

LES MISSIONS SPATIALES LIDAR

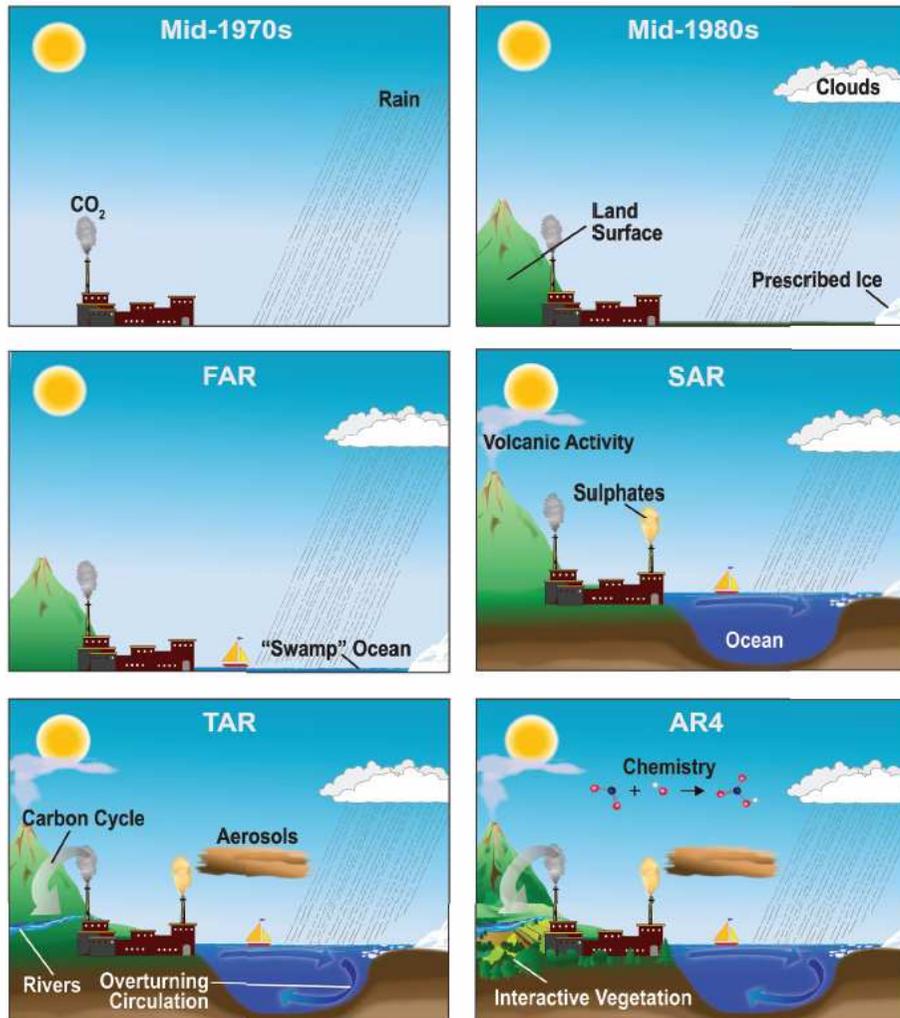
« Des moyens d'observation nouveaux pour améliorer nos connaissances sur les propriétés des aérosols et des nuages, étudier les interactions avec le rayonnement (ANR) et les processus aux interfaces »

Jacques Pelon
LATMOS/IPSL

Plan de la présentation

- Rappels sur les besoins en observation des aérosols et des nuages
- Les missions spatiales ANR
 - Intérêt
 - Optimisation des observations spatiales
 - Mission LITE
 - mission GLAS/ICESAT
 - mission CALIPSO
 - mission EARTHCARE
- Synergies A-Train et EarthCare
- Conclusion

Climat et Environnement : mieux comprendre le système TERRE



→ Assessment
Report 5 ...

AEROSOLS

AEROSOLS

Fines particules en suspension dans l'atmosphère

Taille : 1-5000 nm

Situées plutôt à basse altitude (0-5km) en

Air clair ... ou non

Ce qui change beaucoup !



Sources **naturelles** et **anthropiques** : érosion, poussières désertiques, Éruptions volcaniques, pollution, feux de biomasse : propriétés microphysiques différentes, nécessitant d'identifier le type d'aérosols

NUAGES

Formation de gouttes d'eau ou de cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère

Taille : 1-1000 μm

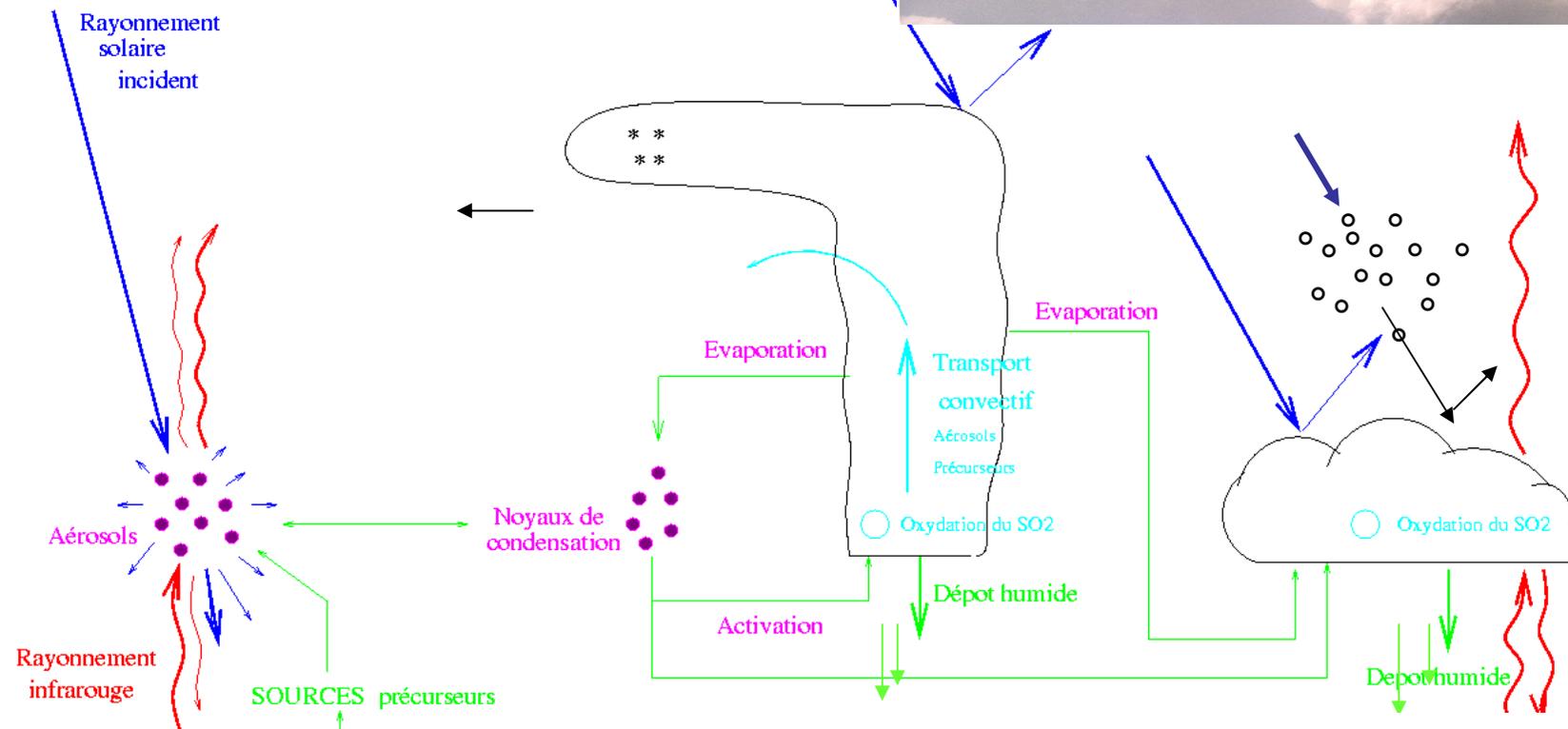
Situés entre 0-18 km
(atmosphère météorologique)

(+ nuages dans la stratosphère et mésosphère)

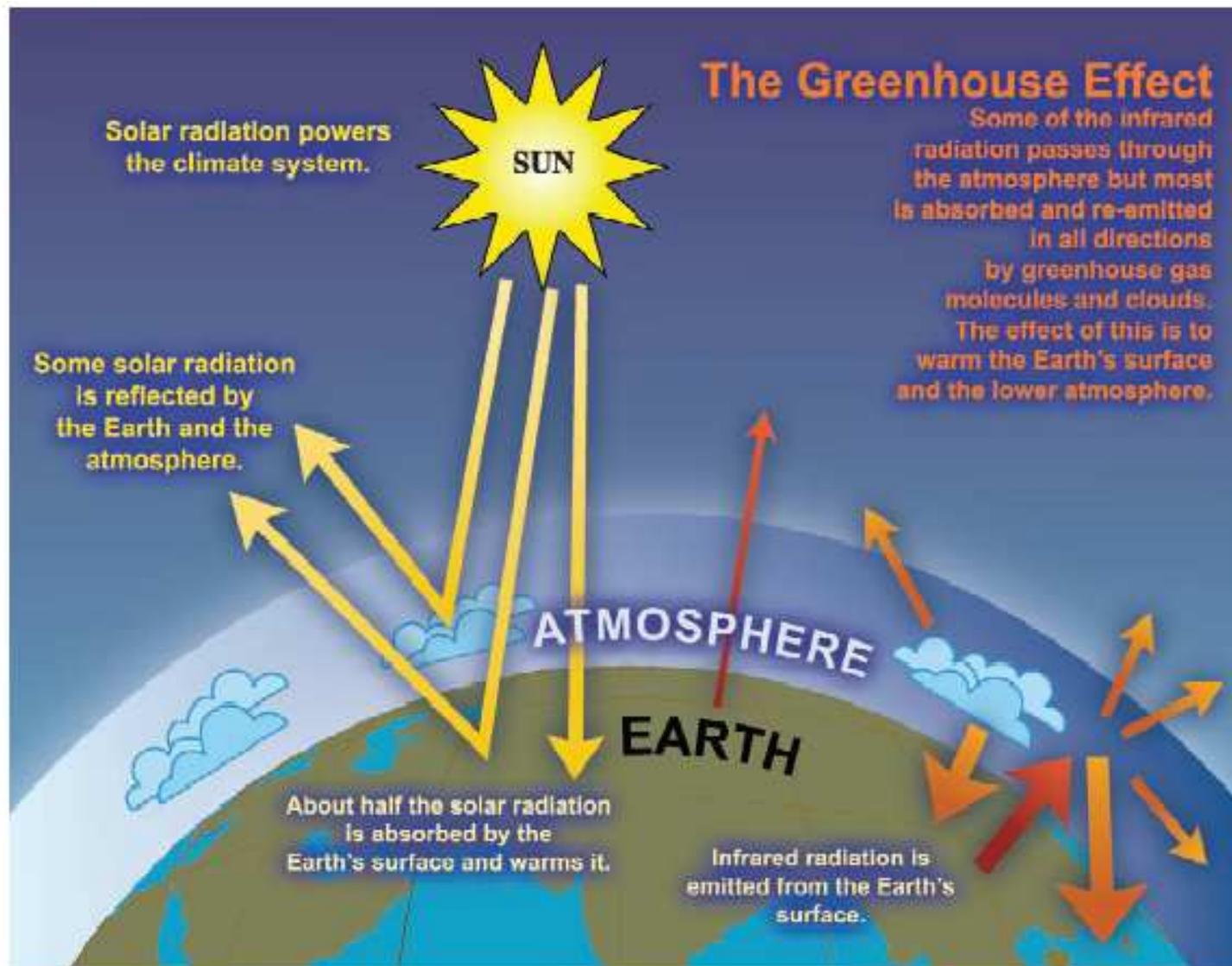


phase : eau et glace nuageuses; + précipitations ... le lidar permet d'analyser les nuages glacés, mais très peu les nuages d'eau (sauf peu convectifs),
→ Utiliser des longueurs d'onde plus grandes = radar
→ Cf présentation H. Chepfer

