

# Télédétection passive des nuages, des aérosols et de leurs interactions En route vers un instrument idéal ?

---

J. Riedi

Laboratoire d'Optique Atmosphérique  
Université des Sciences et Technologies de Lille

# Plan

- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

# Plan

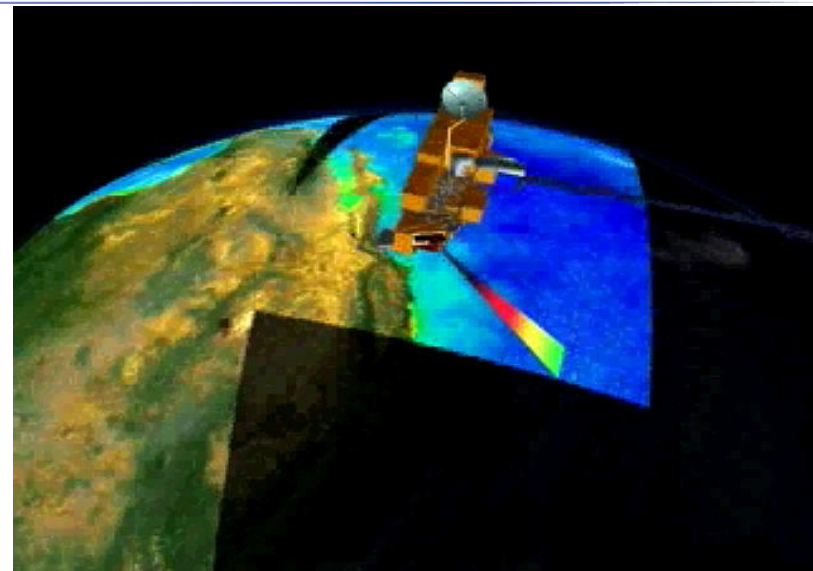
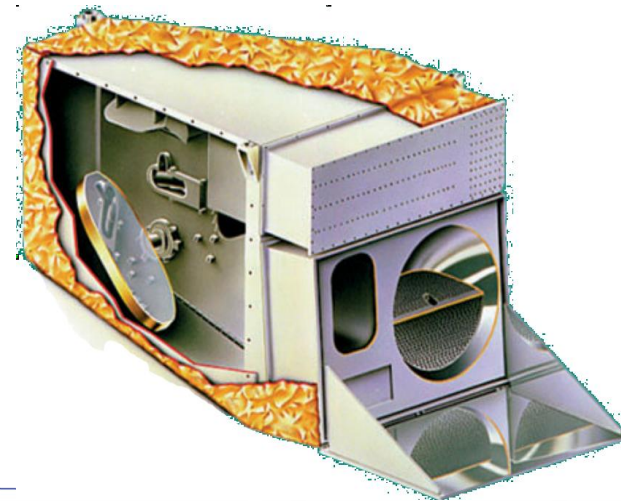
- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

# Bilan sur les capteurs disponibles



## • MODIS

- NASA, Terra & Aqua
  - lancement 1999, 2002
  - 705 km orbites polaires, descendante (10:30 a.m.) & ascendante (1:30 p.m.)
- Caractéristiques
  - 36 bandes spectrales allant de 0.41 à 14.385  $\mu\text{m}$
  - scanner cross-track : 2330 km fauchée au sol
  - Résolutions spatiales:
    - 250 m (bandes 1 - 2)
    - 500 m (bandes 3 - 7)
    - 1000 m (bandes 8 - 36)
  - 2% précision calibration en réflectance
  - diffuseur solaire embarqué & contrôleur de stabilité du diffuseur

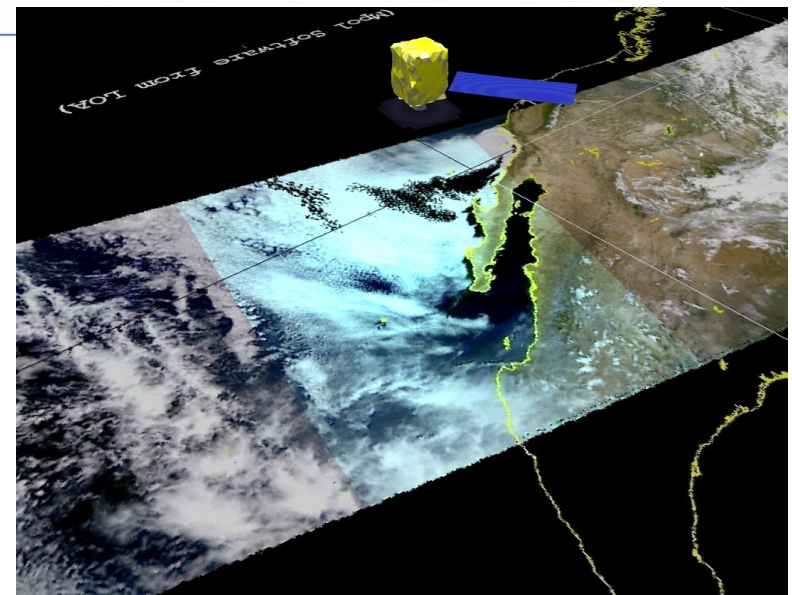
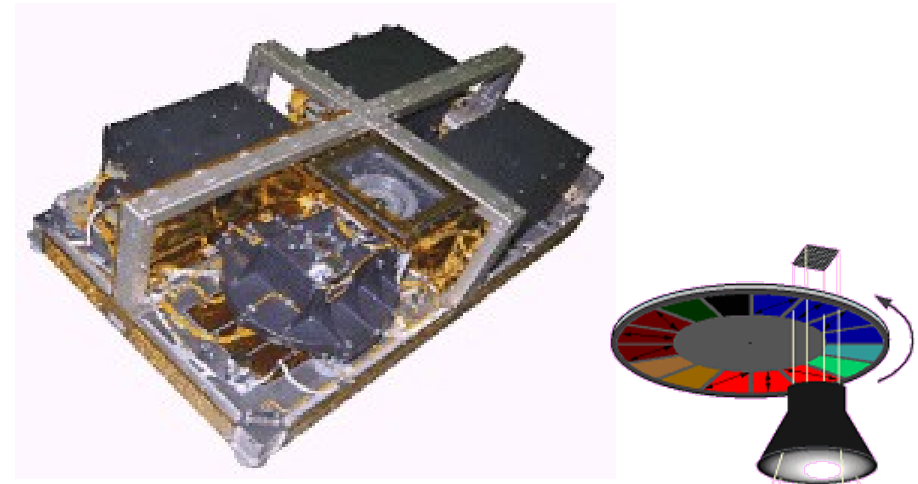


# Bilan sur les capteurs disponibles



## • POLDER

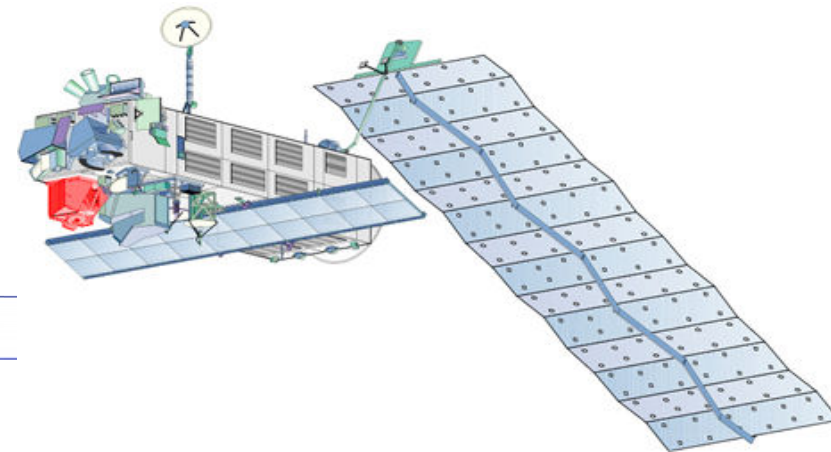
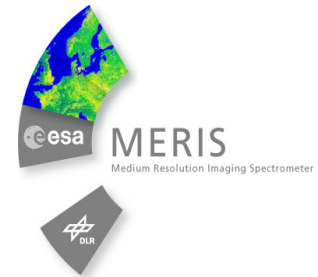
- CNES/LOA, Adeos I, Adeos II, [PARASOL](#)
  - lancement 1996, 2003, [2004](#)
  - ~ 800 km orbite polaire, descendante (10:30 a.m.)
  - ~ [700 km orbite polaire, ascendante \(14:30 p.m.\)](#)
- Caractéristiques
  - 9 bandes spectrales allant de 0.443 à 0.910  $\mu\text{m}$
  - 3 canaux polarisés
  - Caméra CCD large champ - 2400 km fauchée
  - +/- 43 degrés along track
  - +/- 51 degrés cross track
  - Observations Multidirectionnelles (14/16 directions)
  - Résolution spatiale : 6x7 km
  - Pas de système de calibration embarqué - Calibration vicarious en vol :
    - 2-3% précision calibration absolue
    - 1% interbande – 0.1% interpixel sur nuages



