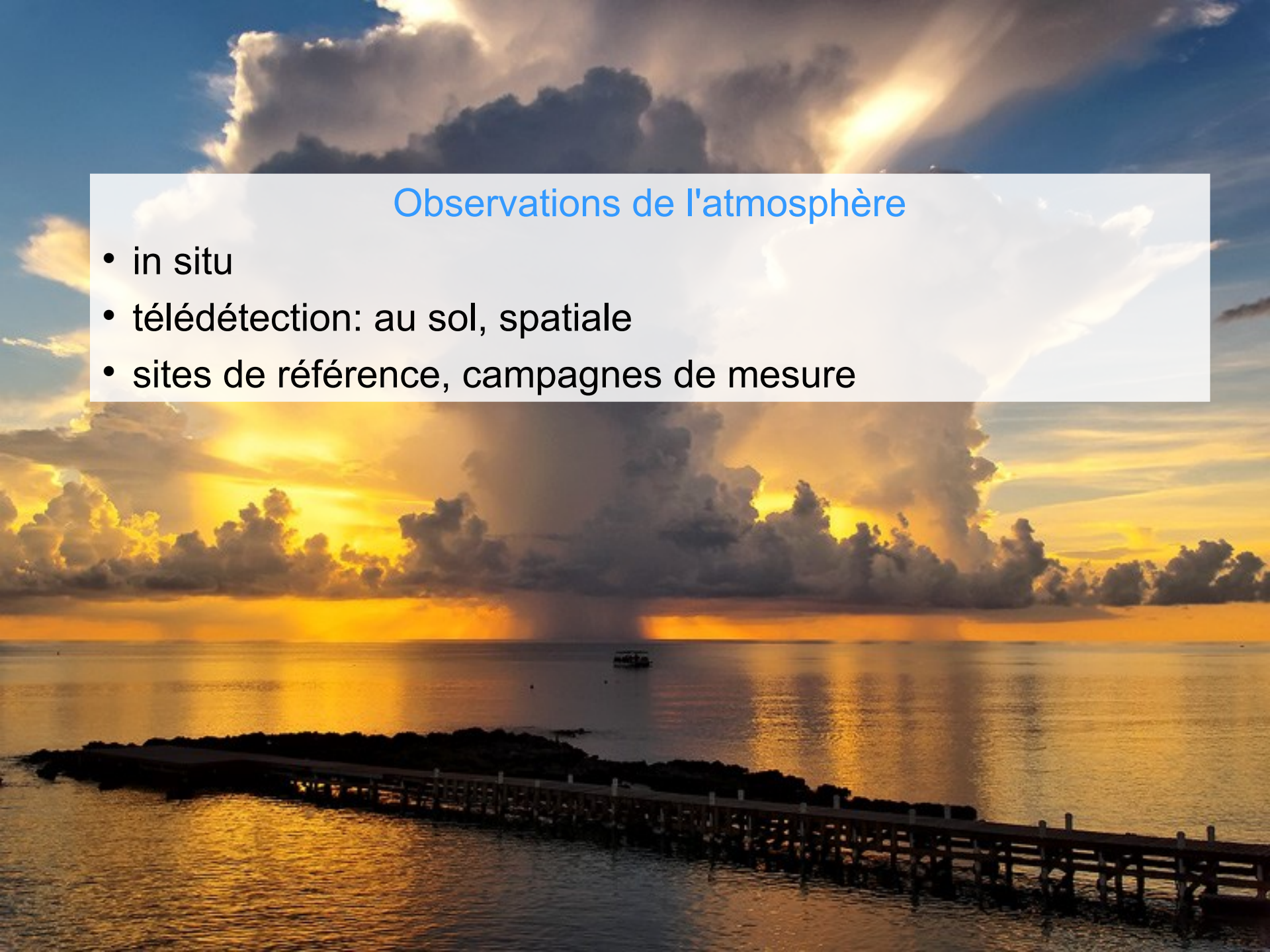


Observations de l'atmosphère

- in situ
- télédétection: au sol, spatiale
- sites de référence, campagnes de mesure



caractéristique des obs importantes pour leur utilisation en prévision

précision des mesures:

- qualité instrumentale
- représentativité
- stabilité des erreurs (biais, erreurs aléatoires)

couverture du réseau:

- densité spatio-temporelle ("résolution")
- extension géographique (absence de "trous")

valeur opérationnelle:

- délais d'accès
- durée de vie du réseau (→ inclure R&D à investir l'utiliser)
- coût: mise en place et exploitation (consommables, maintenance, logistique)

Types de réseaux d'observation

Opérationnels → prévision et analyses (ex: OMM)

- accessibles en temps réel
- coût unitaire limité
- qualité surveillée

De référence climatique → surveillance

- idem, homogènes sur de longues durée

D'opportunité: amateurs, réseaux privés

- coût d'utilisation 'nul'
- qualité aléatoire

De recherche → investigations (ex: sites ARM)

- technologies chères et sophistiquées
- ponctuels et/ou de courte durée



station météo Netatmo (~149.99€)



site ARM pour aérosols

Principales obs utiles en modélisation météo/océano/surfaces

- mesures in situ
- télédétection terrestre: radars et lidars
- télédétection spatiale

Mesures in situ

Paramètres mesurés 'au sol':

- température T , humidité HU , pression p , précipitations
- vent U , rafales, turbulence
- état des surfaces (neige, humidité, vagues)
- (rayonnement, microphysique, flux, mâts)

En altitude: 'profils'

- radiosondages (U p T HU) $\rightarrow z \sim 0$ à 20km
- avions: (U T)

= obs coûteuses et peu denses

Observations in situ

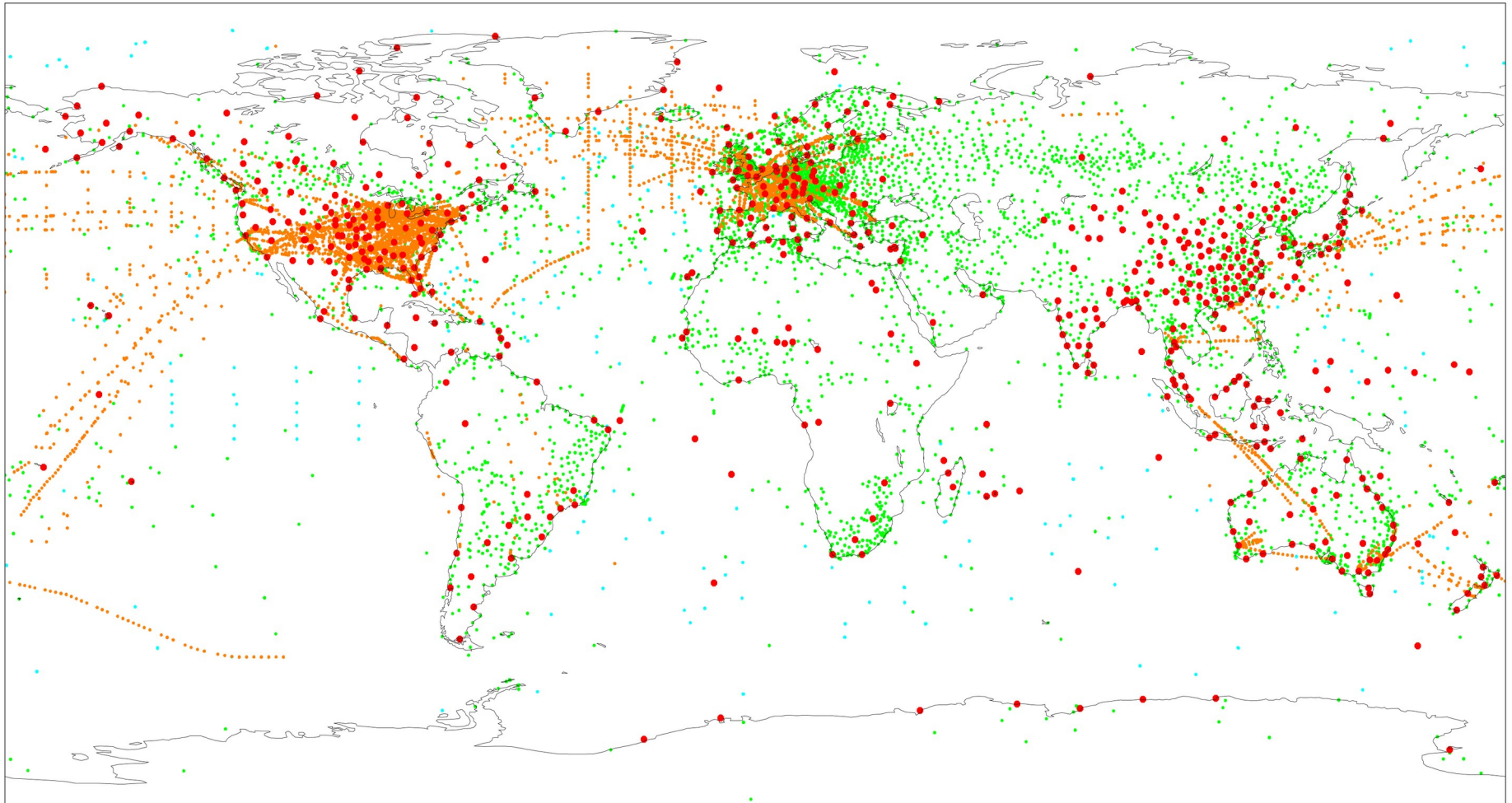
(cf cours M2 sur obs)



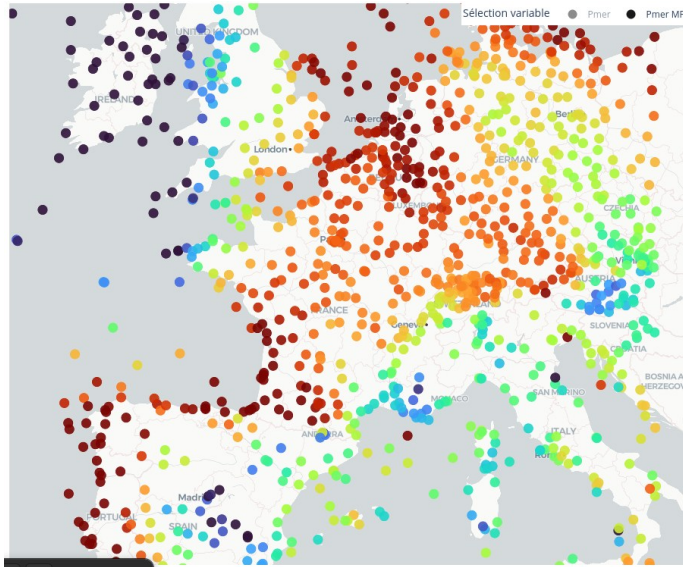
Observations in situ

réseau météo assimilable en temps réel par période de 6h

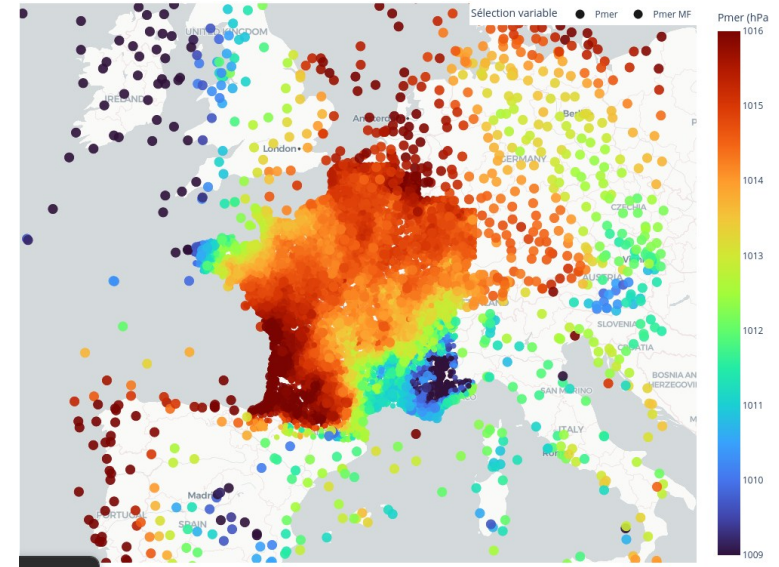
- obs surface / altitude / profils verticaux
- obs fixes / mobiles



Observations in situ

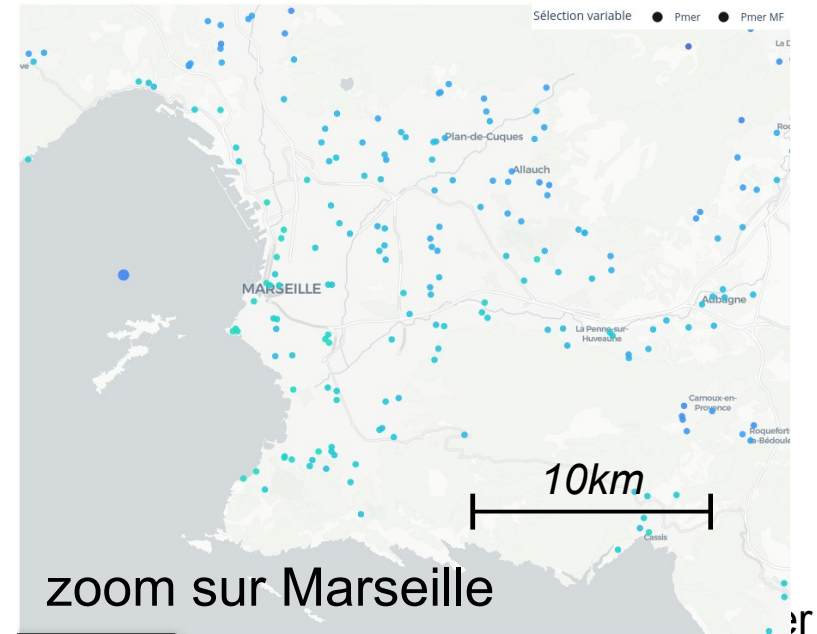


réseau public opérationnel ($n \sim 10^3$)



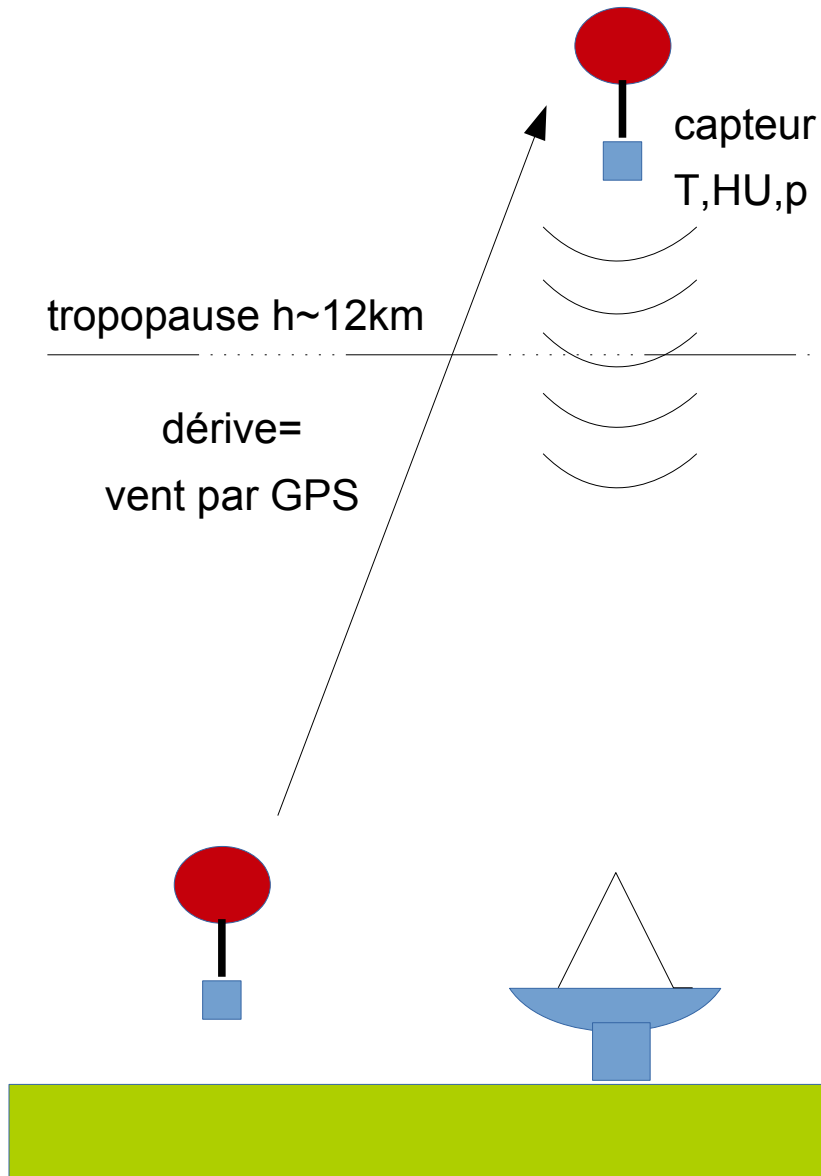
réseau amateur Netatmo ($n \sim 10^5$)

observations de pression sol
en temps réel
après contrôle qualité



zoom sur Marseille

Radiosondages



C'est la référence en matière d'obs météo (bonne qualité et résolution verticale)

- gonflage au H₂ ou He
- lancement manuel ou par robot
- capteur consommable
- ascension en ~45mn
- coût ~500euros/lancement dont ~50% de logistique et gonflage