ANR : Modification des propriétés radiatives et du cycle de vie des Nuages par les Aérosols



Sun, 5778 K => solar radiation : near UV to near IR, max ~ 500 nm



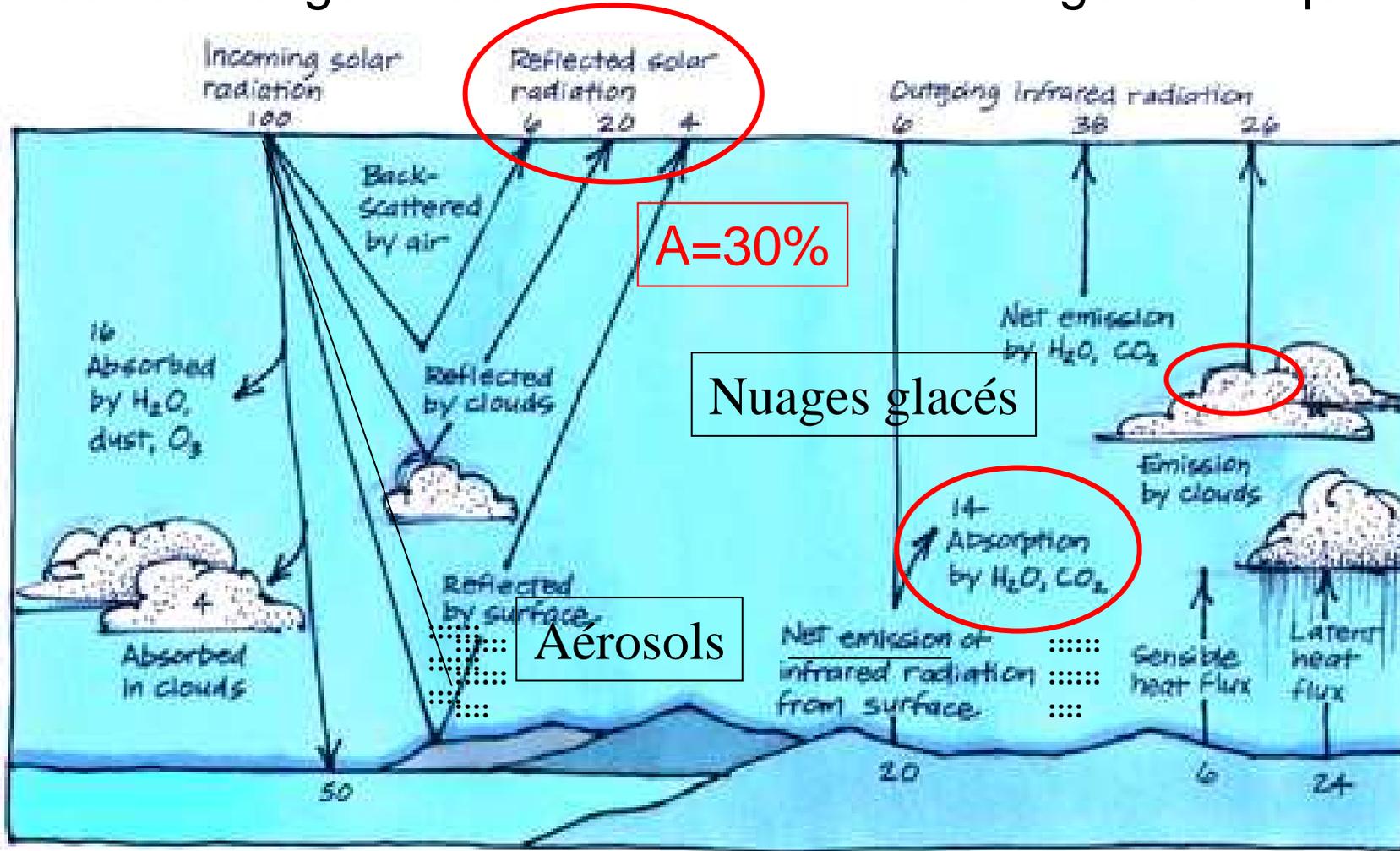
Earth, 240-320 K => thermal IR, 8-12 microns, atmospheric window

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

EQUILIBRE ENERGETIQUE

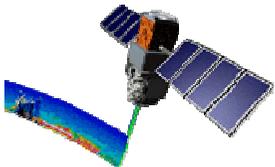
Courtes Longueurs d'onde

Infrarouge thermique

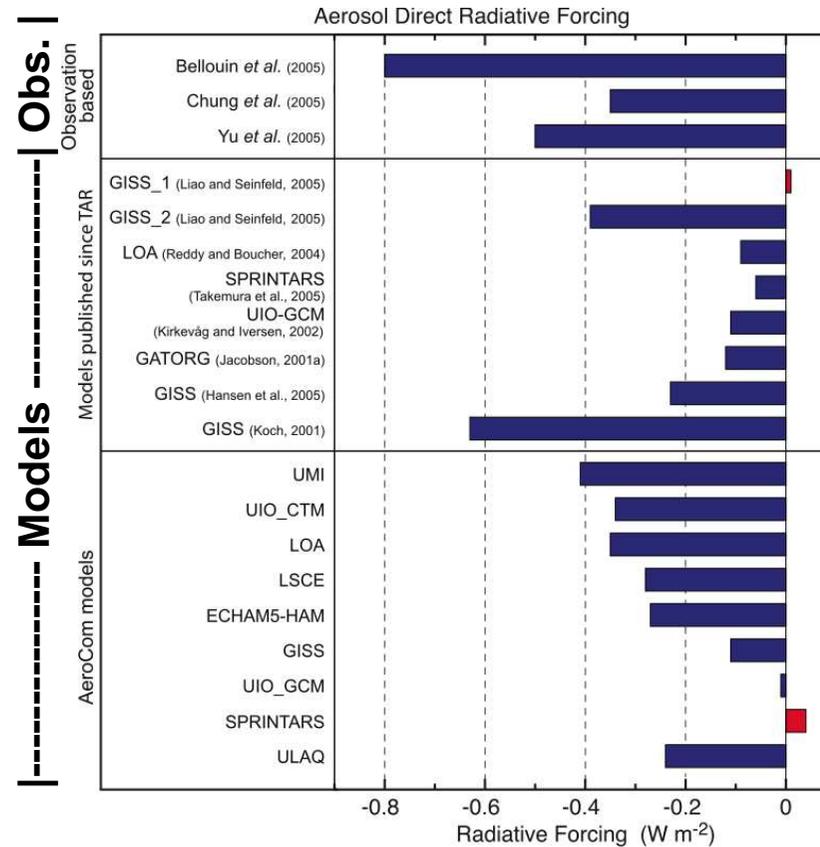


Changement de 1% de l'albedo = 3.4 W/m²

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010



FORCAGE RADIATIF DIRECT DU AUX AEROSOLS



(IPCC, 2007)

- Le bilan énergétique de la Terre est en équilibre sur une base de temps longue (typ. année)
- La contribution des aérosols et des nuages reste mal quantifiée sur les 3 points contrôlant le bilan (réflexion, absorption, interactions)
- Comment les aérosols, les nuages mais aussi toutes les autres composantes du système climatique et environnemental terrestre vont-ils être affectés par le réchauffement lié à l'augmentation du CO₂ et des GES ? Quels sont les mécanismes de rétro-action ?
- Modification des interactions océan-atmosphère et biosphère-atmosphère : besoins d'observations complémentaires
- → Contraindre les modèles à partir des observations : comparaison puis assimilation de données de niveau 1 (produit géophysique de base) ou de produits élaborés (niveau 2) cf présentations précédentes

Les paramètres critiques

- Distribution spatiale en fonction de l'altitude : Avant l'avènement des lidars (et des radars) spatiaux la distribution verticale des nuages était très mal connue : **fonction altimétrique**
- La phase nuageuse (eau – glace – mixte) et les précipitations,
- La distribution sur la verticale de l'épaisseur optique des aérosols et des nuages.
- La microphysique des aérosols et des nuages (contenu en eau liquide, glace ...), flux à la surface, hauteur de la couche limite, ...
- L'absorption du flux solaire par les aérosols au dessus des nuages (modification significative de l'albedo apparent du nuage sous-jacent)

... et leur évolution temporelle !

Cf présentation H. Chepfer

➤ **LES MISSIONS SPATIALES LIDAR ANR**

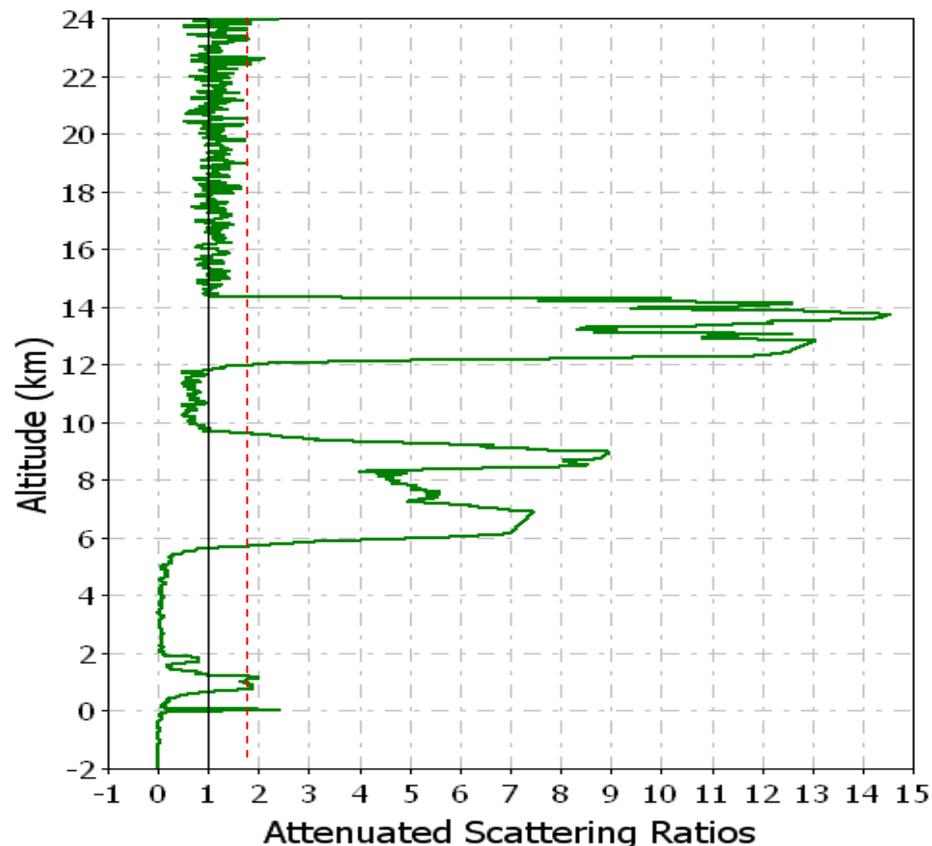
➤ **Quelles caractéristiques**

➤ **LITE mission de démonstration**

Observations Lidar

Rappels des performances nécessaires

Altitude : dépend de la variation de la **sensibilité** avec z car la détection s'appuie sur le principe de base du seuillage



Moyenne sur
Plusieurs tirs

→ SNR élevé

Observations Lidar

Rappels des performances nécessaires

La détection dépend de la sensibilité et du SNR (seuillage)

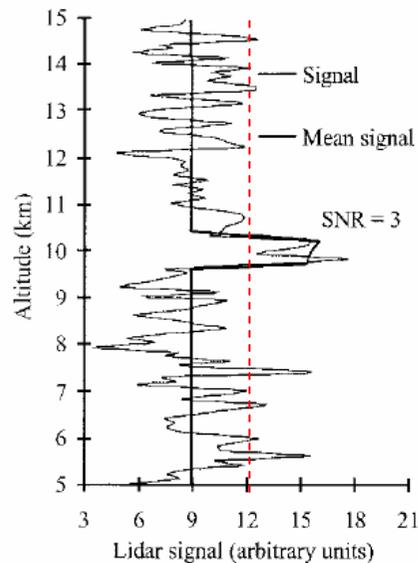


Fig. 5. Simulated lidar signal as a function of altitude in the presence of a 600-m thin cirrus cloud layer. The mean signal as simulated from the atmospheric model and the noise fluctuations are superimposed.