# Bilan sur les capteurs disponibles

## • MERIS

- ESA, Envisat
  - lancement Mars 2002
  - 800 km orbite polaire heliosynchrone
- Caractéristiques
  - 16 bandes spectrales allant de 412.5 à 900 nm programmables en position et largeur
  - 5 modules optiques identiques totalisant 1150 km fauchée au sol
  - CCD 2D (1D spectral + 1D crosstrack)
  - Résolutions spatiales:
    - 300 m ou 1.2 km nadir
  - 2% précision calibration en réflectance
  - diffuseur solaire embarqué & contrôleur de stabilité du diffuseur

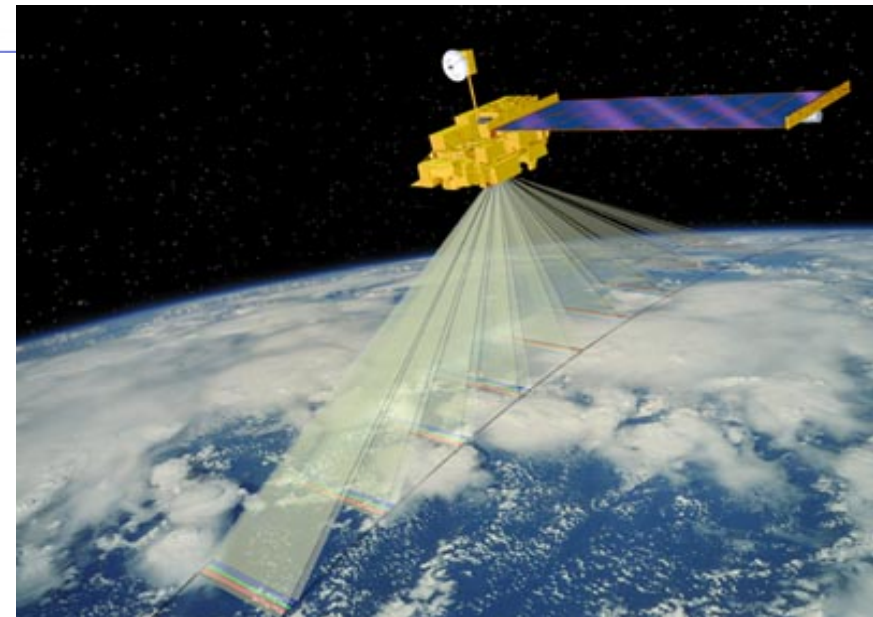
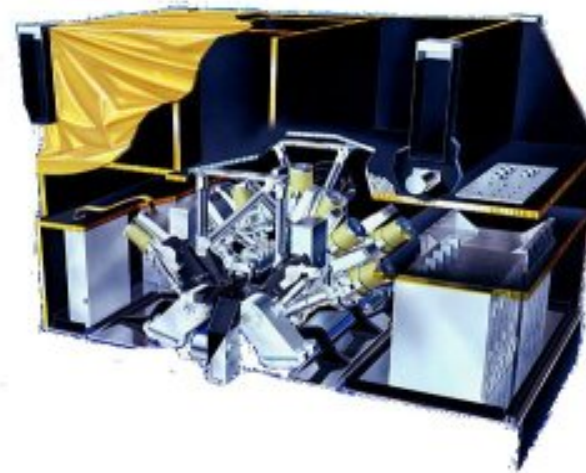


# Bilan sur les capteurs disponibles

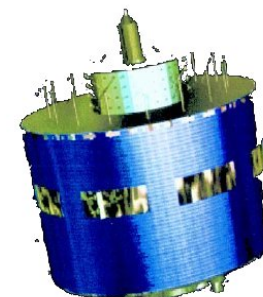


## • MISR

- NASA, Terra
  - lancement 1999
  - 705 km orbites polaires, descendante (10:30 a.m.)
- Caractéristiques
  - 4 bandes spectrales 446, 558, 672, et 867 nm
  - 9 caméras push broom : 360 km fauchée au sol
  - observations multidirectionnelles à angles fixes
  - Résolutions spatiales:
    - 275 m sauf nadir 250m en mode local
    - 2x2 pixels ou 4x4 ou 4x1 en mode global
  - 2% précision calibration en réflectance
  - 2 diffuseurs solaire embarqués & controleur



# Bilan sur les capteurs disponibles



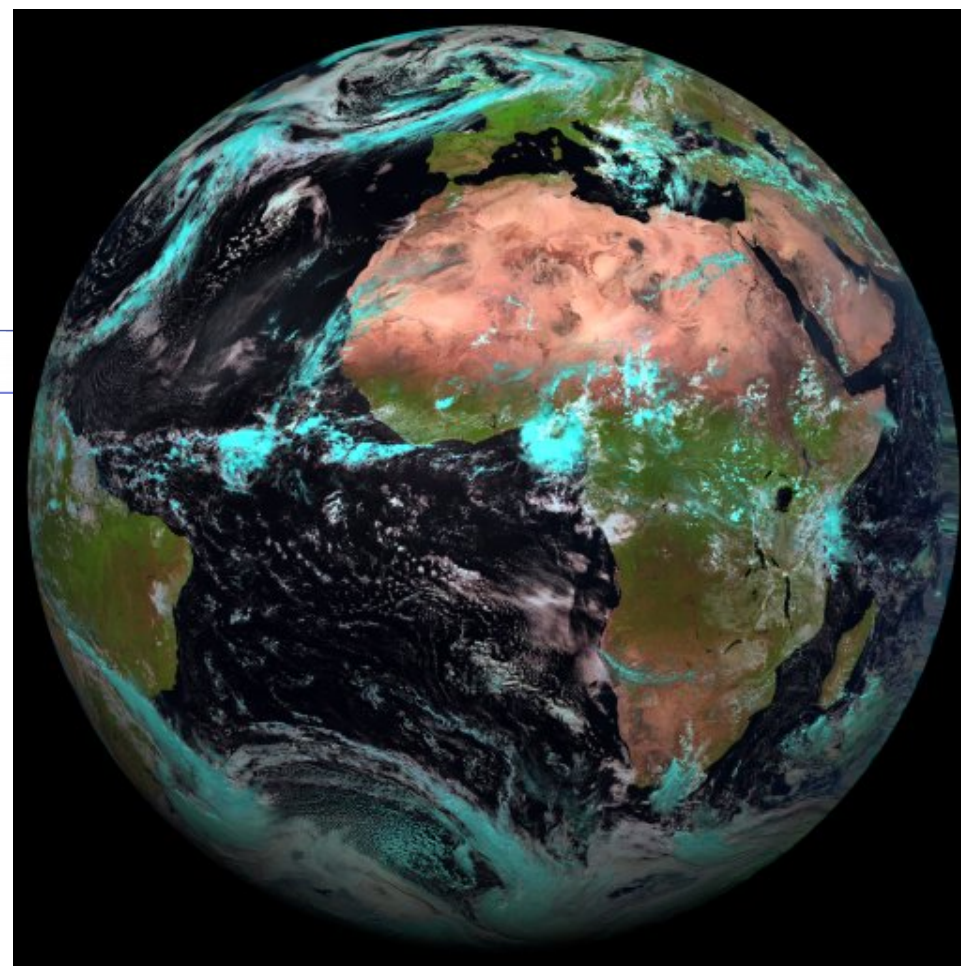
## • SEVIRI

EumetSat/ESA, MSG

### - Caractéristiques

#### • géostationnaire

- 11 canaux de 635nm à 13.4  $\mu$  m + 1 canal HRV (0.4 à 1.1  $\mu$  m)
- couverture du disque complet
- acquisition toute les 15 min
- Résolutions spatiales:
  - 3 km nadir pour 11 canaux
  - 1 km pour le canal HRV
- 5% précision calibration en réflectance (calibration vicarious) – 1 K pour les bandes thermiques