Radiosondages

pression

~z

vent

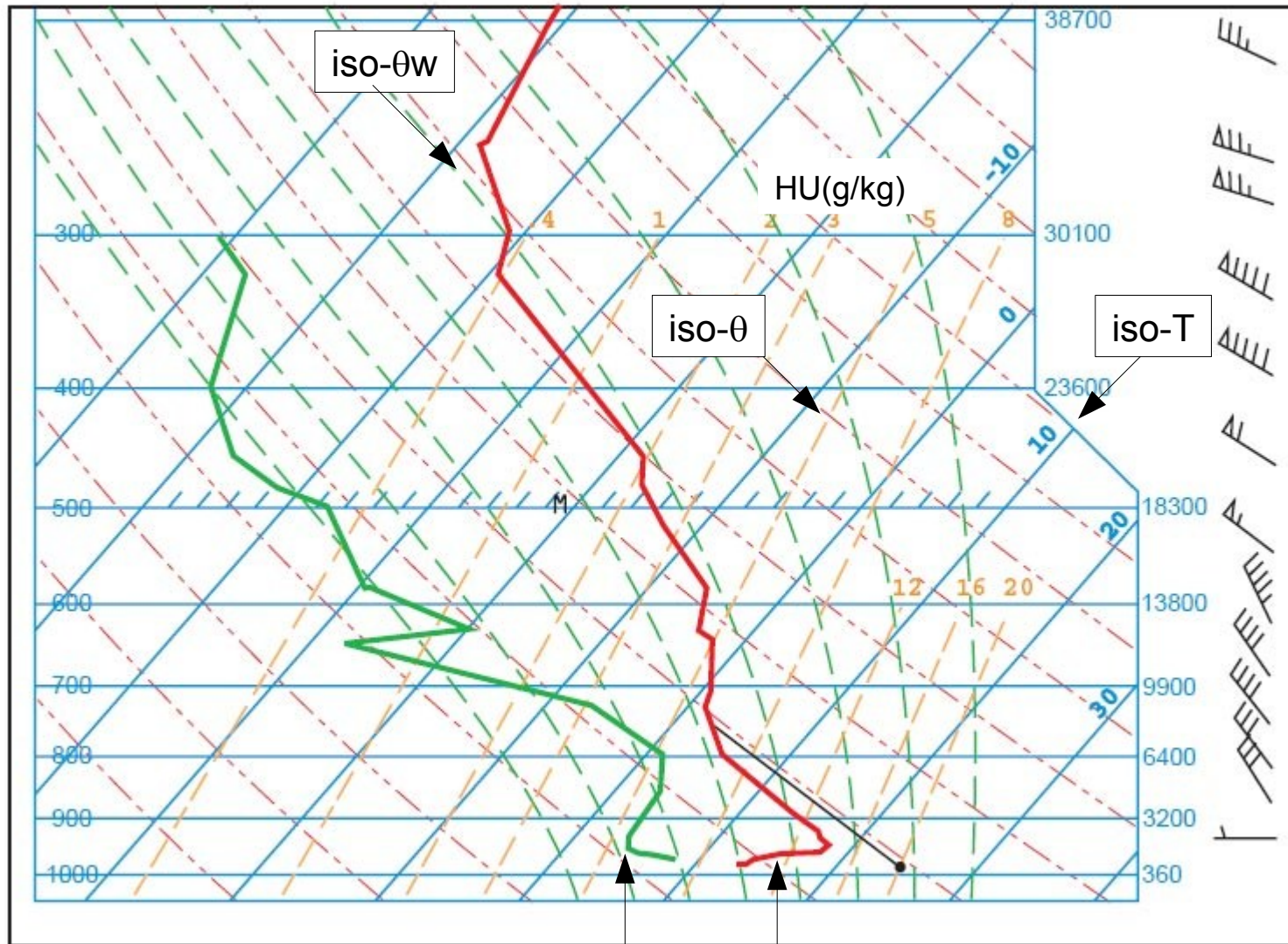


Figure 9-10. Skew-T from an actual sounding.

Température 'du thermomètre mouillé' (=humidité)

Température

Observations télédéteetées terrestres

Radar (microondes):

- fréquences sensibles à pluie/neige: scans en réseau (réflectivités 3D, polarimétrie, vent radial Doppler)
- profileurs VHF/UHF: profils verticaux de vent
- (radars à nuages pour la recherche)

Lidars (lasers):

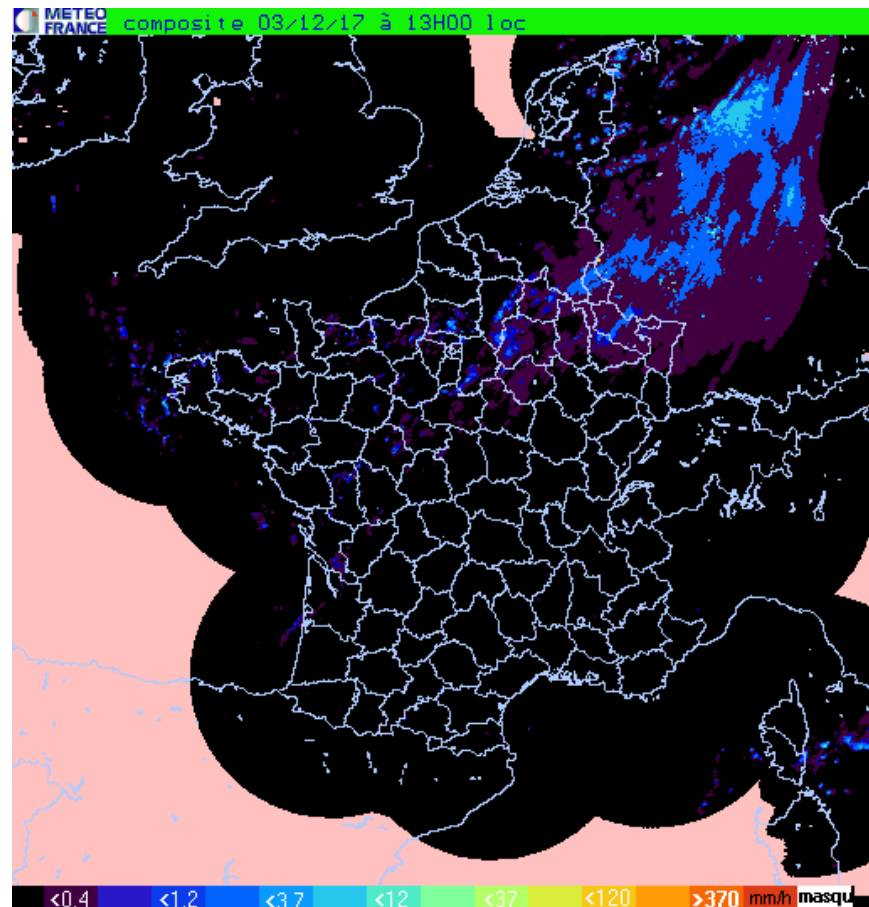
- scans de vent haute résolution (turbulence)
- aérosols

Radio: atténuation GPS, GSM: humidité en basses couches

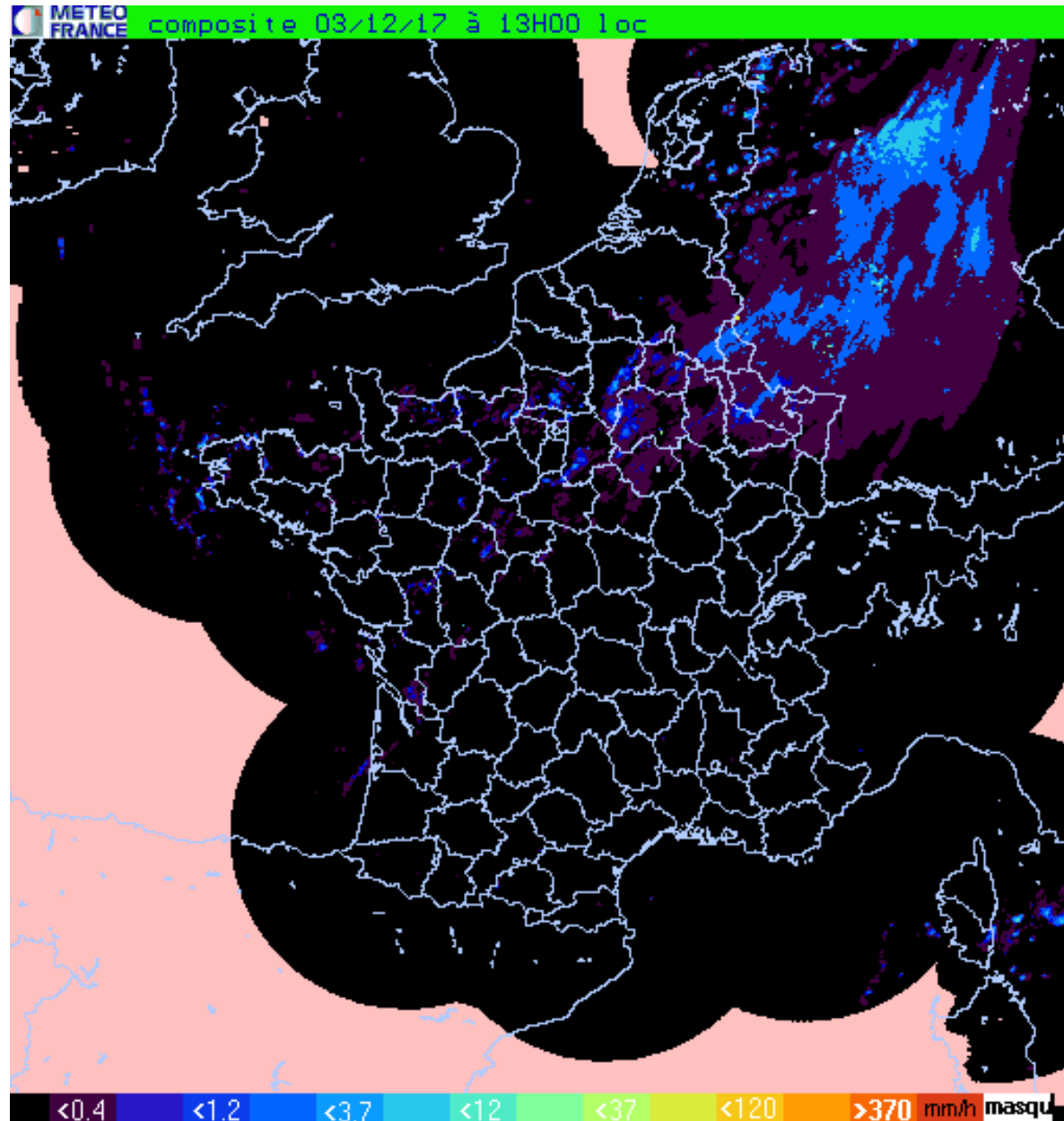
Observations radar à pluie

Radar (microondes):

- fréquences sensibles à pluie/neige: scans en réseau (réflectivités 3D, polarimétrie, vent radial Doppler)

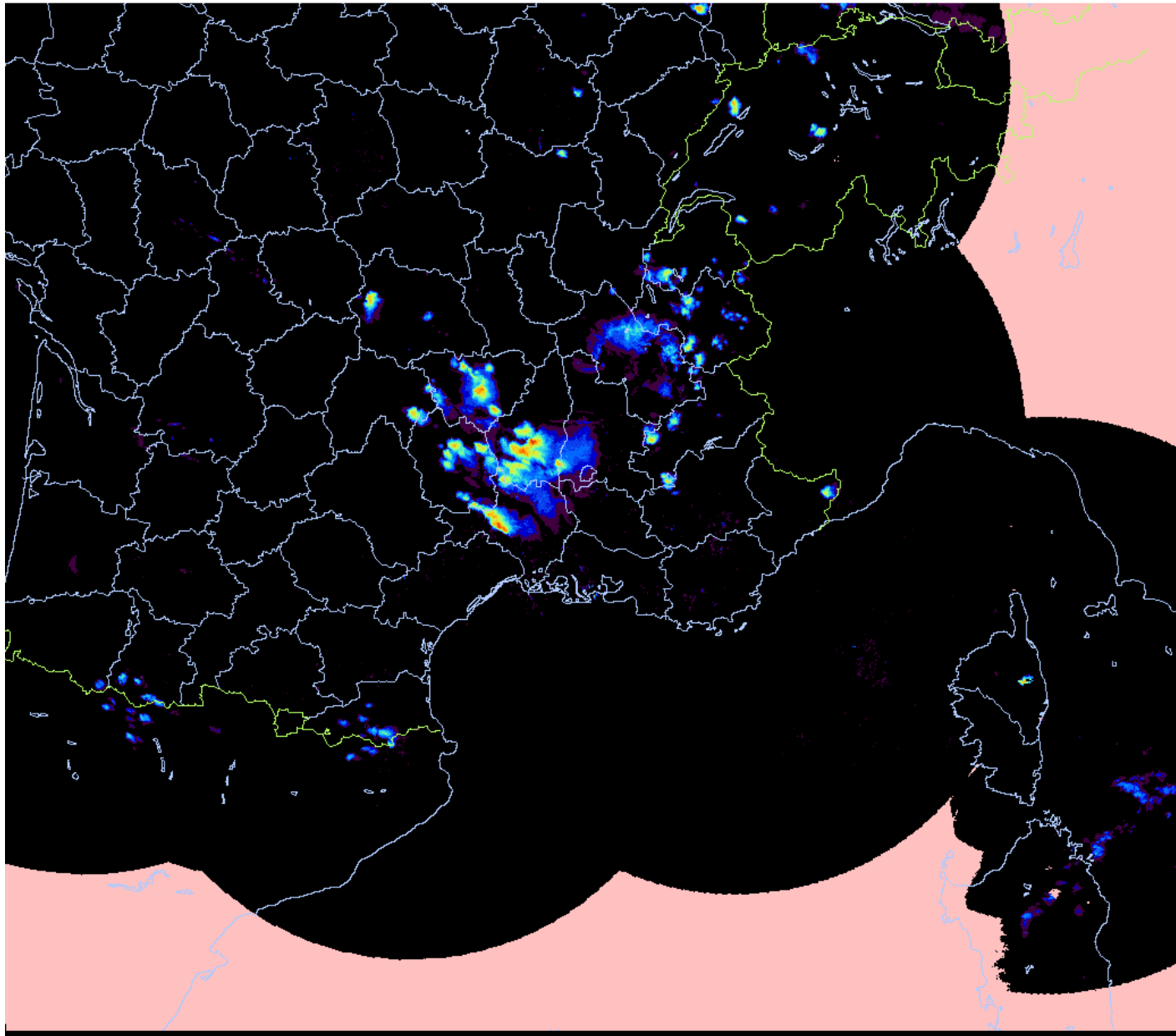


Observations de radars à pluie



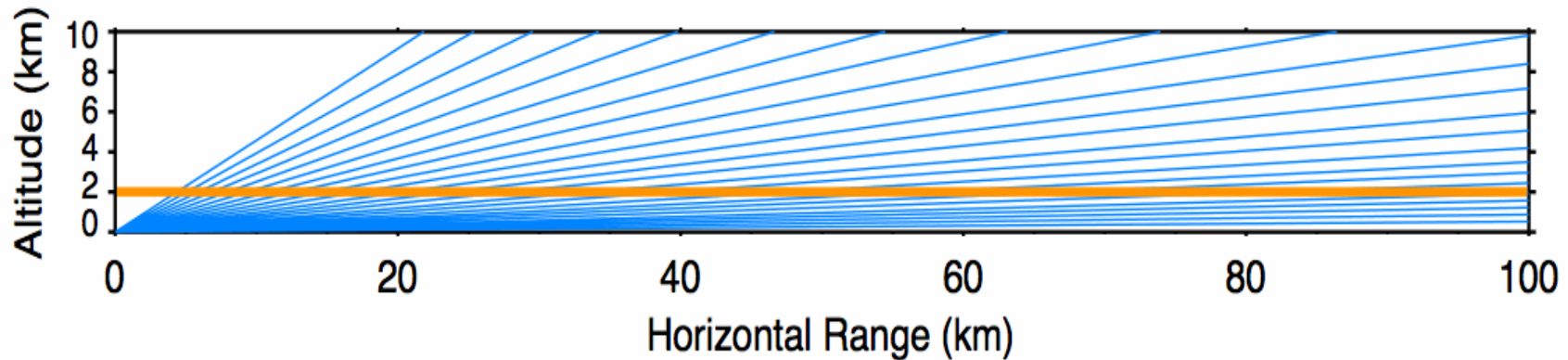
Observations de radars à pluie

(orages Montpellier 17 août 2016, 12h-18h TU)