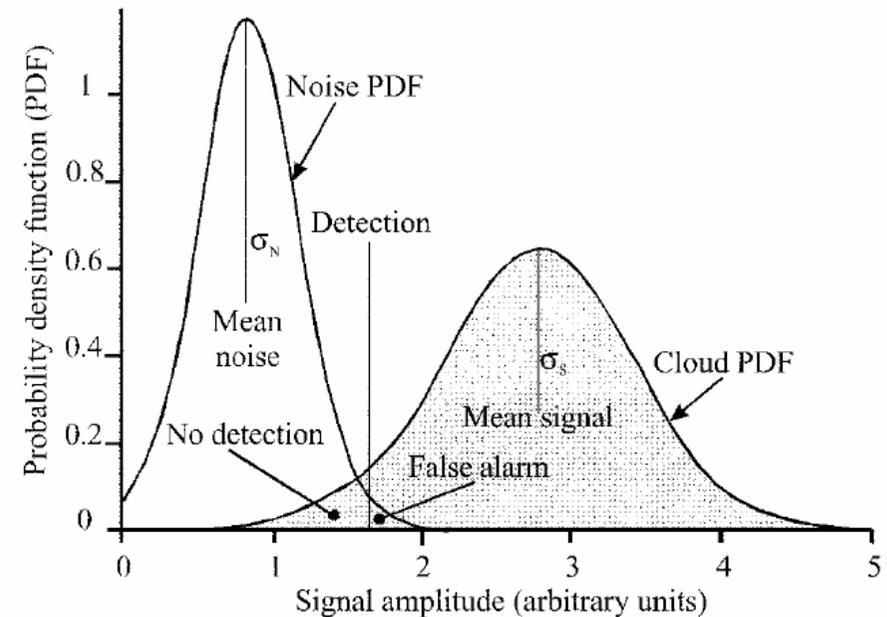


Fig. 6. Representation of the PDFs of the cloud backscattered lidar signal (Cloud PDF) and of the noise level (Noise PDF).

Chazette et al., App. Opt. 2001

Observations Lidar

Sensibilité et Résolution spatiale (horizontale et verticale) sont liées

Quelle sensibilité @ quelle résolution ?

$$S = C_l \cdot A \cdot E \cdot \frac{\beta}{z^2} \cdot \Delta z \cdot T^2$$

$$B = B_b + B_p = (1/\Delta R) \cdot (C_s S + C_b \cdot A \cdot \Omega \cdot \Delta \lambda + B_p \Delta z^{-1})$$

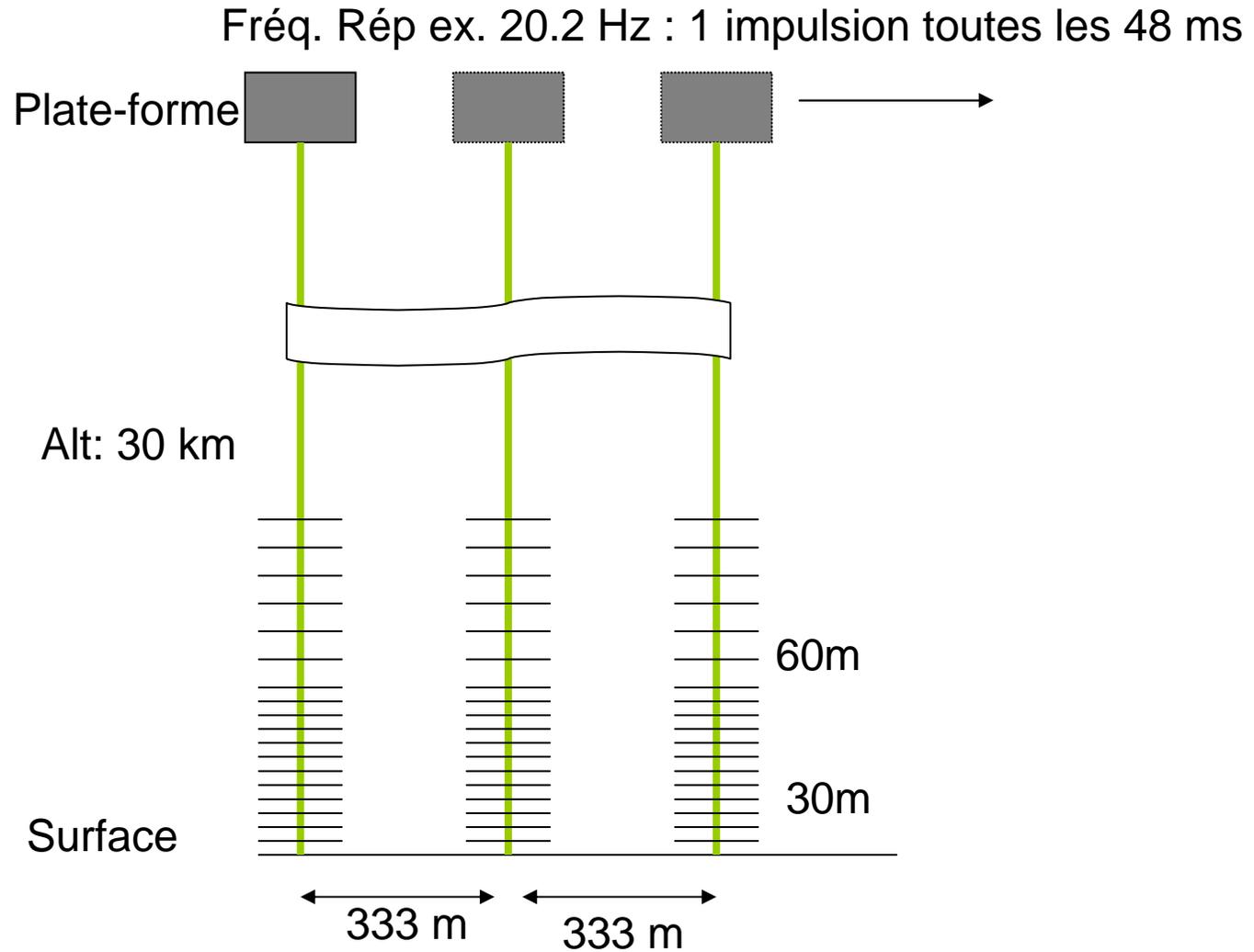
$$RSB(nuit) = \sqrt{S} \approx K_n \cdot D \sqrt{E} / z$$

$$RSB(jour) = S / \sqrt{B_b} \approx K_j \cdot \frac{D}{\theta} \cdot \sqrt{\frac{1}{\Delta \lambda} \cdot \frac{E}{z^2}}$$

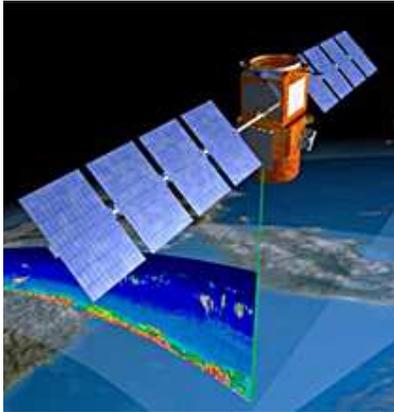
C, K sont des ctes système.

Calcul de RSB et pré-dimensionnement : définition des paramètres critiques du système (z, E, θ , $\Delta \lambda$, ...)

Caractéristiques typiques du signal lidar spatial



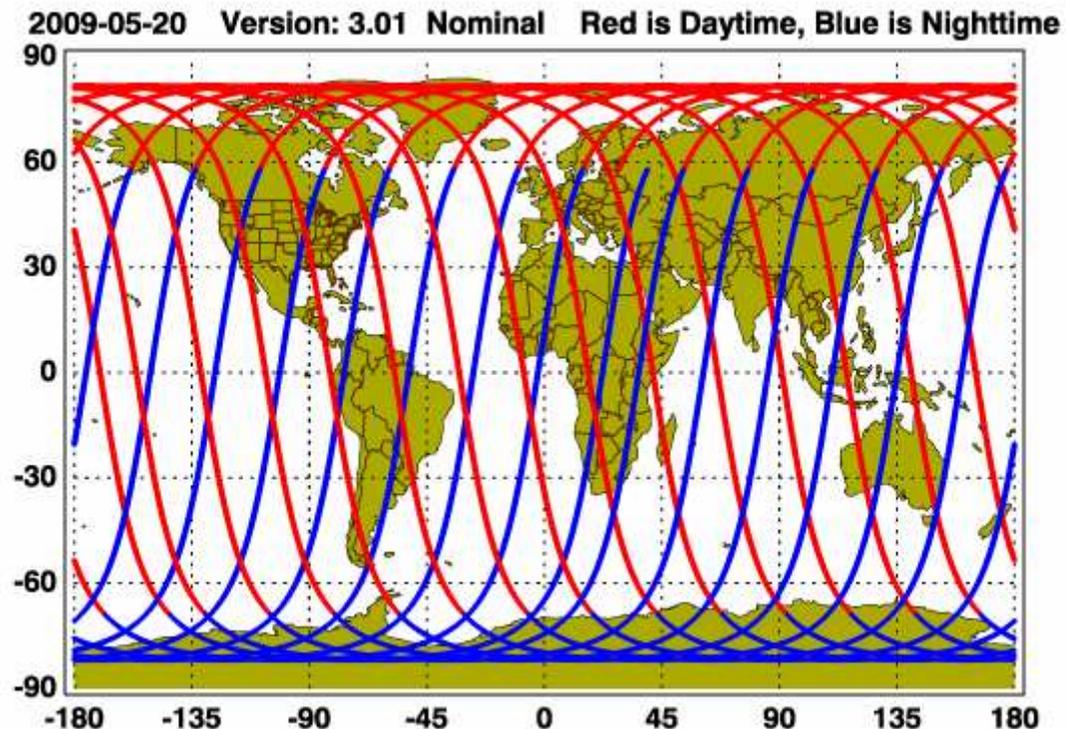
Représentativité des mesures : observations globales



Globales : orbite polaire, durée de vie longue : altitude élevée, héliosynchrone pour bénéficier d'un meilleur éclairage (puissance disponible sur la $\frac{1}{2}$ orbite non-éclairée)

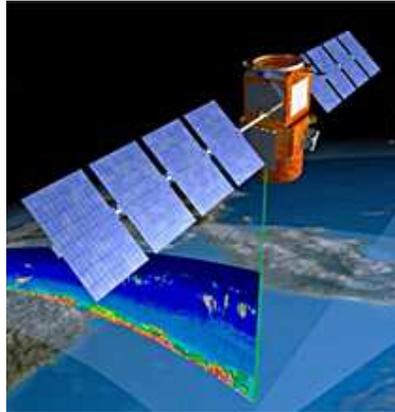
Exemple de CALIPSO : equatorial crossing time (ascending node) @ 13:47 LT 16-day repeat cycle

Nasa/LaRc



Ecole d

Représentativité des mesures : observations globales



Globales : orbite polaire, durée de vie longue : altitude élevée, héliosynchrone pour bénéficier d'un meilleur éclairage (puissance disponible sur la ½ orbite non-éclairée)

