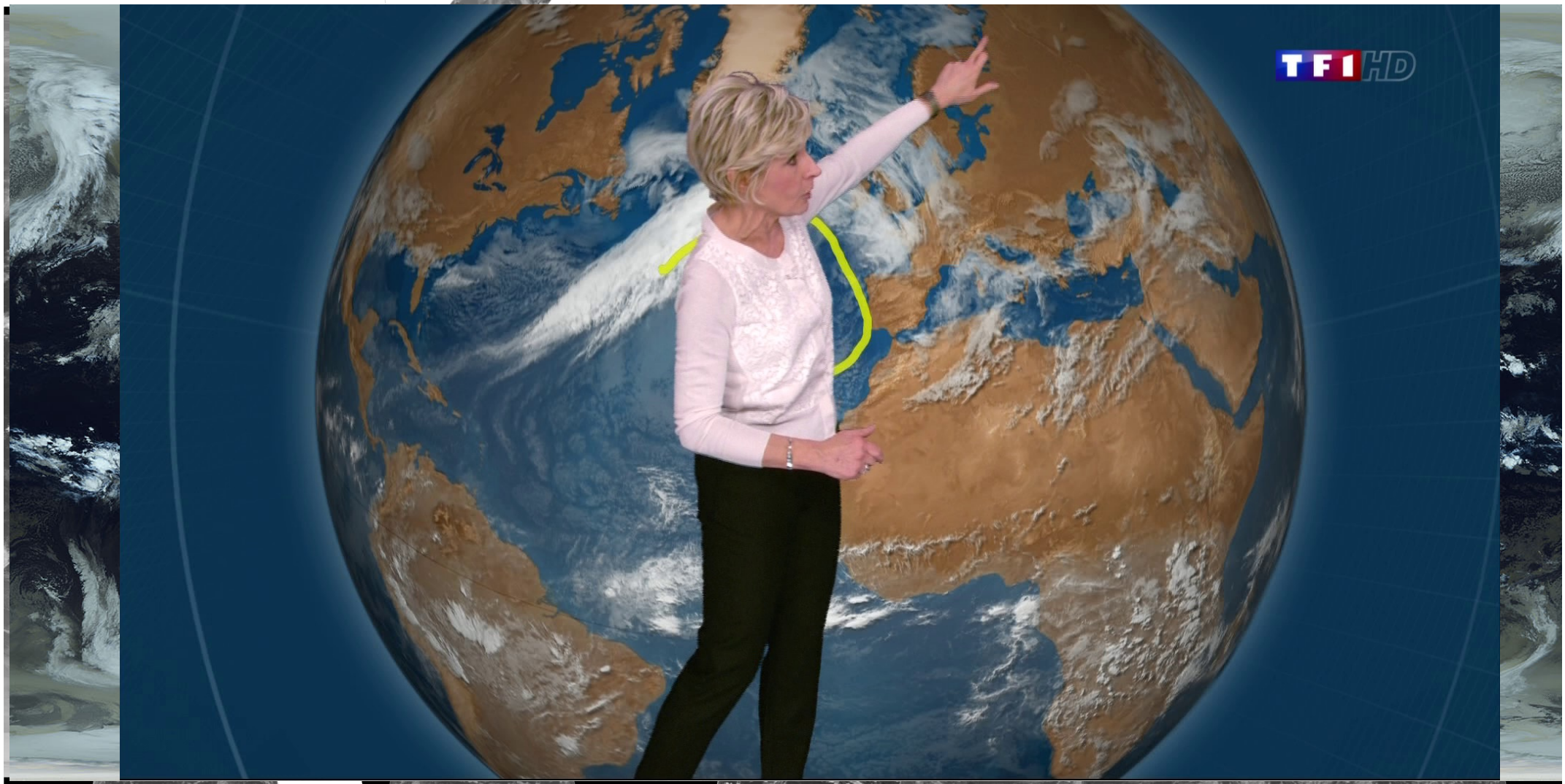
Classification nuageuse



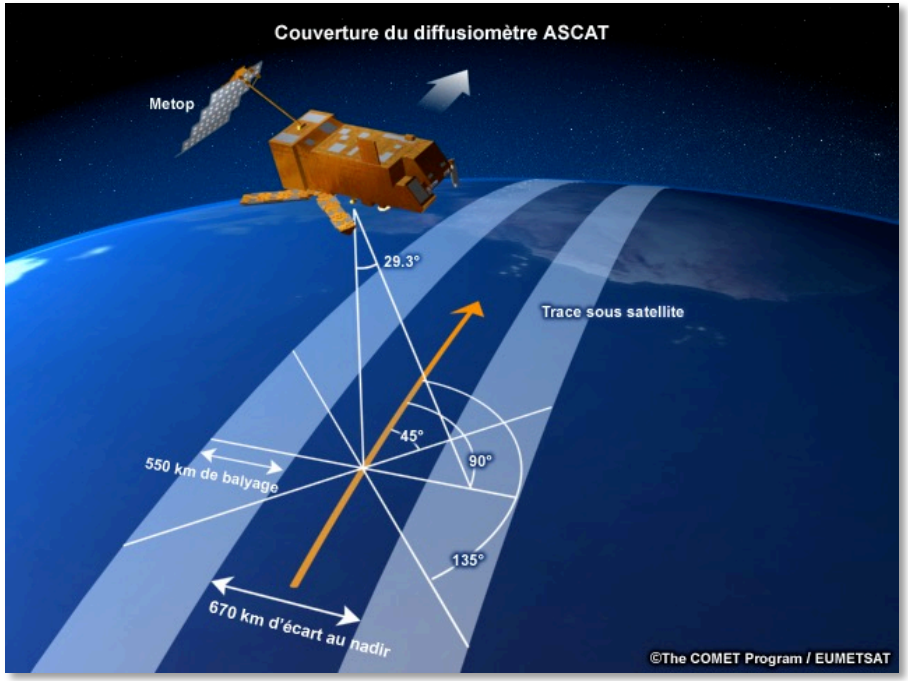
Composition colorée

Le planisphère reconstitué

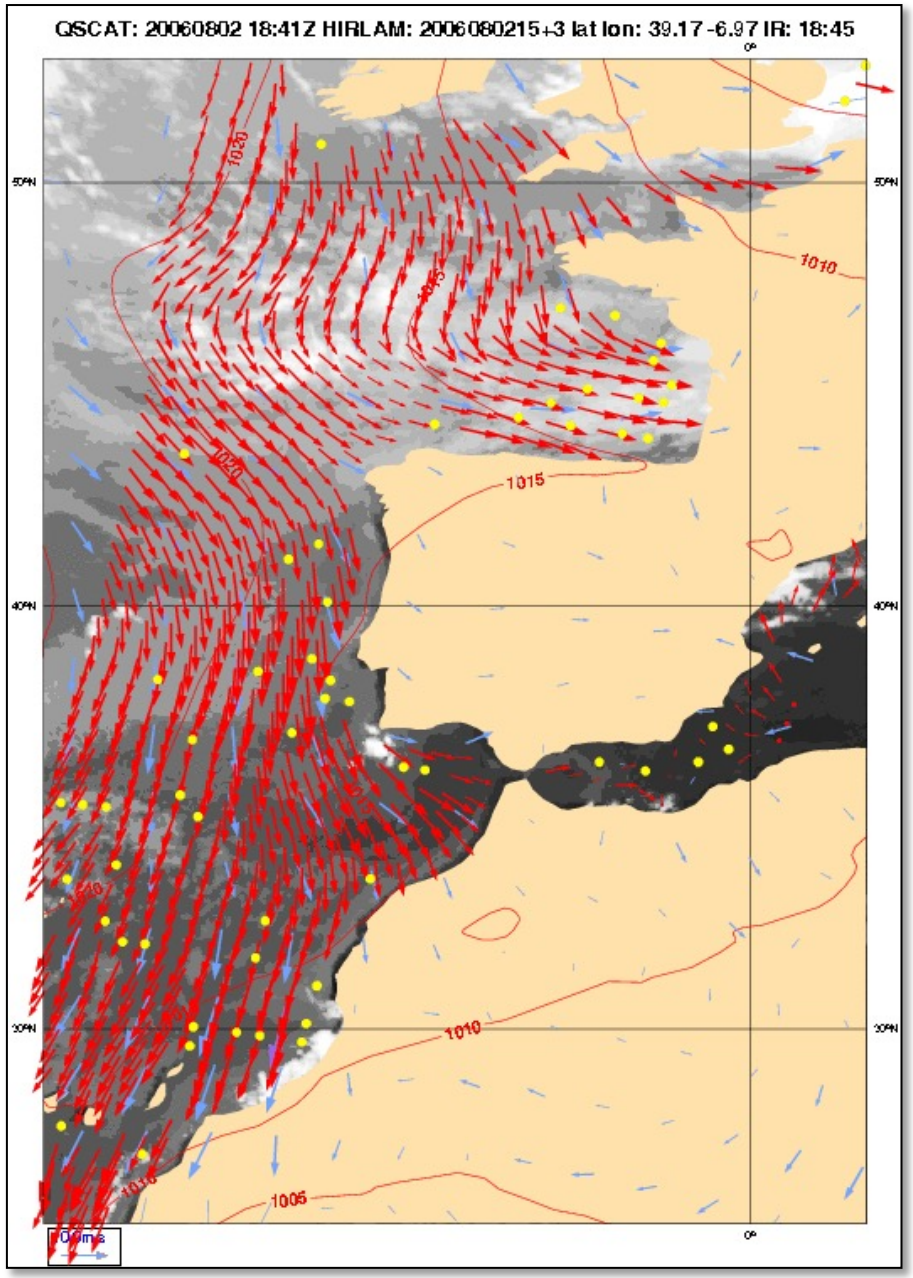
METOP



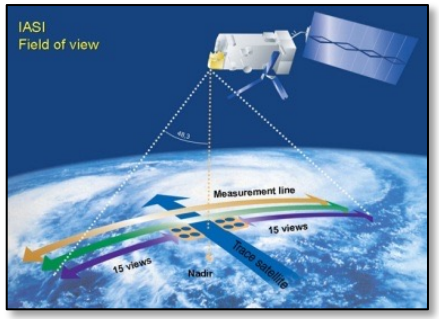
ASCAT sur Metop

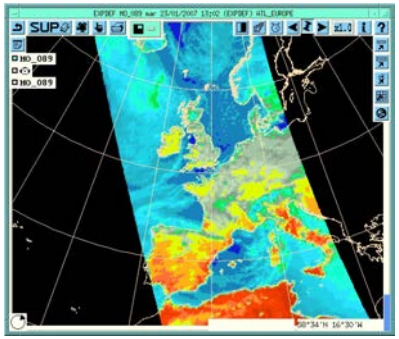


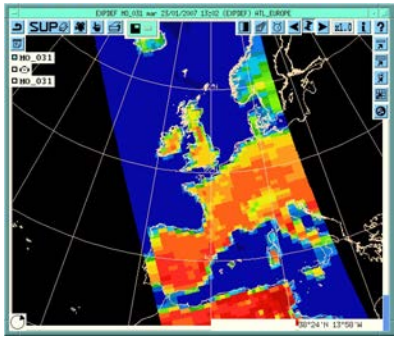
- ASCAT est un radar en bande C (5,255 GHz), conçu principalement pour la mesure mondiale des vents au-dessus de la surface de la mer ;
- il est dérivé des instruments embarqués sur les satellites ERS-1 et ERS-2 de l'ESA ;
- il est équipé de trois paires d'antennes qui balaient des fauchées de 500 km de large, situées à 350 km sur chaque côté de la trace ;
- l'espacement des vecteurs vent obtenus après traitement est inférieur à 25 km.