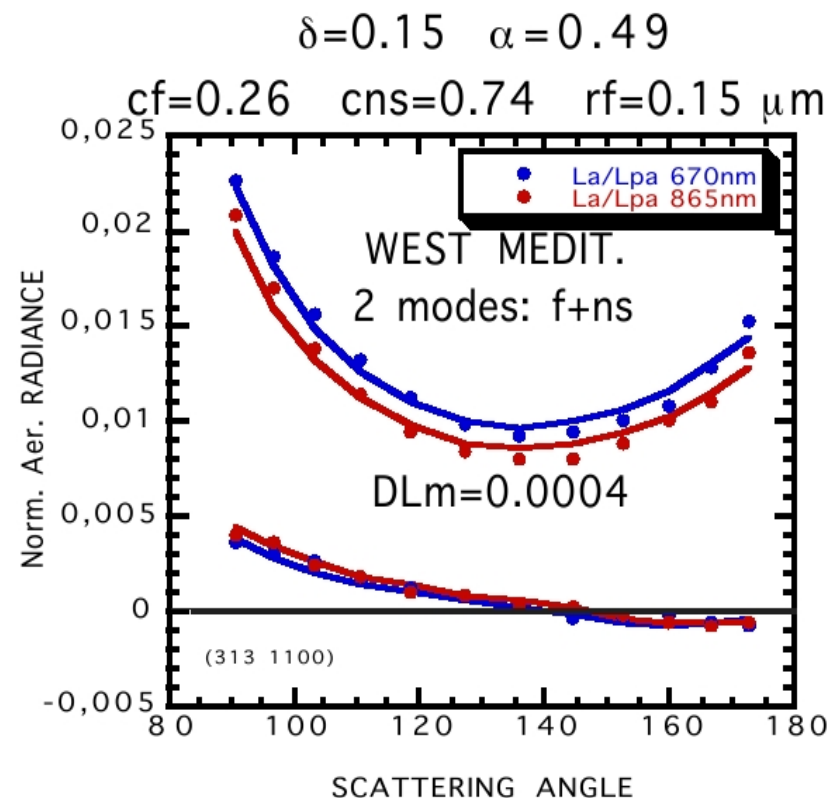
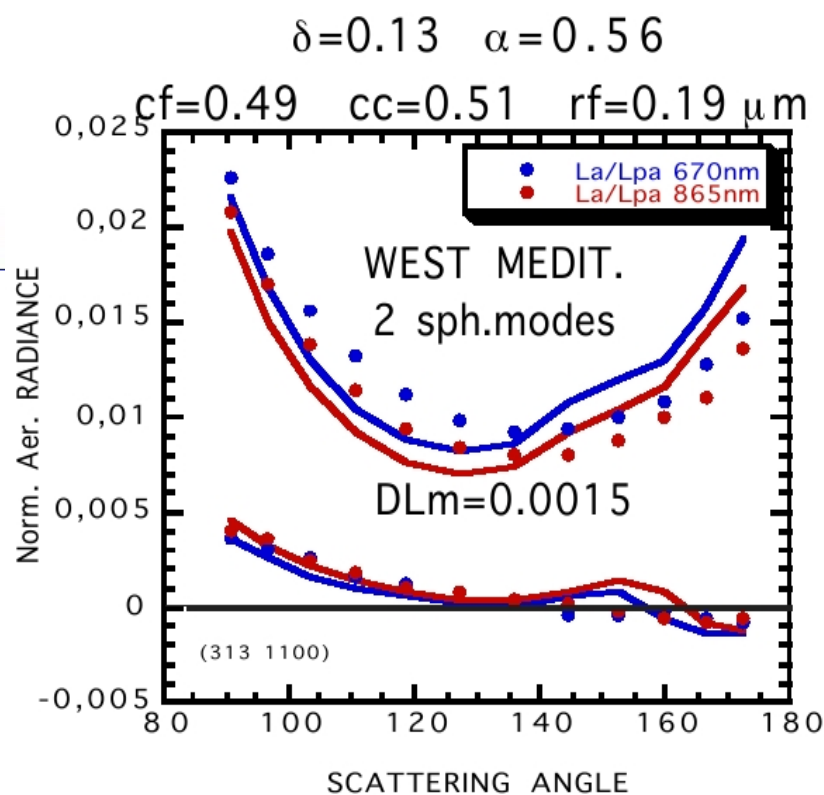


# Plan

- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

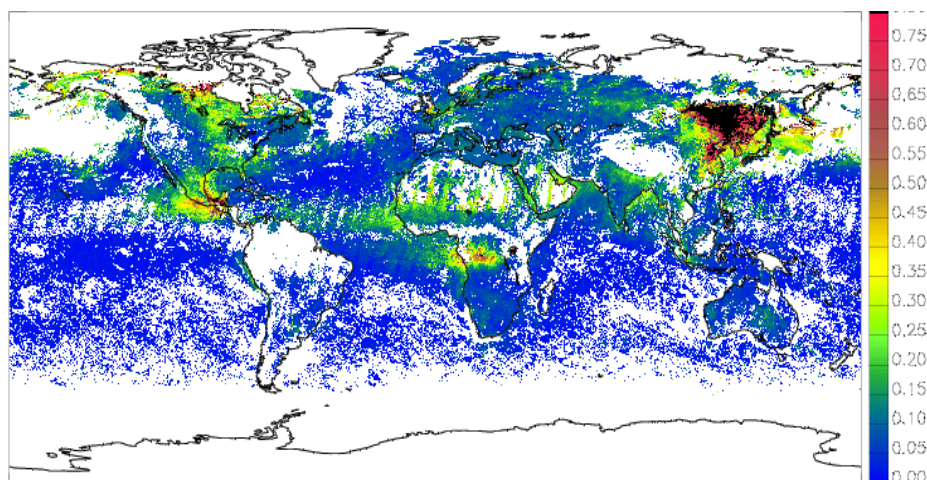
# Les avancées marquantes en télédétection passive

- La polarisation directionnelle pour les aérosols



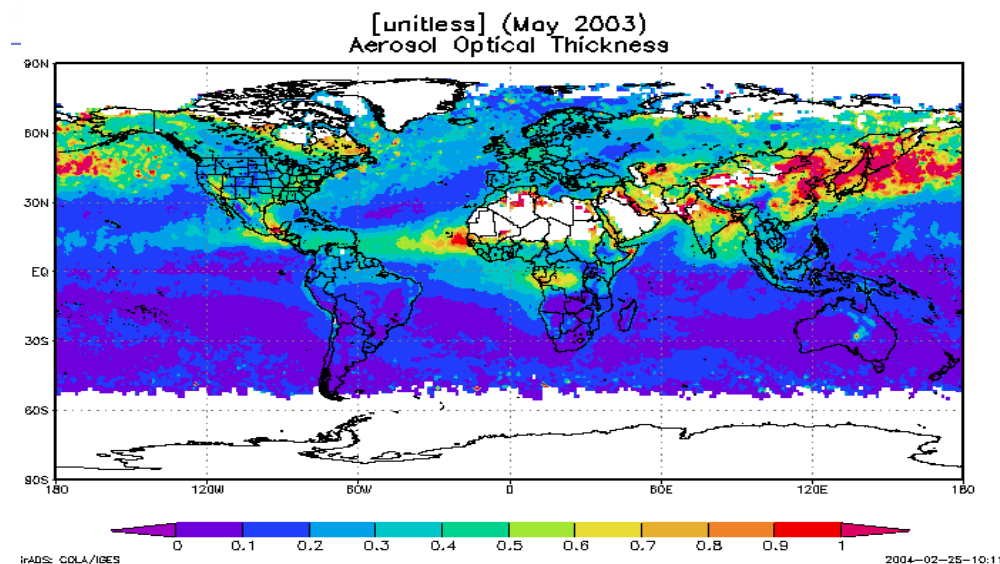
# Les avancées marquantes en télédétection passive