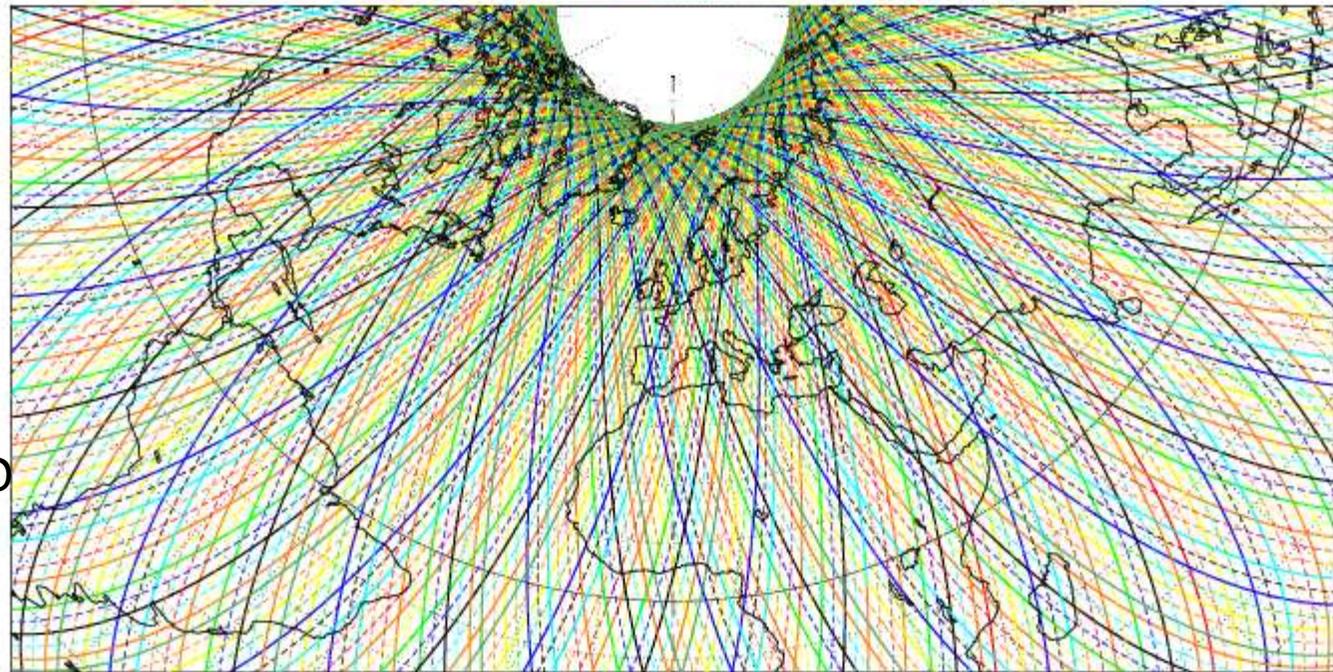
CAL

Trac

Phase:

2009 1

Exemple de CALIPSO : equatorial crossing time (ascending node) @ 13:47 LT 16-day repeat cycle



M. Capderou, IPSL/LMD

<http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/ixion.html>

T.:Conique - Grille : 10

[4.2] [+90.0/ -40.0/ -90.0] [-] EGM98

Noeud asc : -100.55 [13:47 TSM]

[NORAD] Revolution : 19141

[NORAD] 2009 12 02 20:29:04 TUC

Ιξίων
MC * LMD
Ατλας

Altitude = mesure du temps de propagation => impulsion courte

Fiabilité = source laser a matériau solide (cristal avec dopage)

Système spatial : source fiable et énergétique

1^{eres} sources laser (années 1970) = **lasers Nd-YAG** (après les premières idées rubis, colorants, ...)

Permettant de réaliser des lidar dits “rétrodiffusion” bien adaptés aux mesures de l’altitude des couches d’aérosols et de nuages et permettant la restitution des profils d’extinction (sous certaines réserves)

→ Développement du projet **LITE** de démonstrateur lidar à la fin des années 1980 pour la détection des nuages et tests de détection de surface → lancement 1994 (navette spatiale)

LA MISSION LITE

Mission de démonstration sur la navette spatiale, prête en 1993 mais lancée en 1994

Principal Investigator (PI): P. McCormick, co-PI: D. Winker, NASA-Langley Research Center

« It is designed to provide new insight into the role that clouds and atmospheric aerosols play in regulating Earth's weather, climate, and air quality. »

<http://www-LITE.larc.nasa.gov/>

LA MISSION LITE

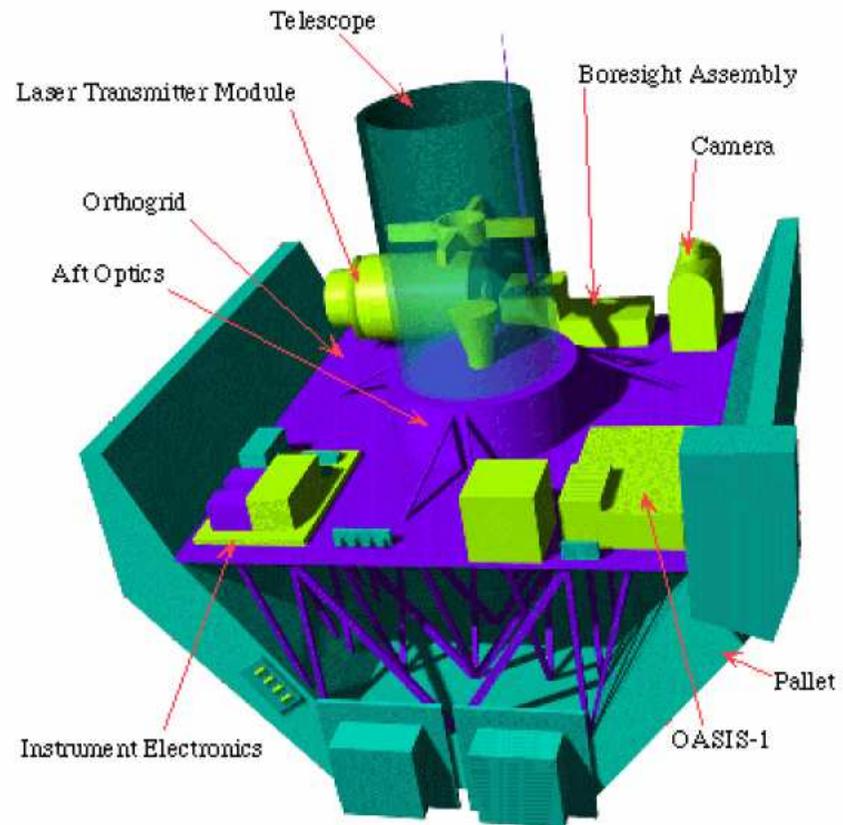


TABLE DES CARACTERISTIQUES

Laser à lampes flash

2 sources laser

3 voies (355, 532, 1064)

Pas de dépolarisation

Implantation dans une palette de la navette spatiale (mission STS 64)

LA MISSION LITE

TABLE 2. LITE instrument parameters.

Output wavelength (nm)	1064	532	355
Output energy (mJ)	486	460	196
Laser pulse length (ns)	27	27	31
Beam divergence (mr)	1.0	0.6	0.6
Detector QE	33	14	21
Field of view	Selectable: 1.1 mr, 3.5 mr, and opaque		
Sampling interval (m)	15		
Primary mirror diameter (m)	0.985		

McCormick et al., BAMS, 1993



LA MISSION LITE : Structure Atmos.

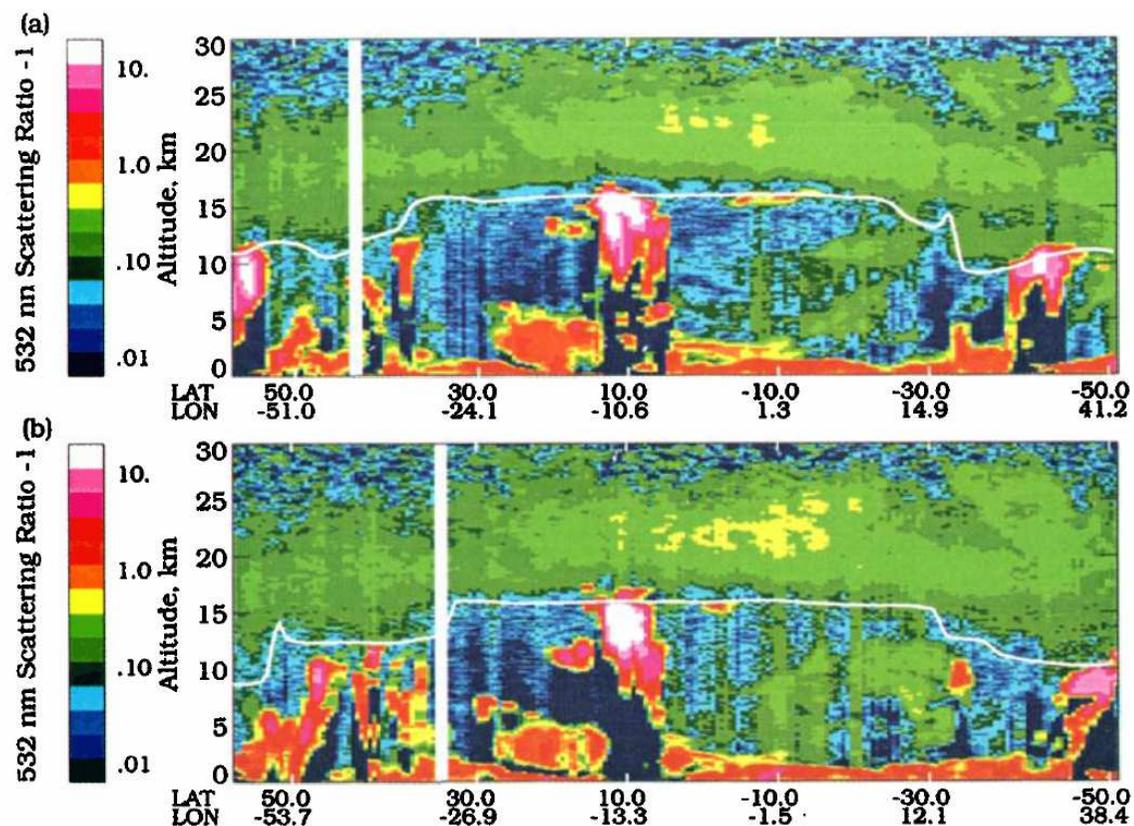


Plate 4. Intensity plots of lidar-scattering ratio at 532 nm versus latitude and altitude, showing the horizontal and vertical distribution of the stratospheric aerosol (a) along shuttle orbit 115 on September 17 and (b) along shuttle orbit 131 on September 18, 1994. The tropopause heights are indicated by the white lines. Note that the data are plotted with increasing time along the orbit track, resulting in a latitude scale that is reversed from