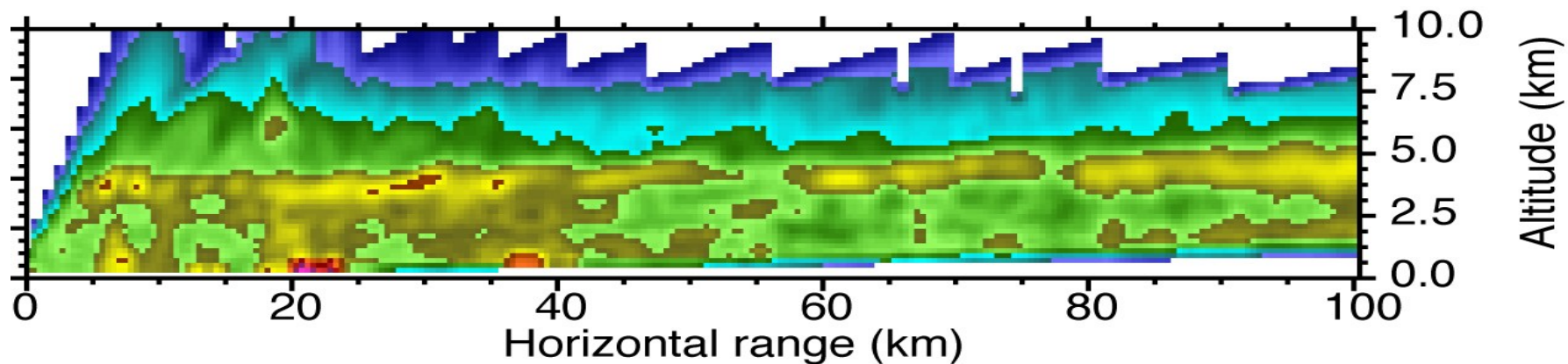


Observations de radars 3D

visite d'un volume 3D: antenne tournante avec plusieurs
élevations



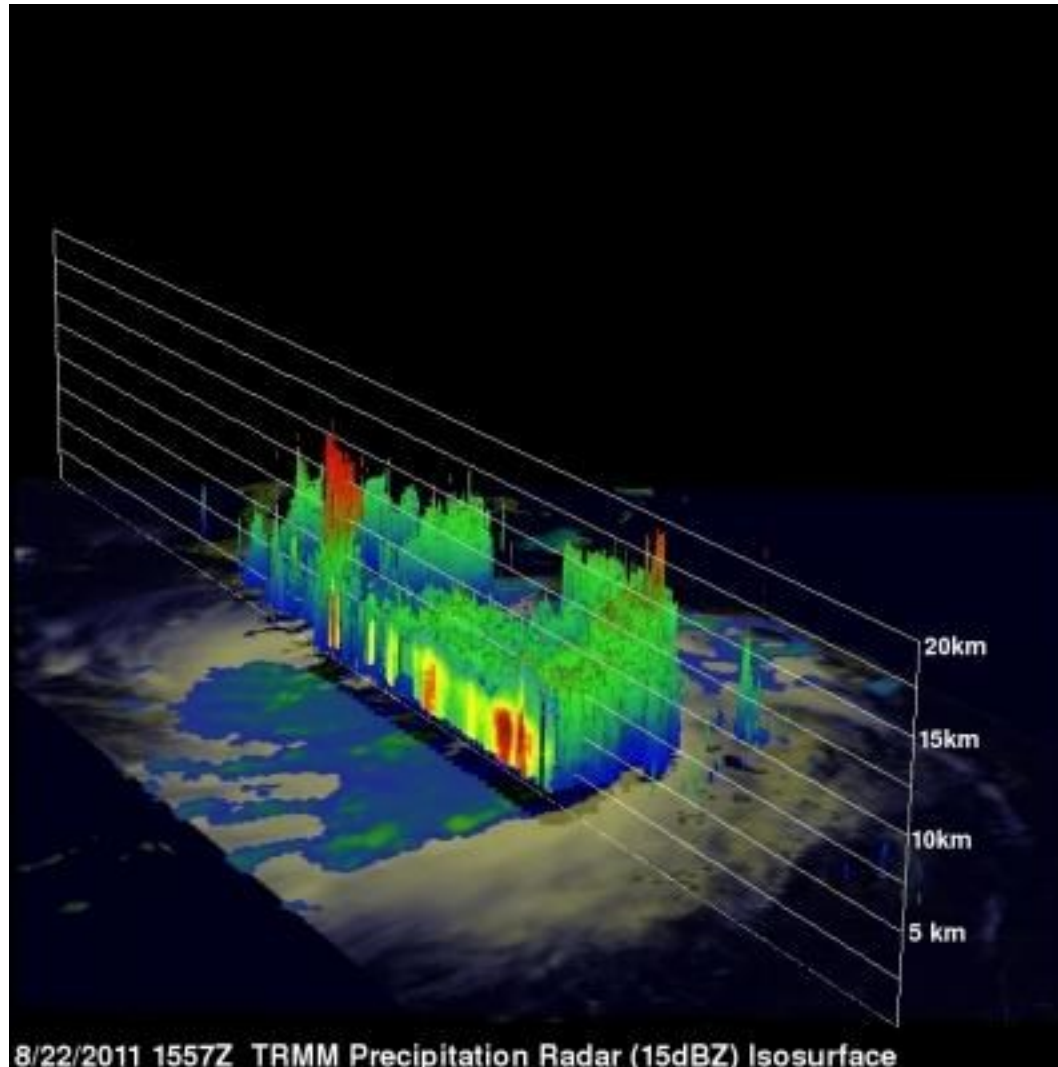
Refectivity cross section of complete volume scan



Observations de radars 3D

matrice de réflectivités 3D vues depuis l'espace

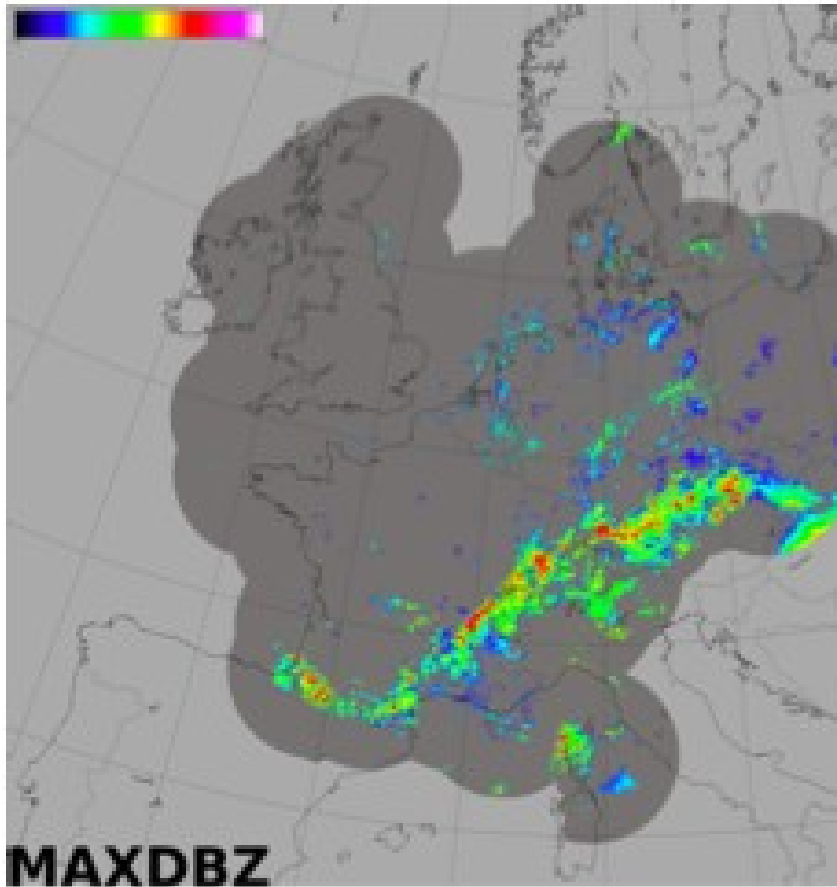
(satellite TRMM - cyclone Irene)



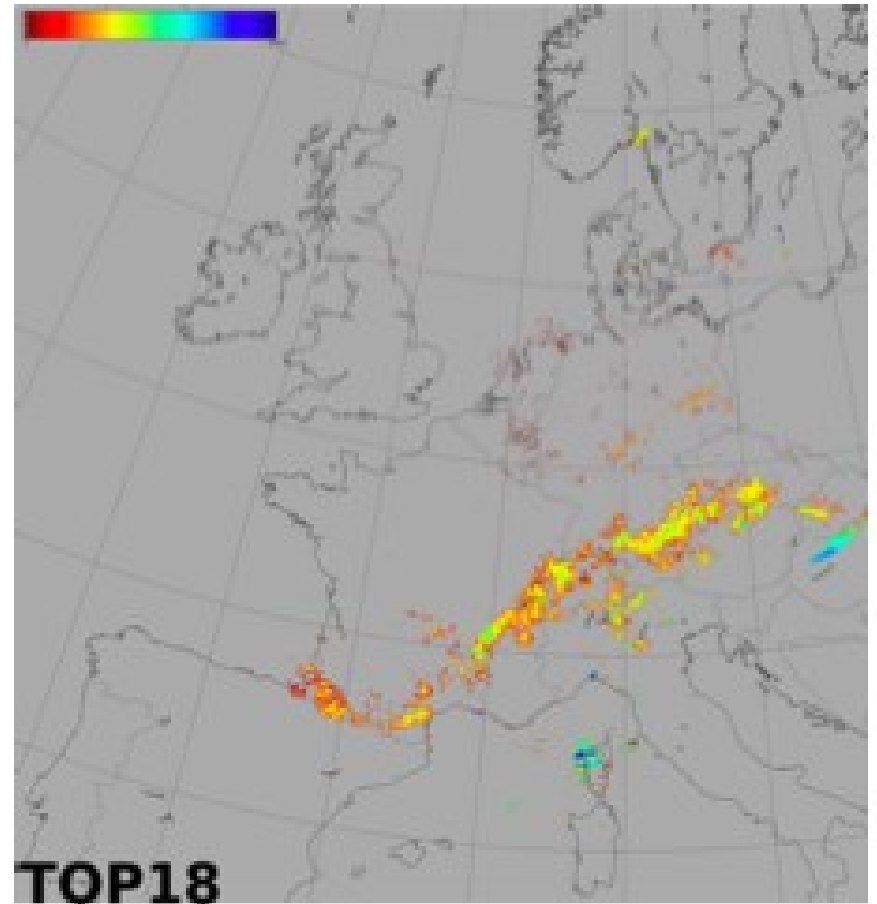
Observations de radars 3D

produits 2D pour l'aviation, issus de scans 3D

réflectivité max dans chaque colonne
=sévérité des orages



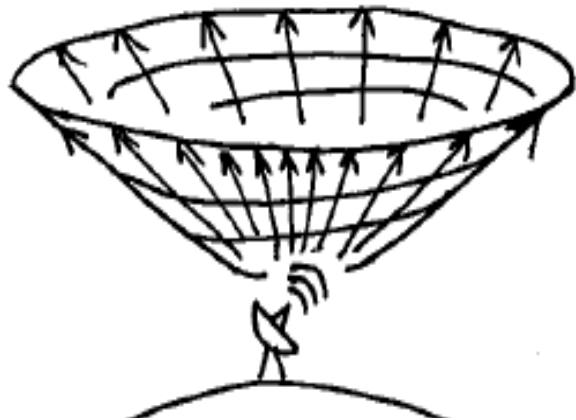
altitude max des réflectivités > 18dBz
=niveaux de vol concernés



mesure radar Doppler de vent radial

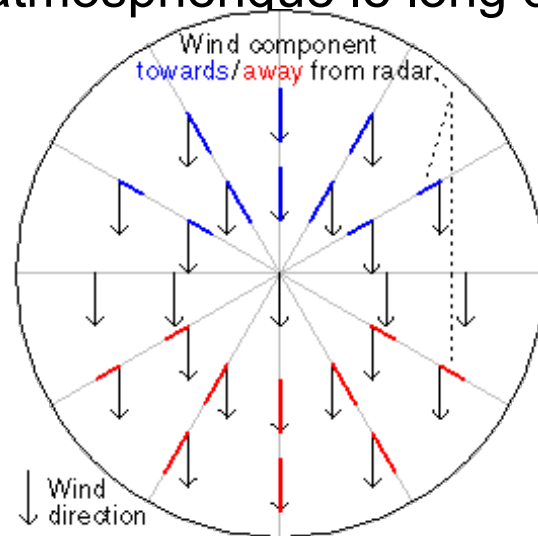
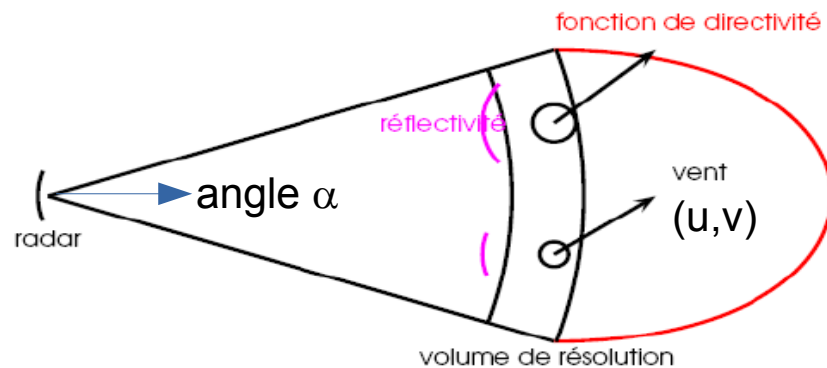
On voit uniquement la projection du vent 3D atmosphérique le long du faisceau radar: $V_{\text{radial}} = u_i \cos \alpha + v_i \sin \alpha$

H simul Doppler vent radar

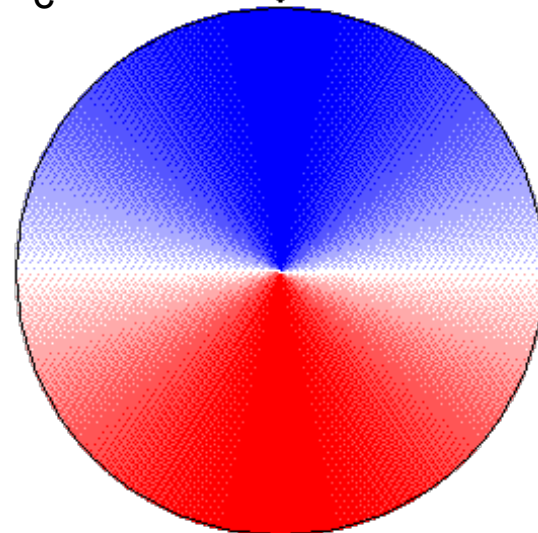


vitesses radiales ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Le 23/6/2005



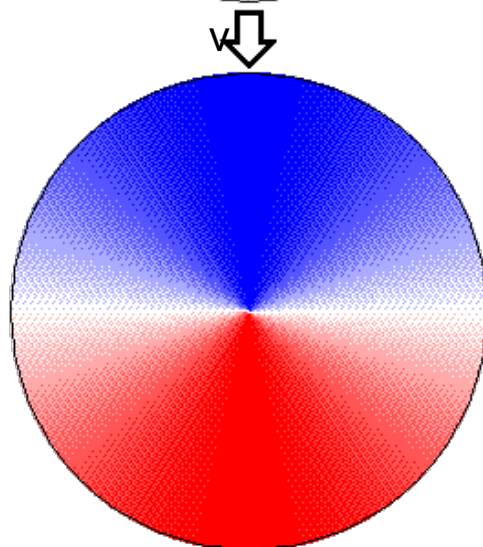
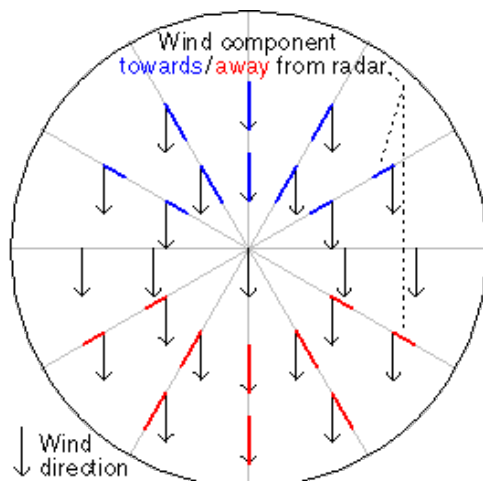
c



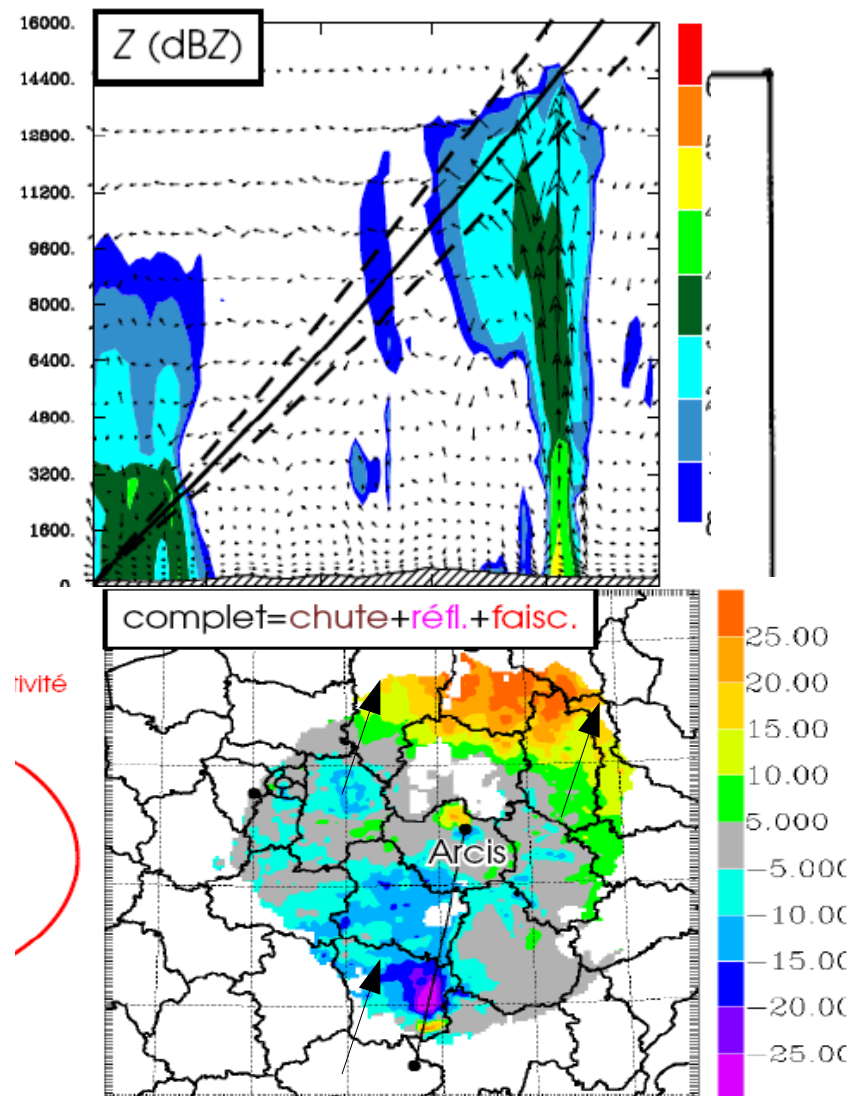
Radial velocity image in constant wind

mesure radar Doppler de vent radial

On voit uniquement la projection du vent 3D atmosphérique le long du faisceau radar: $V_{\text{radial}} = u_i \cos \alpha + v_i \sin \alpha$