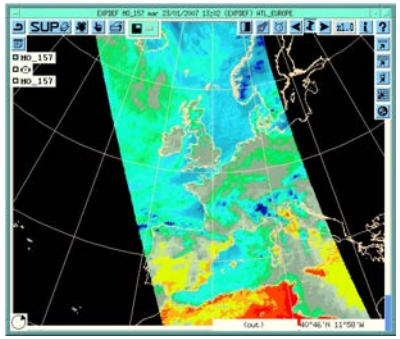


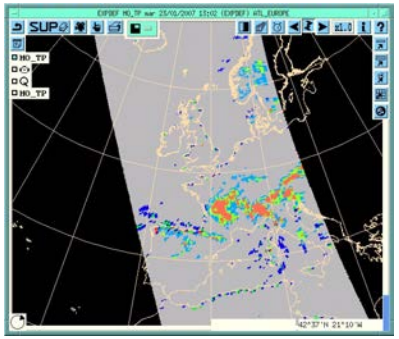
Les données des sondeurs

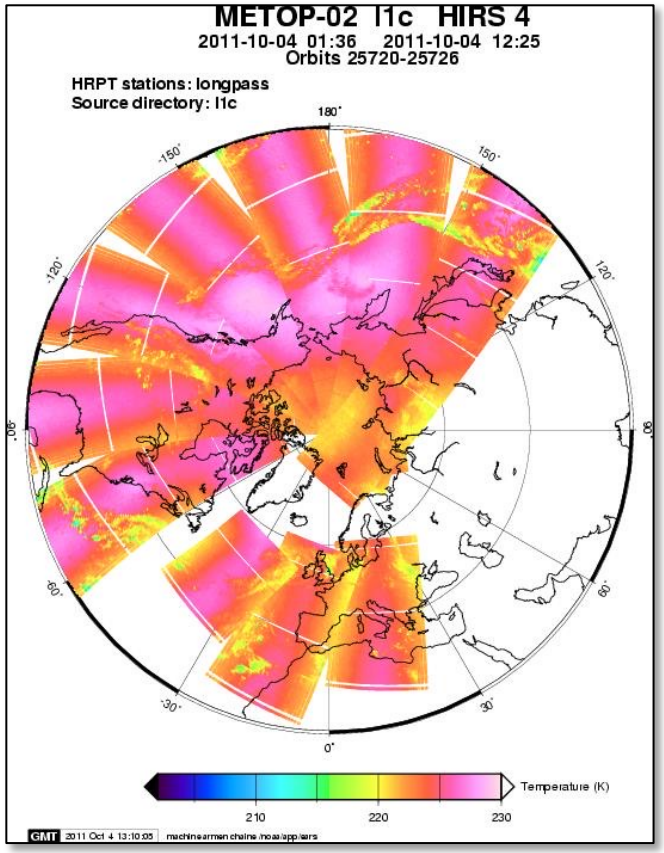


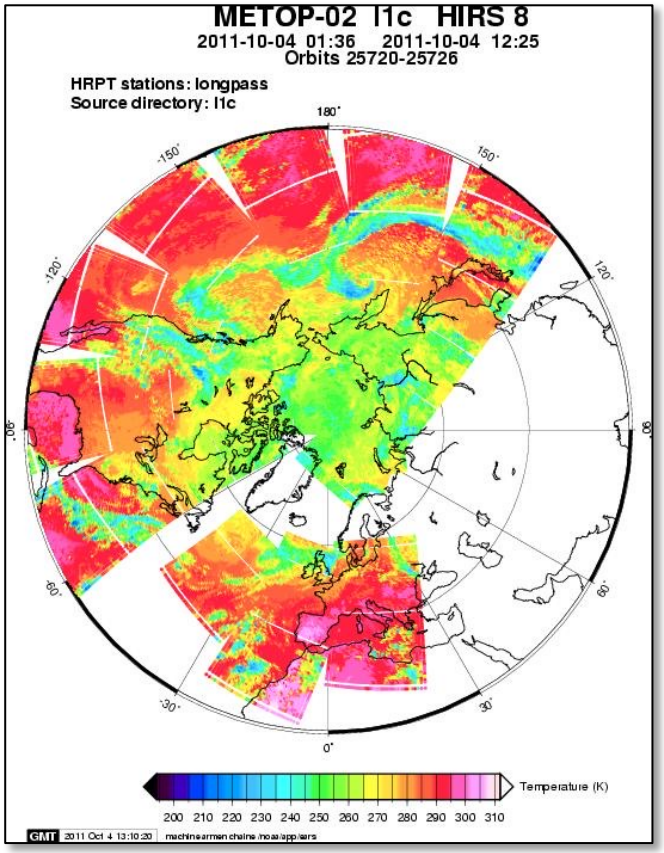


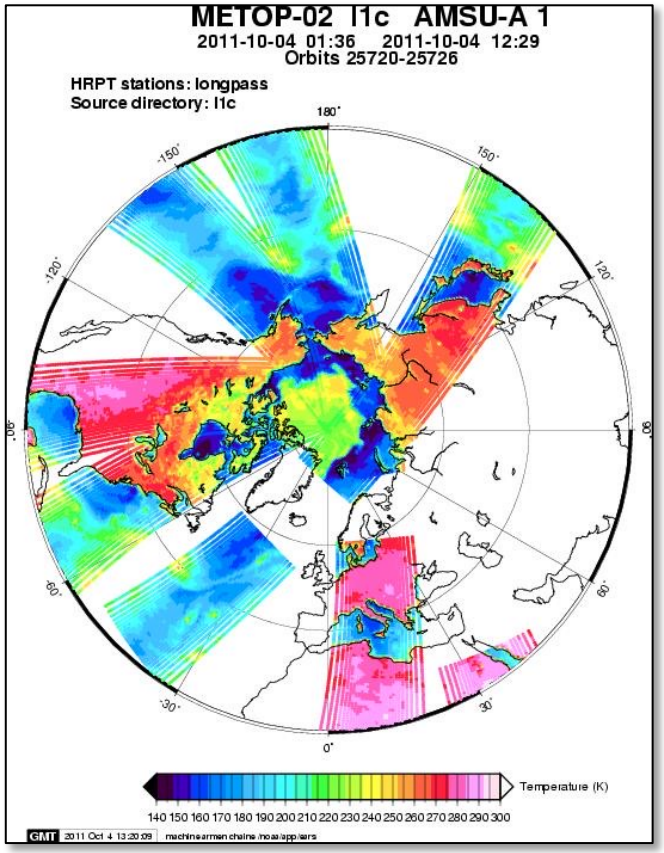






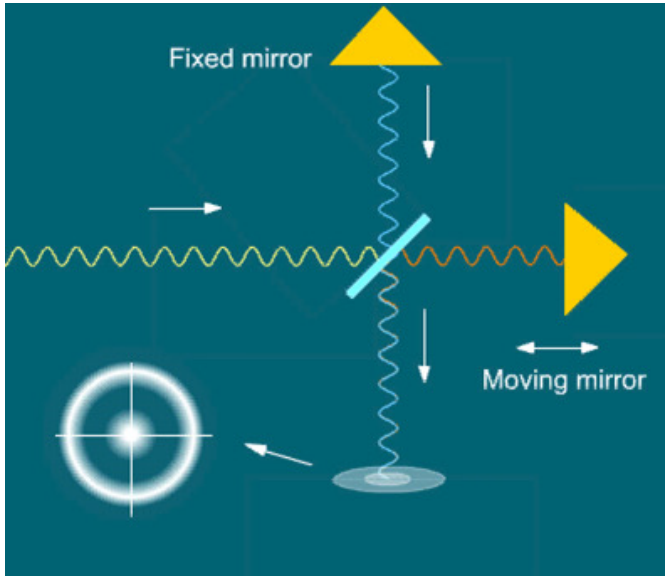


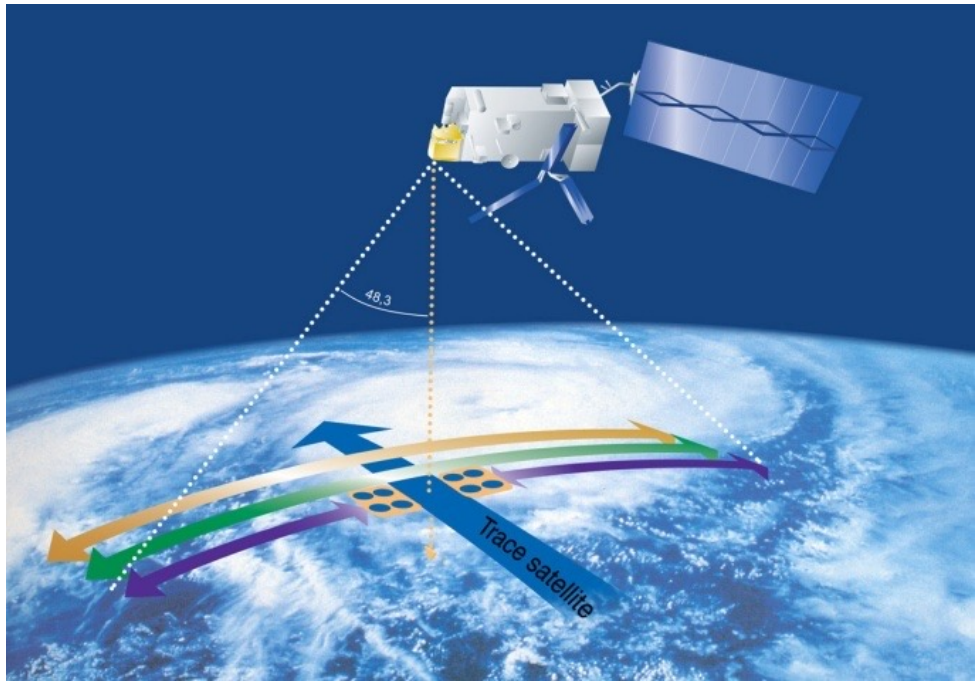




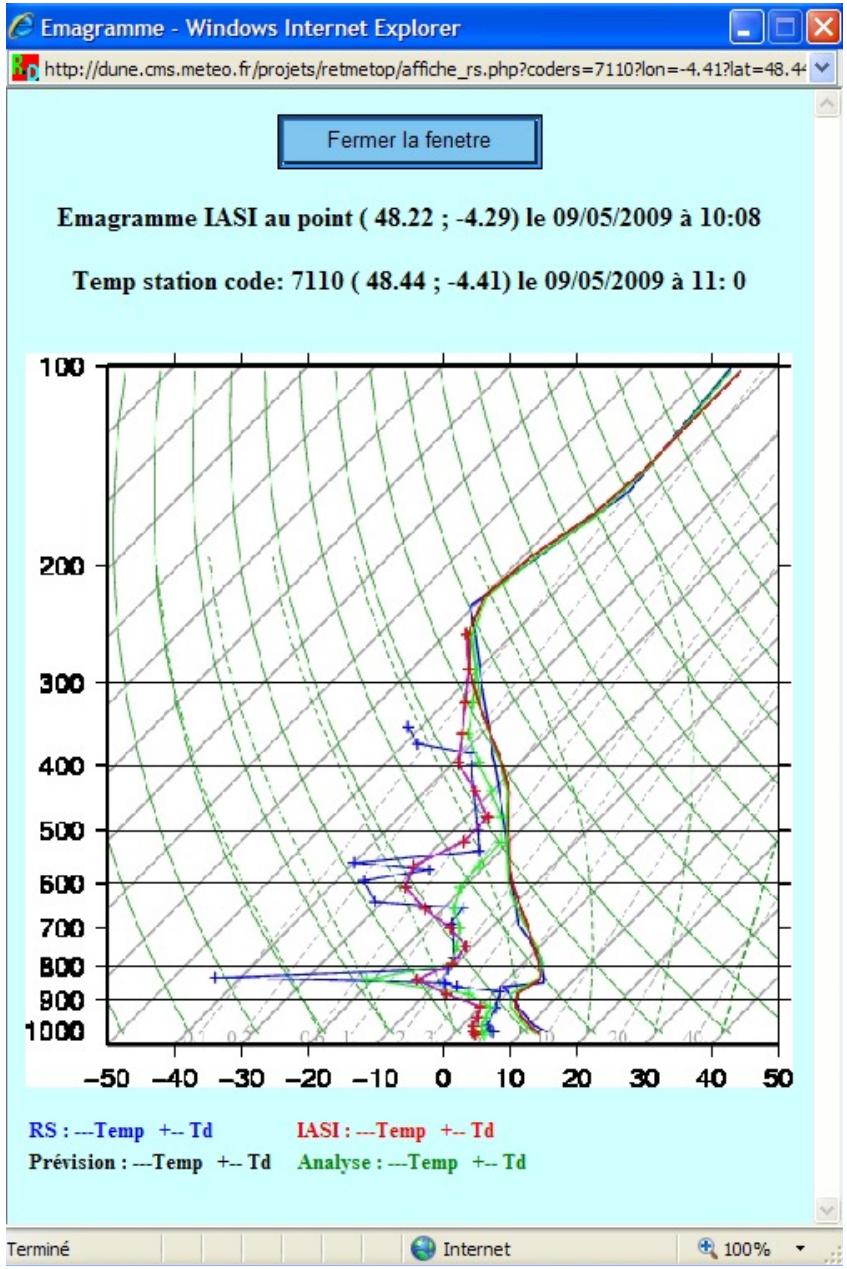
IASI

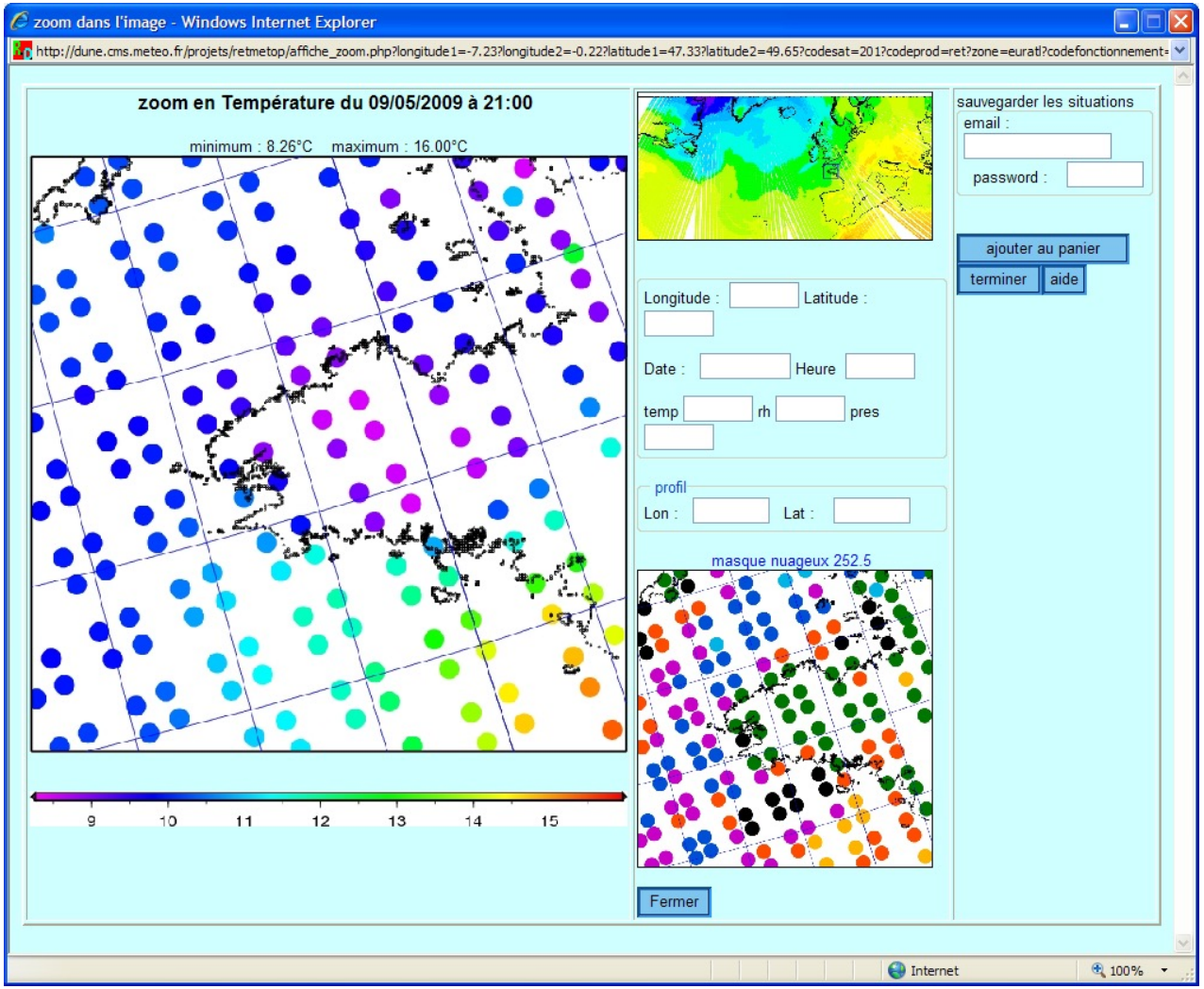
- IASI (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*), résultat d'une collaboration entre le Cnes et Eumetsat, est un spectromètre à transformée de Fourier : 8461 canaux spectraux échantillonnés tous les 0,25 cm^{-1} de 645 à 2760 cm^{-1} (15,5 µm à 3,6 µm)
- Résolution horizontale : 12 km
- Objectifs scientifiques :
- profils de température : 1° C / 1 km (basse troposphère)
- Profils en humidité : 10 % / 1 km (basse troposphère)
- Gaz : O_3, CH_4, CO.
- Fauchée de 2200 km, synchronisée avec AMSU-A
- Imageur intégré IIS pour corrélation avec AVHRR





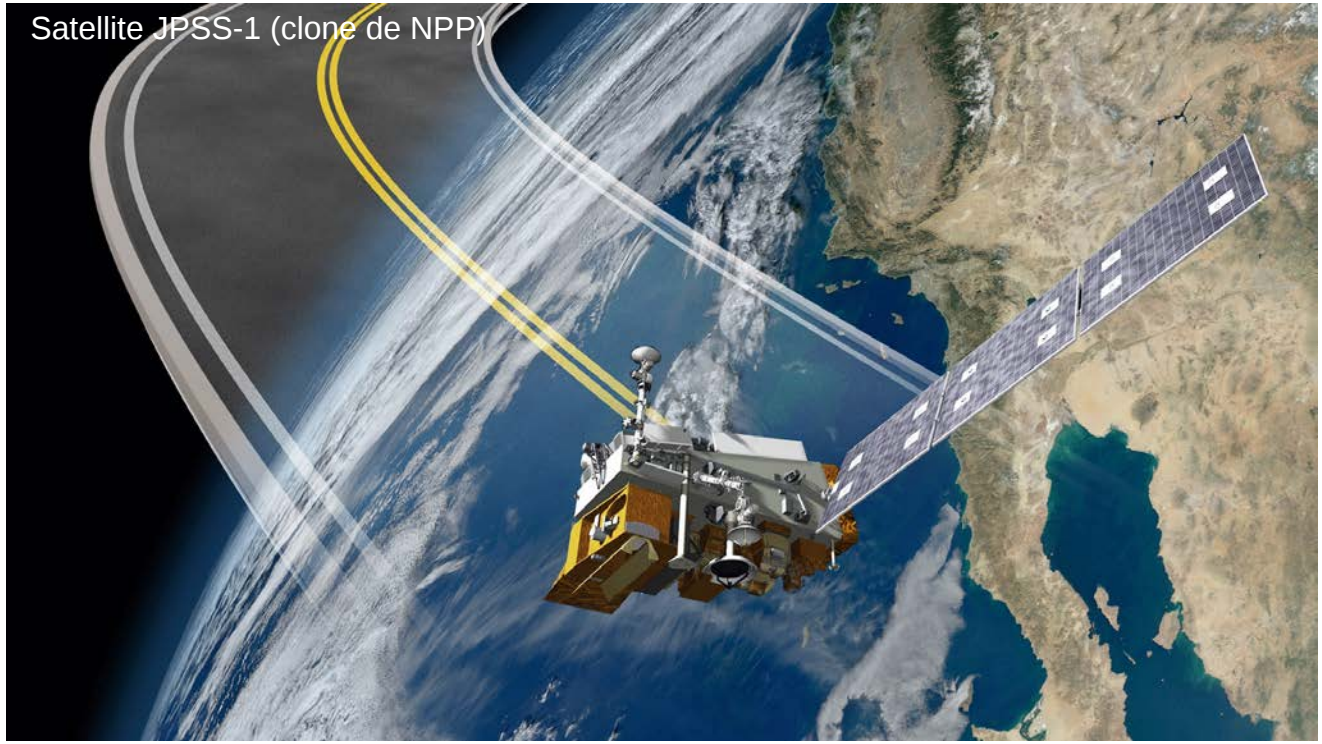
IASI


Emagramme - Windows Internet Explorer
http://dune.cms.meteo.fr/projets/retmetop/affiche_rs.php?coders=7110?lon=-4.41?lat=48.4
Fermer la fenetre
Emagramme IASI au point (48.22 ; -4.29) le 09/05/2009 à 10:08
Temp station code: 7110 (48.44 ; -4.41) le 09/05/2009 à 11: 0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50
RS : ---Temp +-- Td
IASI : ---Temp +-- Td
Prévision : ---Temp +-- Td
Analyse : ---Temp +-- Td
Terminé
Internet
100%


zoom dans l'image - Windows Internet Explorer
http://dune.cms.meteo.fr/projets/retmetop/affiche_zoom.php?longitude1=-7.23?longitude2=-0.22?latitude1=47.33?latitude2=49.65?codesat=201?codeprod=ret?zone=euratl?codefonctionnement=
zoom en Température du 09/05/2009 à 21:00
minimum : 8.26°C maximum : 16.00°C
9 10 11 12 13 14 15
sauvegarder les situations
email :
password :
ajouter au panier
terminer
aide
Longitude :
Latitude :
Date :
Heure
temp
rh
pres
profil
Lon :
Lat :
masque nuageux 252.5
Fermer
Internet
100%