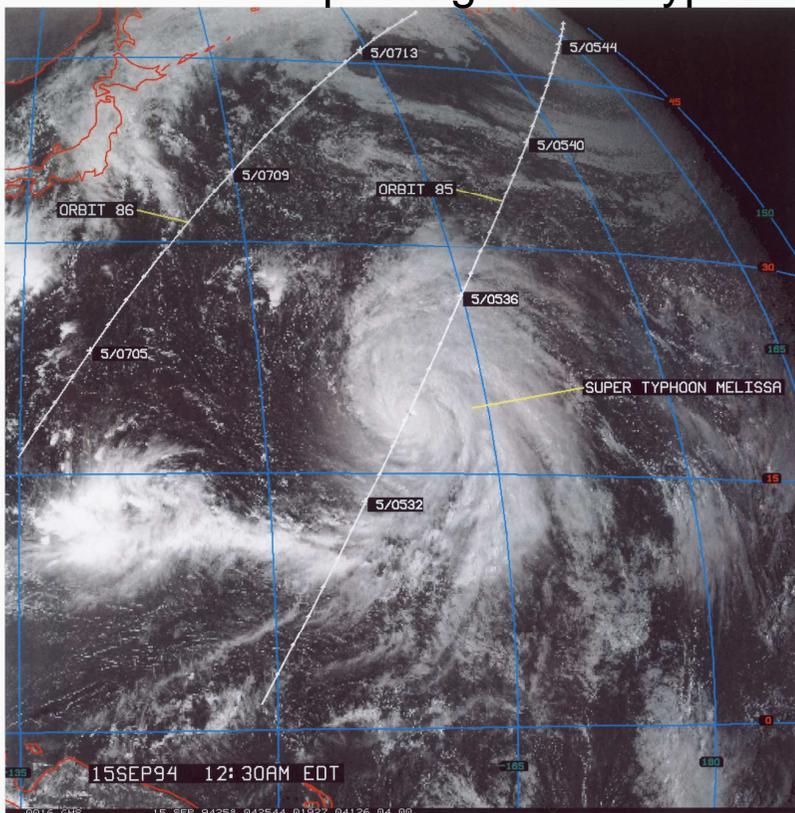
Osborn et al., JGR 1998

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

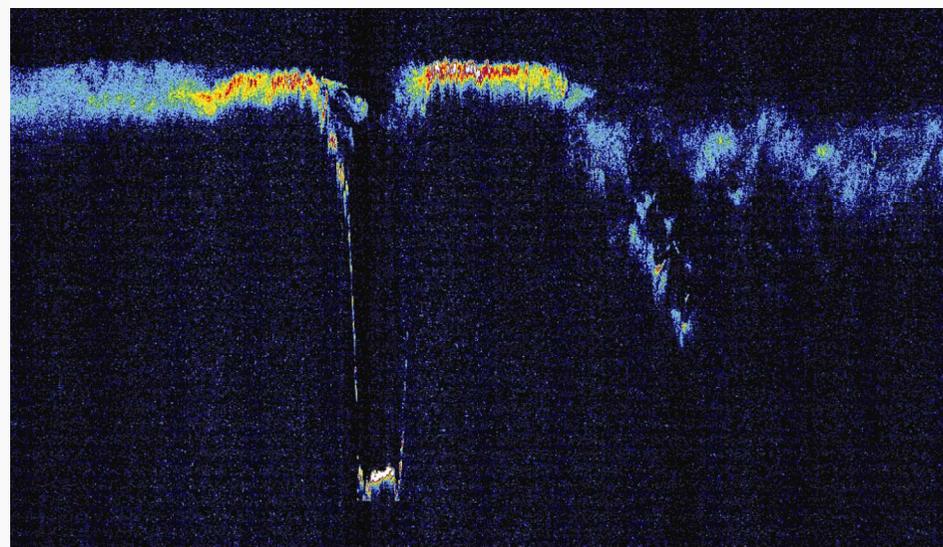


LA MISSION LITE

Cette mission de 7 jours a permis d'acquérir 53 h de données avec un passage sur le typhon Melissa le 15 septembre 1994



1994 03:56:04–03:58:04 Orbit 85 532 nm



C

N 17.1°N 17.8°N 18.5°N 19.1°N 19.8°N 20.4°N 21.1°N 21.8°N
 E 157.0°E 158.2°E 158.6°E 159.1°E 159.5°E 159.9°E 160.4°E 160.8°E 161.3°E 161.7°E

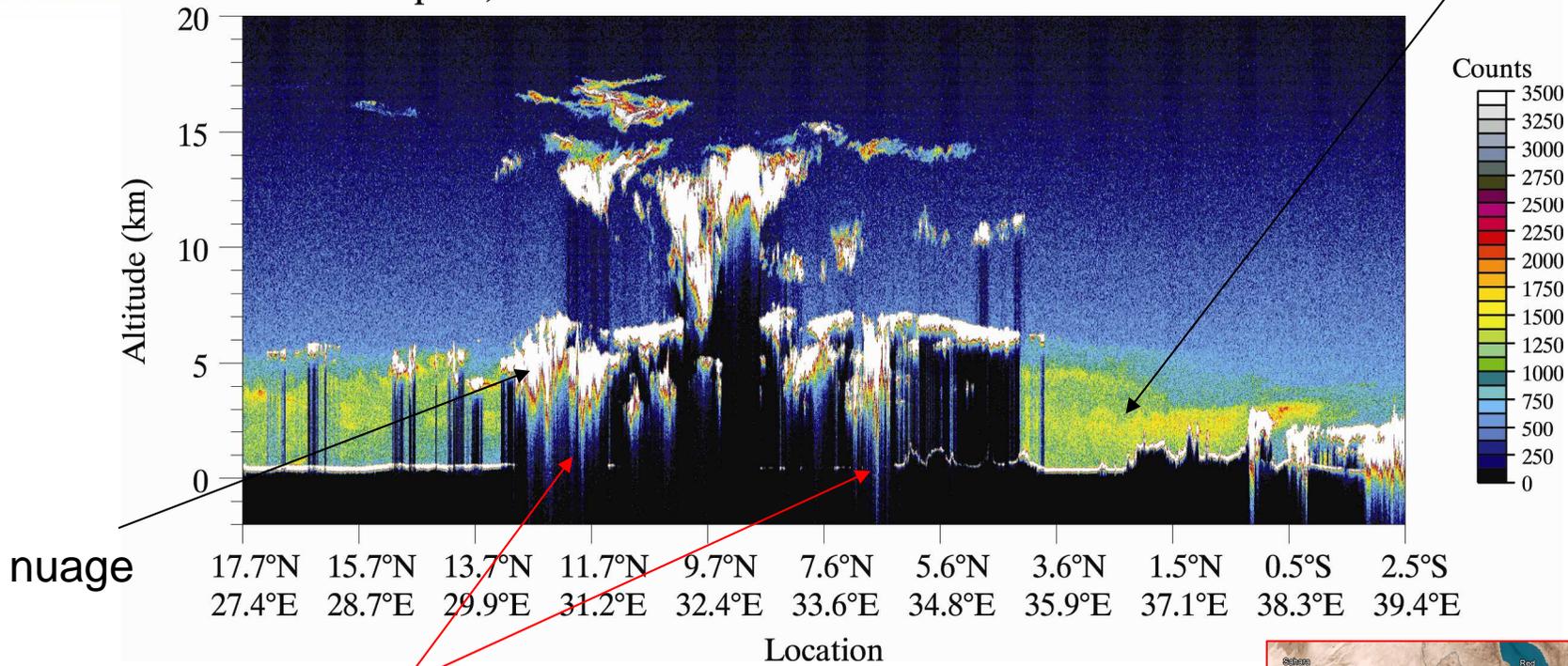
Location



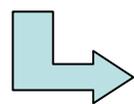
LA MISSION LITE : ANR

Sep 12, 1994 00:18:00–00:24:00 Orbit 34 532 nm

Aérosol désertique

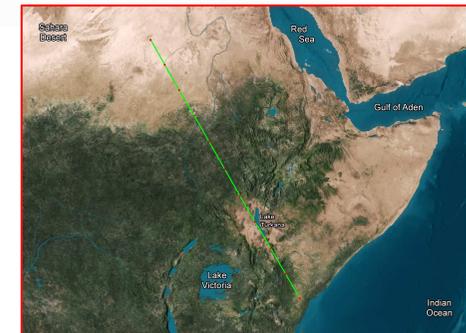


traîne



Diffusion Multiple liée au champ de vue
Et à la densité du milieu traversé
A corriger pour déterminer l'extinction

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010





LA MISSION LITE : Analyse de la Diffusion par la SURFACE océanique

Lidar In-space Technology Experiment measurements of sea surface directional reflectance and the link to surface wind speed

Robert T. Menzies, David M. Tratt, and William H. Hunt

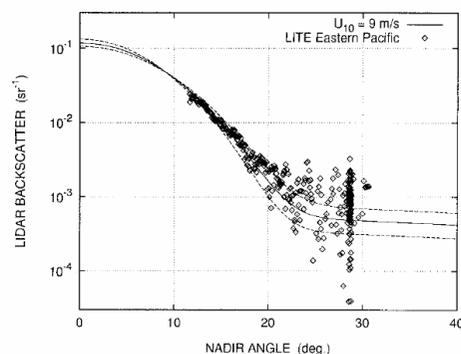


Fig. 4. LITE 1064-nm backscatter from the tropical eastern Pacific LMT, 14 September, with a model lidar reflectance curve for 9-m/s wind speed. Saturated signal values at small nadir angles are not shown. The dashed curves denote the ± 1 -m/s intervals about the nominal 9-m/s best-fit case.

The dependence of sea surface directional reflectance on surface wind stress suggests a method for deriving surface wind speed from space-based lidar measurements of sea surface backscatter. In particular, lidar measurements in the nadir angle range from 10° to 30° appear to be most sensitive to surface wind-speed variability in the regime below 10 m/s. The Lidar In-space Technology Experiment (LITE) shuttle lidar mission of September 1994 provided a unique opportunity to measure directional backscatter at selected locations by use of the landmark track maneuver and to measure fixed-angle backscatter from the ocean surfaces on a global scale. During the landmark track maneuver the shuttle orbiter orientation and roll axis are adjusted continuously to maintain the lidar footprint at a fixed location for a duration of ~ 1 min. Several data sets were converted to calibrated reflectance units and compared with a surface reflectance model to deduce surface wind speeds. Comparisons were made with ERS-1 scatterometer data and surface measurements. © 1998 Optical Society of America

OCIS codes: 010.3640, 010.4450, 280.3640, 290.1350.

Appl. Opt. 1998

Présentation

- Les missions spatiales ANR et les applications altimétriques

mission GLAS/ICESAT

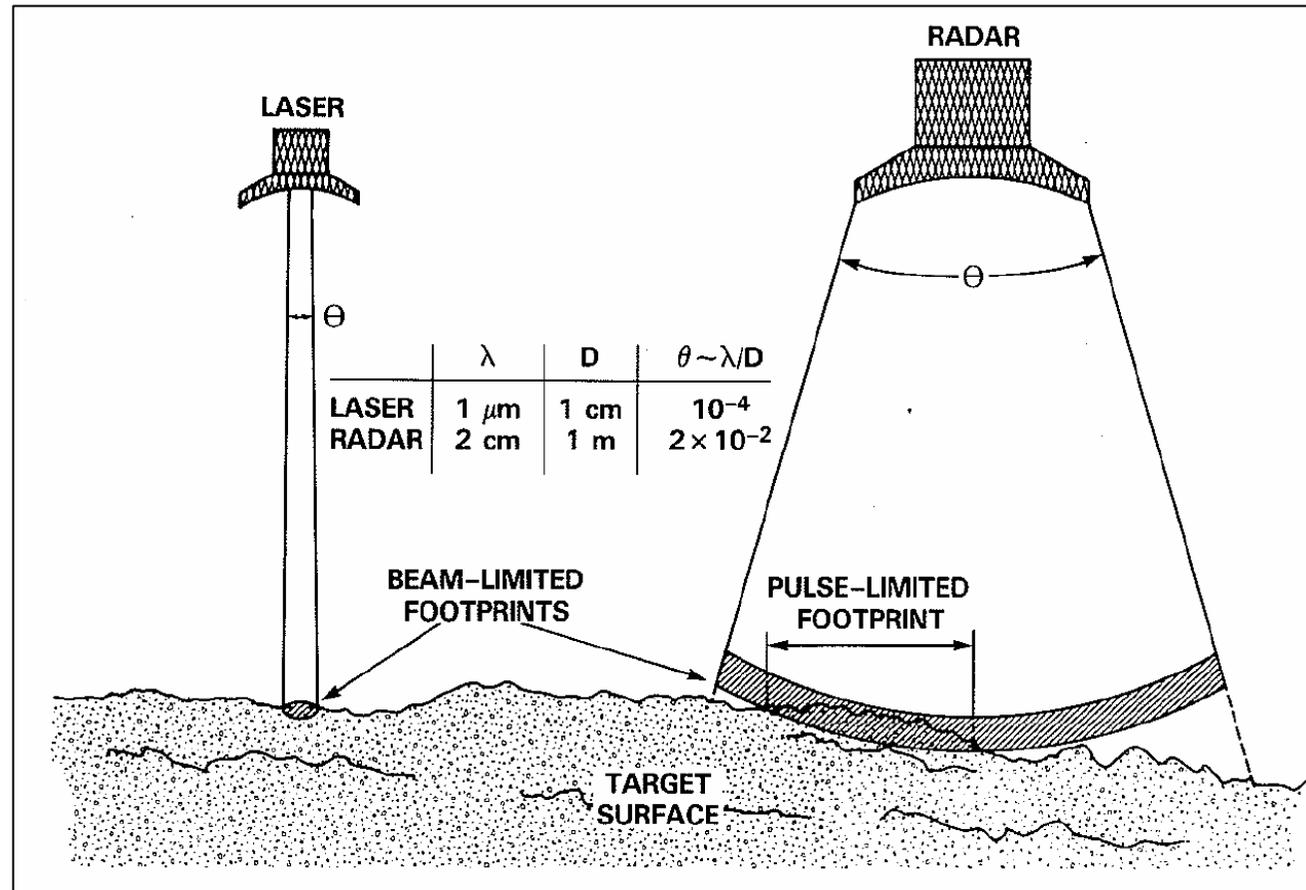
mission CALIPSO

- Synergies A-Train

- Les nouvelles missions prévues

- Conclusion

Altimétrie : Radar or Lidar ?