- La restitution des aérosols au dessus de terres



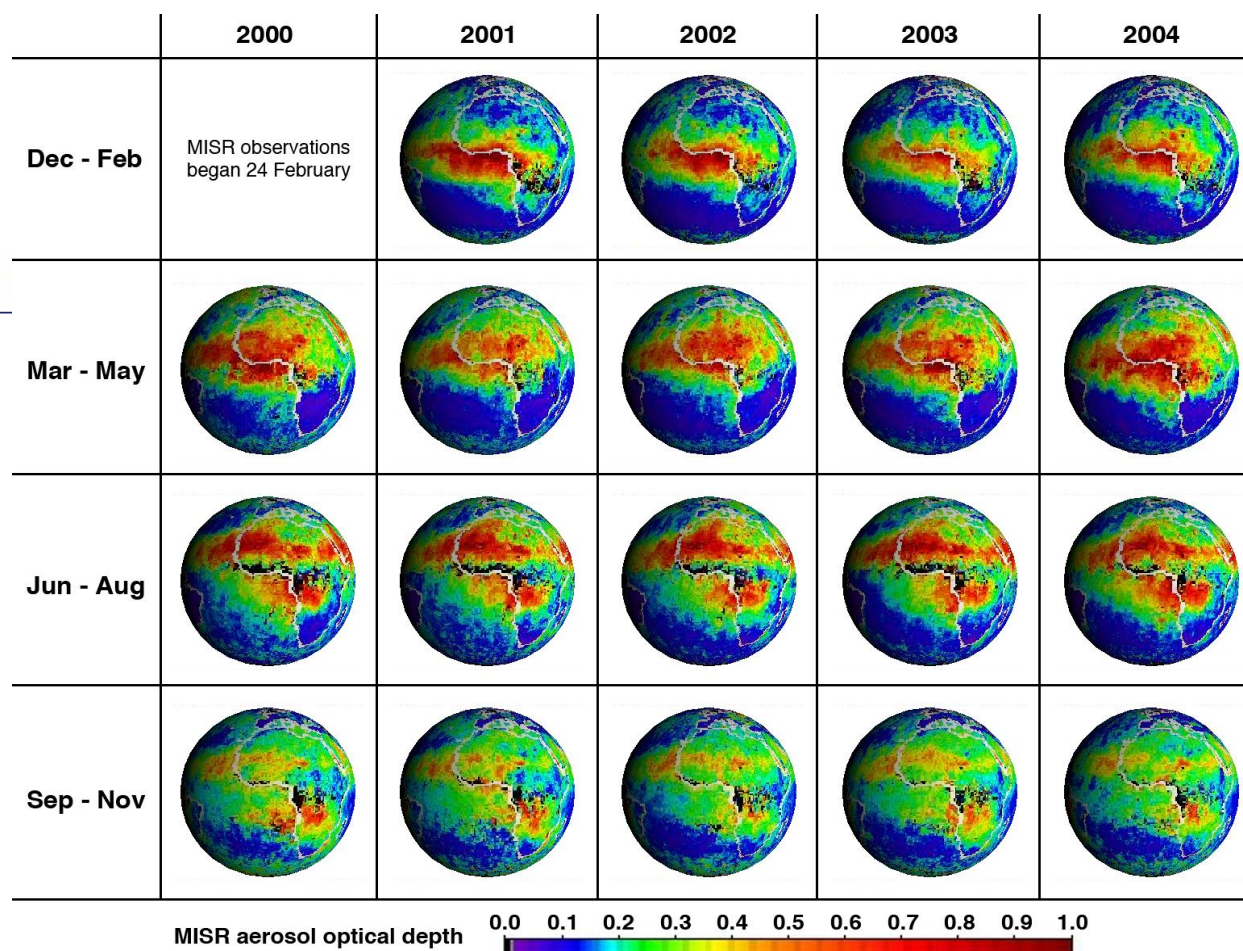
MODIS / May 2003  
Spectral  
Tau Total

POLDER / May 2003  
Polarisation  
Tau Petit mode



# Les avancées marquantes en télédétection passive

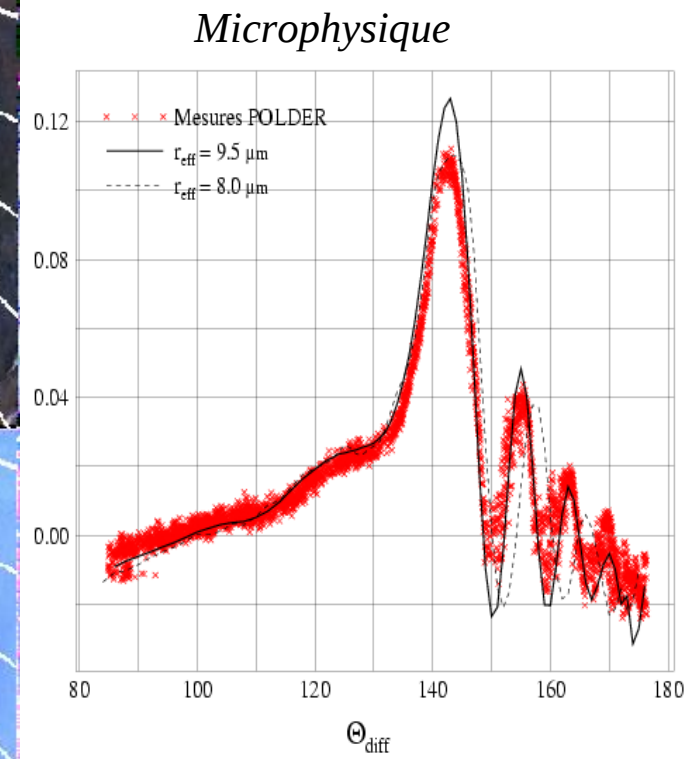
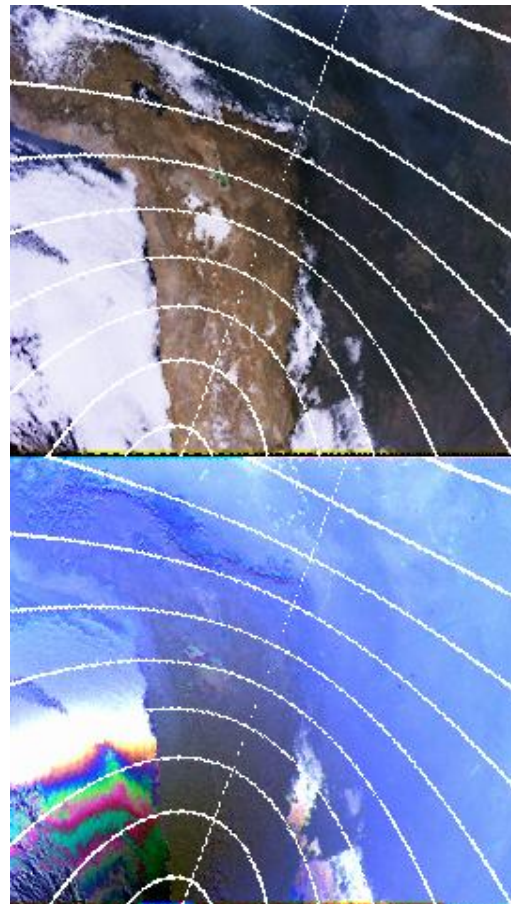
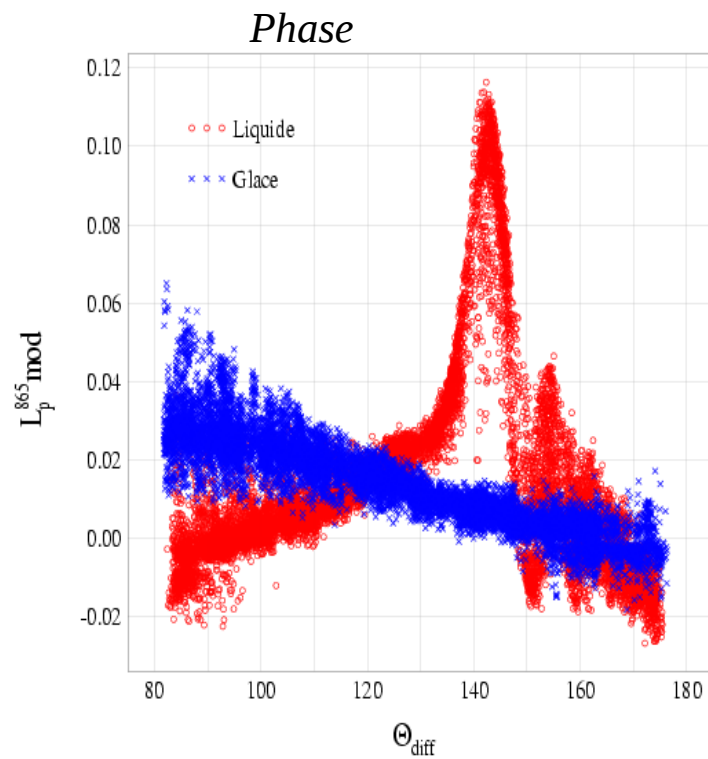
- La restitution des aérosols au dessus de terres