Le programme JPSS

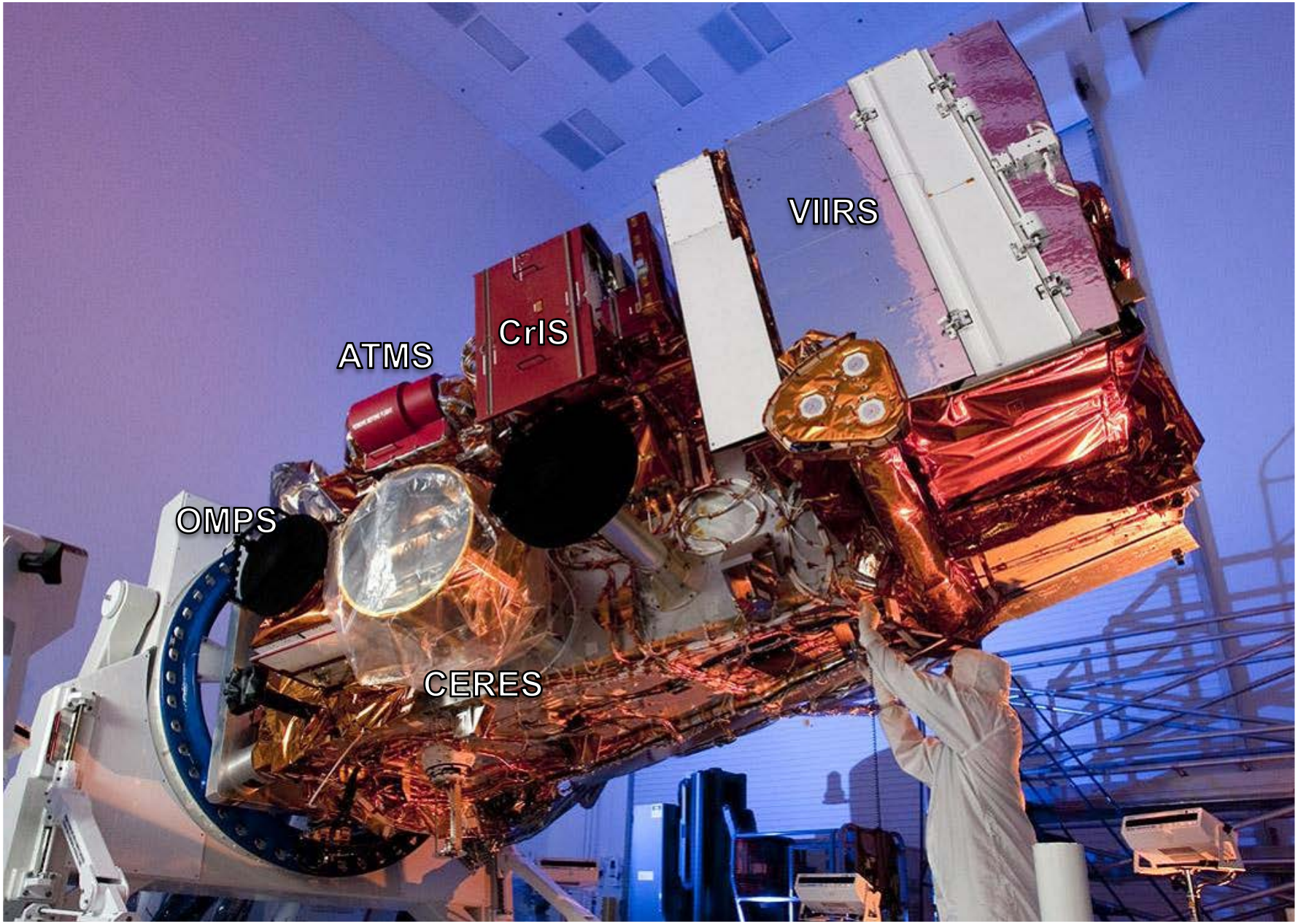
- assure la continuité des observations pour le climat et la surveillance de l'environnement à partir de l'orbite héliosynchrone ;
- augmente la disponibilité et la précision des mesures, notamment dans les cas d'événements météorologiques sévères ;
- l'imageur VIIRS apporte des améliorations considérables pour la météorologie et l'océanographie (par exemple, détection de feux, panache volcanique, nappes de pétrole…) ;



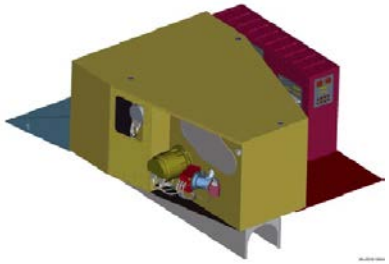
- CrIS et ATMS reconstitue des profils de température et d'humidité à haute résolution utiles à l'analyse des modèles numériques de prévision du temps.

Nombre de satellites JPSS	4
Durée de vie prévue d'un satellite	7 ans
Programme	de 2017 à 2038
Heure locale au nœud ascendant	13 h 30

Le programme JPSS

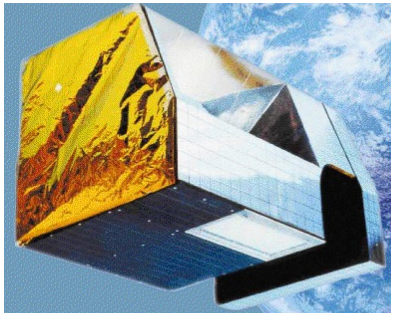


Le programme JPSS



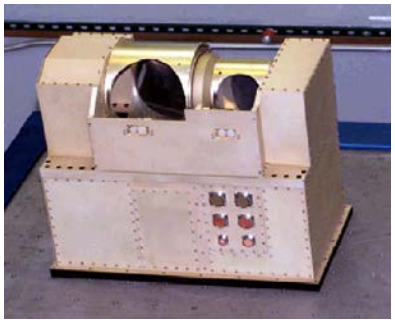
Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) Raytheon Santa Barbara collecte de l'imagerie visible et infrarouge ainsi que des données radiométriques des surfaces continentales, des océans et de l'atmosphère.

- résolution des images : 375 m et 750 m
- 22 canaux de 0,4 à 12,5 µm
- largeur de fauchées dépendante des applications : 1700, 2000 et 3000 km



Crosstrack InfraRed Sounder (CrIS) ITT Ft Wayne, interféromètre à transformée de Fourier, produit des profils tridimensionnels de température, d'humidité et de pression.

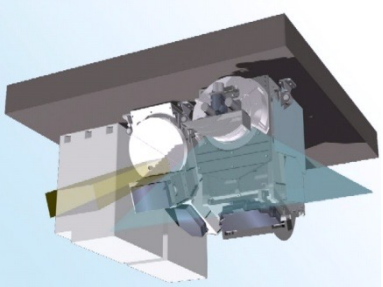
- 158 canaux SWIR (3,92 à 4,64 µm)
- 432 canaux MWIR (5,71 à 8,26 µm)
- 711 canaux LWIR (9,14 à 15,38 µm)
- résolution de 15 km
- précision d'environ 1° C pour une résolution verticale d'1 km en conditions de ciel clair.
- fauchée de 2200 km



Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) Northrop Grumman Electronics, reconstitue des profils atmosphériques de température et d'humidité en conditions nuageuses, ainsi que des initialisations de profils en conditions claires (pour CrIS).

- 22 canaux de 23,8 à 183 GHz
- fauchée de 2300 km

Le programme JPSS



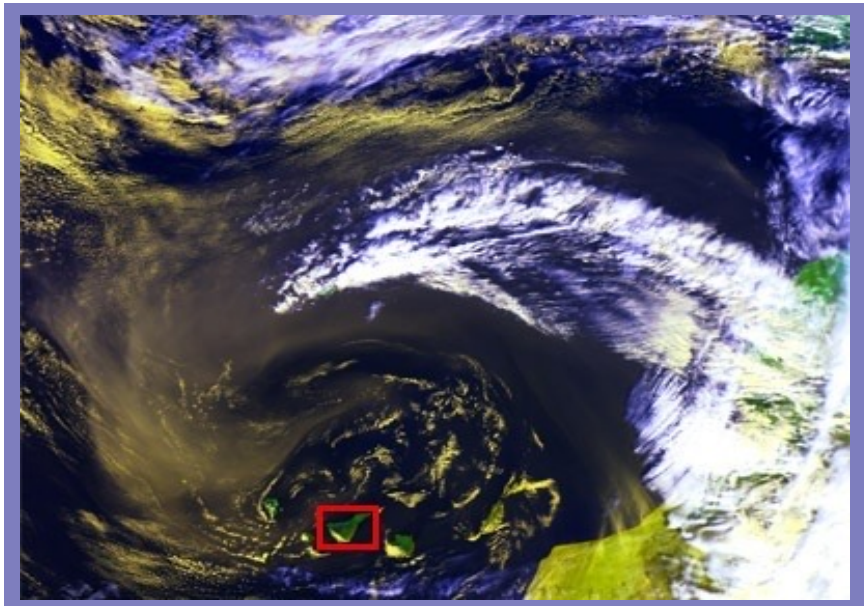
Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) Ball Aerospace, une gamme de trois instruments permettant d'obtenir des profils d'ozone.

- colonne totale d'ozone de 300 à 380 nm avec une résolution de 1 nm ;
- profils d'ozone au nadir de 250 à 310 nm avec une résolution de 1 nm ;
- profils d'ozone aux limbes de 290 à 1000 nm avec une résolution de 2,4 à 54 nm ;
- fauchée de 2800 km pour l'ozone colonne.

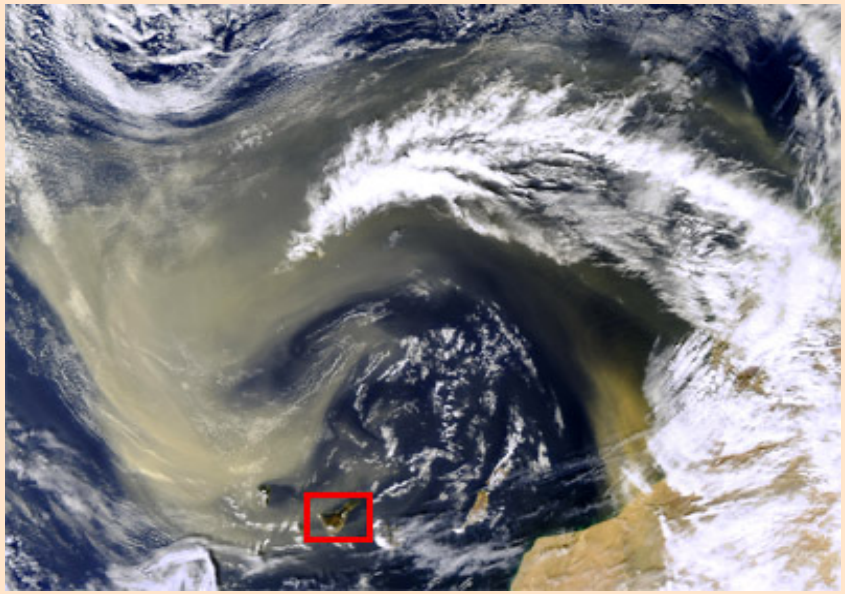
Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) NASA Langley Research Center, un radiomètre à 3 canaux qui mesure à la fois le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement émis par la Terre du sommet de l'atmosphère à la surface. Il permet également de déterminer les propriétés nuageuses, comme la nébulosité, la hauteur, l'épaisseur, la taille des particules et leur phase (eau, glace) en association avec les mesures faites par les autres instruments.

- mesure de rayonnement global de 0,3 à 50 µm ;
- VIS et proche IR de 0,3 à 5 µm ;
- IR de 8 à 12 µm.