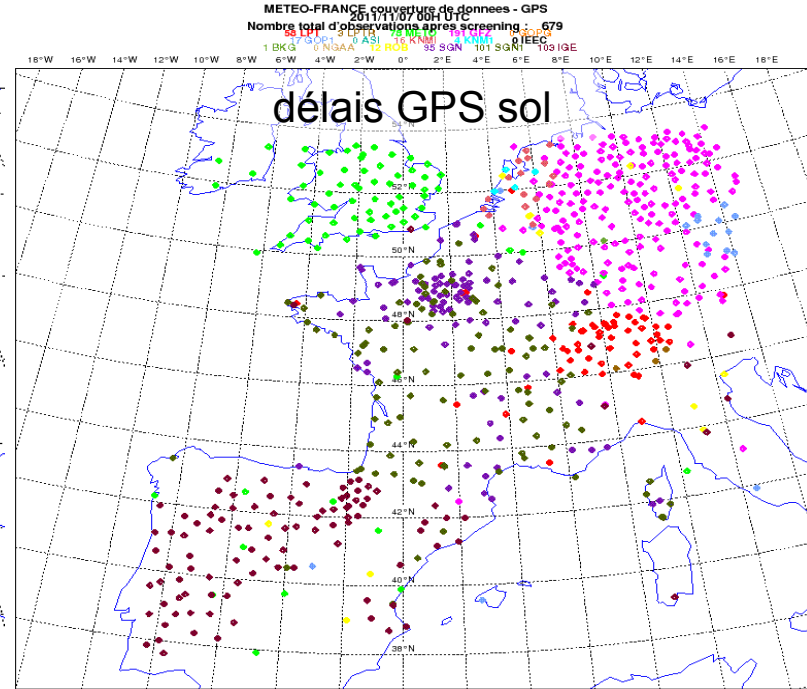
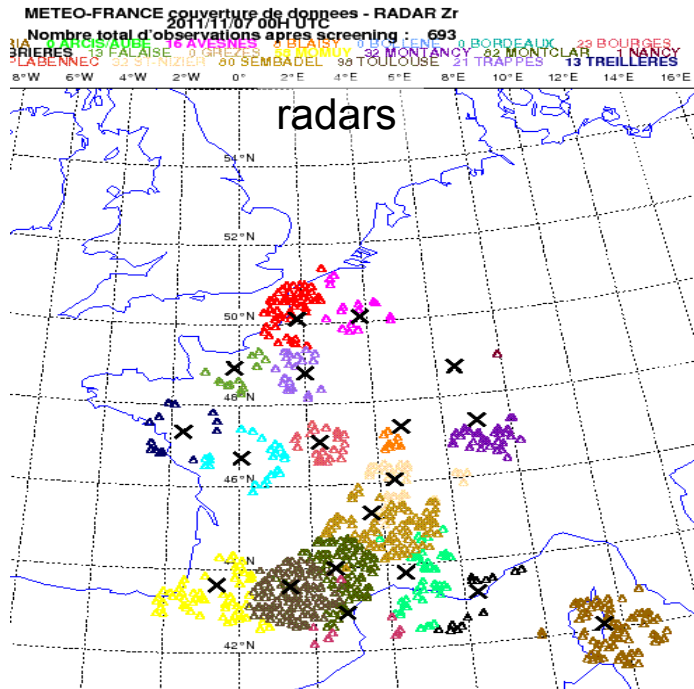


Radial velocity image in constant wind

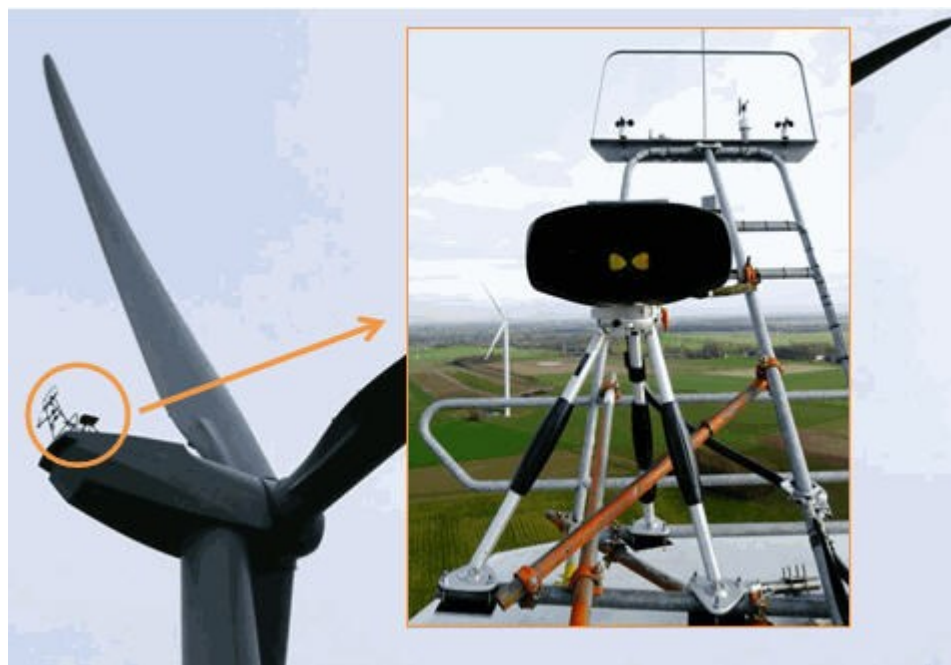


Observations télédétectées au sol

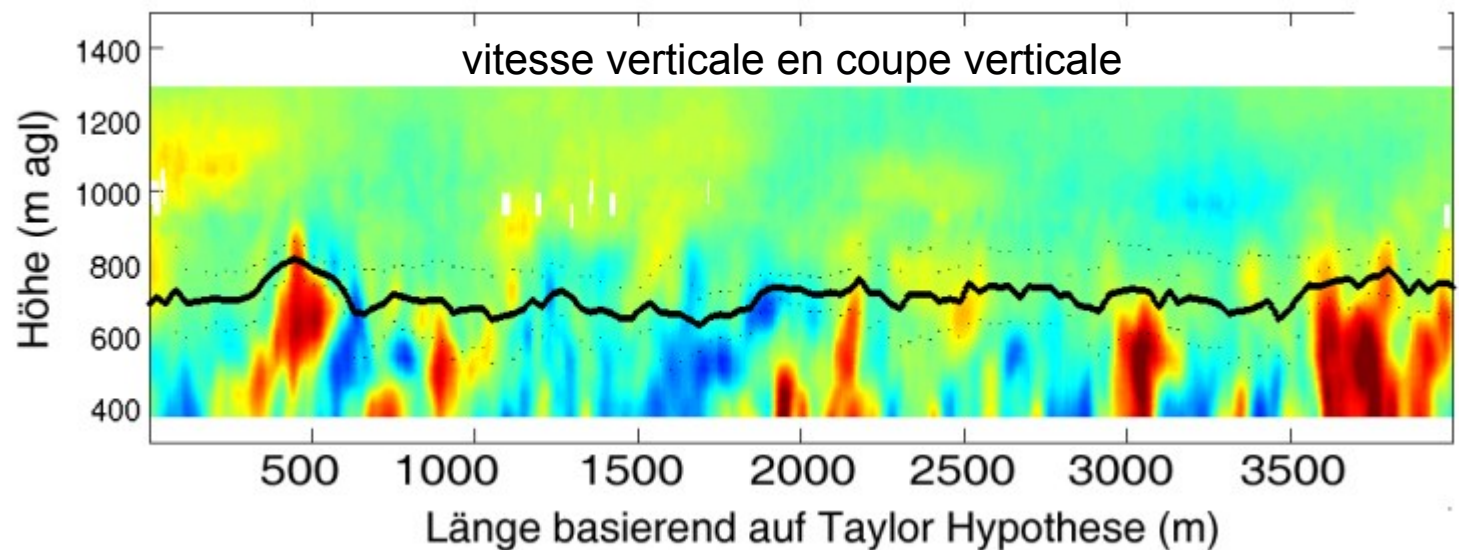
couverture réseau typique en 6h
utilisable pour assimilation de données



Observations de lidar à vent



- obs à très haute résolution
- précises mais vulnérables à l'atténuation (par pluie, nuages...)
- instrument assez coûteux, utilisé sur aéroports, centrales nucléaires, études temporaires de sites



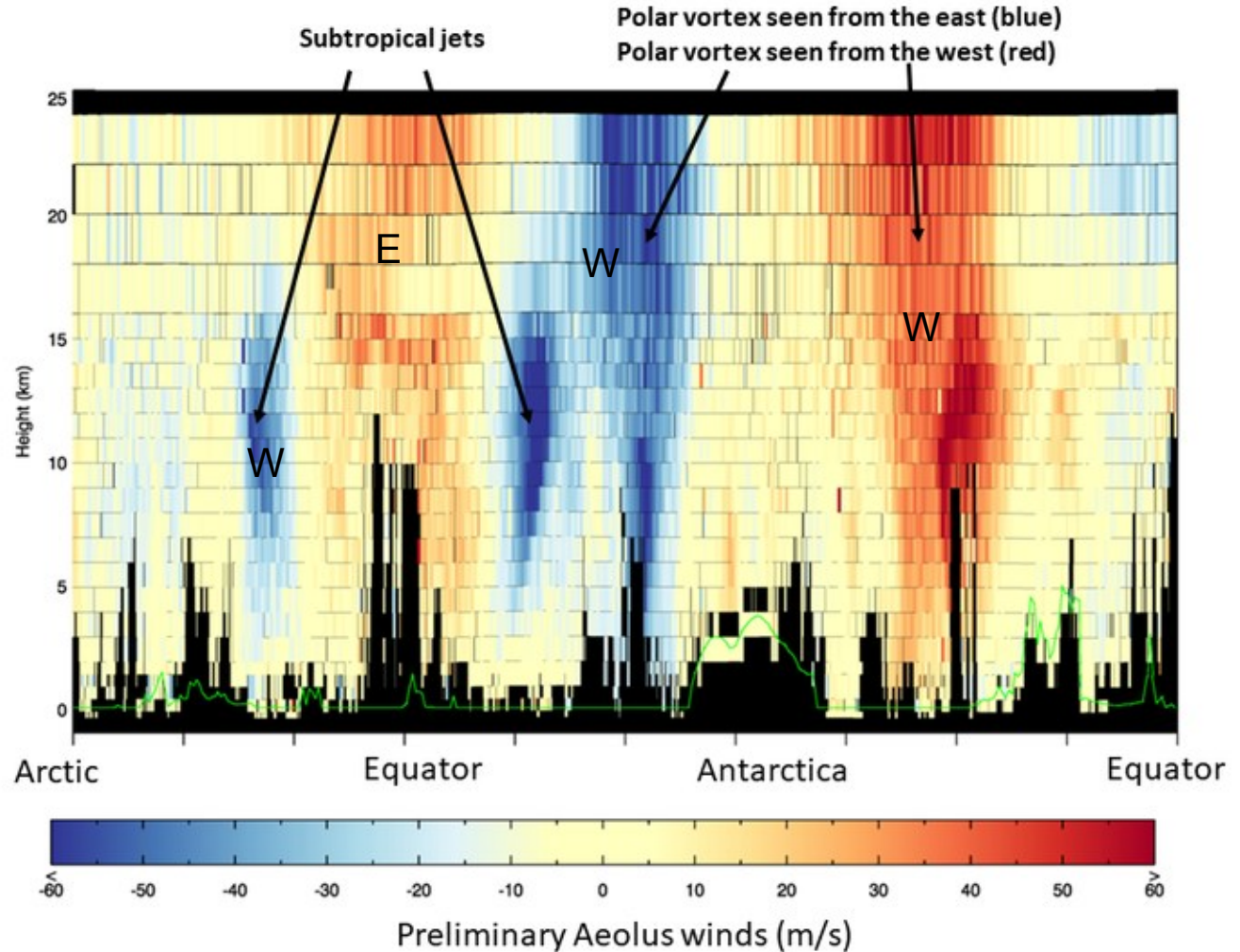
mesure lidar Doppler de vent radial

aussi depuis l'espace: nouveau satellite ADM-Aeolus (www.esa.int)

mesures limitées par nuages, aérosols et puissance électrique



vent transverse moyen sur
24h interpolé avec 24h
d'observations ADM



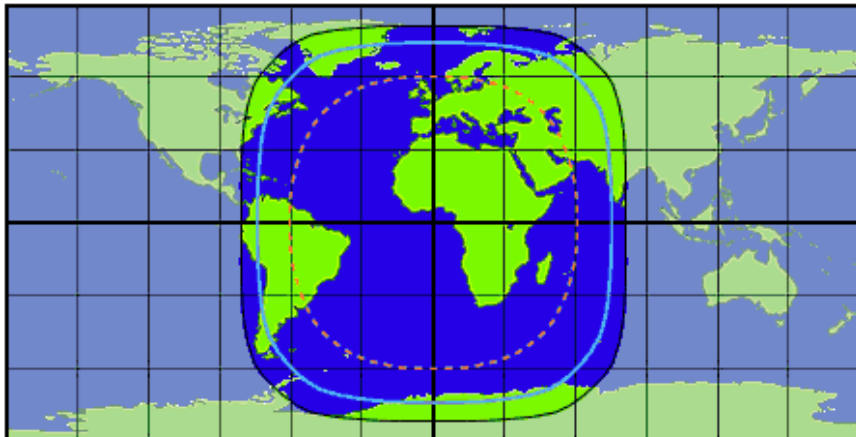
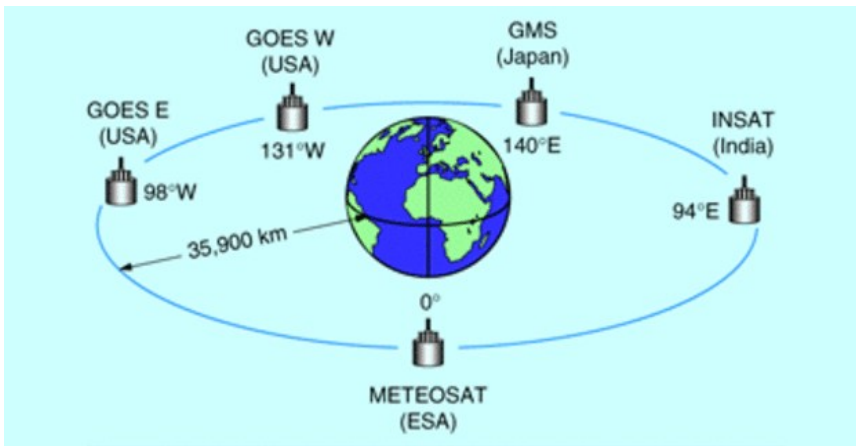
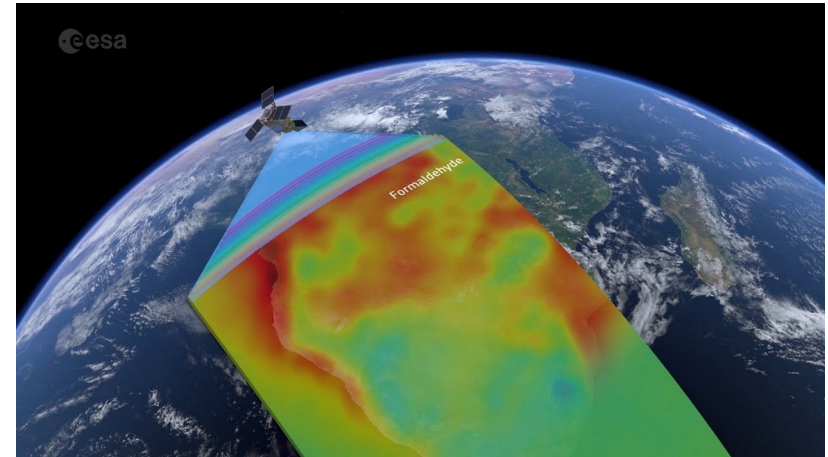
Observations météo spatiales: classifications

- par **orbite**: géostationnaire/défilant/Molniya
- par type de **visée**: nadir/limbes/occultation
- instrument **actif/passif**
- par résolution: **sondeur/imageur**
- par **longueur d'onde**:
visible/infrarouge/microondes/radar

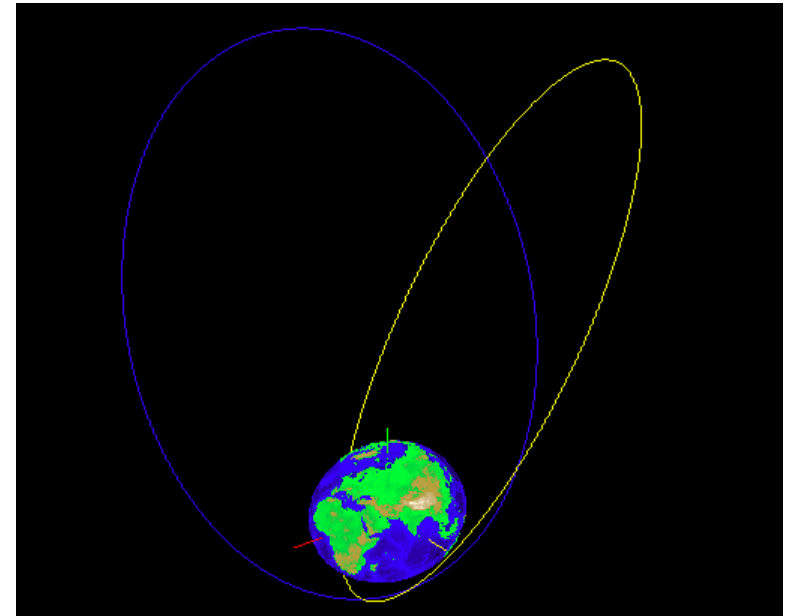
types d'orbites

principalement:

- **géostationnaires**
- **défilants**
- "Molniya" (orbite excentrée nord-sud)



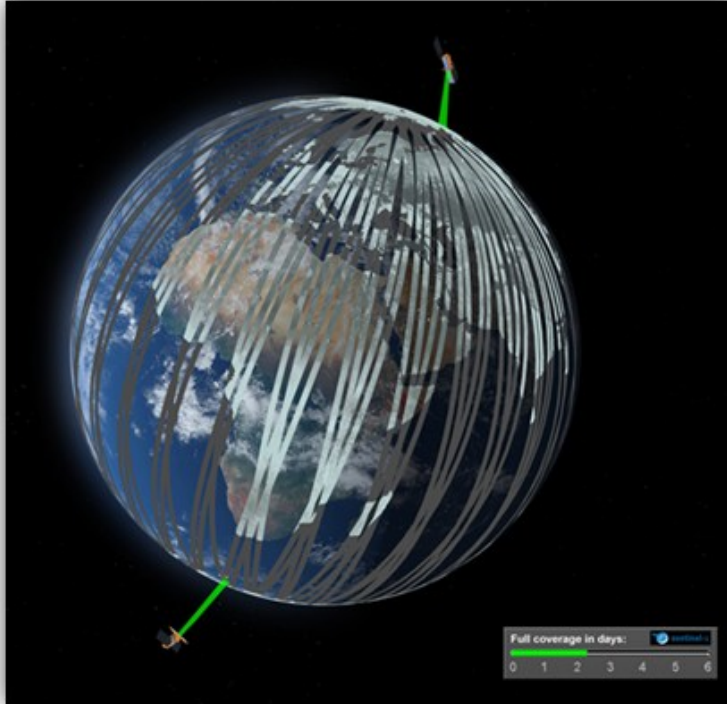
- Maximum theoretical coverage
- Imaging and telecommunications coverage
- - - Meteosat images within this area used quantitatively