MISR - 2000-2004  
Variation du contraste  
spectral directionnel  
Tau Total

# Les avancées marquantes en télédétection passive

- La polarisation directionnelle pour les nuages



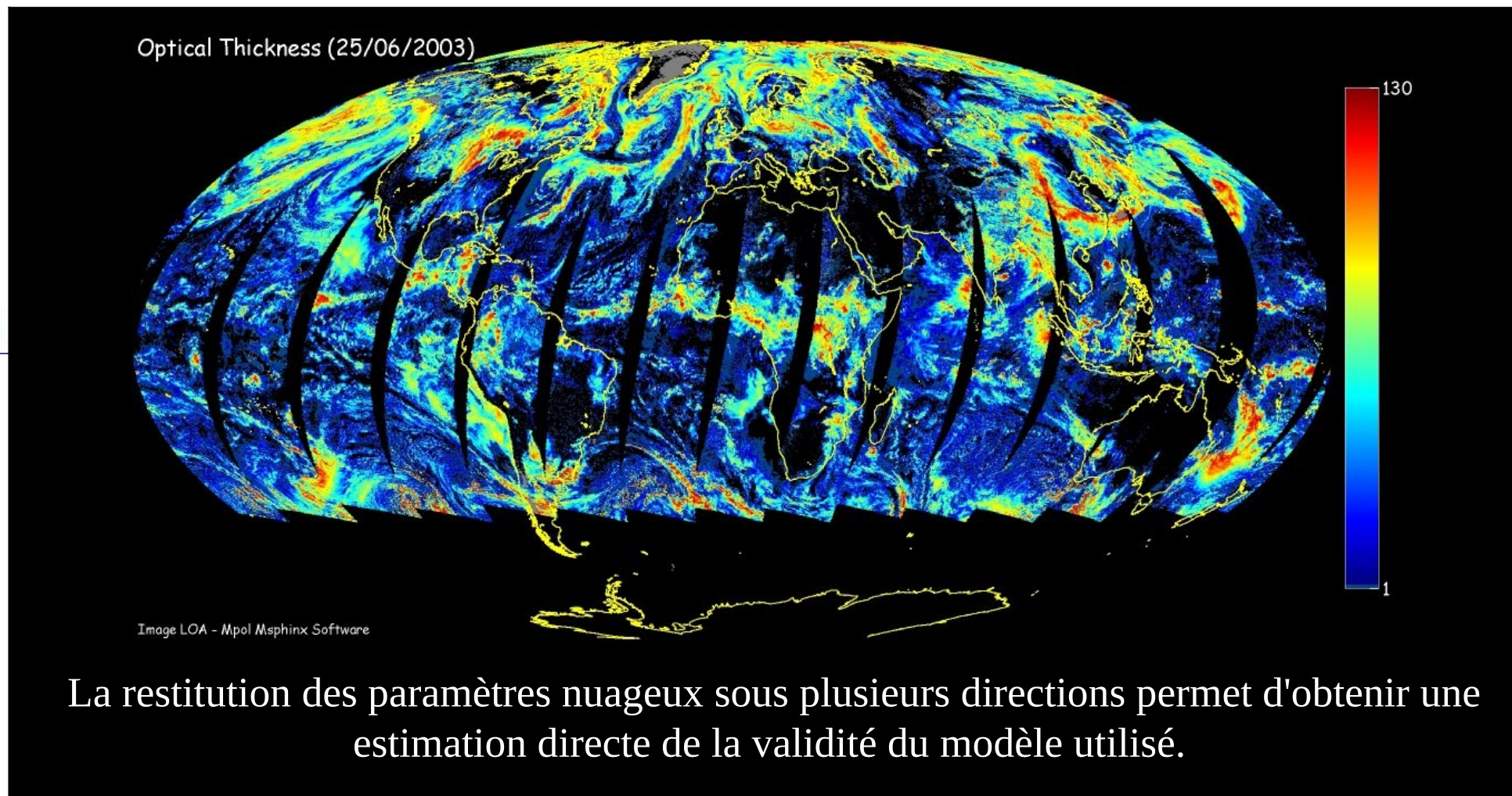
Riedi et al

Bréon, Chepfer et al

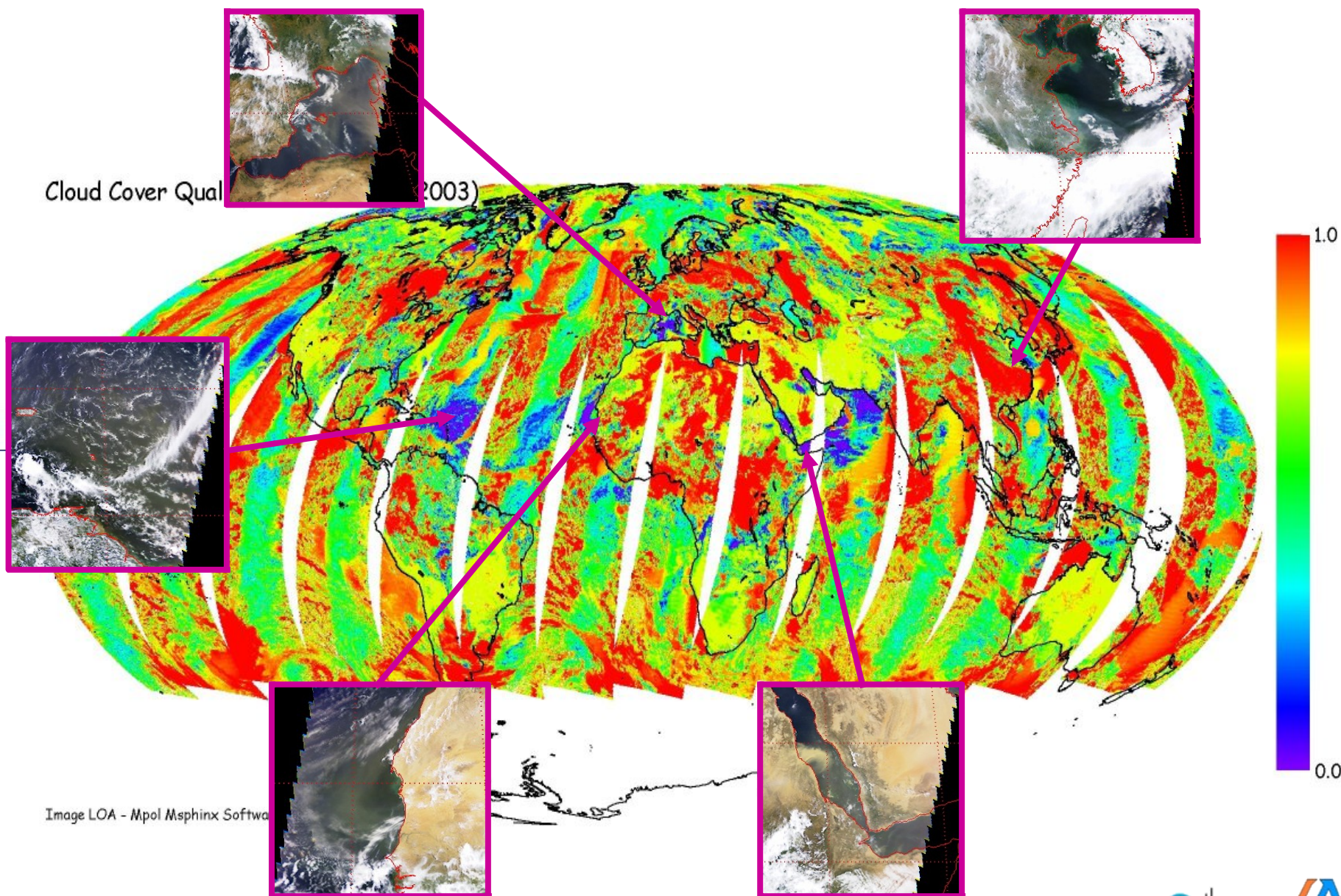


# Les avancées marquantes en télédétection passive

- L'analyse de mesures directionnelles pour les nuages



# Les avancées marquantes en télédétection passive

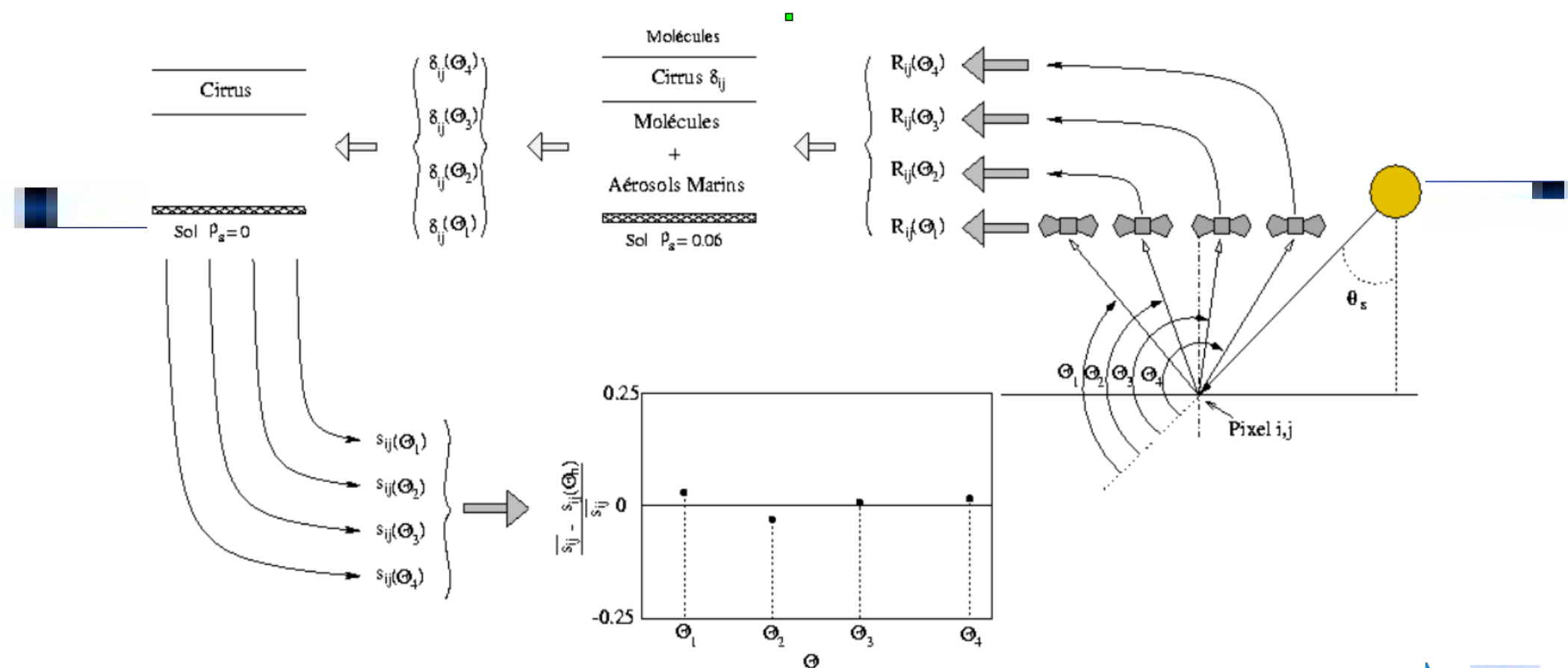


Parol et al



# Les avancées marquantes en télédétection passive

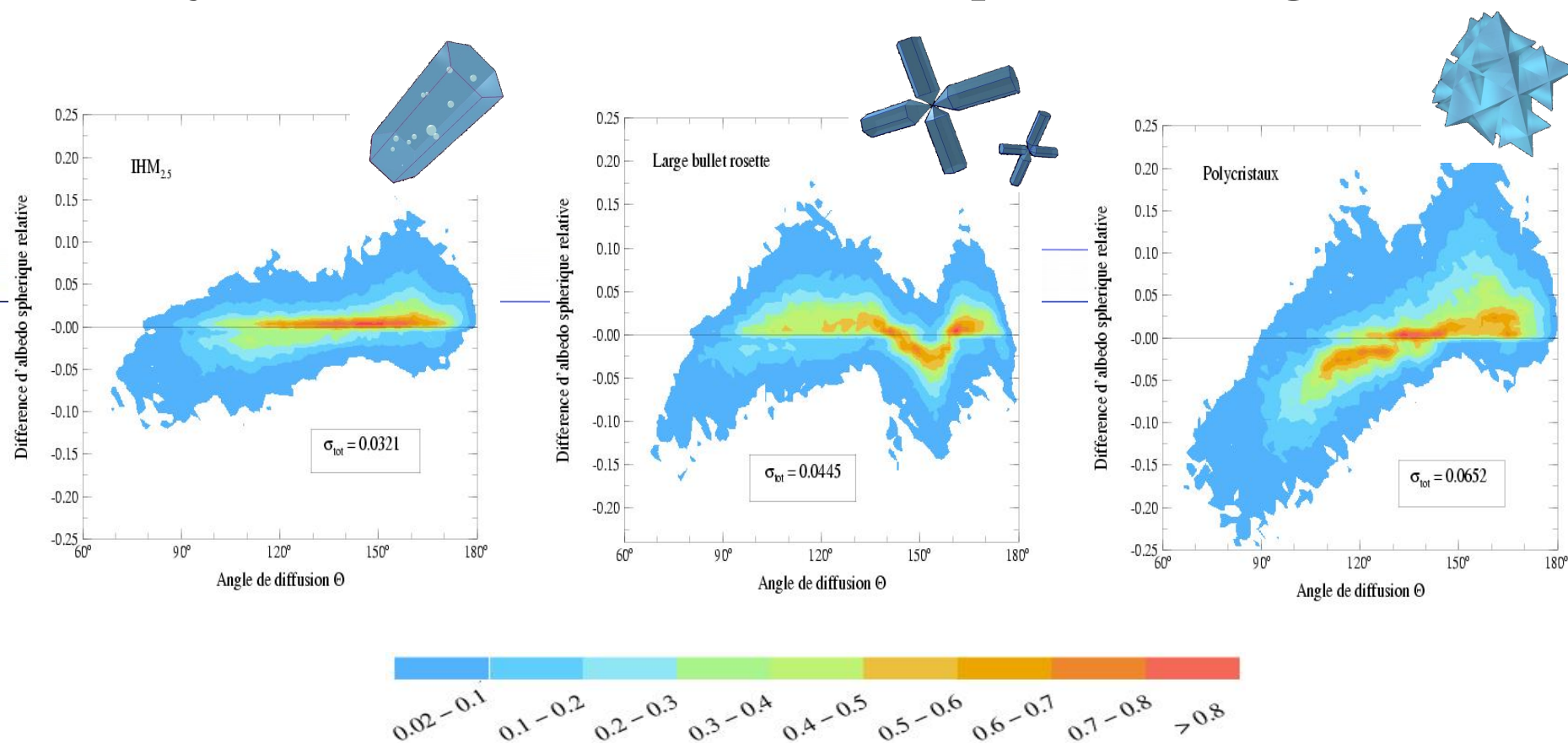
- L'analyse de mesures directionnelles pour les nuages





# Les avancées marquantes en télédétection passive

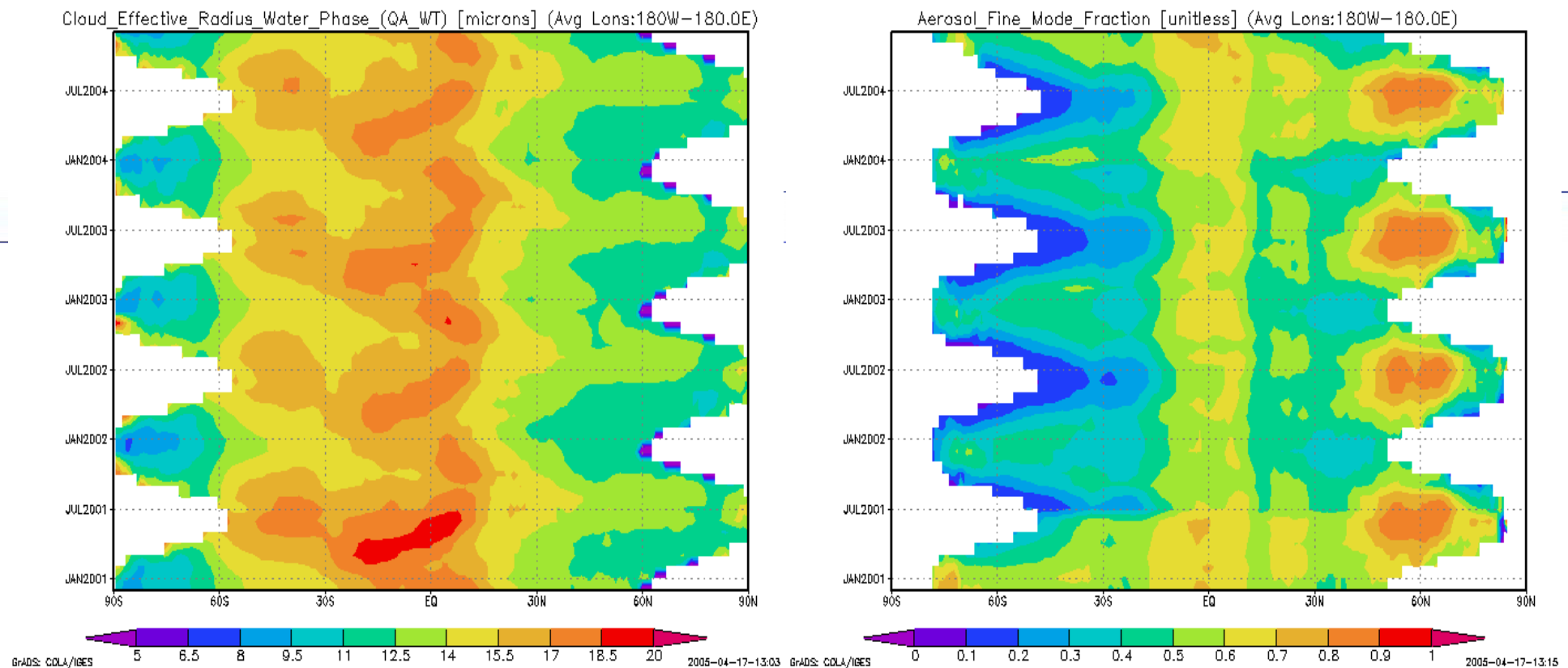
- L'analyse de mesures directionnelles pour les nuages



Labonnote et al

# Les avancées marquantes en télédétection passive

- La disponibilité de séries temporelles conséquentes
  - en particulier pour des propriétés non accessibles jusqu'alors.



# Plan

- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

# Les grands enjeux pour la télédétection passive

- L'absorption des aérosols
  - Indispensable pour le calcul des forçages radiatifs
  - Crucial également pour les interactions nuages/aérosols
  - Propriétés variables (poussière désertique, biomass, anthropogénique)
  - Encore mal quantifiée – pas de méthode globale et uniquement au dessus des océans
    - TOMS – UV (Herman et al, 1997)
    - Meteosat – broadband (Moulin et al, 1997)
    - MODIS – sunglint (Kaufman et al, 2002)
    - Multispectral (VIS – NIR) (Nobileau et Antoine, 2005)

# Les grands enjeux pour la télédétection passive

- Les effets 3D des nuages
  - Crucial à la fois pour la restitution des propriétés et l'impact radiatif