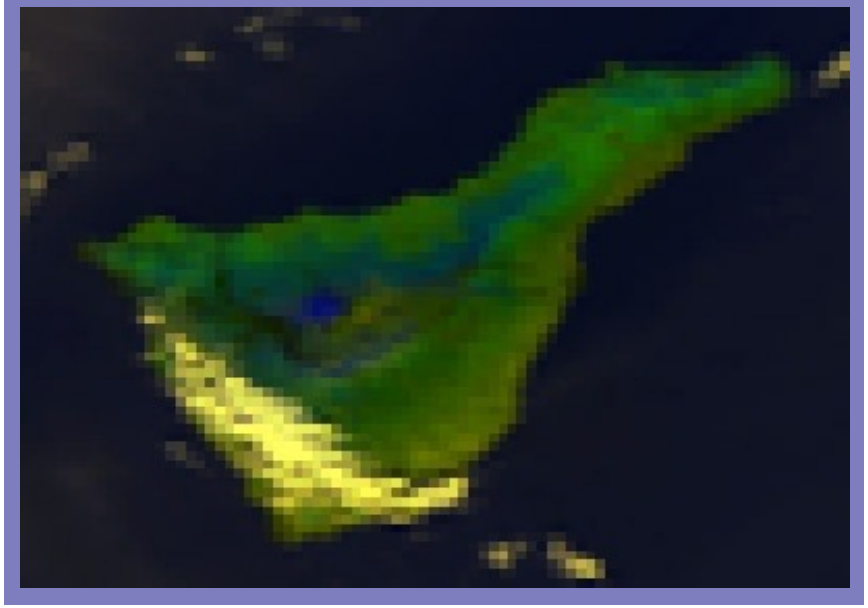
Le programme JPSS



POES – 1.1 km



JPSS – 375 m



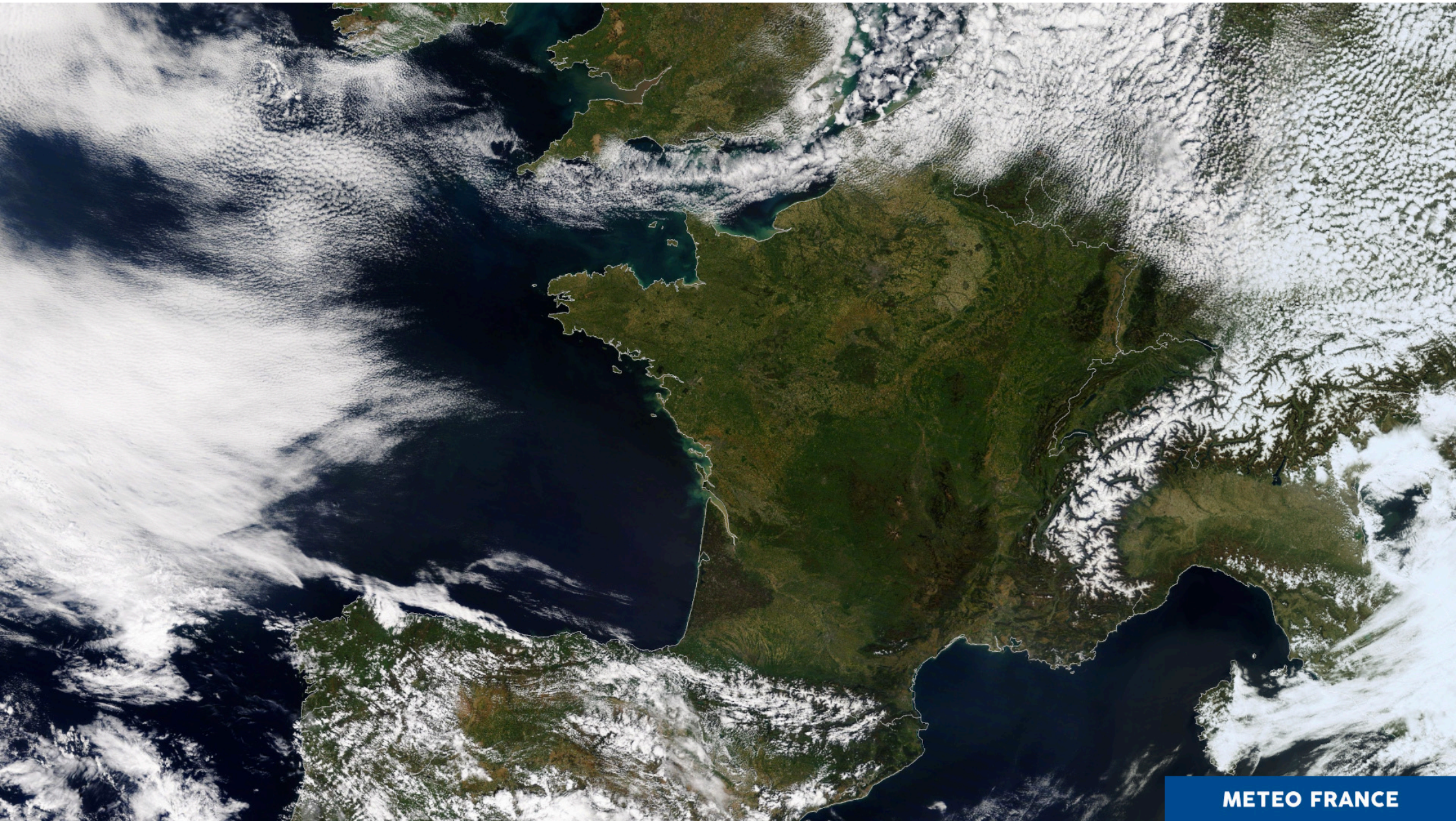
Tenerife island
Canary islands
February 19, 2004

POES: 11:22 GMT (NOAA – 17)

JPSS: 14:05 GMT (Simulated from Aqua MODIS)