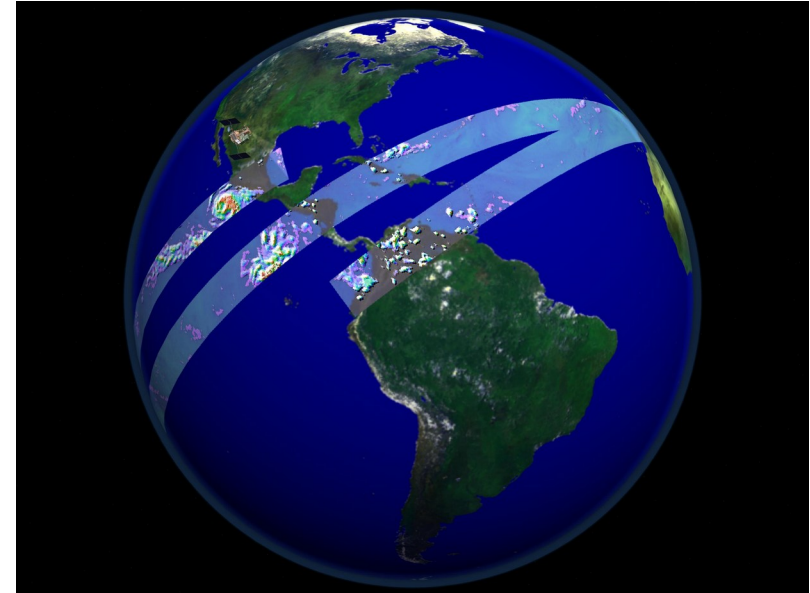
types d'orbites

orbites *défilantes* utilisées en géosciences

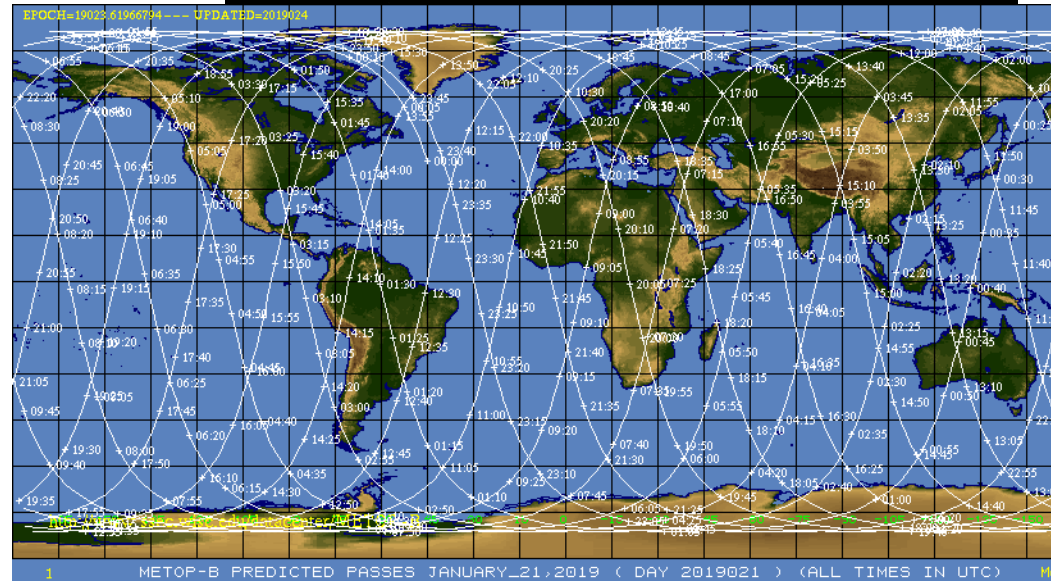
surveillance de l'environnement: couverture globale en quelques jours (ex: Sentinel)



pour tropiques: défilantes peu inclinées (ex. TRMM)

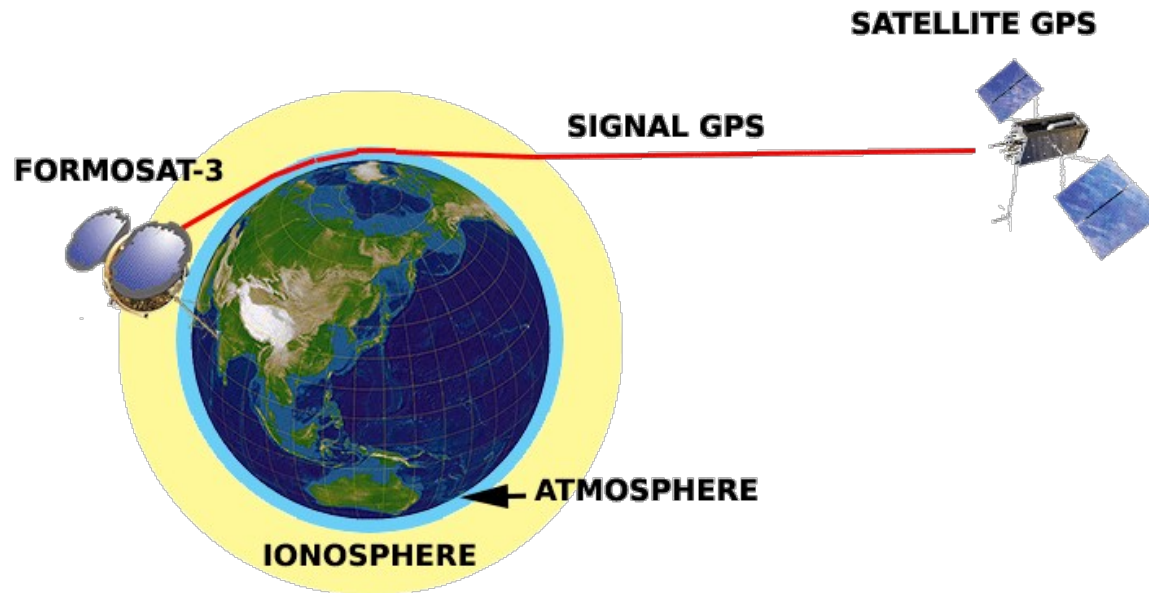


prévisions météo/océano: défilantes inclinées "polaires") héliosynchrones, revisite en ~6h (ex: couverture 24h NPP)



type de visée: radio-occultation

- mesure "d'opportunité" entre réseau GPS préexistant et satellites météo ad hoc
- principe: temps de parcours et réfraction des ondes radio
- peu coûteux, obs de T & Hu en stratosphère inaccessibles autrement
- (analogues: réfractivité radar, occultation stellaire)



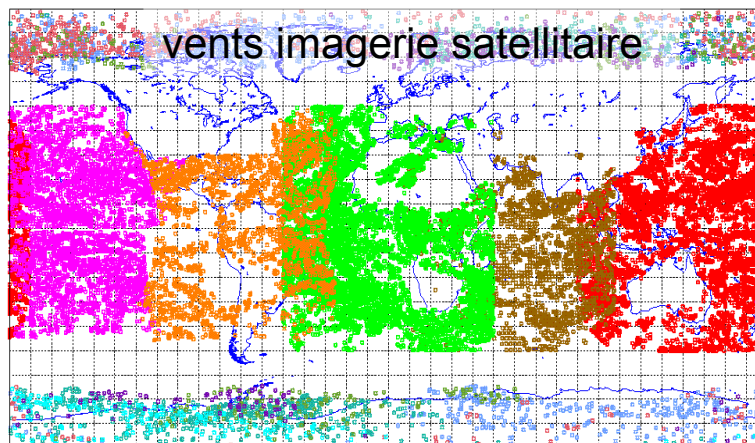
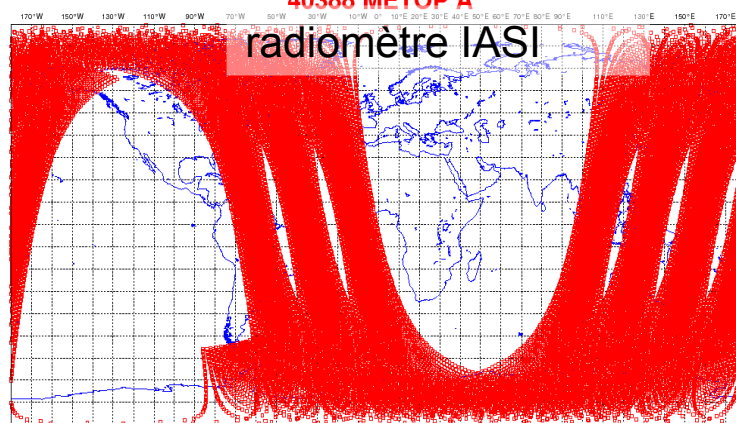
(wikimedia)

impact des orbites et fauchées sur la disponibilité des observations (ici, par période de 6h)

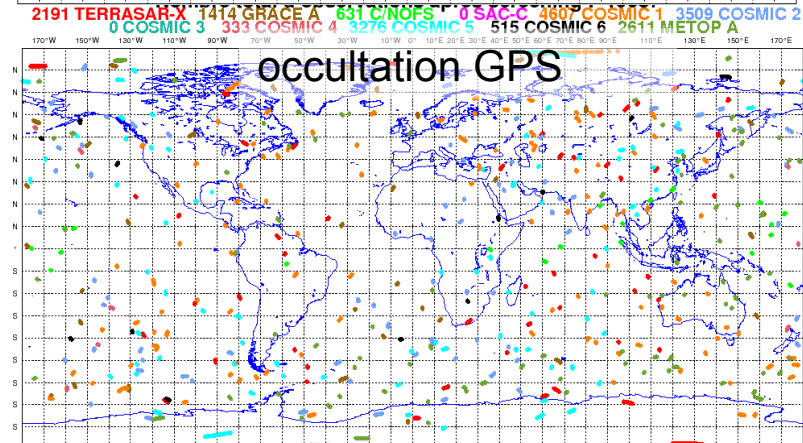
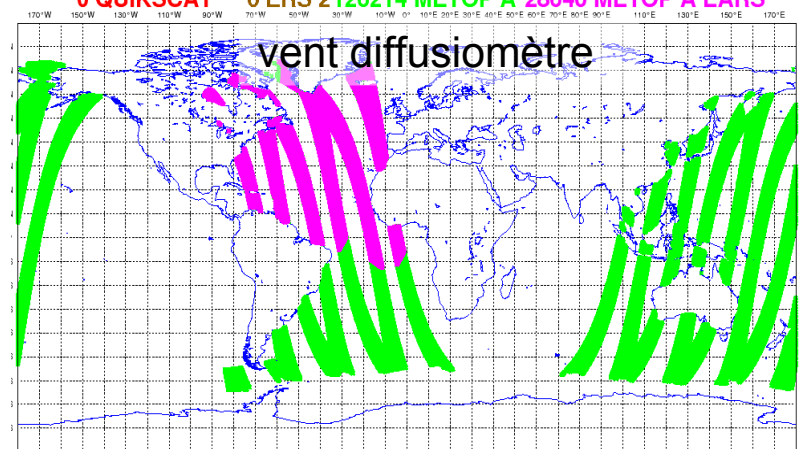
- compromis entre résolution et couverture
- plusieurs satellites météo -> orbites complémentaires
- importance aussi de la vitesse de réception des données au sol

obs
météo
globales

Nombre total d'observations avant screening : 40388



Nombre total d'observations avant screening : 154854



Classification des observations spatiales

Actives vs passives :

Passives: surtout **radiomètres**: *nombreux et variés*

- mesures de **radiances** (*généralement quasi-nadir*)
- 'profils' de T, HU, gaz, basse résolution verticale
- propriétés de surface, nuages → pluie, vent par tracking

Actives: plus coûteuses

- **radars**: diffusiomètre, altimètre, radar SAR (vent sur mer, vagues...)
- **lidars**: vent et nuages
- **occultation GPS**: T, HU, p

Compromis entre résolution spectrale/spatiale/temporelle :

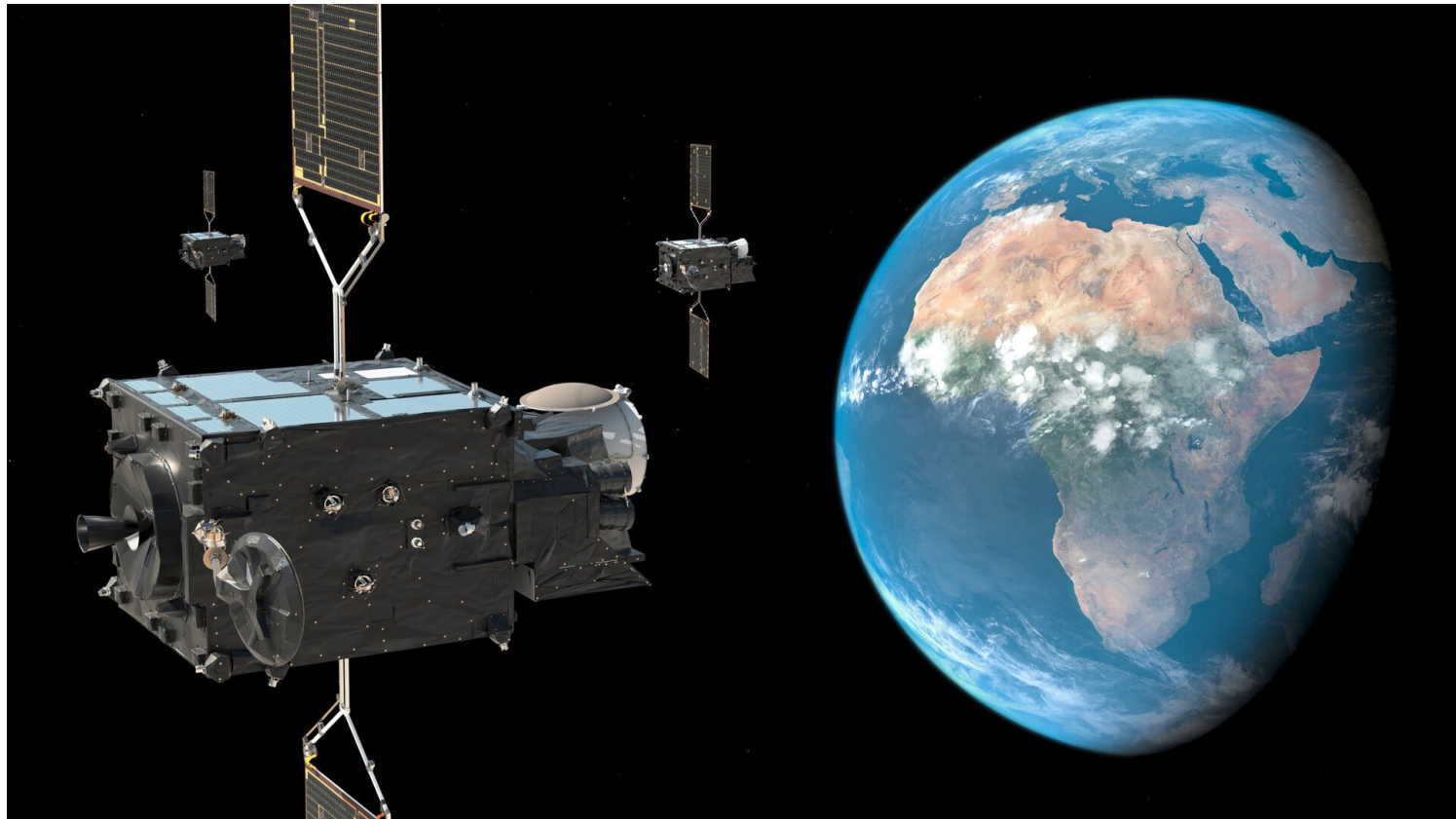
- **imageurs** (à haute résolution spatiale)
- **sondeurs** ("radiomètres" à haute résolution spectrale)
- **caméras rapides** (détection d'éclairs)

Longueurs d'ondes observées :

- **visible** (imagerie, nuages)
- **infrarouge** -> T, HU, chimie
- **microondes** -> vapeur d'eau, nuages (~radars)
- **(UV** -> chimie)

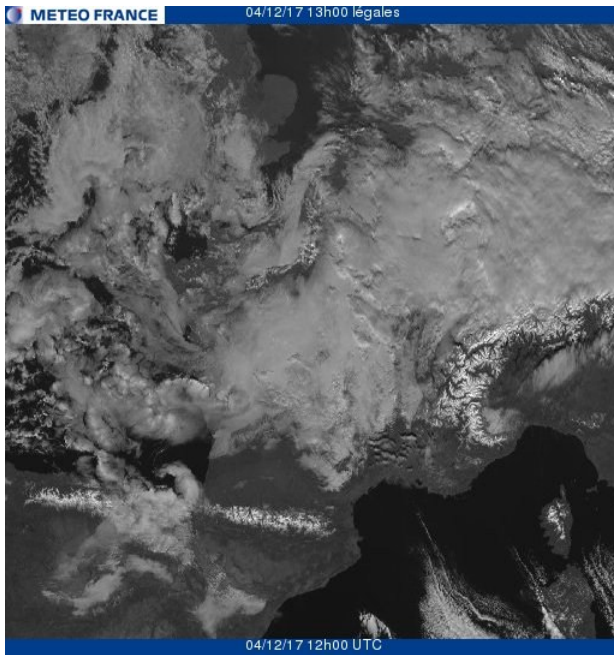
imagerie spatiale pour la météo/océano

imageur de Météosat Troisième Génération

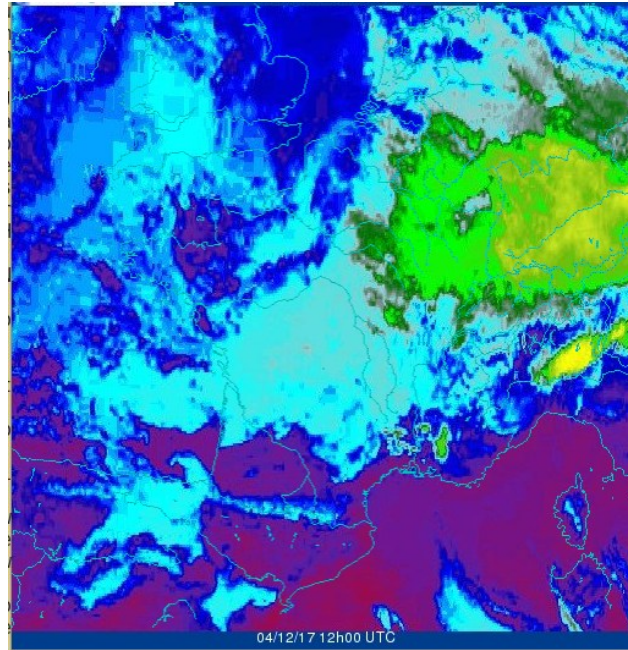


imagerie spatiale

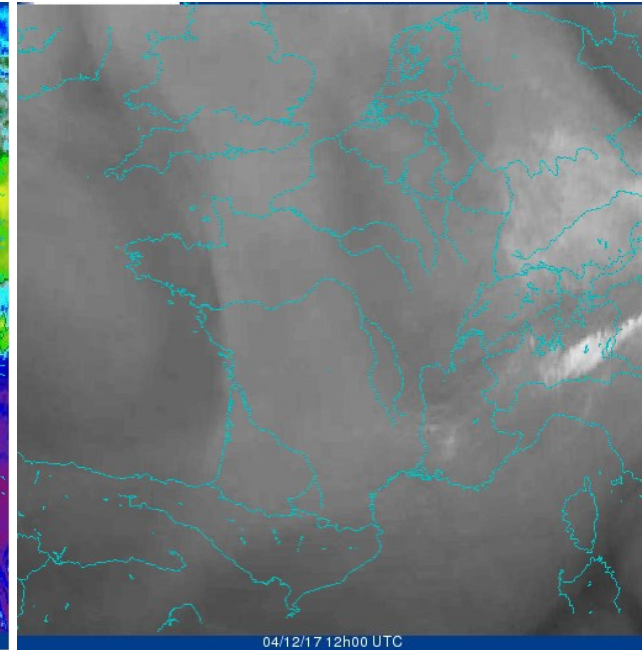
canal 'visible'



canal 'infrarouge'