  - Études théorique avancées et de plus en plus de mesures disponibles (POLDER – MISR - AATSR)
  - Nécessité de réaliser une synthèse entre observations et modélisation pour tenter de paramétrer ces effets
  - Pas encore de possibilités de prendre en compte ces effets dans les inversions à l'échelle globale

# Les grands enjeux pour la télédétection passive

- Les interactions nuages – aérosols
  - plusieurs niveaux d'interactions possibles
  - problème souvent abordés du point de vue de la modélisation
  - l'observation des ces effets par télédétection passive est problématique car sujette à de nombreux biais possibles
  - ces études nécessitent en plus de prendre en compte les propriétés des nuages en incluant la dimension dynamique
- Perspectives : l'utilisation couplée des satellites « recherche » et « opérationnel » (MODIS/PARASOL/MSG)

# Plan

- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

## Les passages obligés

- Vue d'ensemble du processus d'inversion de paramètres aérosols/nuages : les suspects usuels
  - **Corrections atmosphériques (gaz, Rayleigh, ...)**
  - **Détection nuageuse (nuages fins, nuages fractionnés, glitter, événements aérosols)**
  - **Phase des nuages (multicouche, phase mixte)**
  - **Propriétés macrophysiques (altitude, épaisseur, hétérogénéités)**
  - **Propriétés optiques et microphysiques des nuages (effets 3D, variabilité subpixel)**
  - **Liens avec le Liquid Water Path - Ice Water Path - Water Vapor et Aerosols**



## Les capacités recherchées

- Échantillonnage spatial
  - problème de détection des nuages
  - étude des effets de variabilité horizontale
  - meilleure statistique pour les applications aérosols, couleur de l'eau
  - évaluation de l'homogénéité des scènes
- Échantillonnage spectral
  - couverture de l'UV jusqu'au SWIR
  - la résolution spectrale (bande de l'O<sub>2</sub>, etc...)