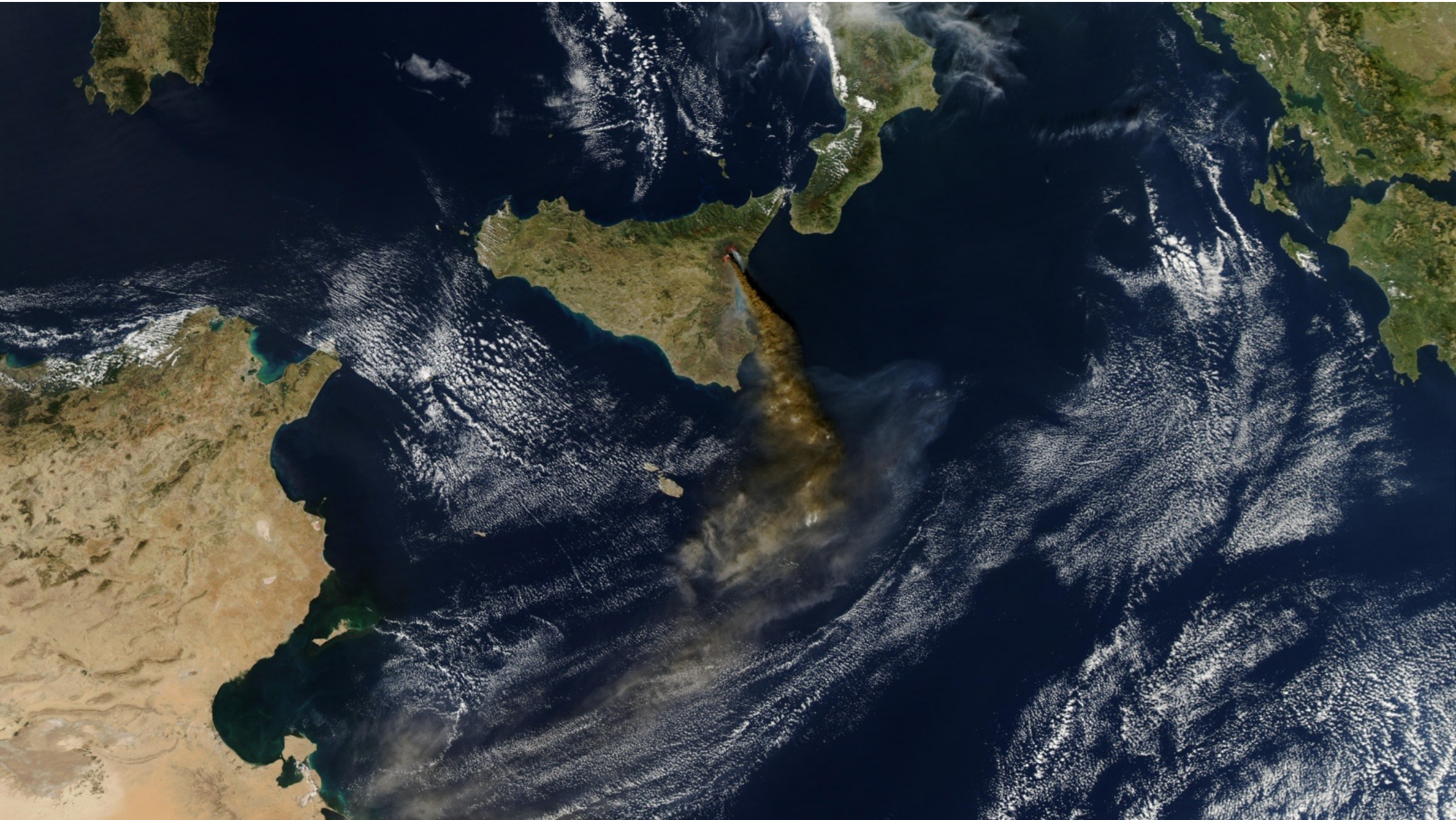
Le programme JPSS – vraies couleurs

Terra – Le 14 avril 2020



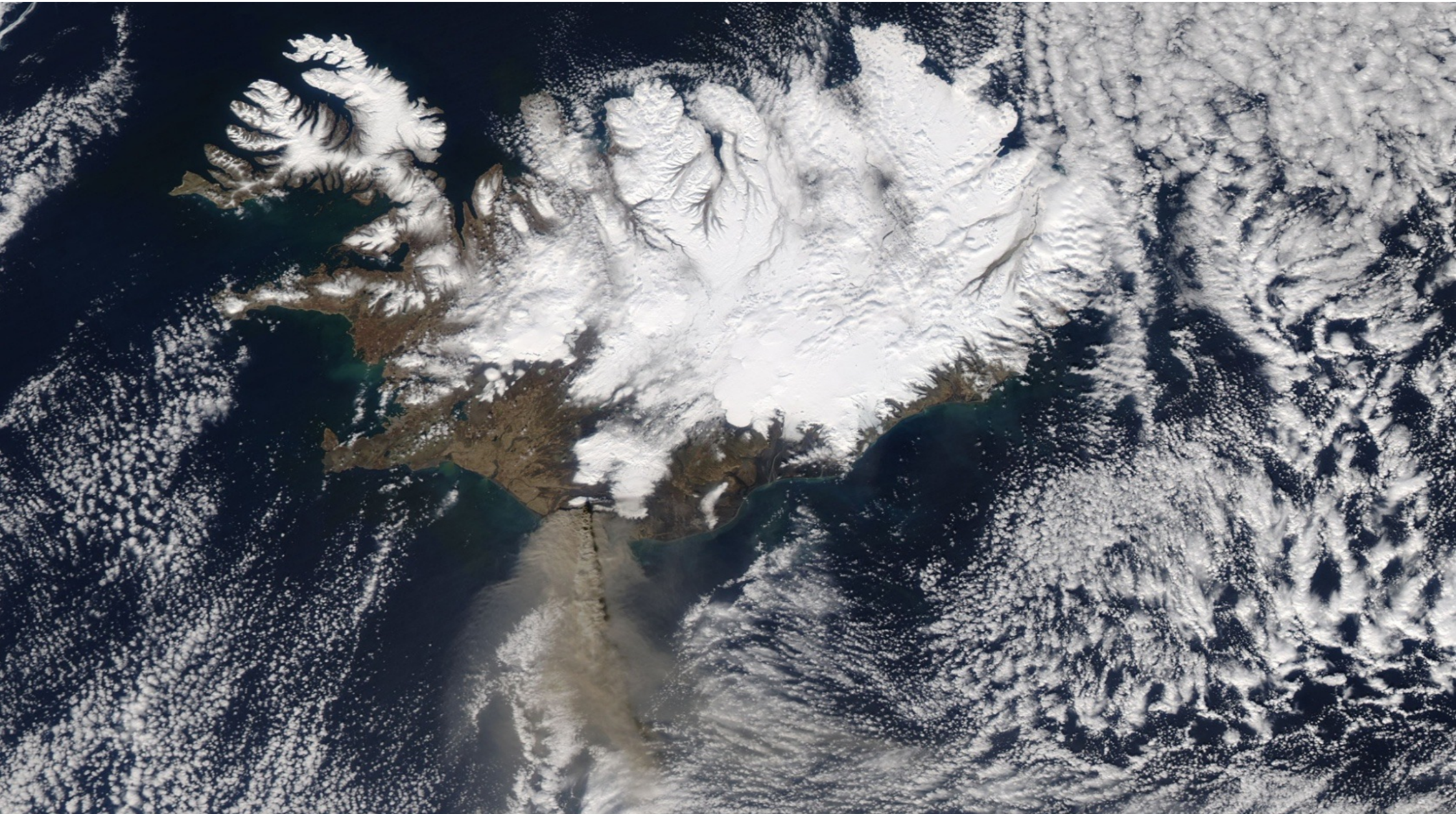
Éruption de l'Etna

Aqua – Le 28 octobre 2002



Éruption du volcan Eyjafjöll en Islande

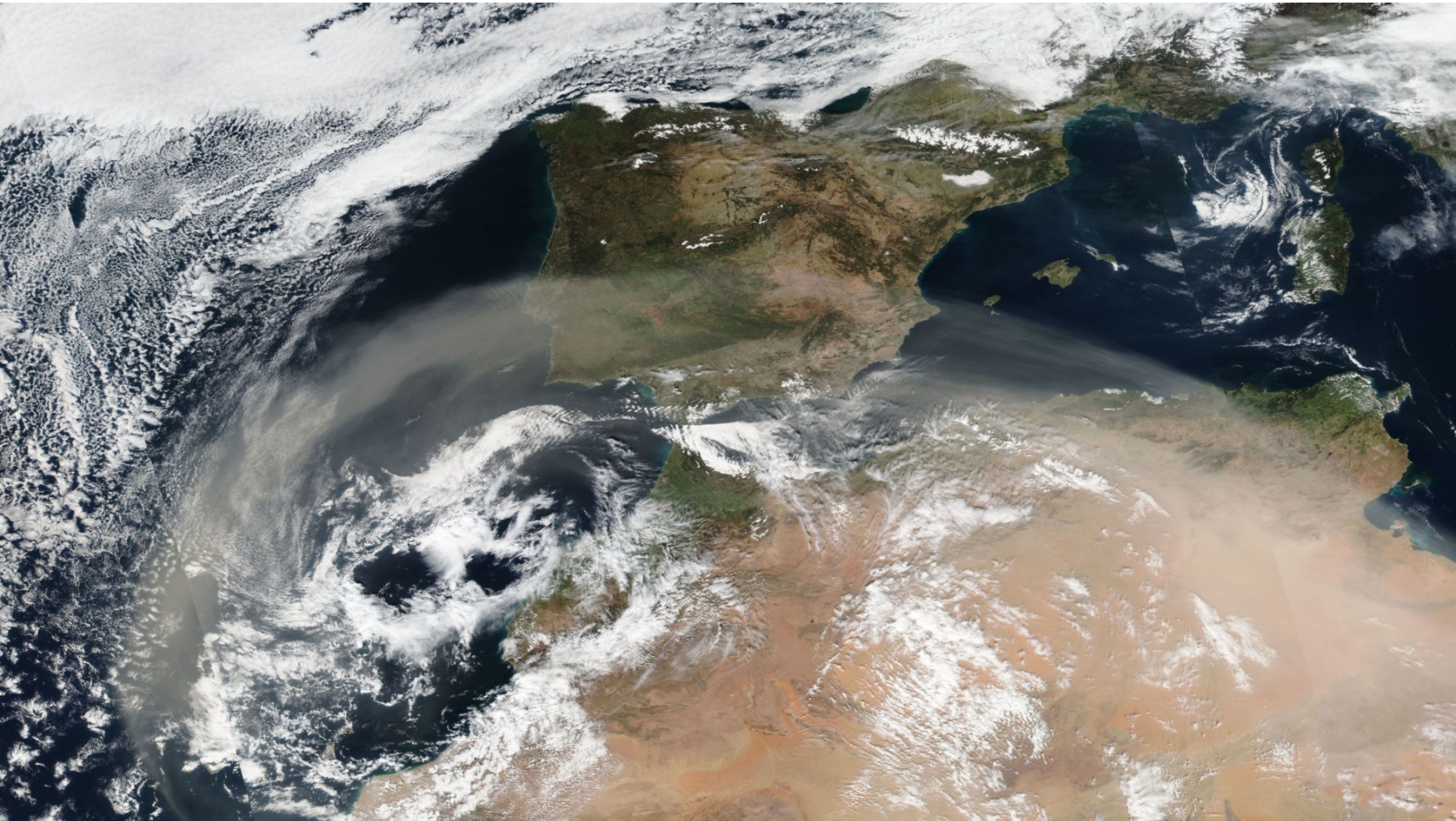
Aqua – Le 17 avril 2010



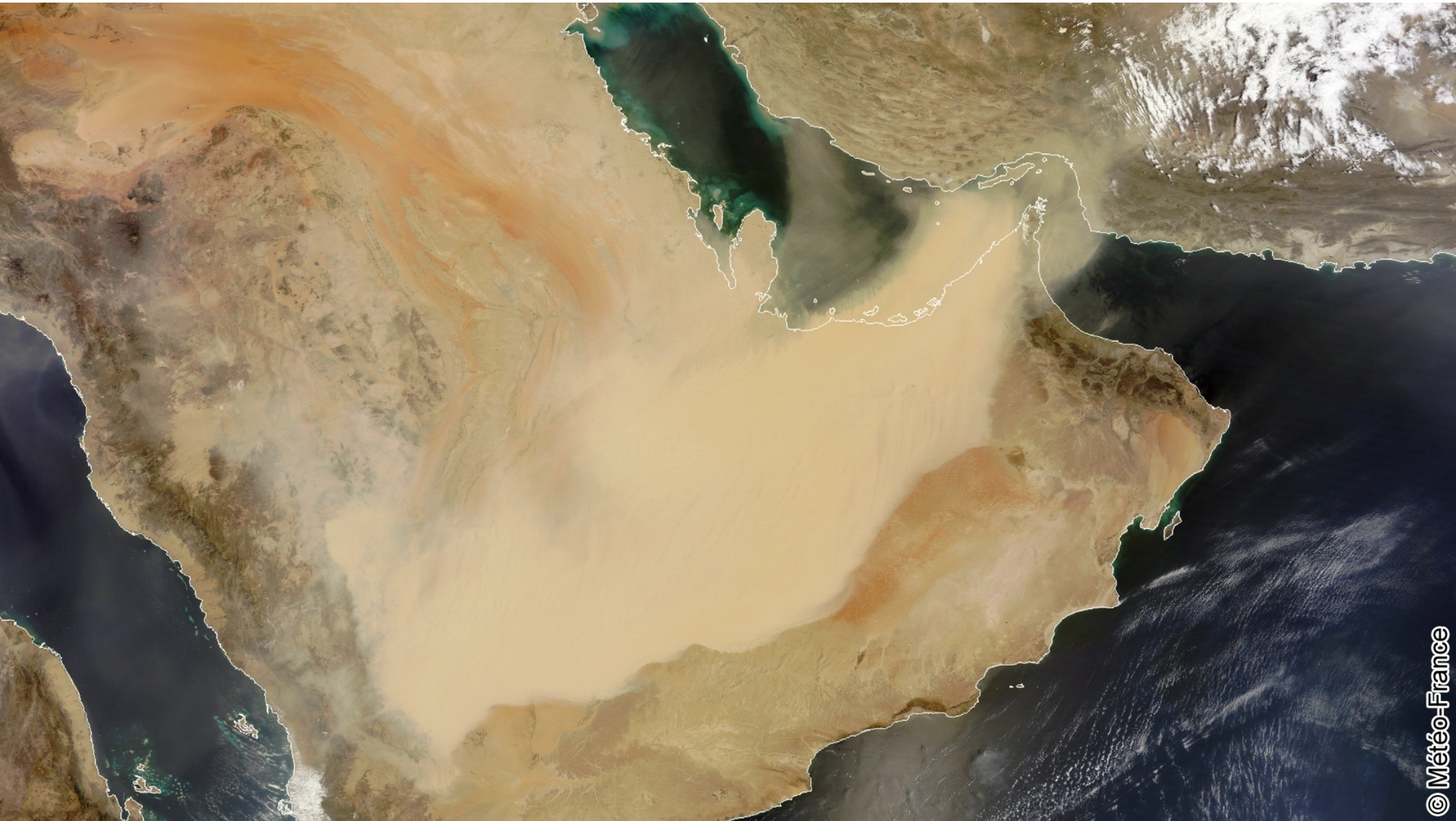
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