Résolution mais nuages ...

Bufton, IEEE, 1989



LA MISSION GLAS sur ICESat



GLAS (the Geoscience Laser Altimeter System) conçu par la NASA a été le premier lidar développé pour effectuer des observations continues en orbite terrestre en visant une durée de vie de 5 ans (redondance de 3 sources laser « tout solide »).

GLAS est implanté sur la plate-forme Ice Cloud and Elevation Satellite (ICESat).

L'objectif de la mission était double

- effectuer des mesures atmosphériques et
- effectuer des mesures de la topographie des glaces

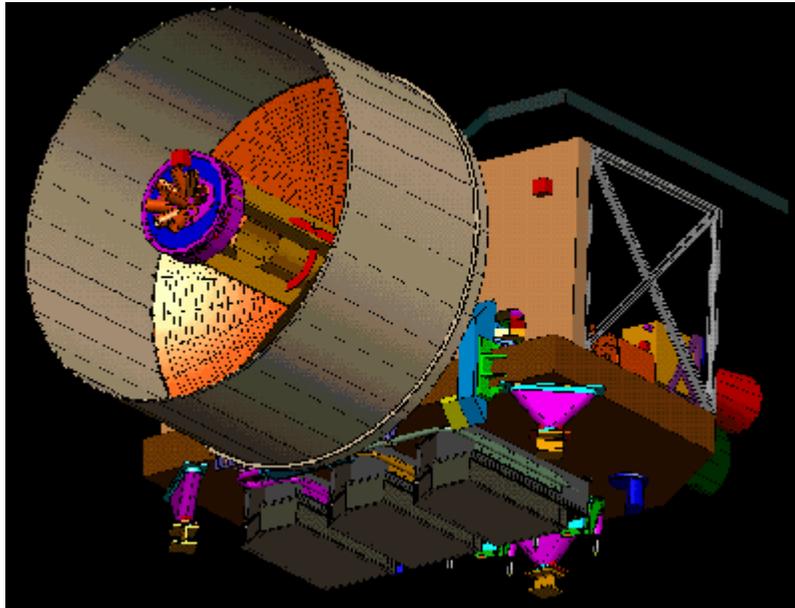
Lancement décembre 2002



LA MISSION GLAS



GLAS Specifications

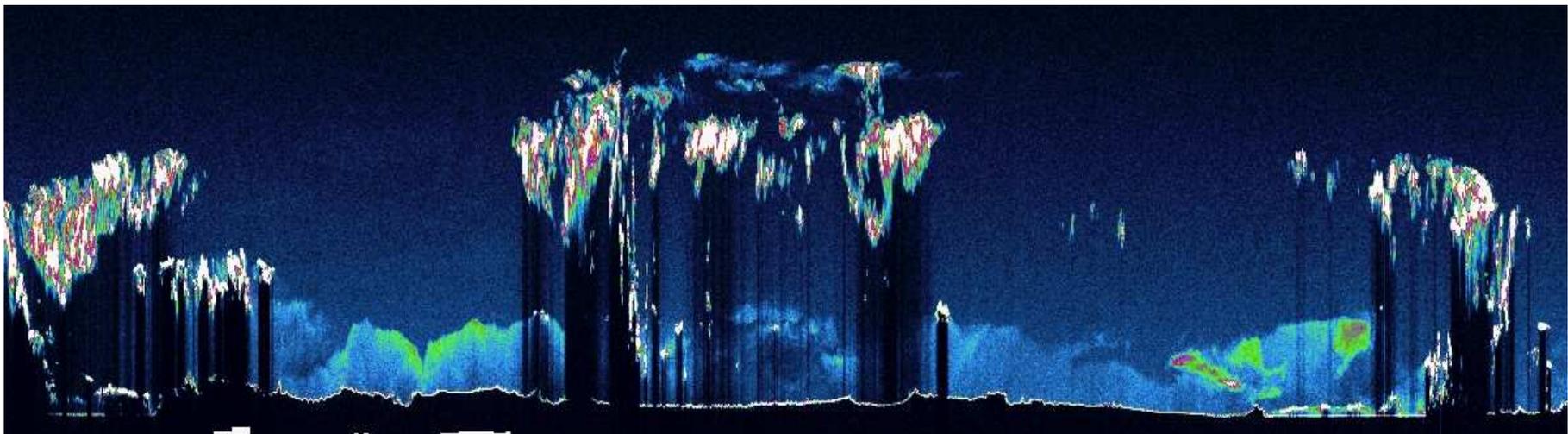


Emission wavelength	532nm	1064nm
Laser Pulse Energy	36 mJ	74 mJ
Laser PRF	40 Hz	40 Hz
Telescope Diameter	1.0 m	1.0 m
Receiver FOV (mrd)	0.15	0.475
Optical Bandwidth	< 25 pm	< 1.4 nm
Detector Quantum Efficiency	0.60	.3
Detection Scheme	Phot. Cnt	Analog
Surface Ranging Accuracy	-10 cm	
Pointing Knowledge	-3 arsec	

LA MISSION GLAS : Nuages et Aérosols

Le fonctionnement pour les observations atmosphériques s'est révélé impossible en continu avec les solutions technologiques choisies.

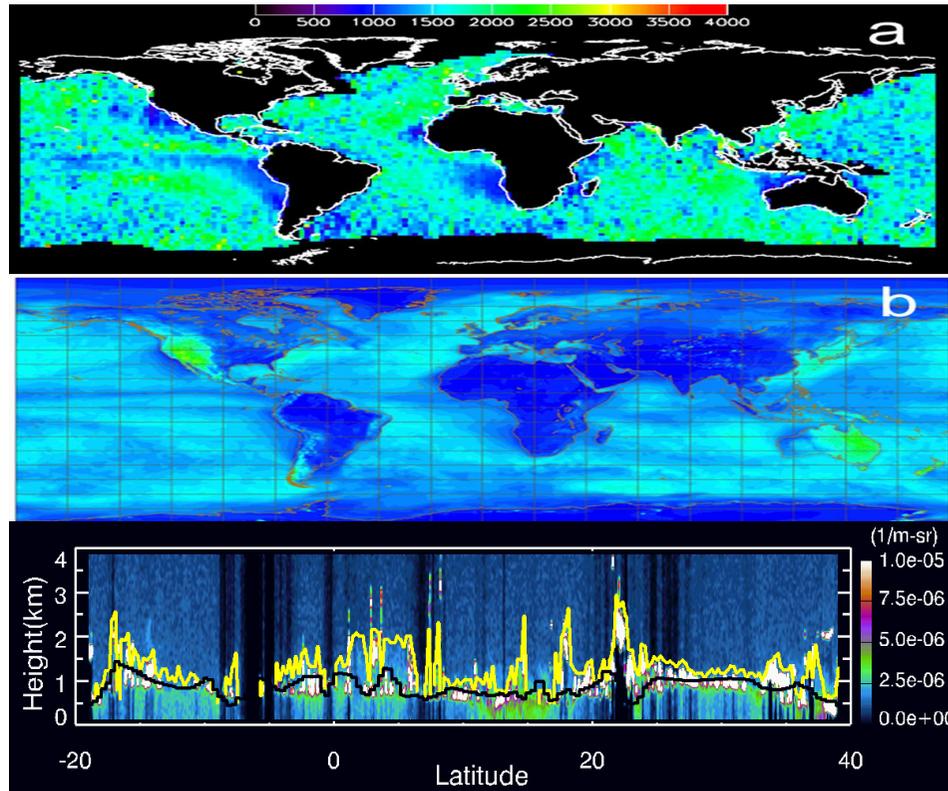
→ 3 périodes d'observation atmosphérique (la plus longue a été d'un peu plus d'un mois en octobre 2003, puis fév. 2004 et 2005) et des périodes d'observation altimétrique seule ensuite.



Example of the 532 nm photon counting channel of ICESat./GLAS for a single nighttime orbit (NASA/GSFC).

LA MISSION GLAS

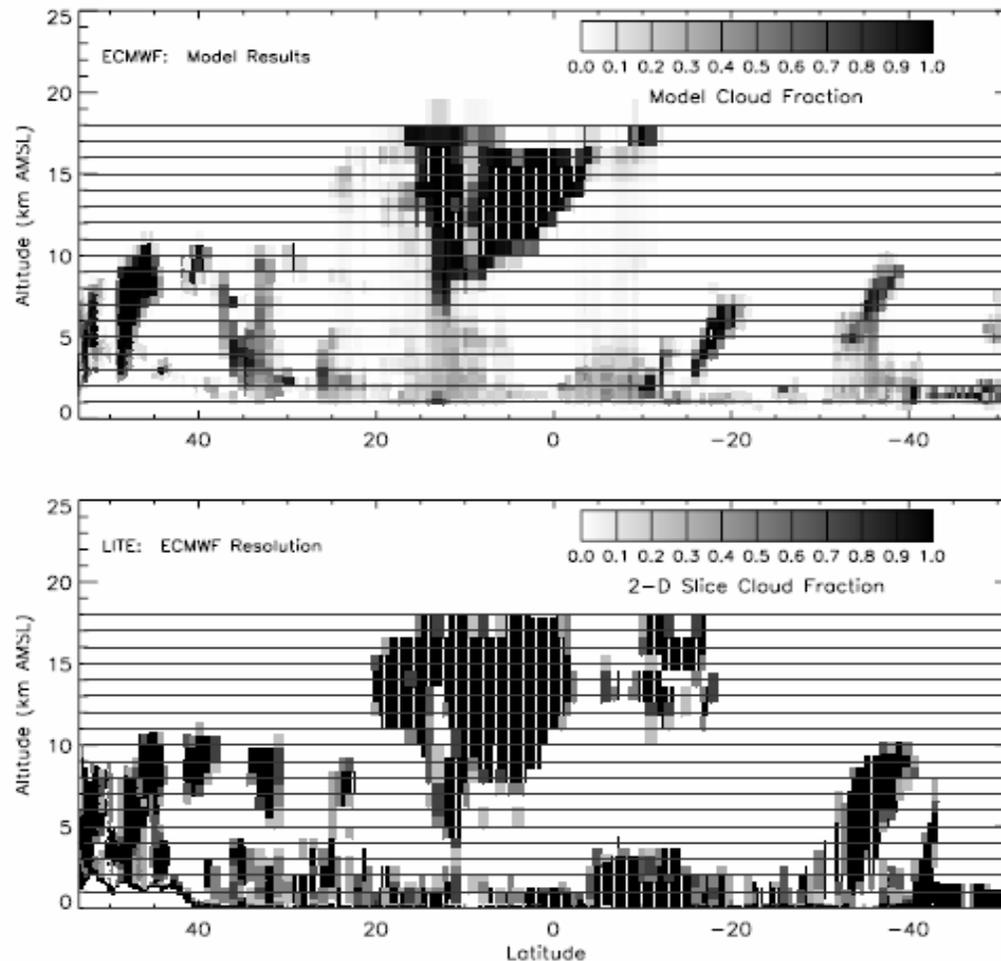
AEROSOLS et Hauteur de la couche limite



Courtesy S. Palm, NASA

Planetary Boundary Layer (PBL) height derived from GLAS measurements (a) for the month of October, 2003 and the corresponding average ECMWF PBL height from daily 12 hour forecasts (b). Bottom panel shows backscatter data from one ICESat track over the central Pacific with ICESat-derived PBL height (yellow line) and ECMWF PBL height for same time from a 12 hour forecast.