## Les capacités recherchées

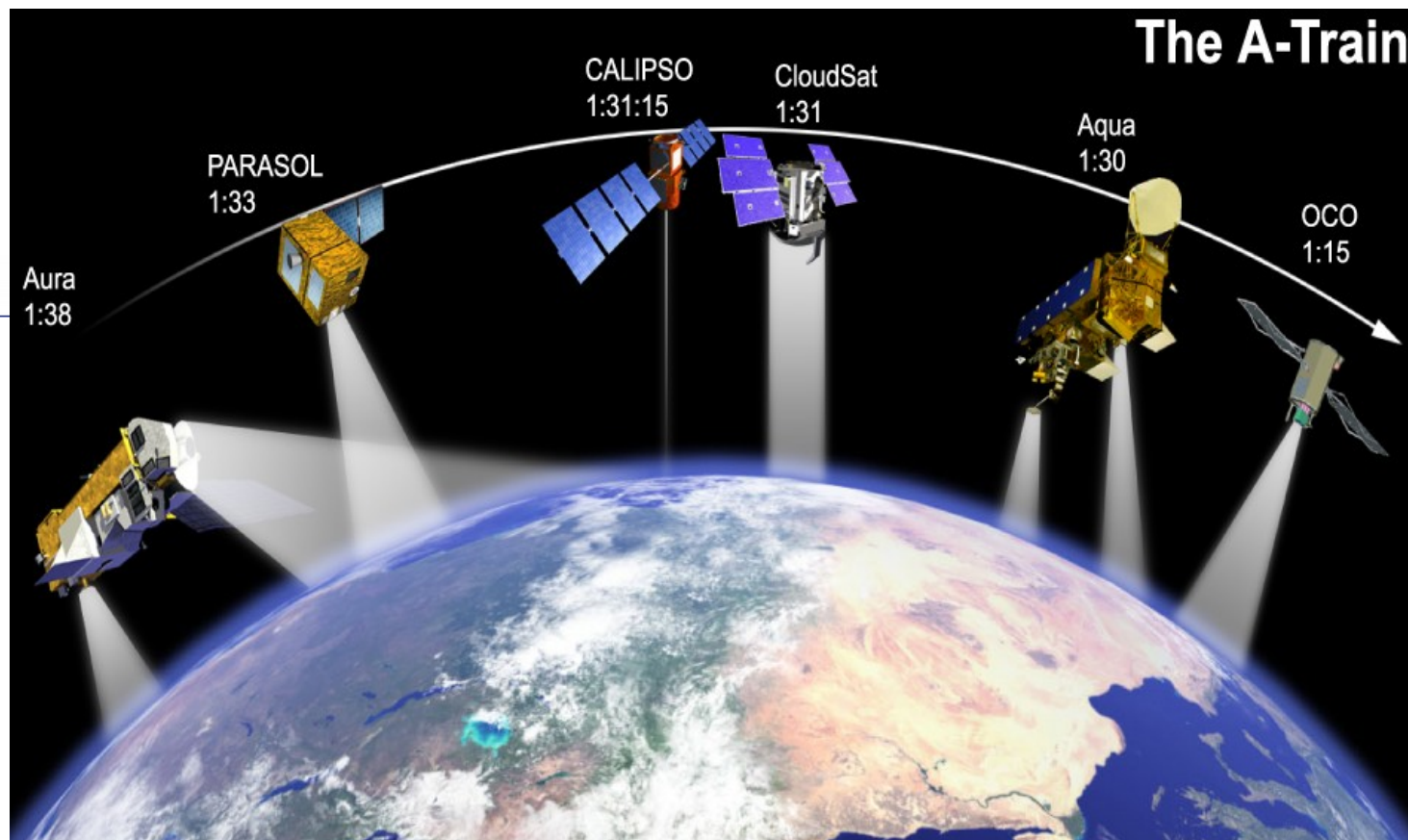
- Échantillonnage angulaire
  - intérêt évident pour la détection hors glitter
  - utilisation de l'information directionnelle pour la microphysique
  - utilisation des méthodes de stéréoscopie
- Échantillonnage temporel
  - évaluation des cycles diurnes des propriétés
  - problèmes liés aux interactions nuages aérosols

# Plan

- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

# Nouvelles approches méthodologiques

- Couplage instrumentaux : concept de l'A-Train



**Préparation à l'exploitation des données simultanées MODIS/Aqua-Parasol pour l'étude des propriétés radiatives des nuages : Études préliminaires pour application au couplage de mesures multispectrales à haute résolution spatiales et de mesures multiangulaires polarimétriques (Riedi et al - LOA)**

Principaux objectifs et résultats :

- préparation à l'exploitation des données coïncidentes MODIS/PARASOL

statut : réalisation d'une chaîne de traitement opérationnelle des données POLDER/MODIS

- détermination d'un indice de phase thermodynamique du nuage utilisant la complémentarité Polar-Proche IR-IR

statut : premier produit implémenté utilisant la synergie des instruments POLDER/MODIS pour les nuages

- détermination de paramètres microphysiques pour les nuages de glace

statut : développement en cours d'un algorithme type "estimation optimale" pour la restitution des propriétés des nuages par inversion couplée des données POLDER/MODIS

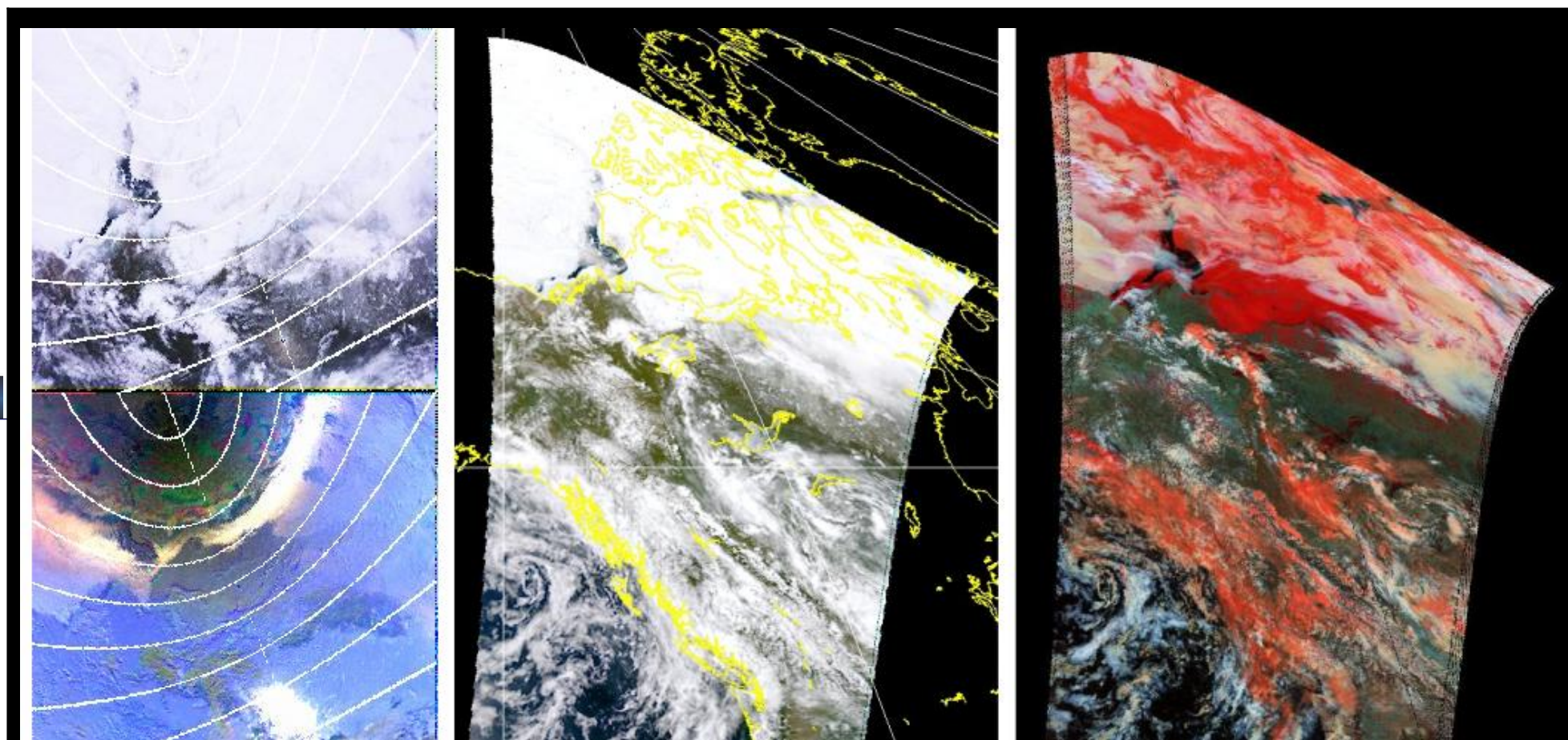
- étude de l'effet des couvertures nuageuses fractionnées sur la restitution des propriétés des nuages.

statut : cas d'étude pour la restitution de paramètres nuageux hétérogènes (Cornet et al, GRL – 2005)

mise au point d'un masque nuageux pour la chaîne POLDER/MODIS incluant des informations sur l'hétérogénéité sub-pixel de la scène.