METEO FRANCE

Sable en Méditerranée

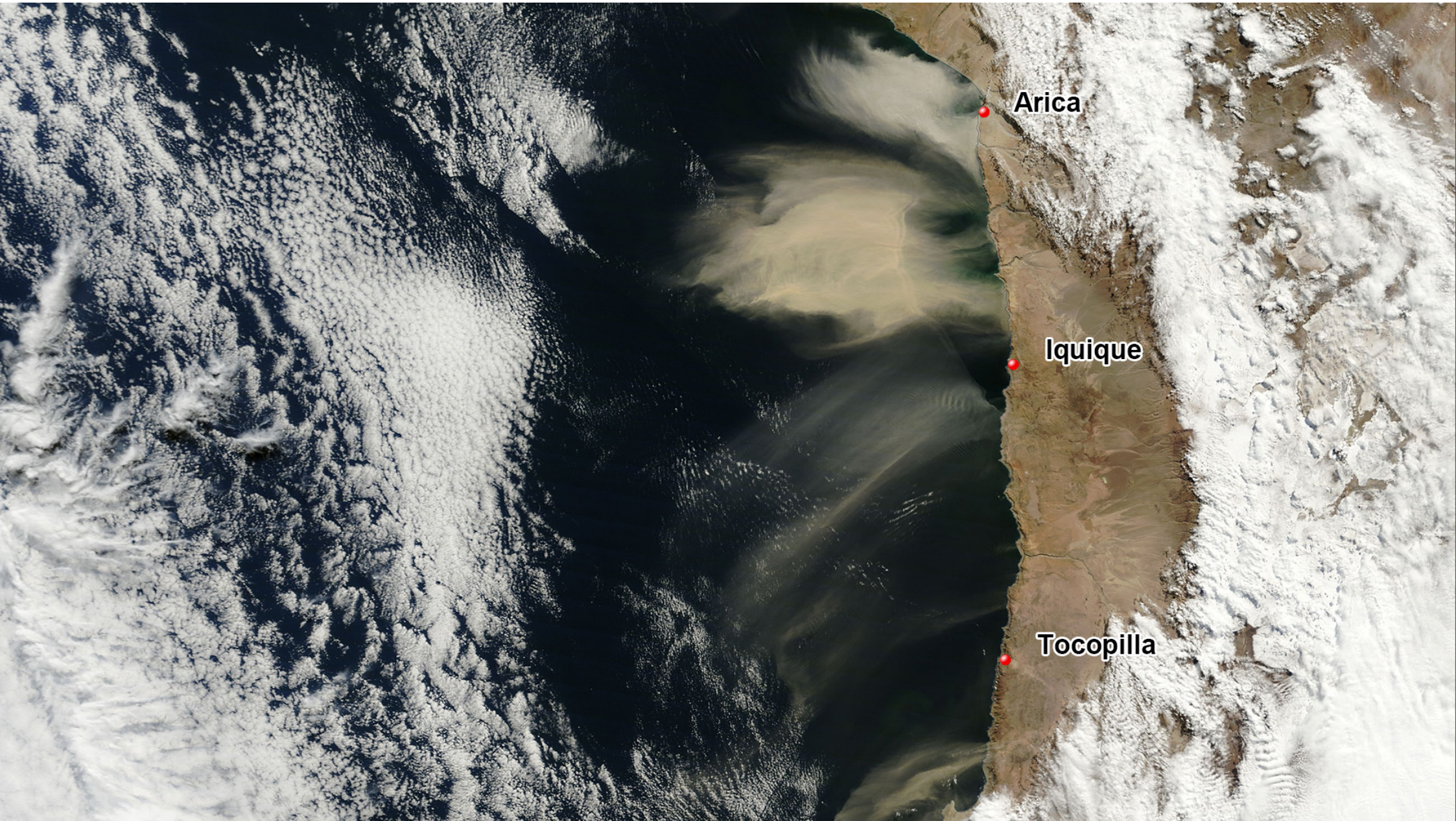


Sable sur la péninsule arabique



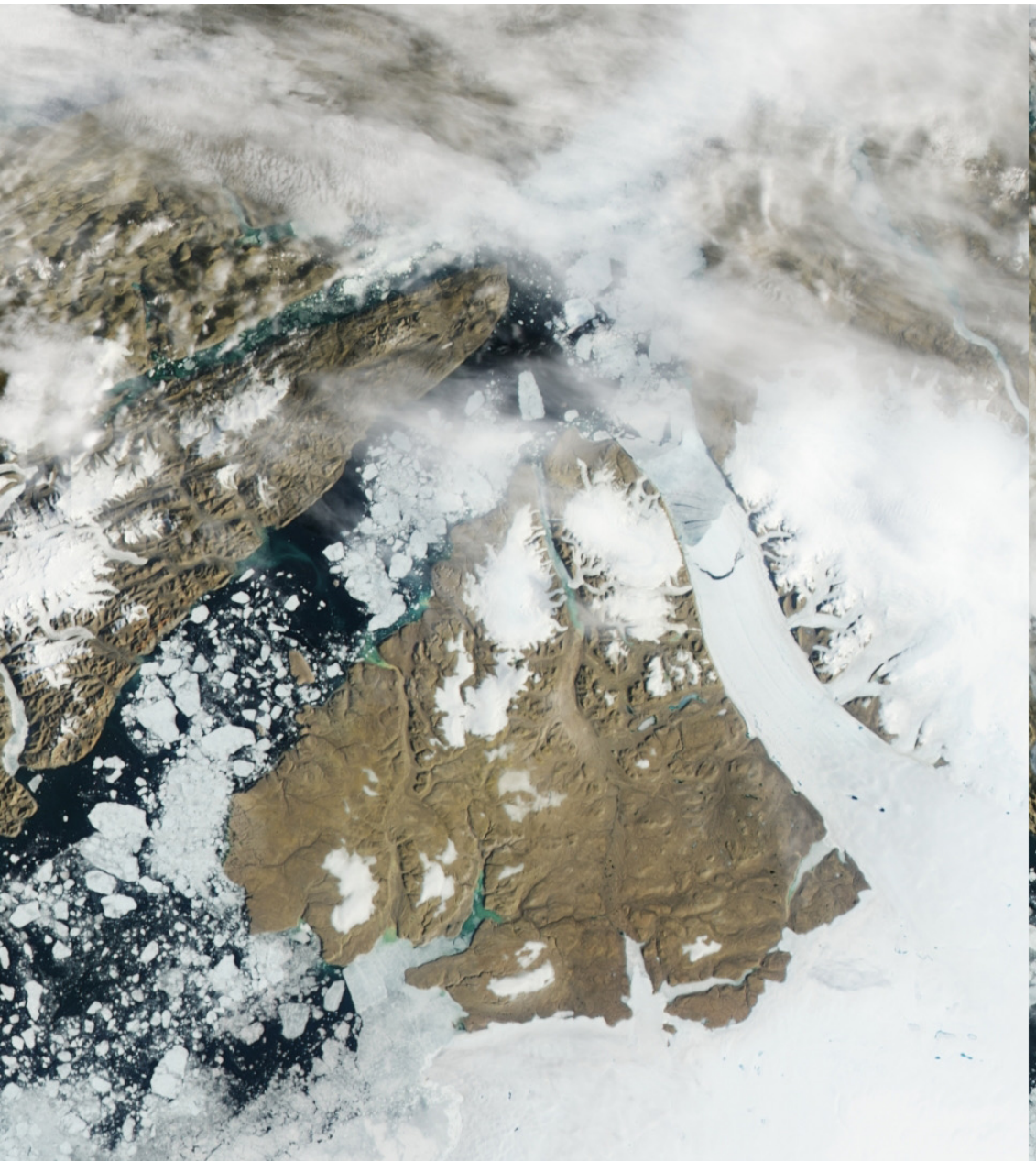
Sable en Amérique du Sud

Terra – Le 8 juillet 2016



Glacier Petermann

Les 16 et 17 juillet 2012 – nord du Groenland



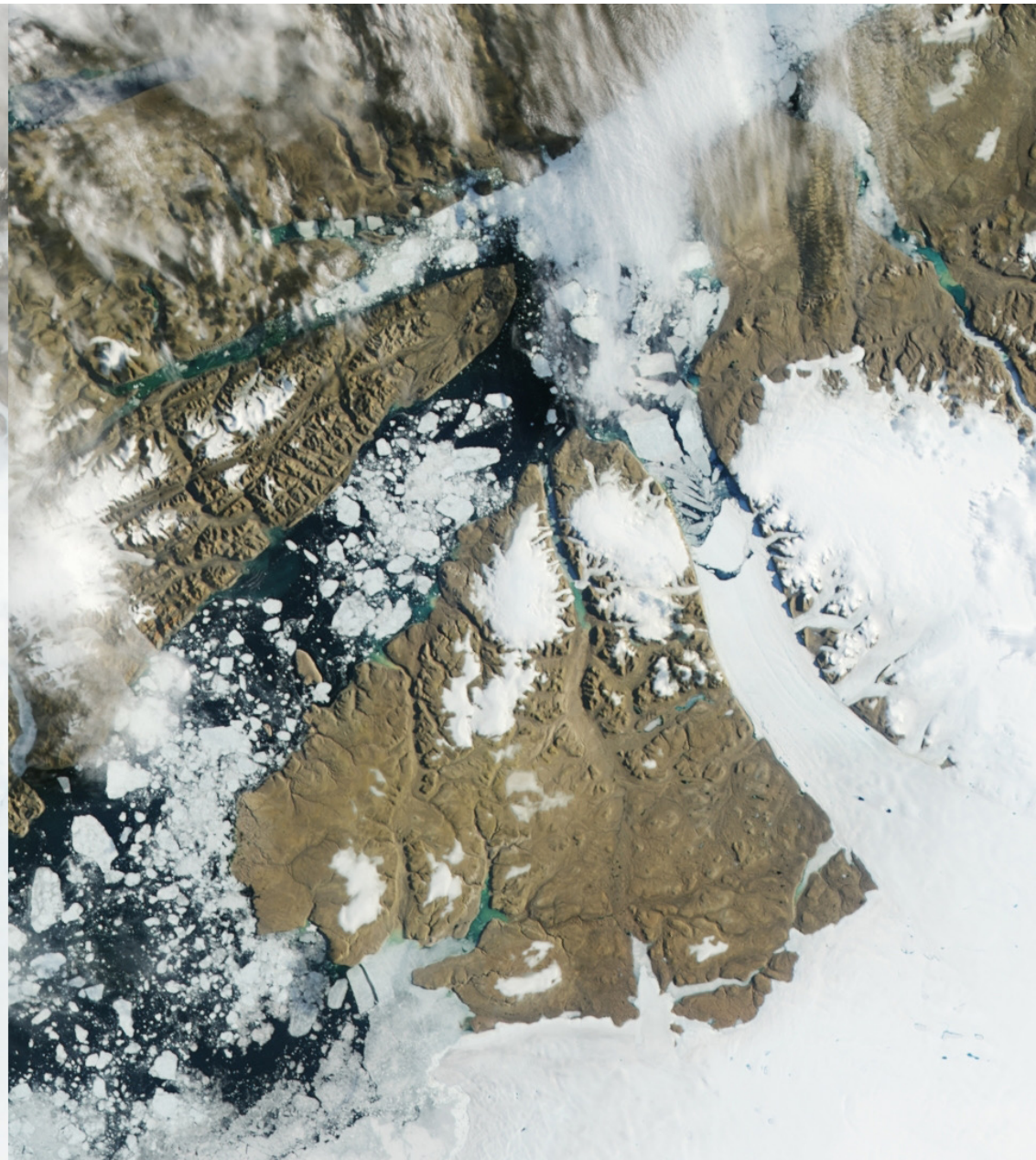
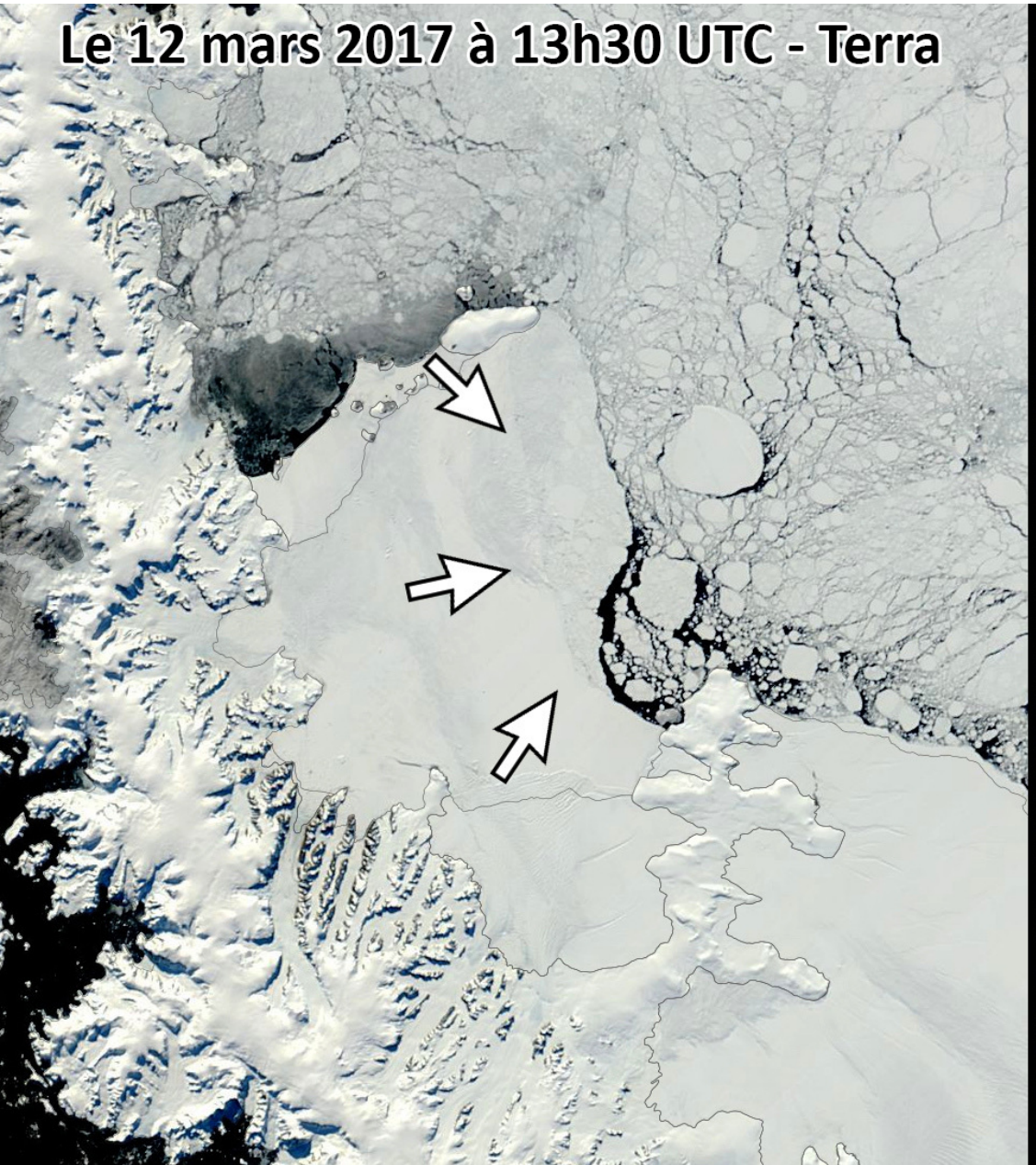
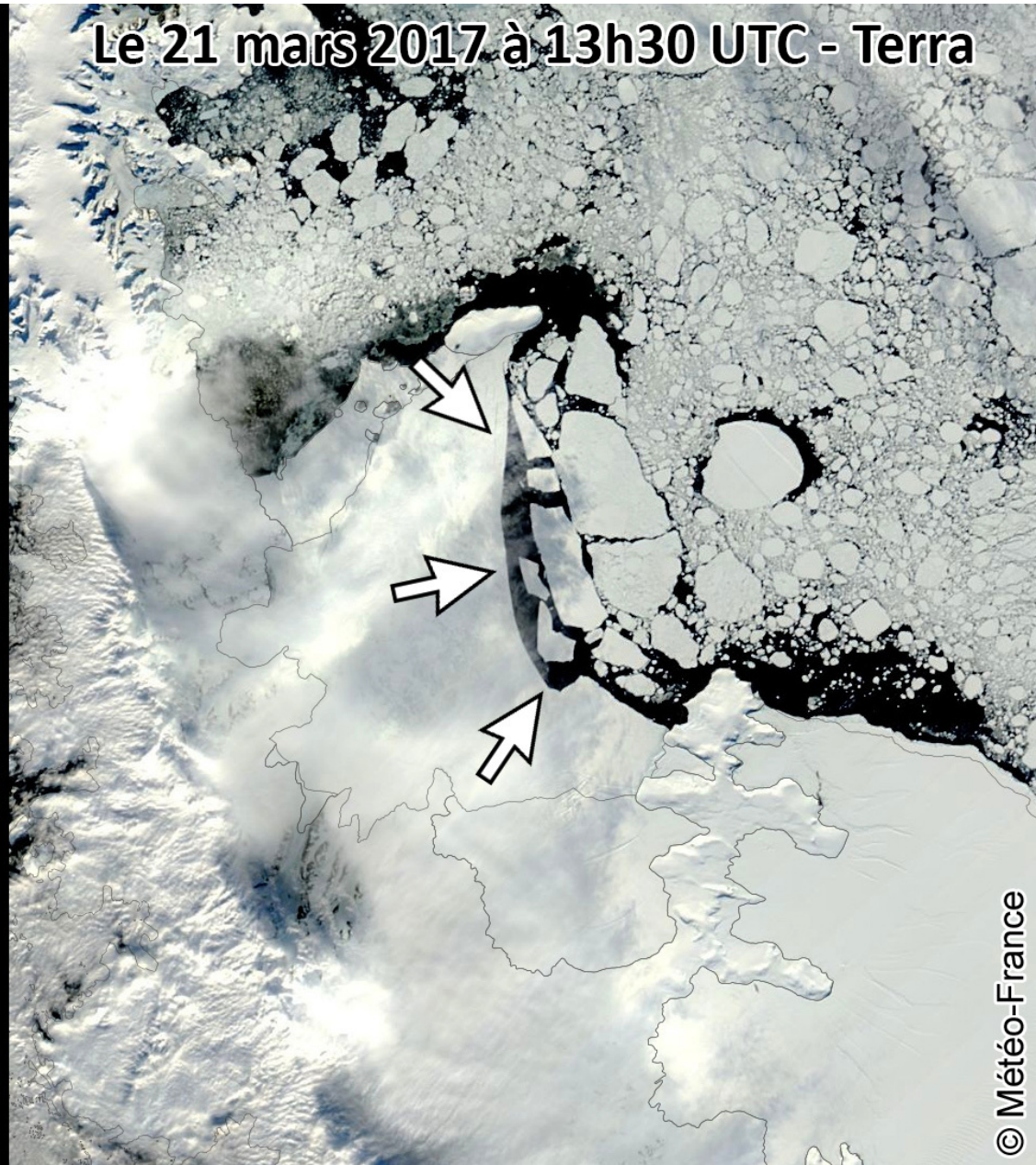


Plate-forme de Larsen

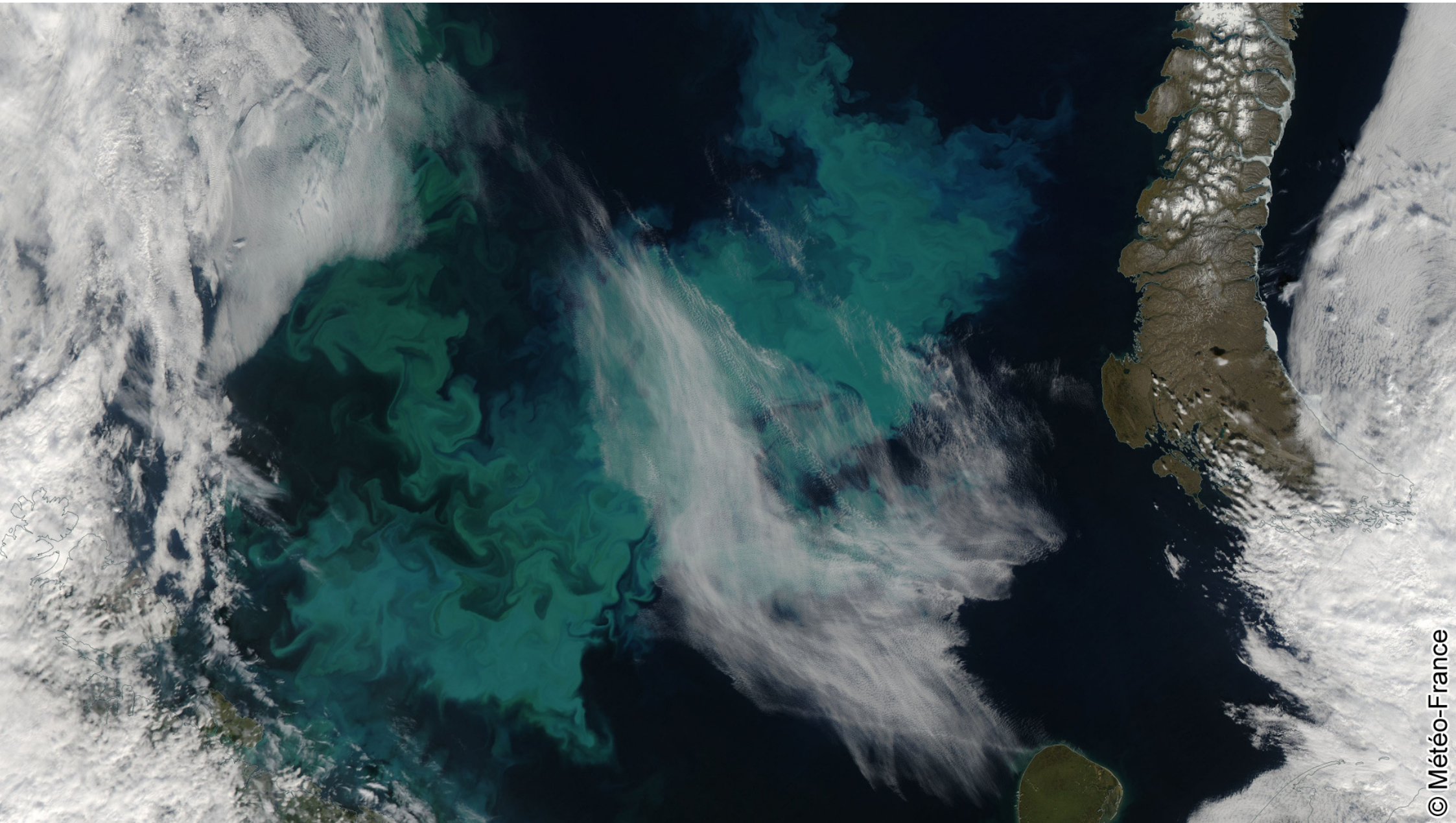




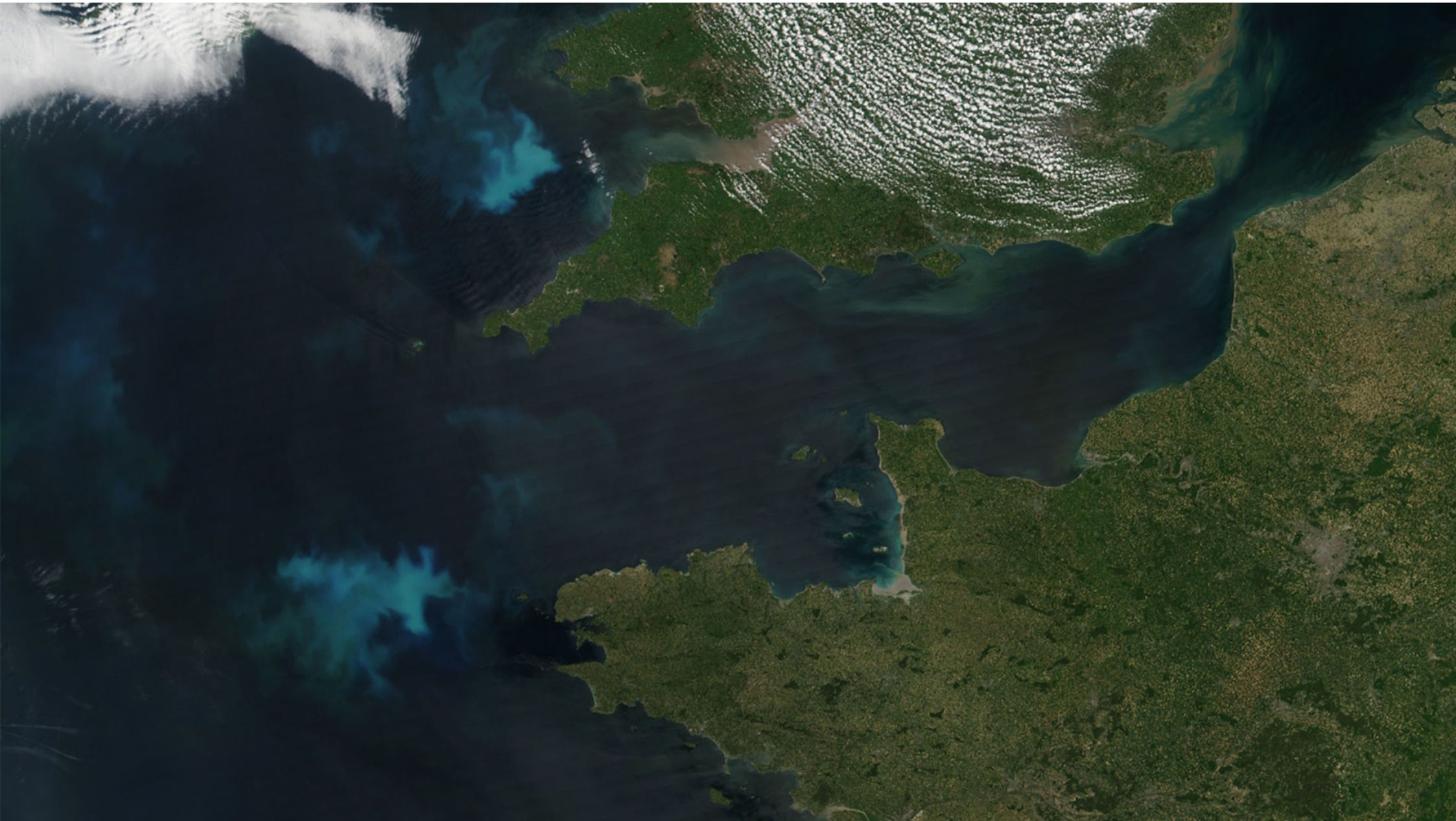
© Météo-France

Les couleurs de la mer de Barents

Le 29 juillet 2015



Efflorescence de phytoplancton

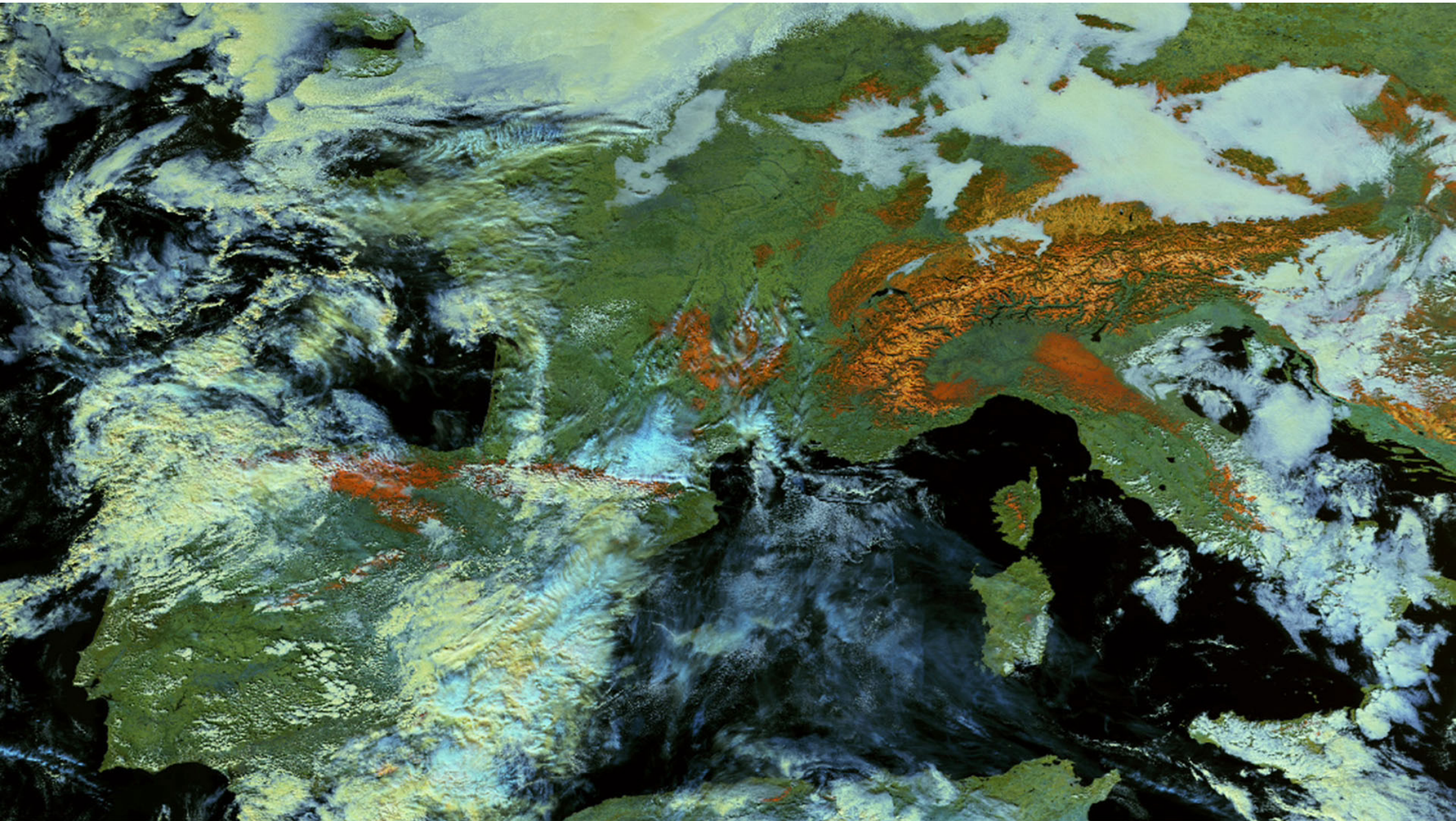


La mer Noire, pas si noire !