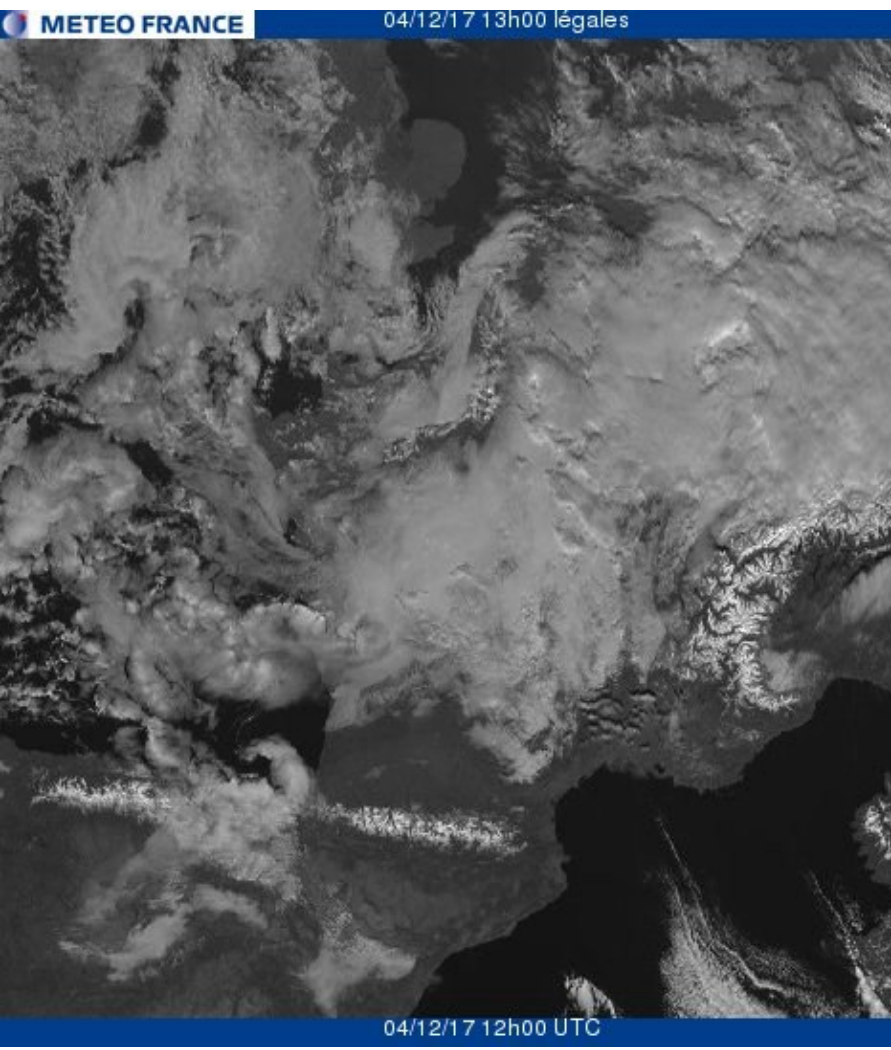


canal 'vapeur d'eau'

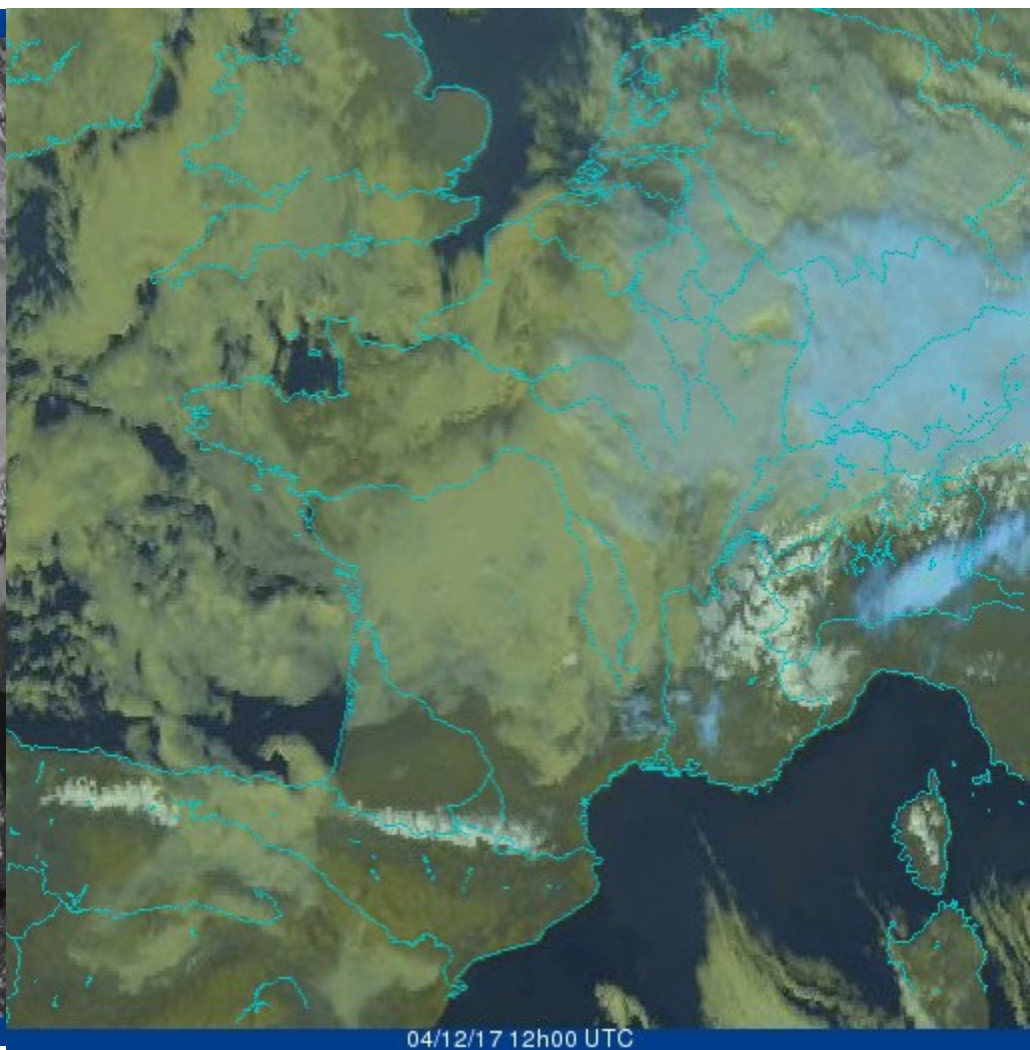


imagerie spatiale

canal 'visible'

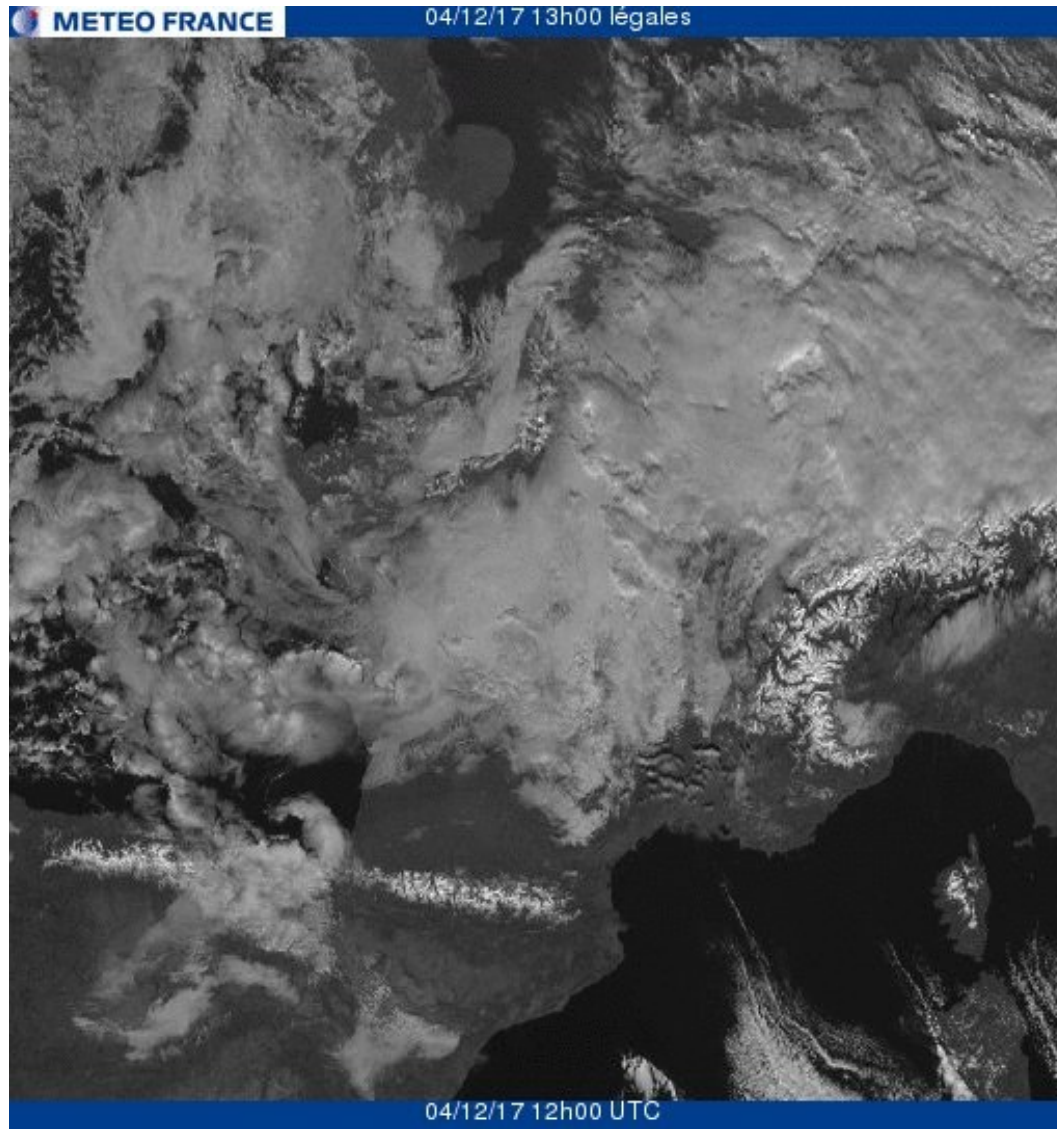


composition colorée (12 canaux MSG)



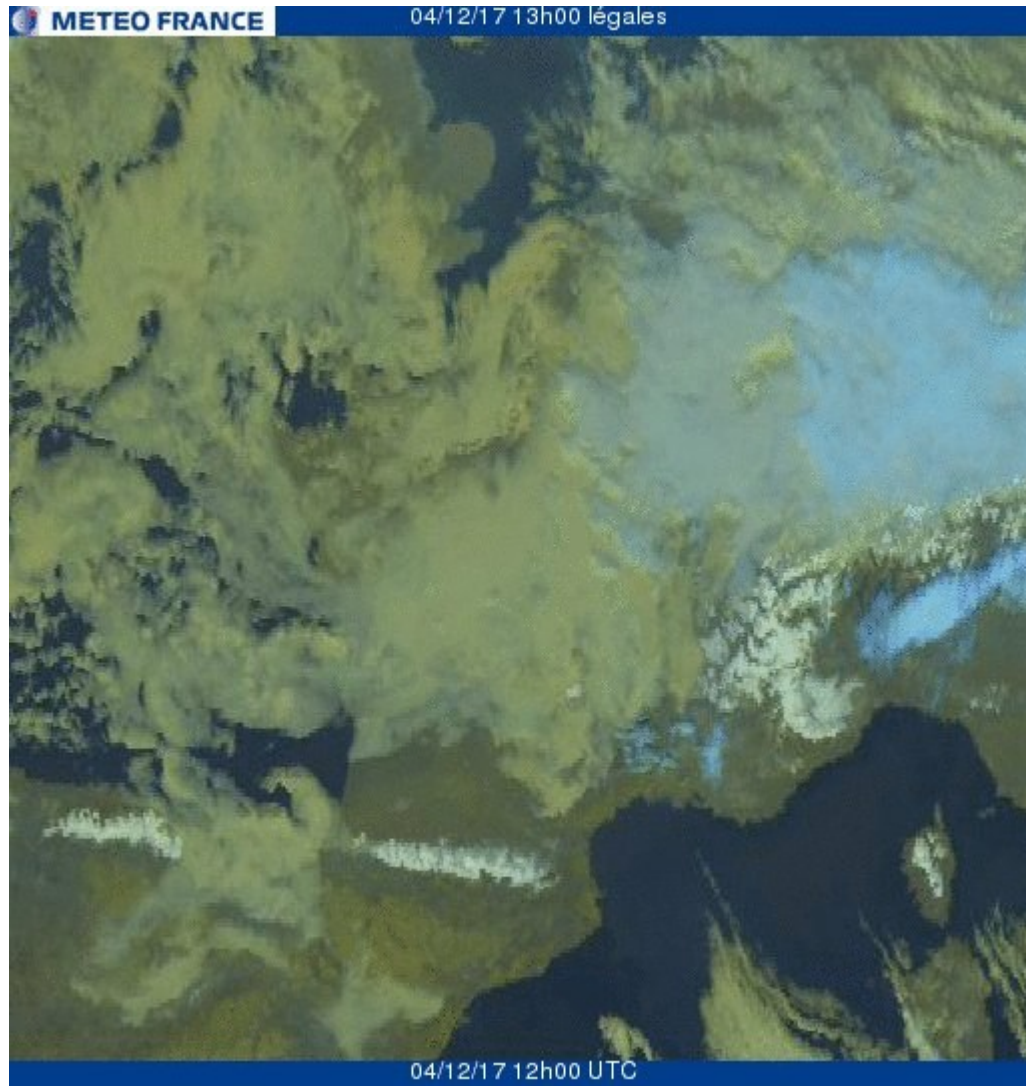
imagerie spatiale

MSG canal 'visible'



imagerie spatiale

MSG composition colorée



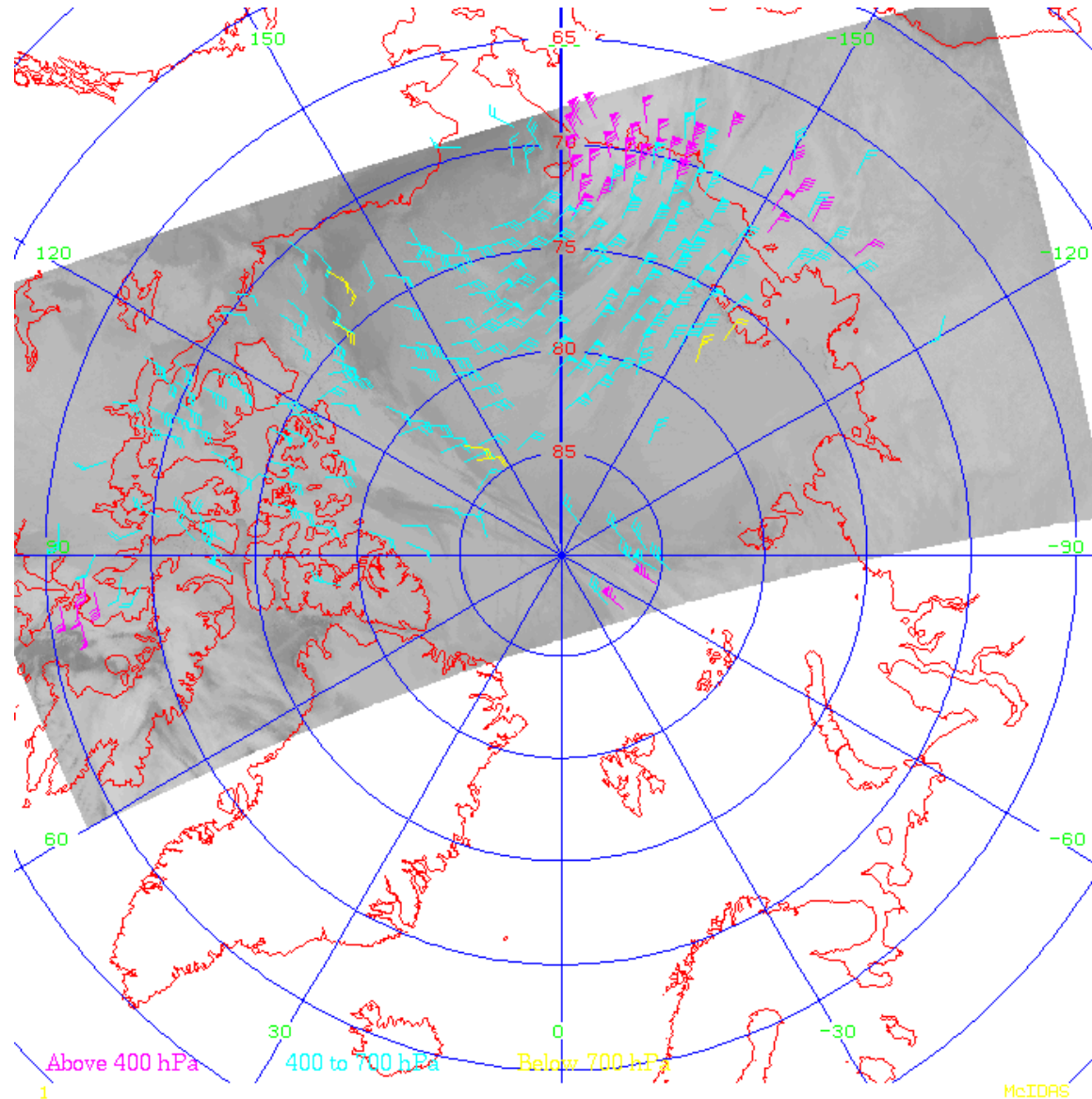
imagerie spatiale (sat défilants)

imagerie haute résolution MODIS (résol 400m) 'vraies couleurs'