LA MISSION GLAS : nuages

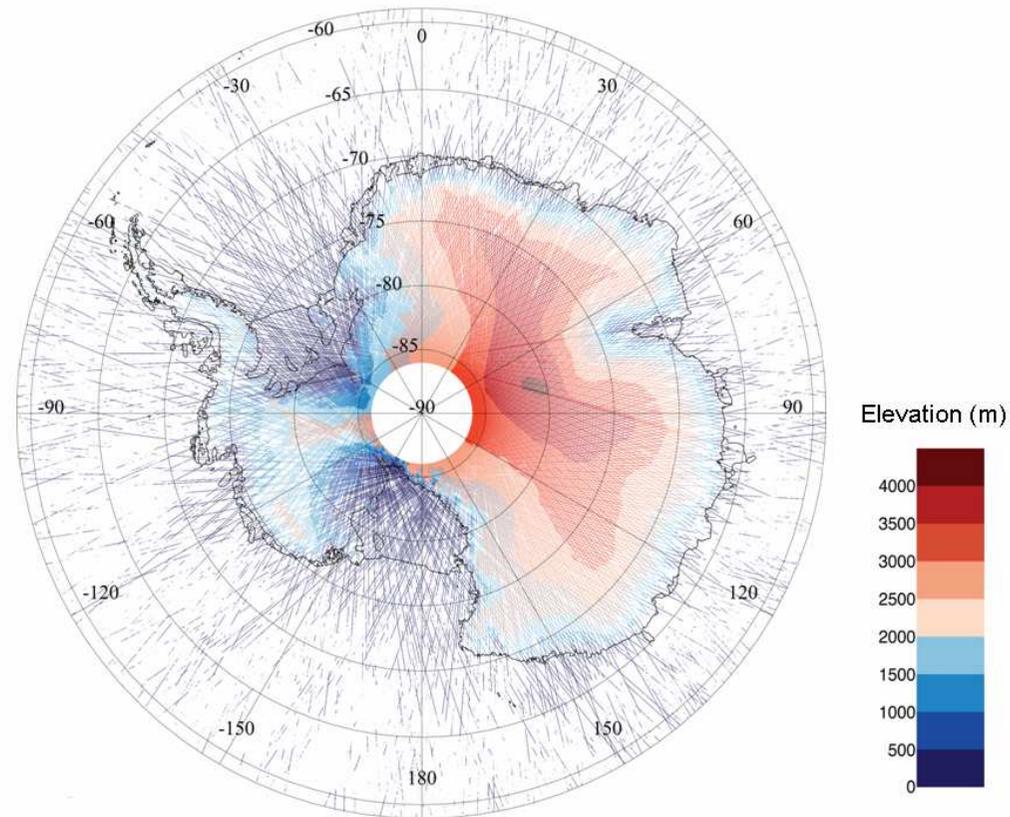


Première analyse
Comparative
Modèle-observation

Miller, Stephens and
Beljaars GRL, 1999

Figure 3. Cloud fraction comparison for LITE orbit 124 (September 16, 1994, 14:25-15:00 UTC, spanning the Western Pacific warm pool).

LA MISSION GLAS : Altimétrie des glaces polaires

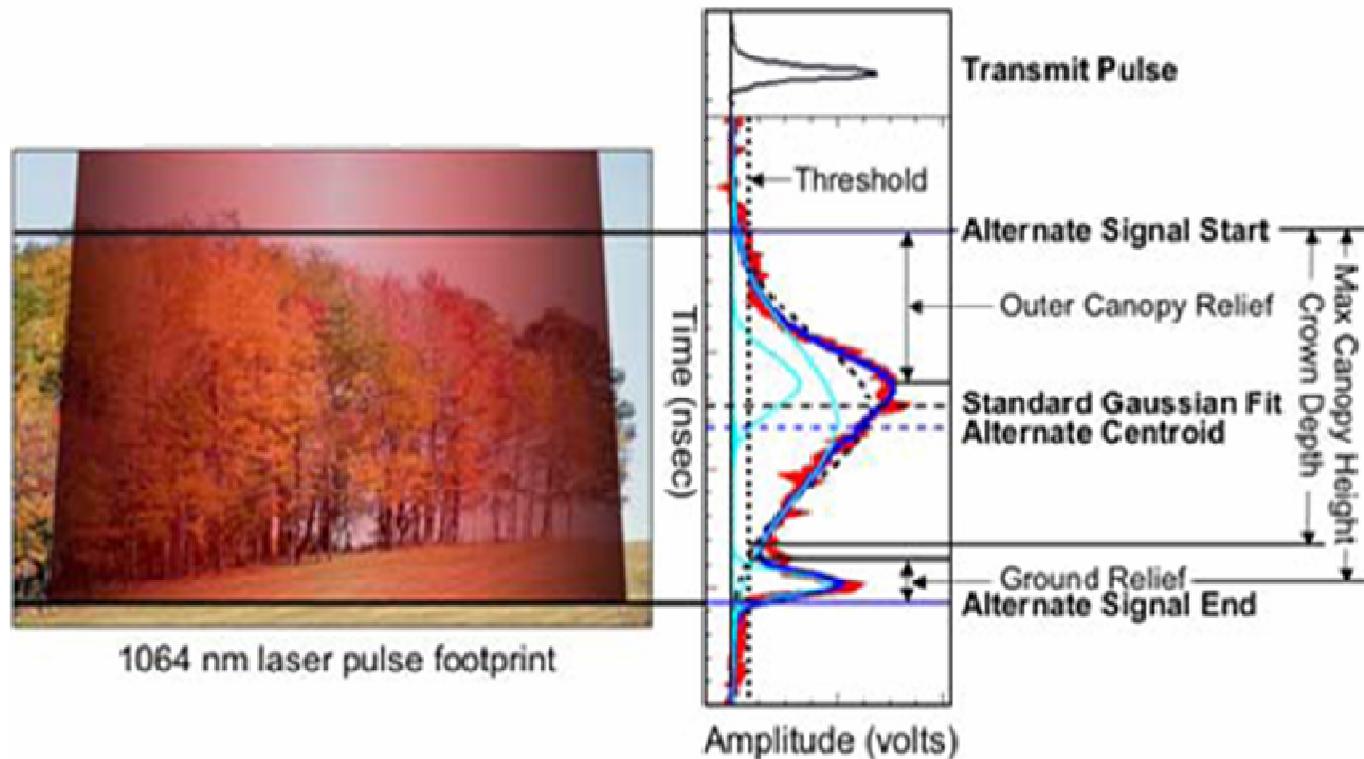


Fev. – Mars 2008

Nasa/GSFC

(cf Mission altimétrique
MOLA sur MARS)

LA MISSION GLAS : VEGETATION

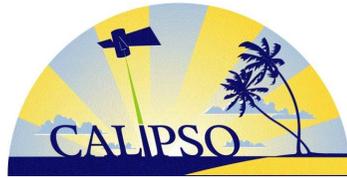


Harding & Carabajal, GRL, 2005



LA MISSION CALIPSO

Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations



LA MISSION CALIPSO

CALIPSO est une mission conjointe entre la NASA et le CNES

Lancement : 28 Avril 2006 (Vandenberg, CA)

Principal Investigator (PI): D. Winker, NASA-Langley Research Center
co-PI: J. Pelon, IPSL/LATMOS et P. McCormick, Hampton University

L'objectif est d'améliorer notre connaissance du rôle des nuages et des aérosols, des mécanismes et des forçages radiatifs induits (météo, qualité de l'air, climat).

<http://smc.cnes.fr/CALIPSO/index.htm>

<http://www-calipso.larc.nasa.gov/>



Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 20



CALIPSO payload

3 co-aligned instruments

Active measurements:

Nd:YAG **lidar** 532 nm paral/perp
and 1064 nm ground foot print : 100
m (NASA)

Passive measurements:

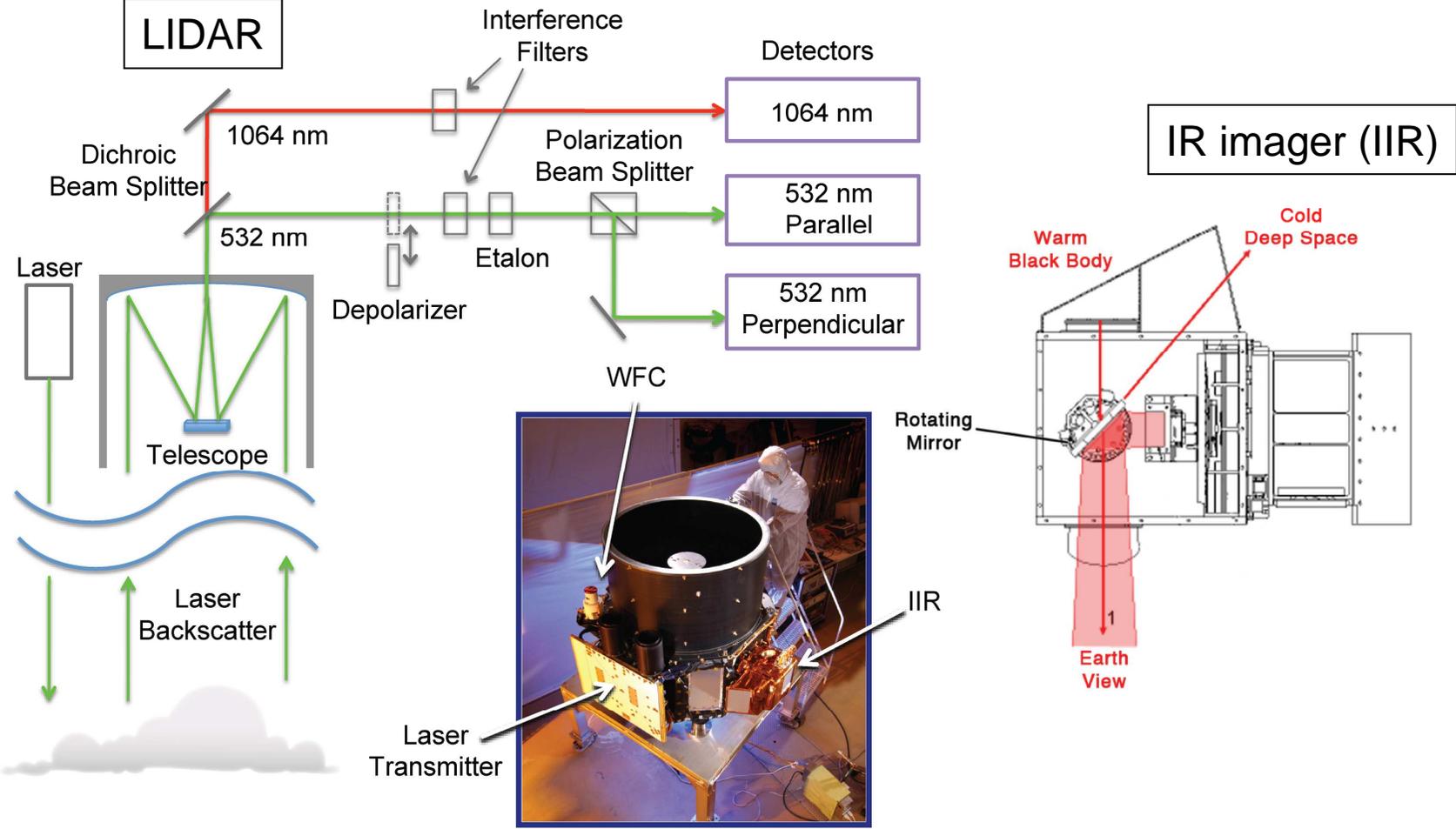
Imaging **infrared radiometer**, 3
channels @ 8.65, 10.6 and 12.05
 μm , swath 64 km) (CNES)