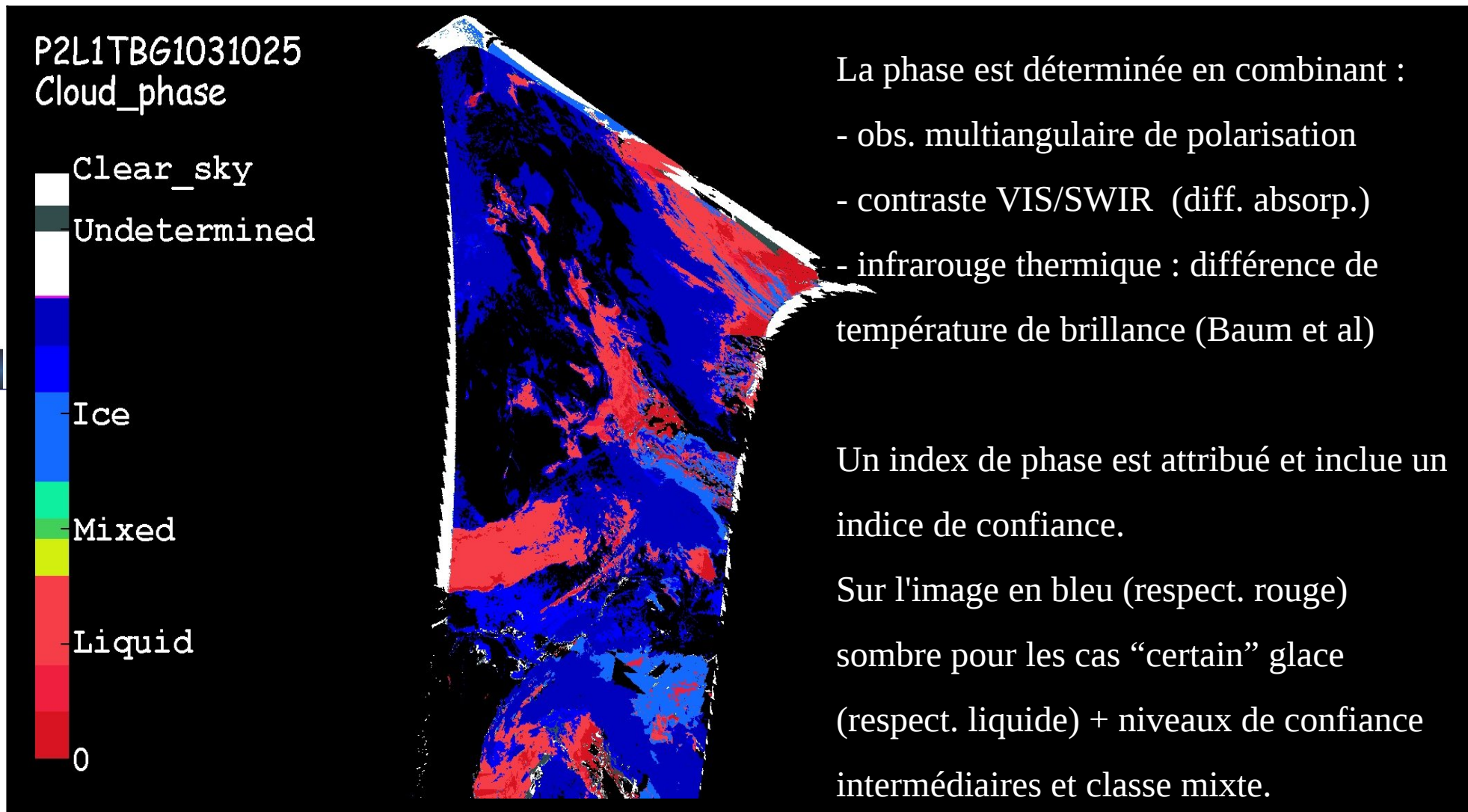
## Nouvelles approches méthodologiques



Combinaison de la polarisation et des mesures proche/moyen infrarouge permet une meilleure discrimination des nuages par rapport au surface de glace/enneigées

Détection des nuages – Synergie POLDER/MODIS

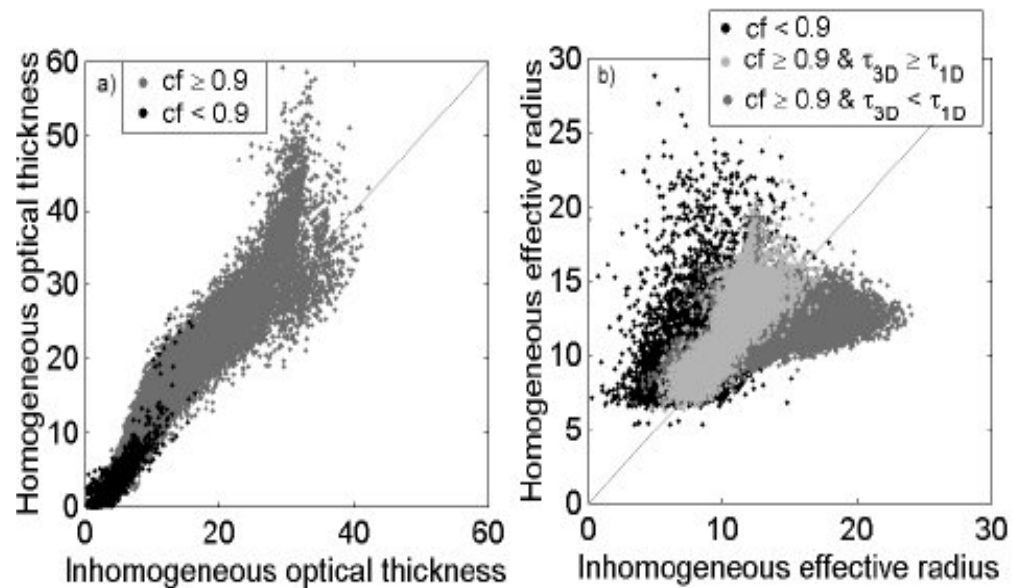
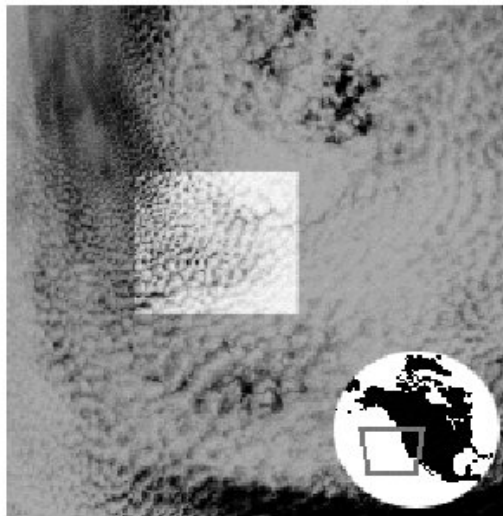
# Nouvelles approches méthodologiques



Phase des nuages – Synergie POLDER/MODIS

# Nouvelles approches méthodologiques

- Méthodes d'inversion : les méthodes neuronales
  - nécessité d'inverser des vecteurs de mesures de dimension croissante
  - approche classique par LUT deviennent lourde à gérer en pratique





## Nouvelles approches méthodologiques

- Méthodes d'inversion : les méthodes d'estimation optimale
  - principe : chercher à restituer un ou plusieurs paramètres en simulant de manière itérative les différentes composantes d'un vecteur de mesures
  - avantage :
    - souple pour l'inversion à partir de plusieurs mesures
    - permet de prendre en compte les différentes incertitudes de mesures
    - procure une estimation directe des incertitudes sur les paramètres restitués
  - inconvénient : inversion coûteuse en temps de calcul (prohibitif dans certains cas)
  - exemple : CloudSat/MODIS et POLDER/MODIS

- Bilan des méthodologies

- pas de révolution :

- de gros effort pour l'exploitation/validation des données récentes

- mais ...

- utilisation croissante de (1) la multidirectionnalité, (2) du multispectral, et (3) de la haute résolution

- quantification des erreurs ou au minimum indice de qualité

- développement des approches multicapteurs

- Les développements nécessaires

- méthodes d'inversions capables :

- d'intégrer les erreurs de mesures

- de traiter des vecteurs de mesures de taille croissante

- code de transfert radiatifs rapides

- aspect dynamique pour l'étude des interactions nuages/aérosols



# Plan

- Les capteurs grand champ
- Les avancées marquantes
- Les enjeux actuels
- Les capacités recherchées
- Les nouvelles approches méthodologiques
- Quel concept instrumental pour demain ?

## En route pour l'instrument idéal ?

- Pour répondre aux questions posées : nécessité d'avoir des instruments multi-missions
- Recommandations pour un instrument « idéal » :
  - haute résolution, multidirectionnalité, polarisation et bandes spectrales fines de l'UV jusqu'au moyen infrarouge
  - répétition temporelle : géostationnaire mais pourquoi pas des constellations d'instruments identiques ?
- Les opportunités de développement instrumentaux
  - AO ESA, NASA
  - Meteosat Third Generation
  - GMES
- Pas de mission planifiée avant 2010 ...