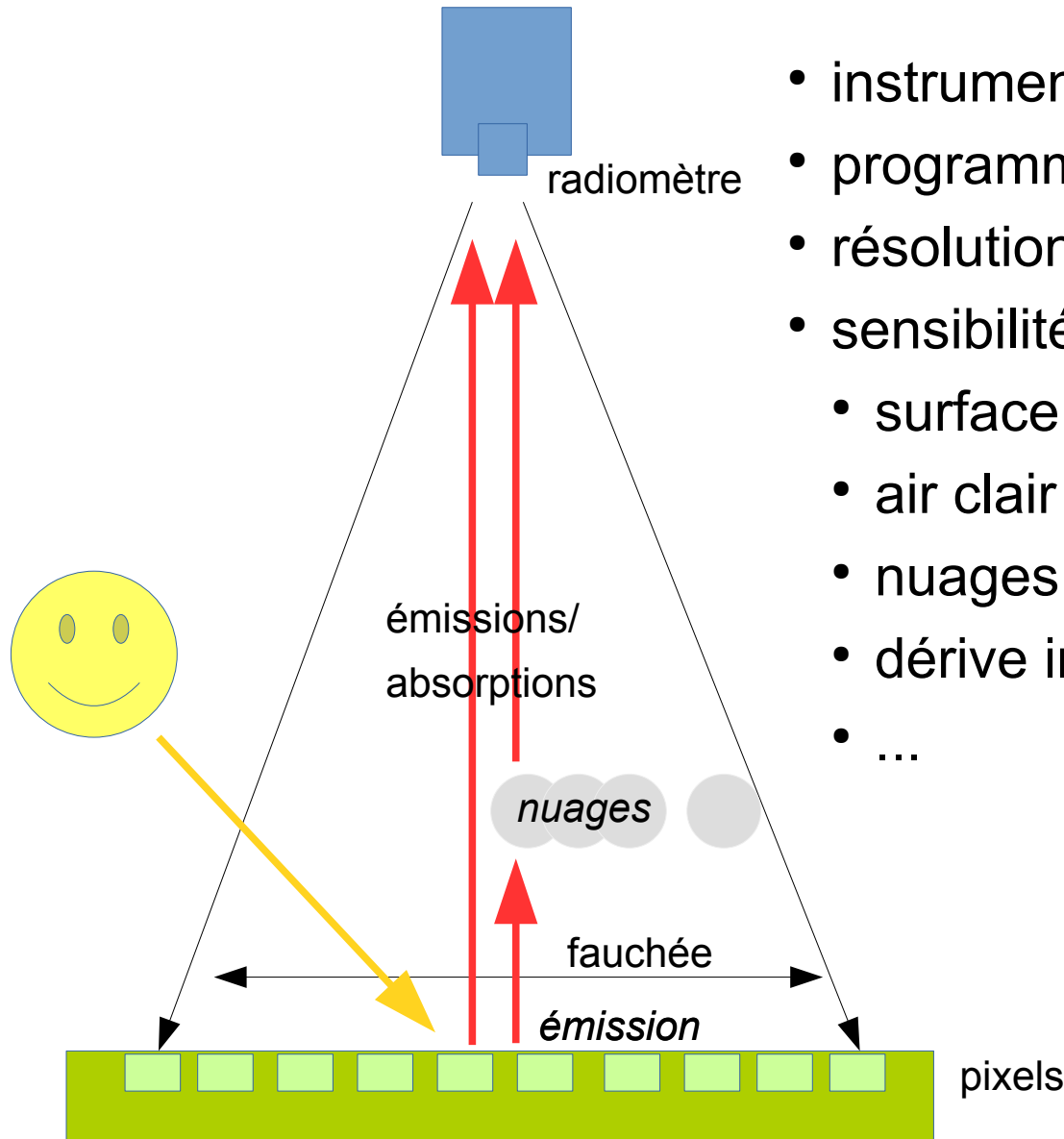


imagerie spatiale: animations avec défilants

imagerie MODIS sur pôles -> déduction de vecteurs vent



Radiométrie satellitaire



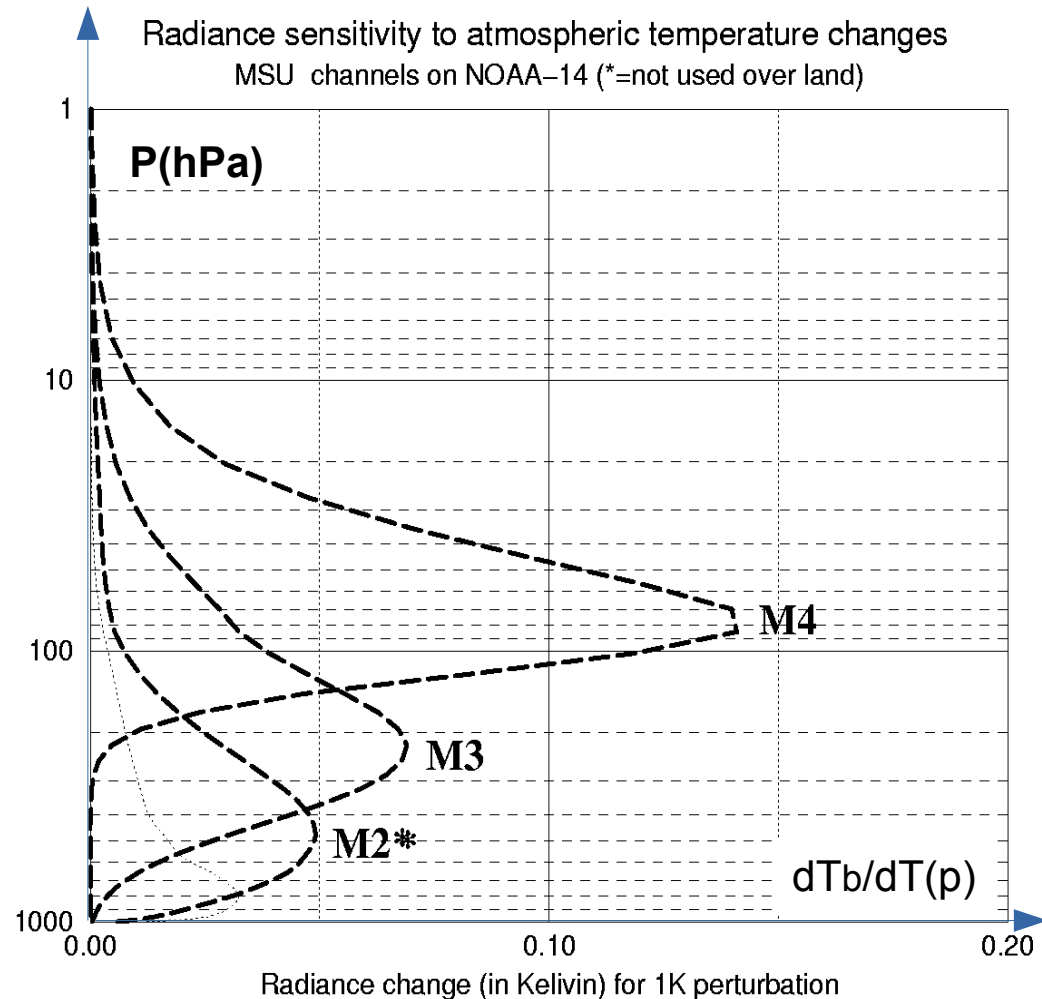
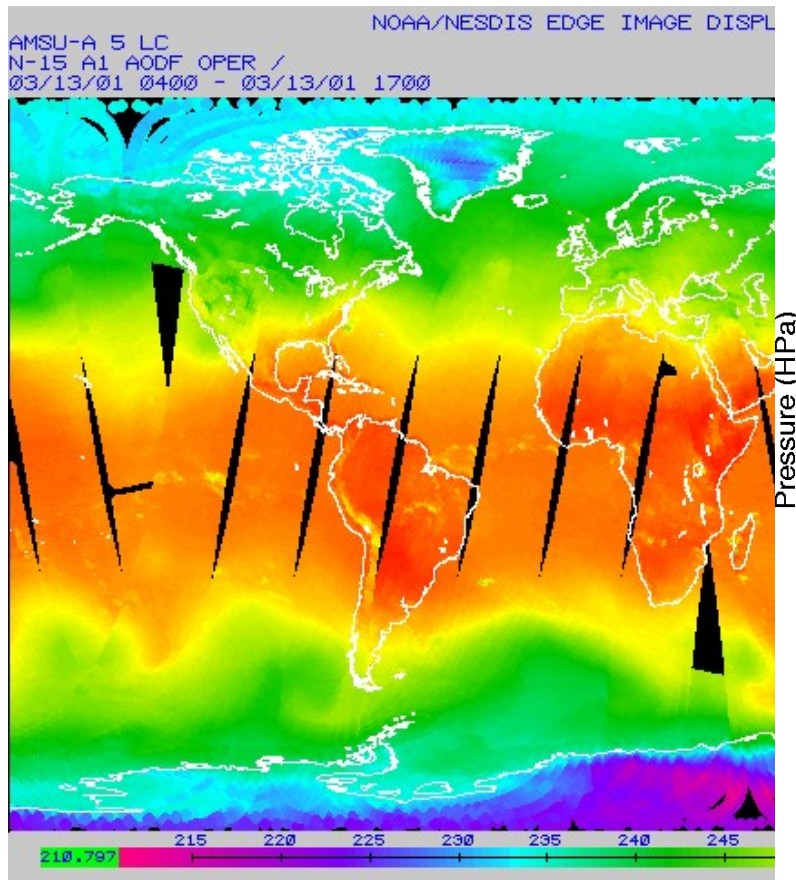
- instruments de durée de vie ~ 3-6ans
- programmes ~ 15ans
- résolution 1m-100km
- sensibilité à des influences multiples:
 - surface
 - air clair
 - nuages
 - dérive instrumentale
 - ...

observations de radiance atmosphérique

radiances microondes d'un satellite défilant = intégrale de T & Hu dans le champ de visée
avec fonction de poids différente dans chaque fréquence

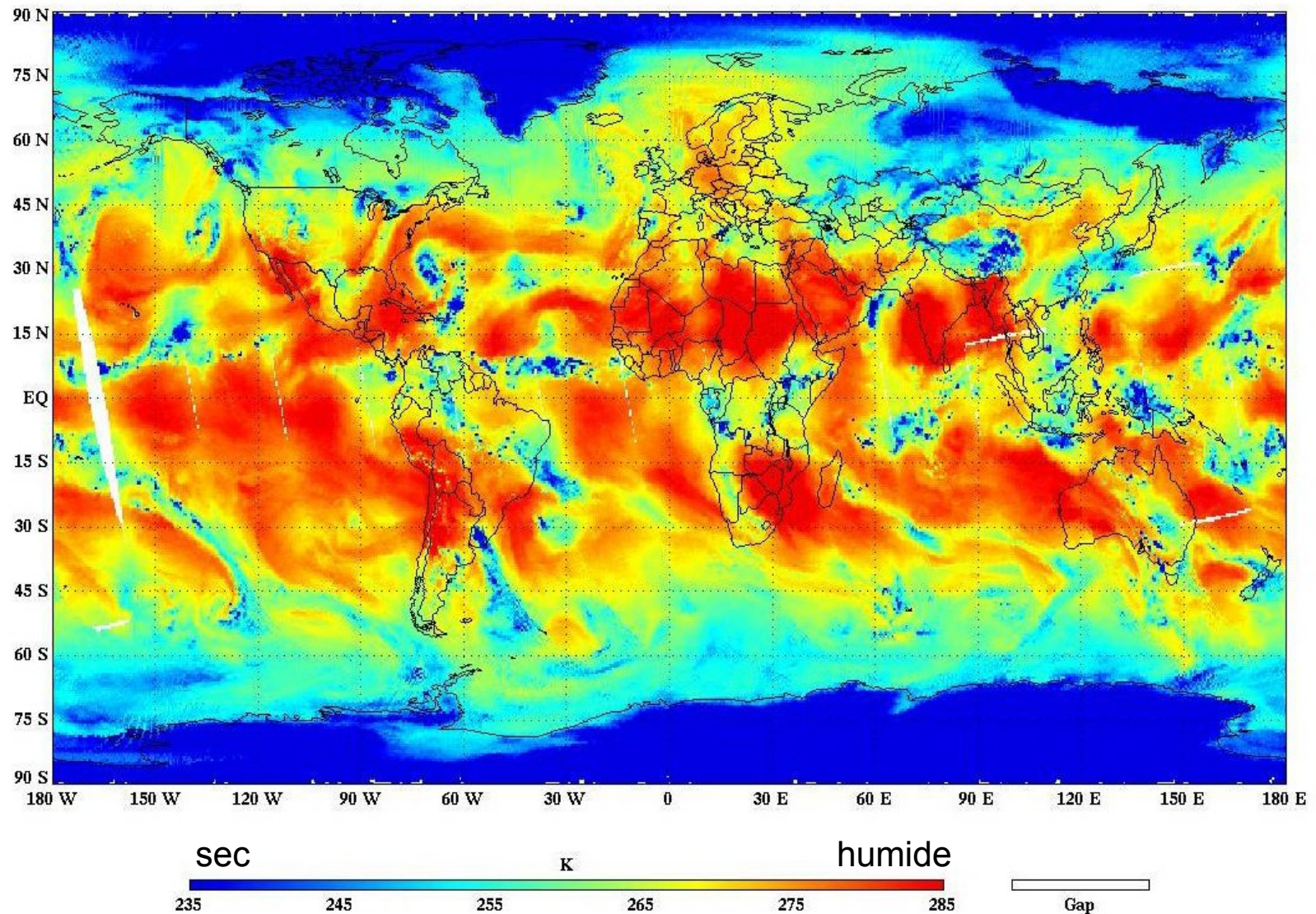
$$T_b = \sum a_i T_i + \sum b_i q_i + c T_s$$

(T_i, q_i, T_s) sont la température & humidité dans la ligne de visée



Observations spatiales: "sondage" IR

canal microonde = vapeur d'eau (ATMS sur NPP)

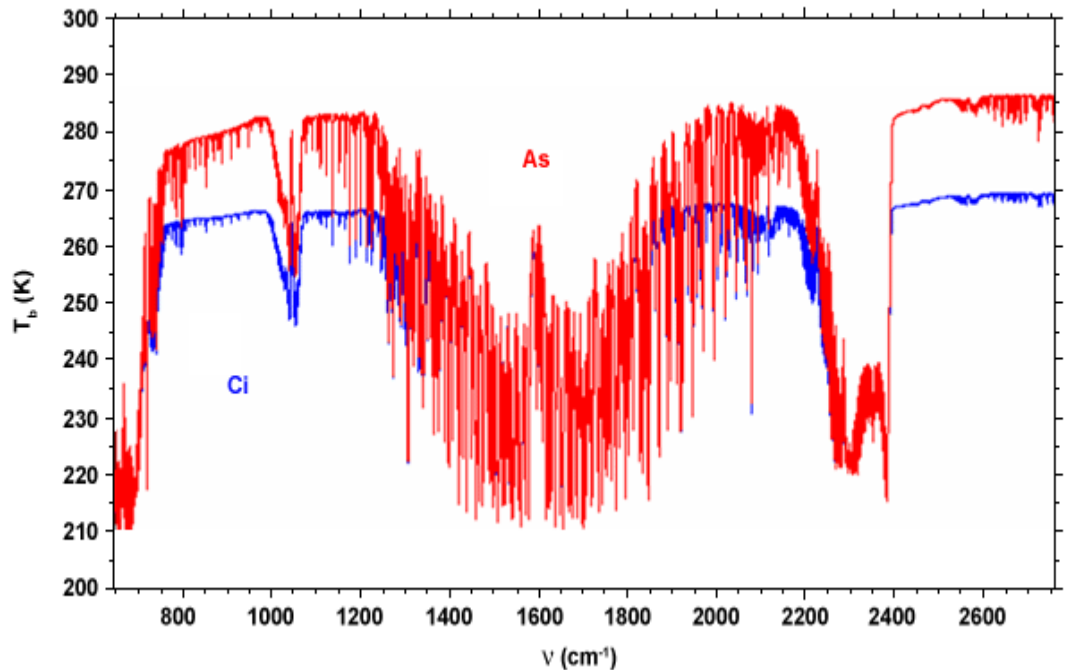


Observations spatiales: sondeur IR

interféromètre IR IASI sur MetOp

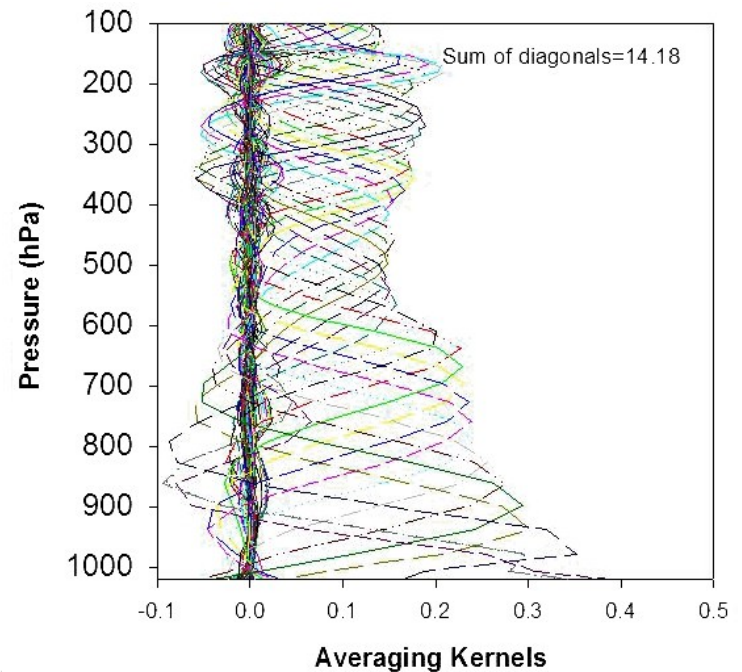
environ 800 canaux par pixel

Ice vs. Water Cloud IASI Spectra



©EUMETSAT, 200

une douzaine d'infos
independantes par colonne
sur T et HU



Programmes d'observation satellitaire

Définition des besoins

complémentarité entre programmes & agences

Préparation scientifique:

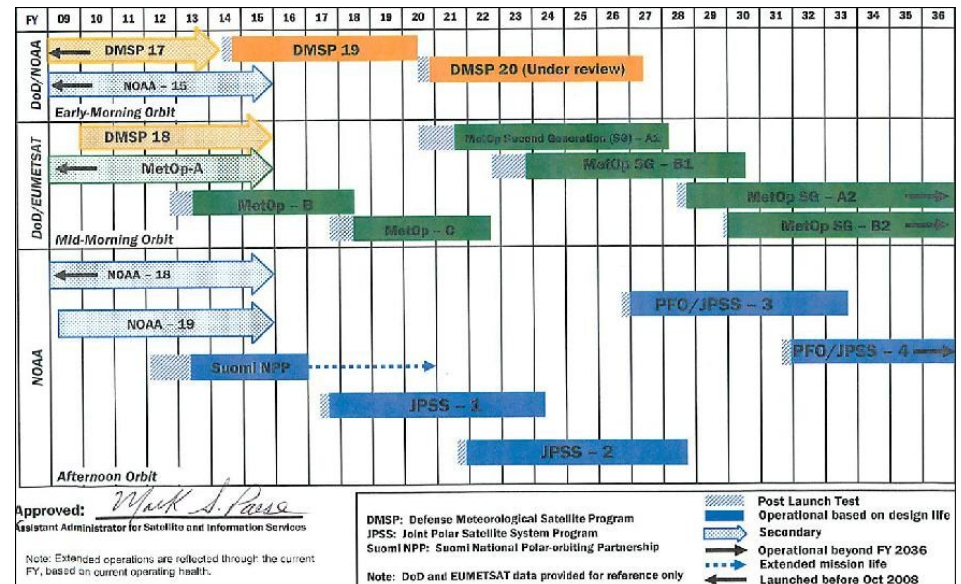
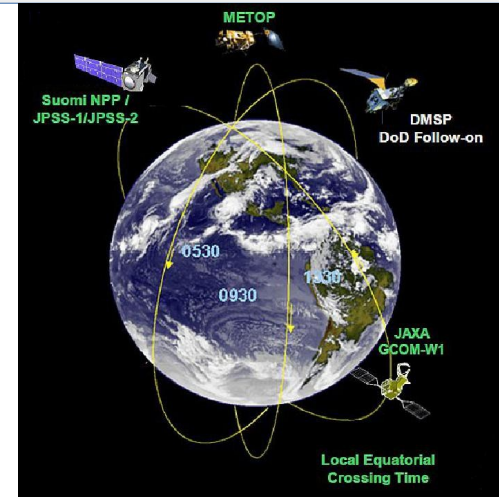
- choix technologiques
- études d'impact
- démonstrateurs

R&D industrielle
construction
lancement

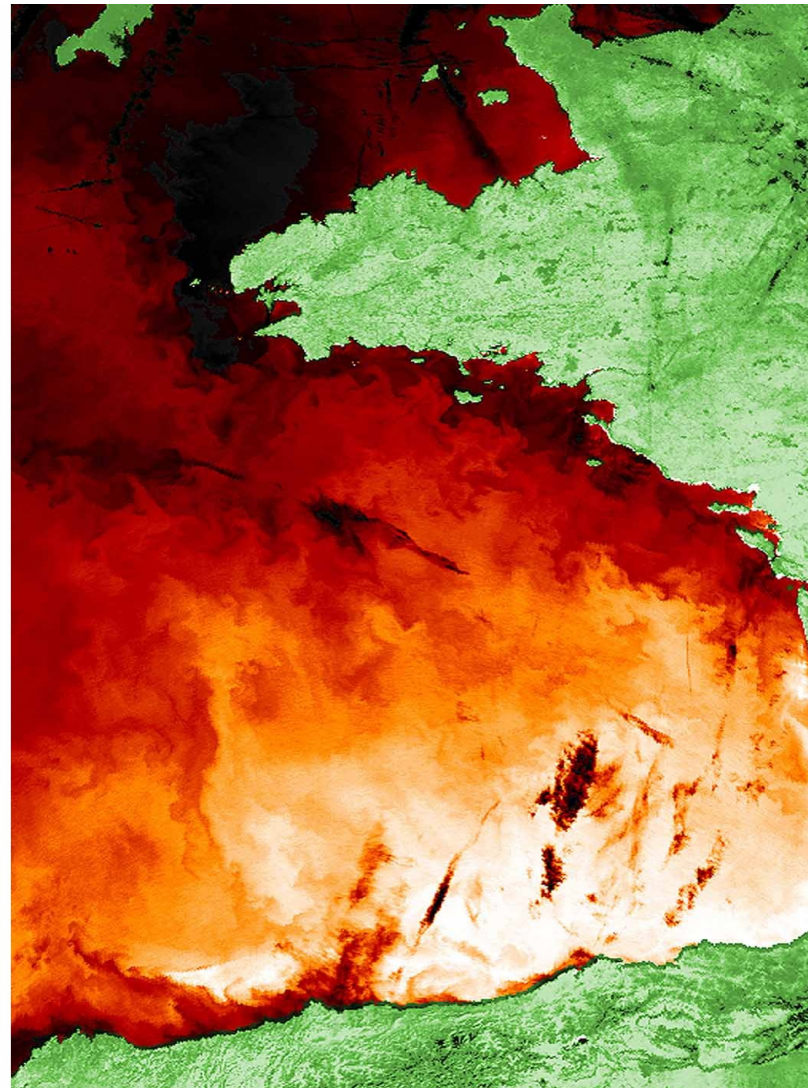
CalVal

(calibration - validation)

Exploitation

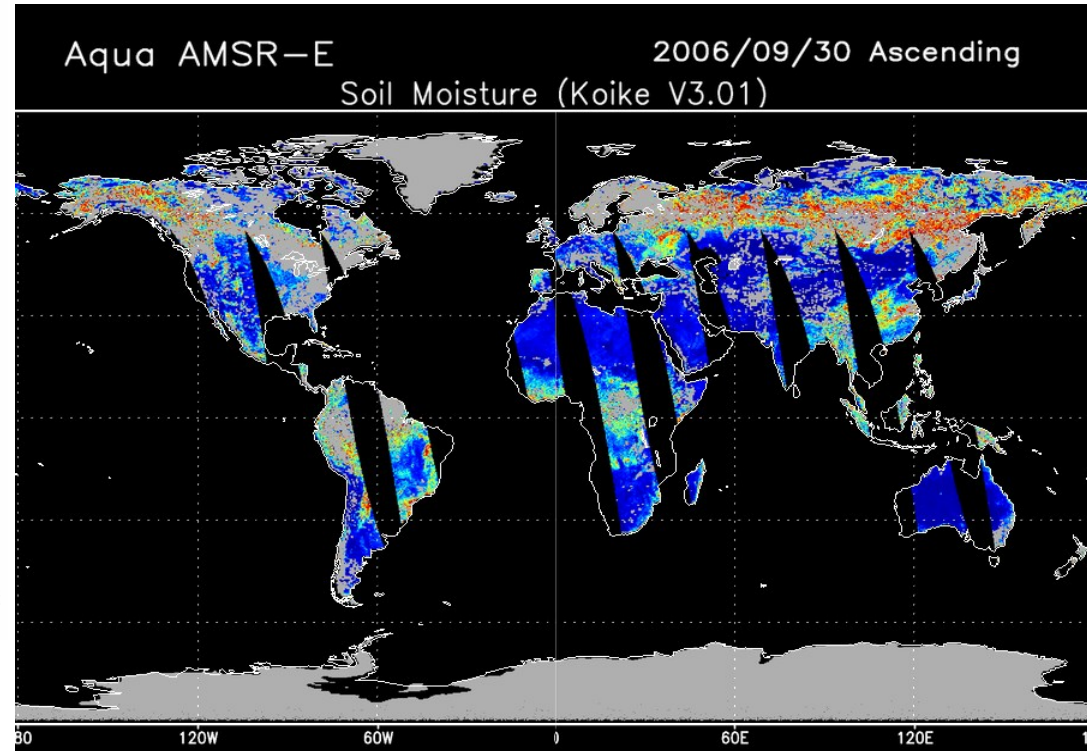
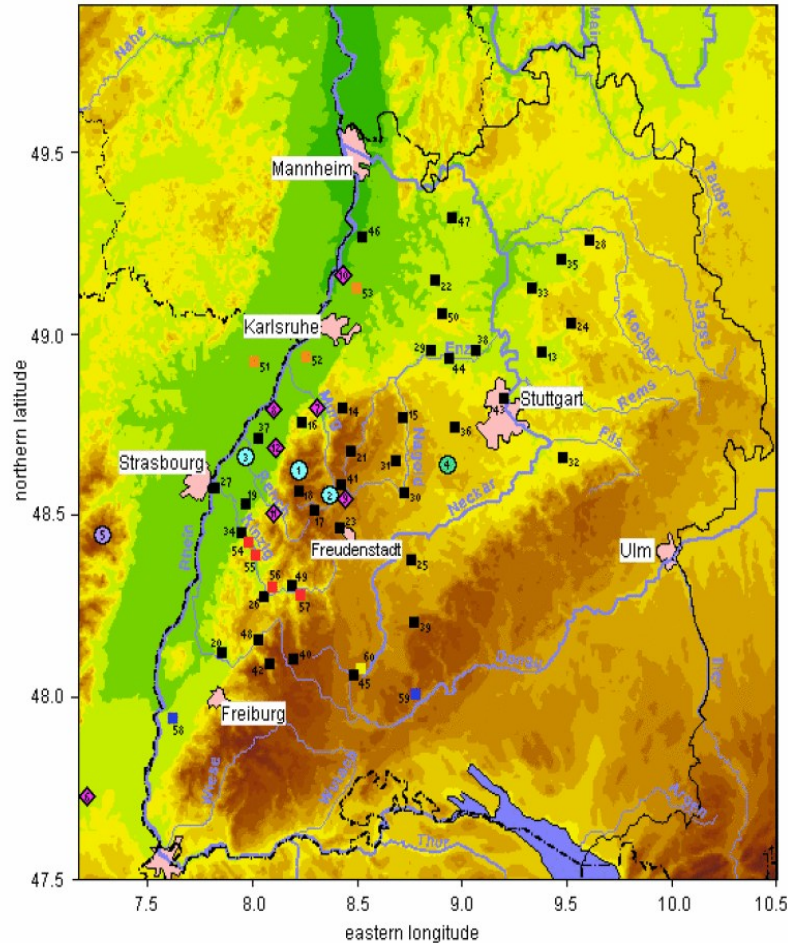
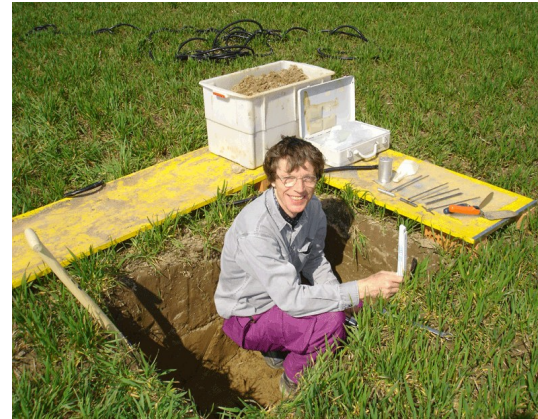


Observations in situ vs télédéctées en océanographie



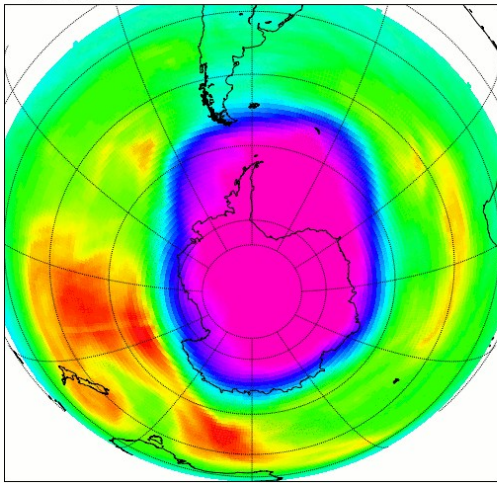
Observations in situ vs télédétectées des surfaces continentales

réseau de stations d'humidité du sol
campagne de mesures COPS

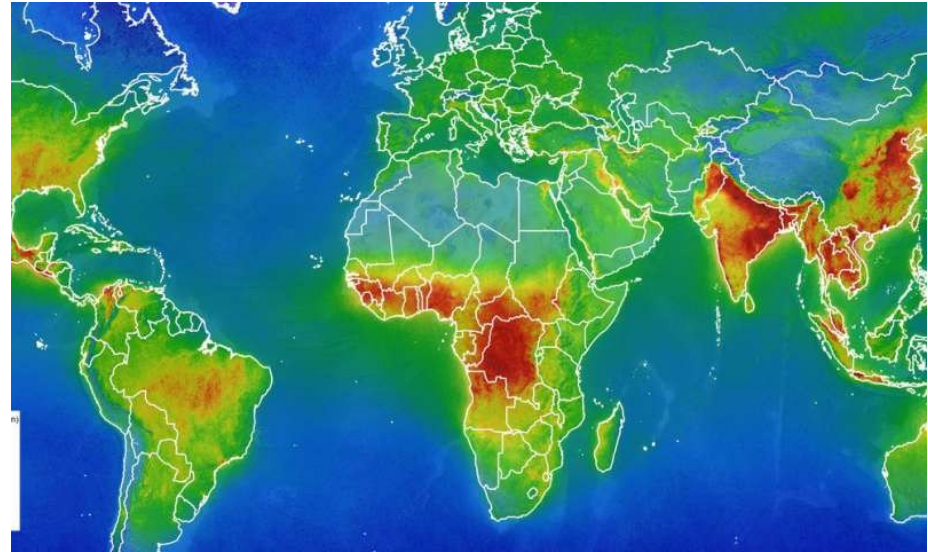


Observations en chimie atmosphérique

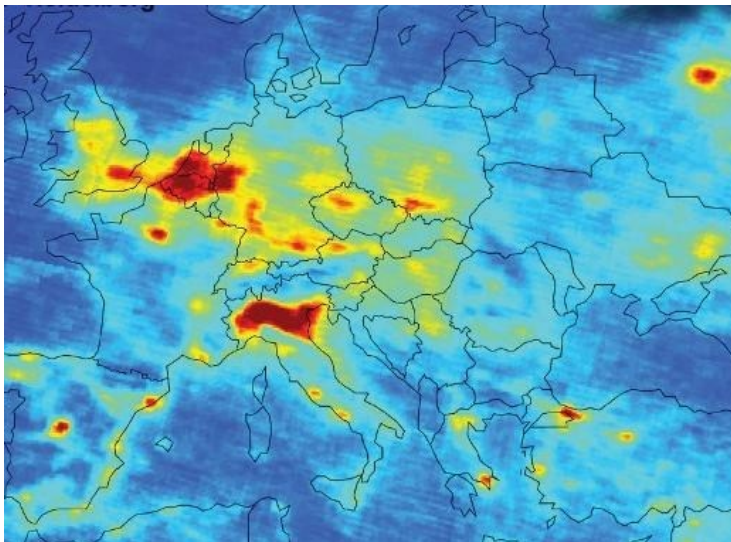
ozone O₃



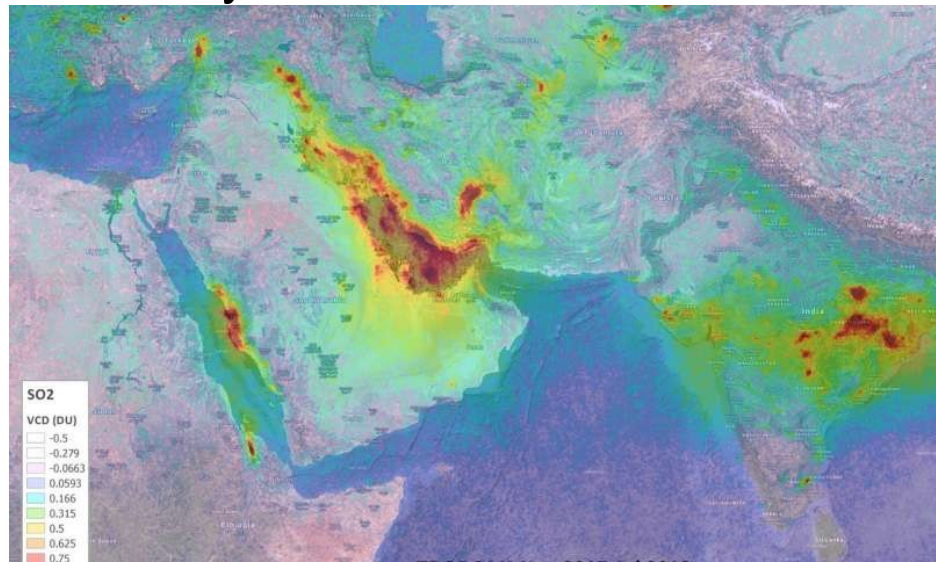
formaldéhyde HCHO



NO₂ Envisat sur 1 mois



dioxyde de soufre SO₂



*Merci pour
votre attention*