Terra – Le 29 juin 2017 à 8 h 45 UTC

Neige au sol

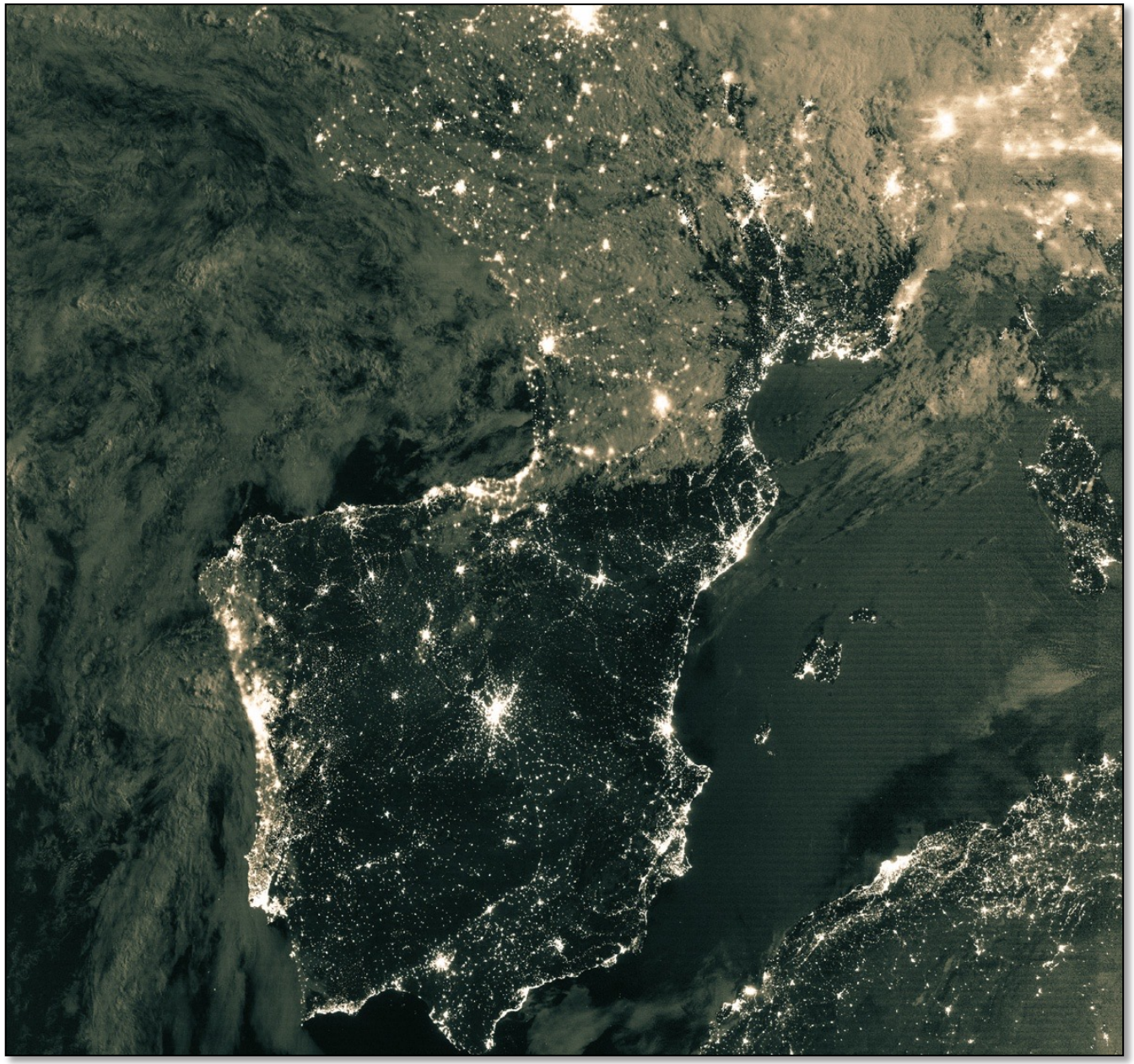
Le 12 février 2015



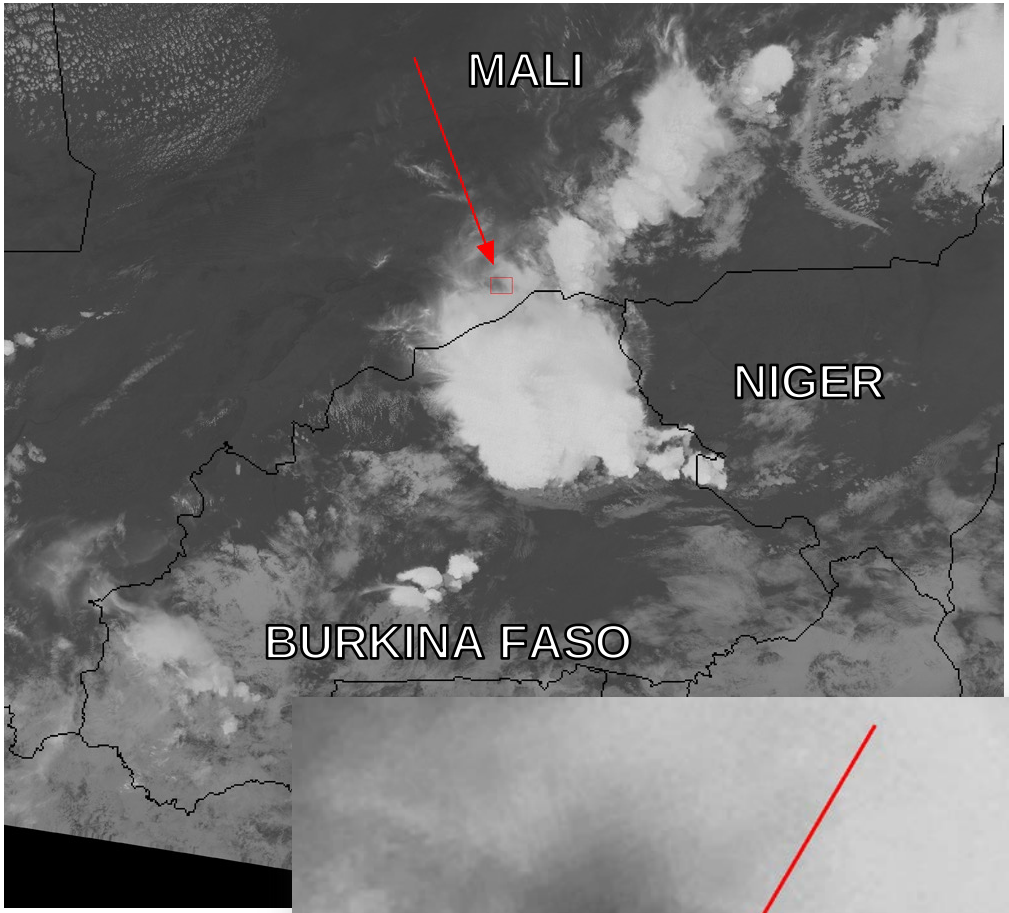
Le canal jour/nuit

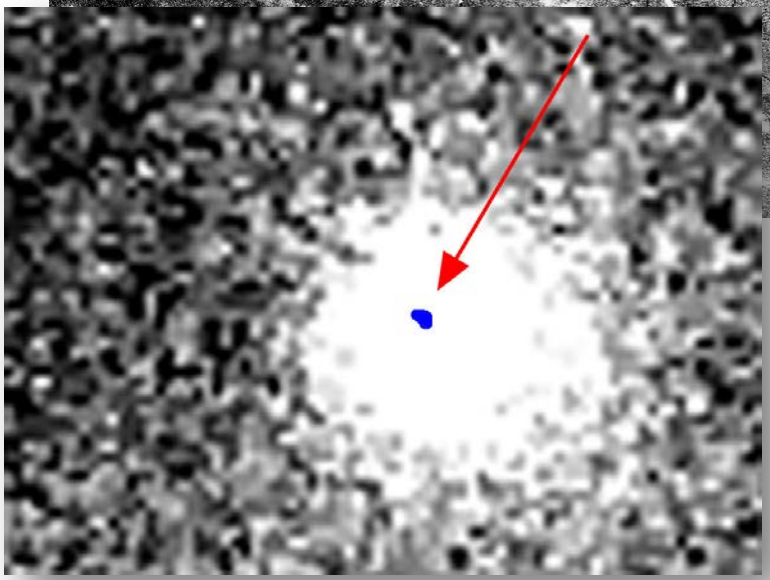
Grâce à une large bande passante (du vert au proche infrarouge) et à un système d'intensification de la lumière, il est particulièrement sensible et peut être utilisé de nuit. Ainsi, il permet de distinguer aisément les zones lumineuses intenses comme les villes, les éclairs et les feux, ou plus diffuses comme les aurores polaires, par exemple.

Et surtout, lorsque que la Lune éclaire la Terre (pour environ 70% du temps, donc hors des périodes de Nouvelle Lune), on peut également voir les couches nuageuses ainsi que la glace de mer et la neige au sol.



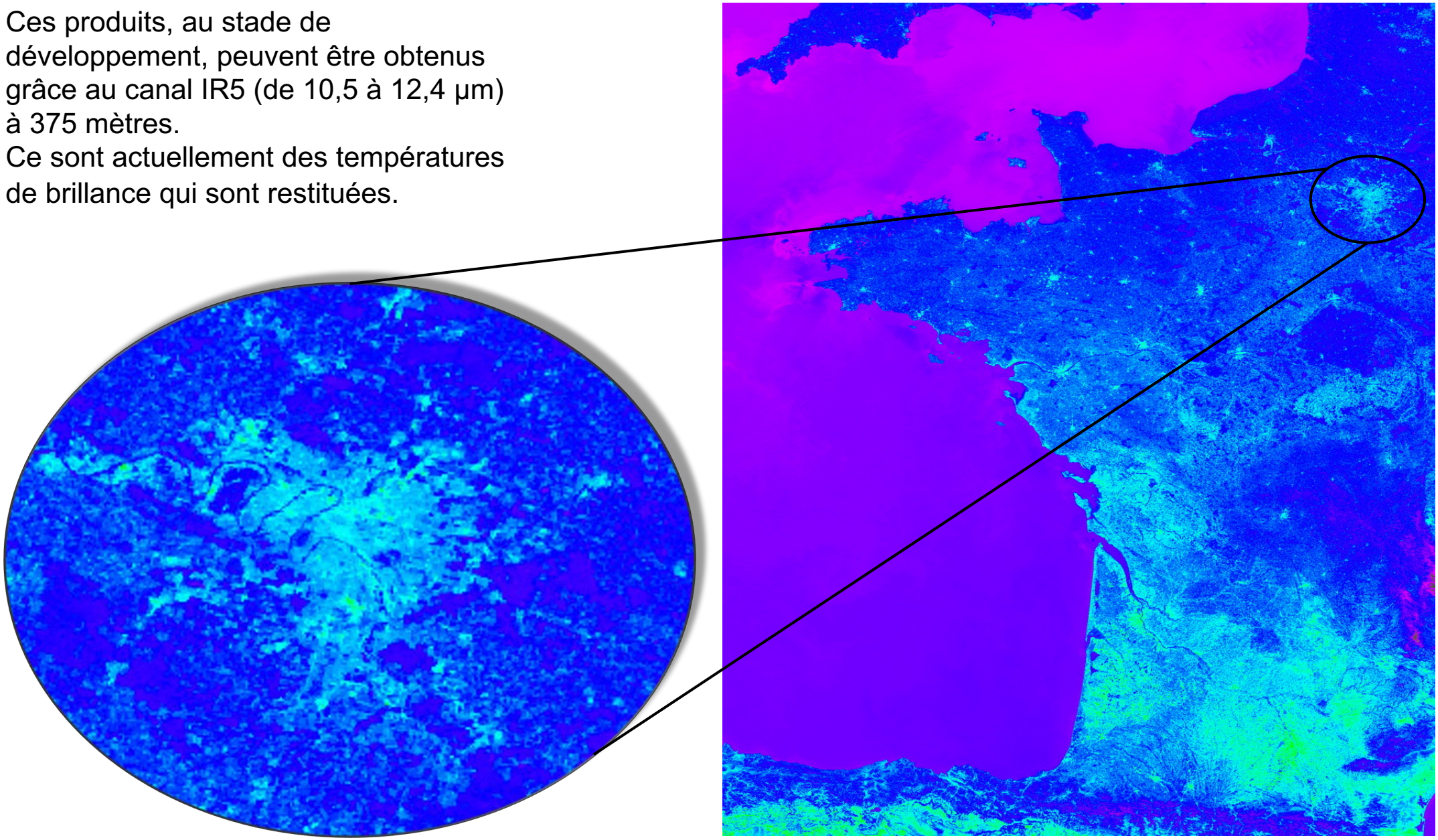
Crash AH5017 Ouagadougou / Alger



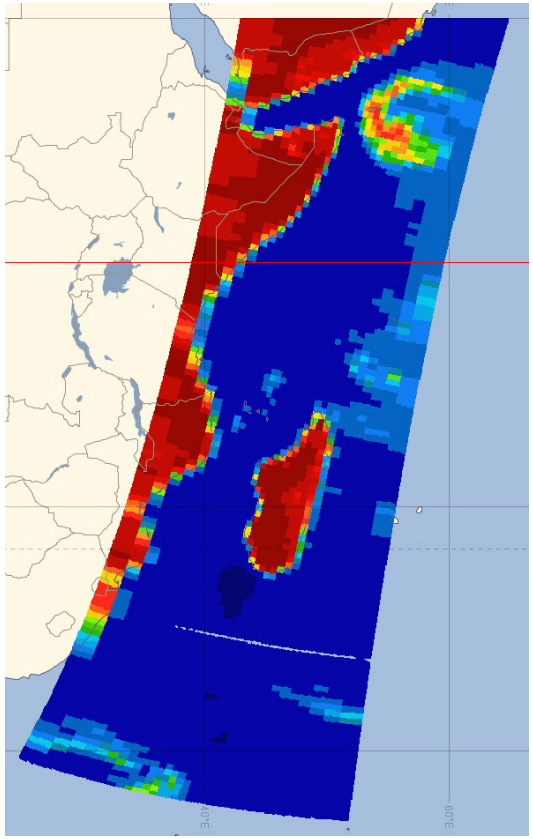


Des mesures de température

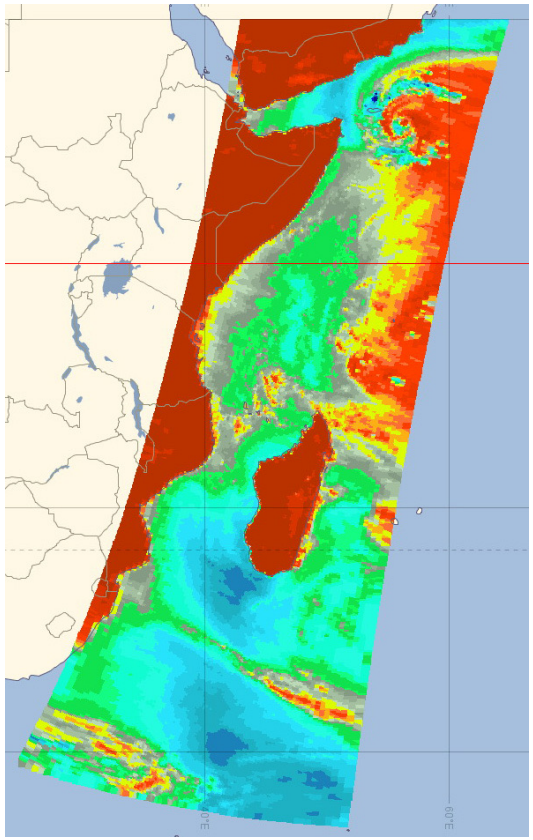
Ces produits, au stade de développement, peuvent être obtenus grâce au canal IR5 (de 10,5 à 12,4 µm) à 375 mètres.
Ce sont actuellement des températures de brillance qui sont restituées.



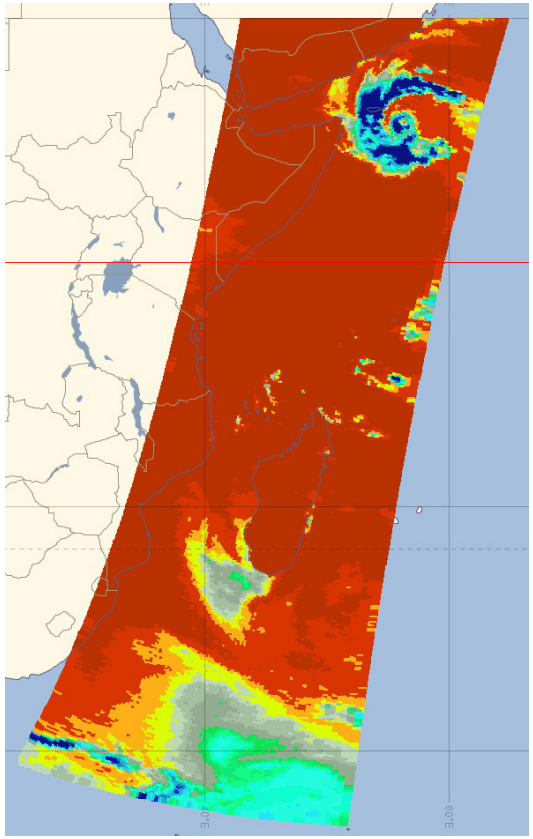
Des données micro-ondes



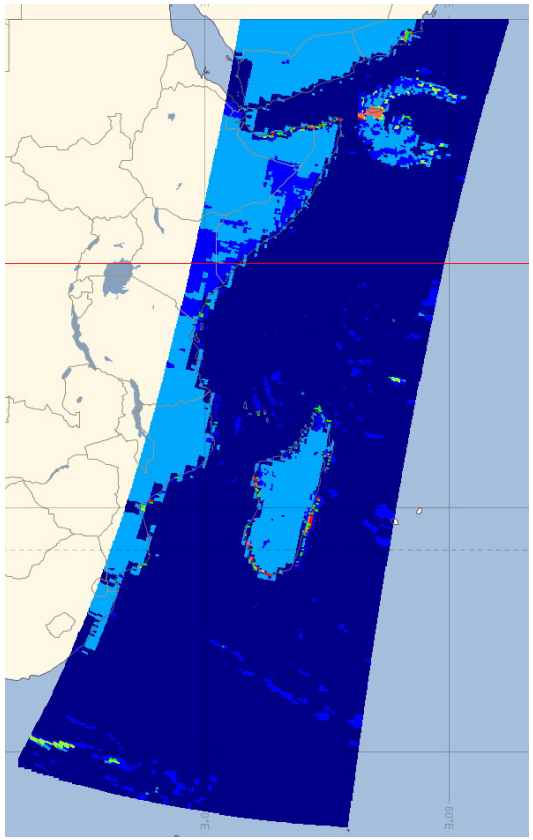
Canal 31 GHz



Canal 89 GHz



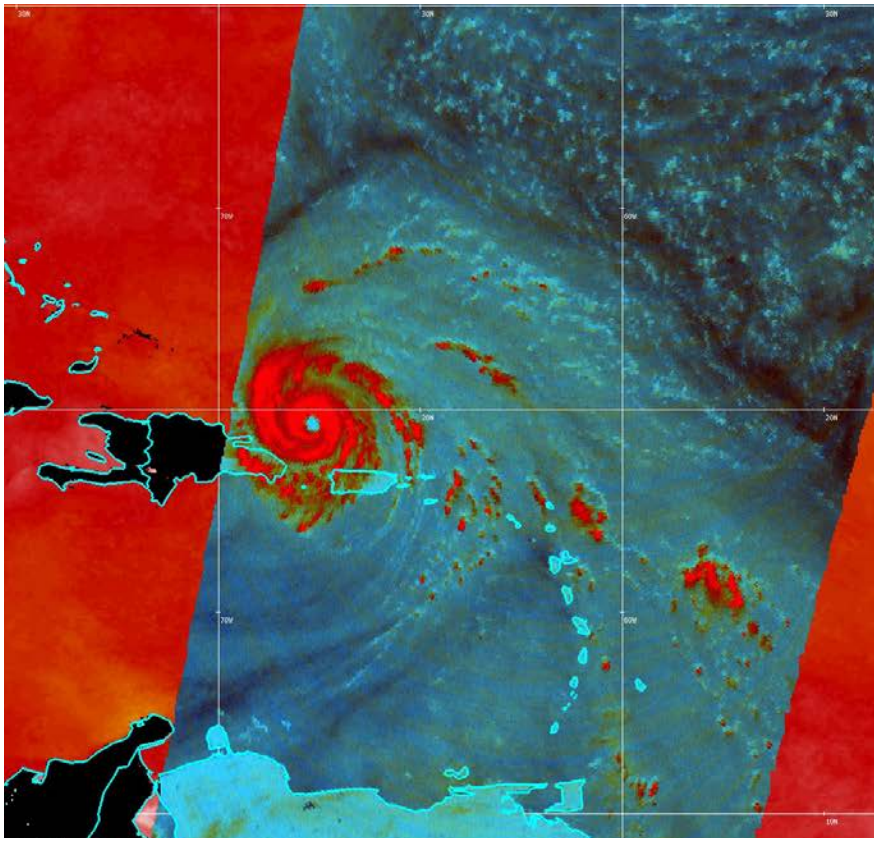
Canal 157 GHz



Taux de précipitations

Des données micro-ondes

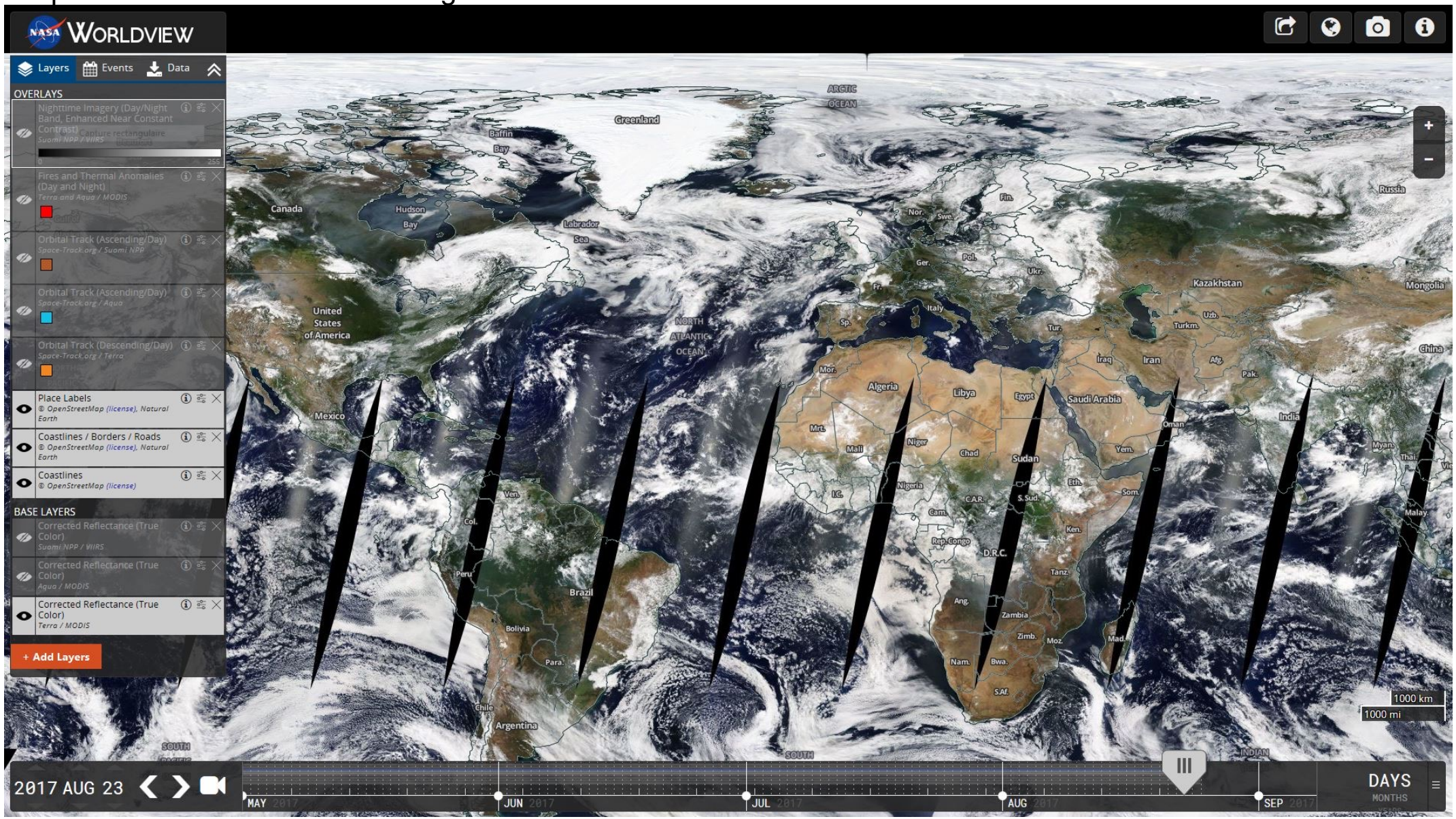
Intérêt de l'imagerie micro-ondes :

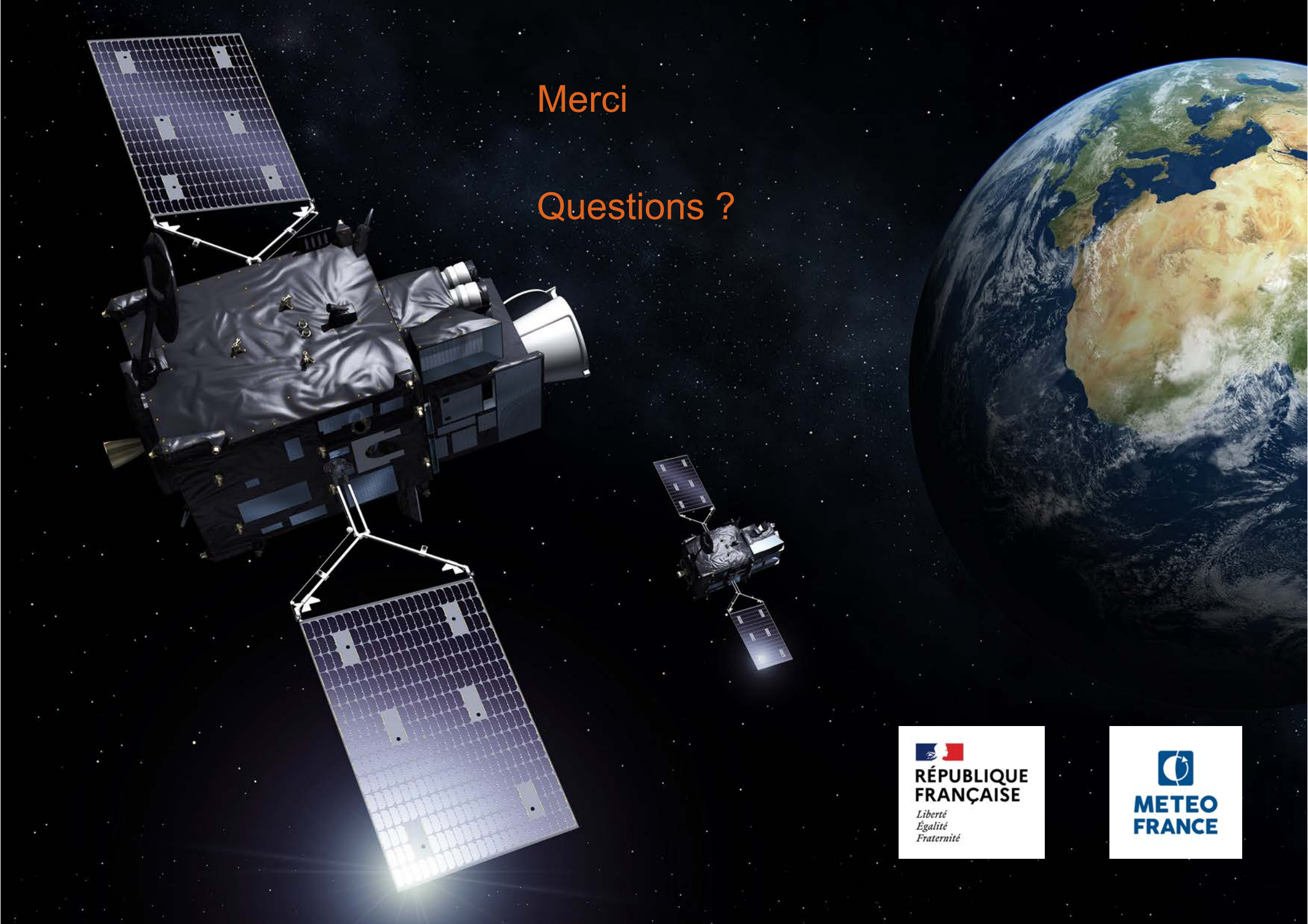


- utilisation première en prévision cyclonique mais permet d'affiner l'activité pluvieuse hors de la portée des radars ;
- scanner la structure interne des systèmes dépressionnaires tropicaux, en particulier les bandes précipitantes ;
- permet de voir ce qui est généralement occulté par les cirrus ;
- détection précoce de l'œil, avant qu'il ne devienne visible en VIS ou en IR ;
- cycles de remplacement du mur de l'œil, cisaillement ;
- mesure du rayon des vents max. plus fine et de meilleure qualité.
- Canaux 30 – 37 GHz : canaux plus sensibles aux hydrométéores – basse troposphère – détection du centre de la circulation dépressionnaire de basses couches (début de vie, systèmes affaiblis) – prémices de la formation de l'œil, parfois à des stades très précoces.
- Canaux 85 – 91 Ghz : moyenne troposphère – estimation de la convection profonde et intensité du phénomène (en particulier pour les systèmes matures)

JPSS, AQUA, TERRA…

https://worldview.earthdata.nasa.gov




Merci
Questions ?
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité
METEO FRANCE