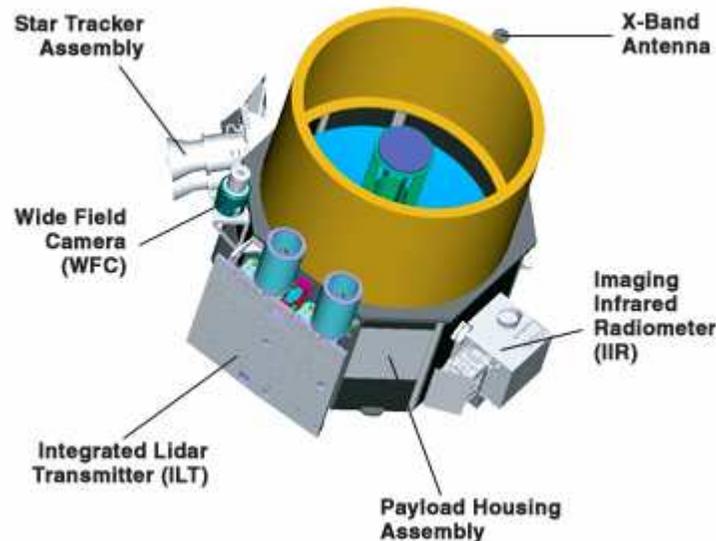
Wide field **visible camera** (645
nm, swath 60 km) (NASA)

CALIPSO platform: PROTEUS
(CNES/Thales Alenia Space,
France)



INSTRUMENTS CALIPSO





CALIPSO payload

Technical Characteristics

CALIOP

laser: Nd: YAG, diode-pumped, Q-switched, frequency doubled

wavelengths: 532 nm, 1064 nm

pulse energy: 110 mJoule/channel

repetition rate: 20.25 Hz

receiver telescope: 1.0 m diameter

polarization: 532 nm

footprint/FOV: 100 m/ 130 μ rad

vertical resolution: 30-60 m

horizontal resolution: 333 m

linear dynamic range: 22 bits

data rate: 316 kbps

WFC

wavelength: 645 nm

spectral bandwidth: 50 nm

IFOV/swath: 125 m/61 km

data rate: 26 kbps

IIR

wavelengths: 8.65 μ m, 10.6 μ m, 12.0 μ m

spectral resolution: 0.6 μ m - 1.0 μ m

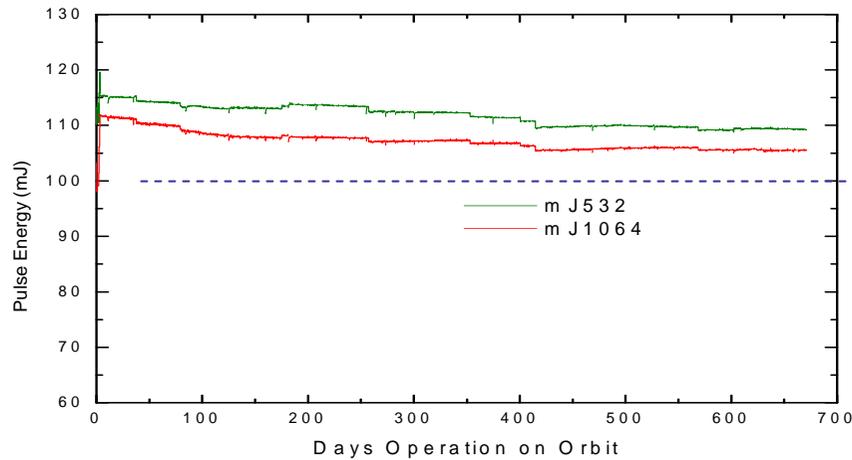
IFOV/swath: 1 km/64 km

NETD at 210K: 0.3K

calibration: +/- 1K

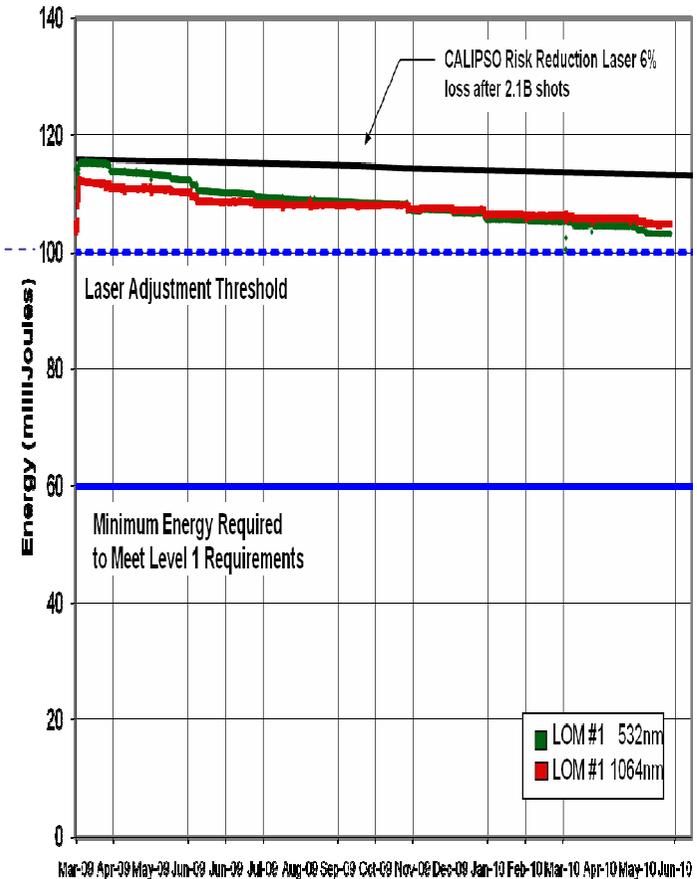
data rate: 44 kbps

SOURCE LASER CALIPSO : Une première spatiale



Source laser 2 : Avril 2006 –
Février 2009

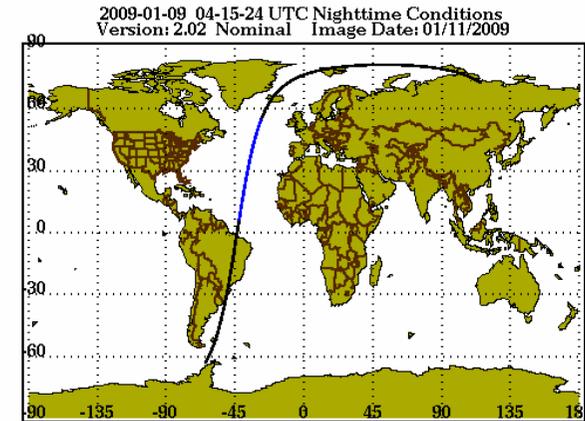
Source laser 1 : Mars 2009 -



Des milliards de tirs laser sans ajustement

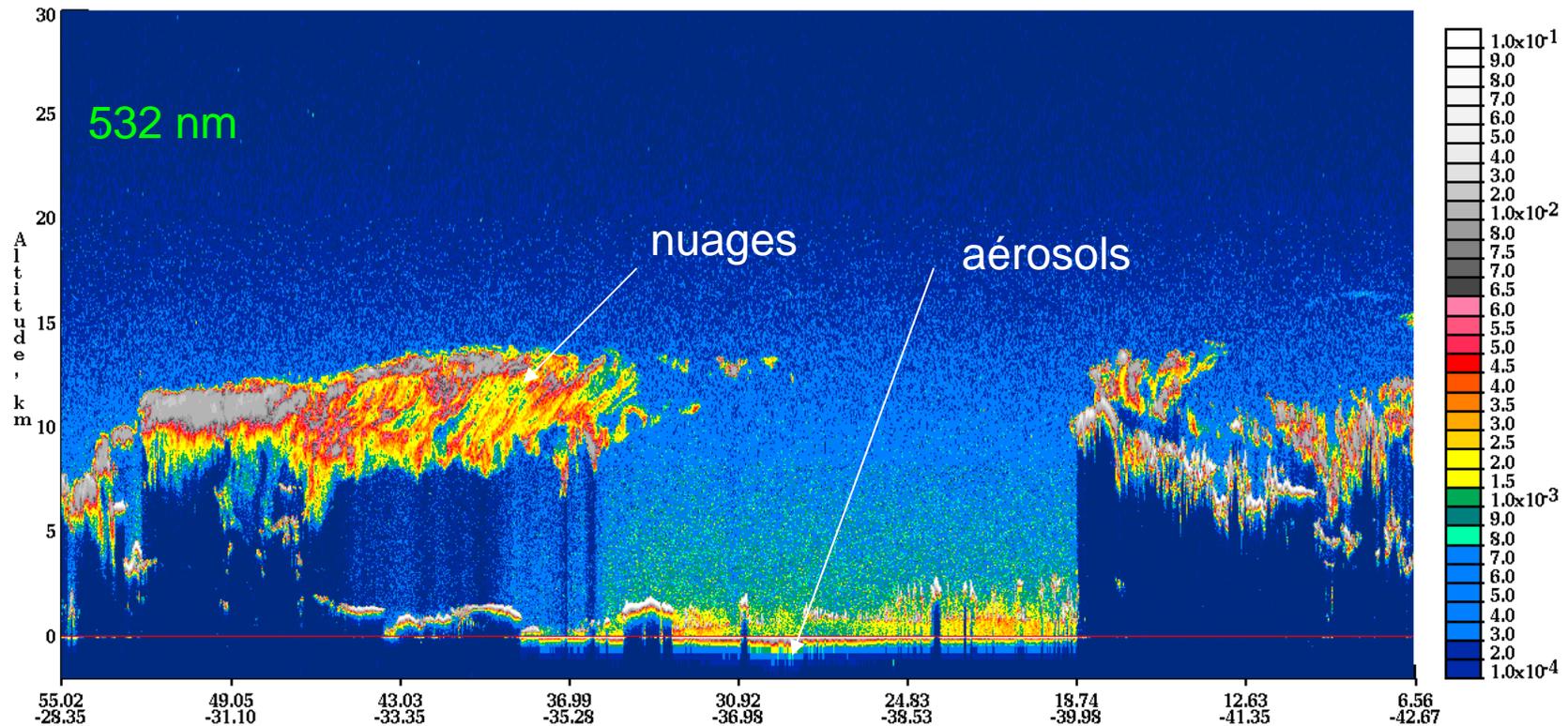
Illustration: observations lidar CALIPSO (CALIOP)

Quick-Look données CALIOP Niveau 1



532 nm Total Attenuated Backscatter, /km /sr Begin UTC: 2009-01-09 04:28:50.1471 End UTC: 2009-01-09 04:42:18.8421

Version: 2.02 Nominal Image Date: 01/11/2009



http://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

PRODUITS OPERATIONNELS LIDAR de la MISSION CALIPSO

Précision
visée

Data Product	Measurement Capabilities and Uncertainties
Aerosols	
Height, thickness	for layers with $\tau > 0.005$
τ , $\sigma(z)$	$\pm 40\%^{**}$
Clouds	
Height	for layers with $\tau > 0.01$
Thickness	for layers with $\tau < 5$
τ , $\sigma(z)$	within a factor of 2 for $\tau < 5$
Ice/water phase	Layer by layer
Ice cloud emissivity, ϵ	± 0.03
Ice particle size	$\pm 50\%$ for $\epsilon > 0.2$
** assumes 30% uncertainty in backscatter-to-extinction ratio	

Résolution
Spatiale
(compression
pour émission)

<u>Altitude Range (km)</u>	<u>Horizontal Resolution (km)</u>	<u>532 nm Vertical Resolution (m)</u>	<u>1064 nm Vertical Resolution (m)</u>
30.1 to 40.0	5.025	300	---
20.2 to 30.1	1.675	180	180
8.2 to 20.2	1.005	60	60
-0.5 to 8.2	0.335	30	60
-2.0 to -0.5	0.335	300	300

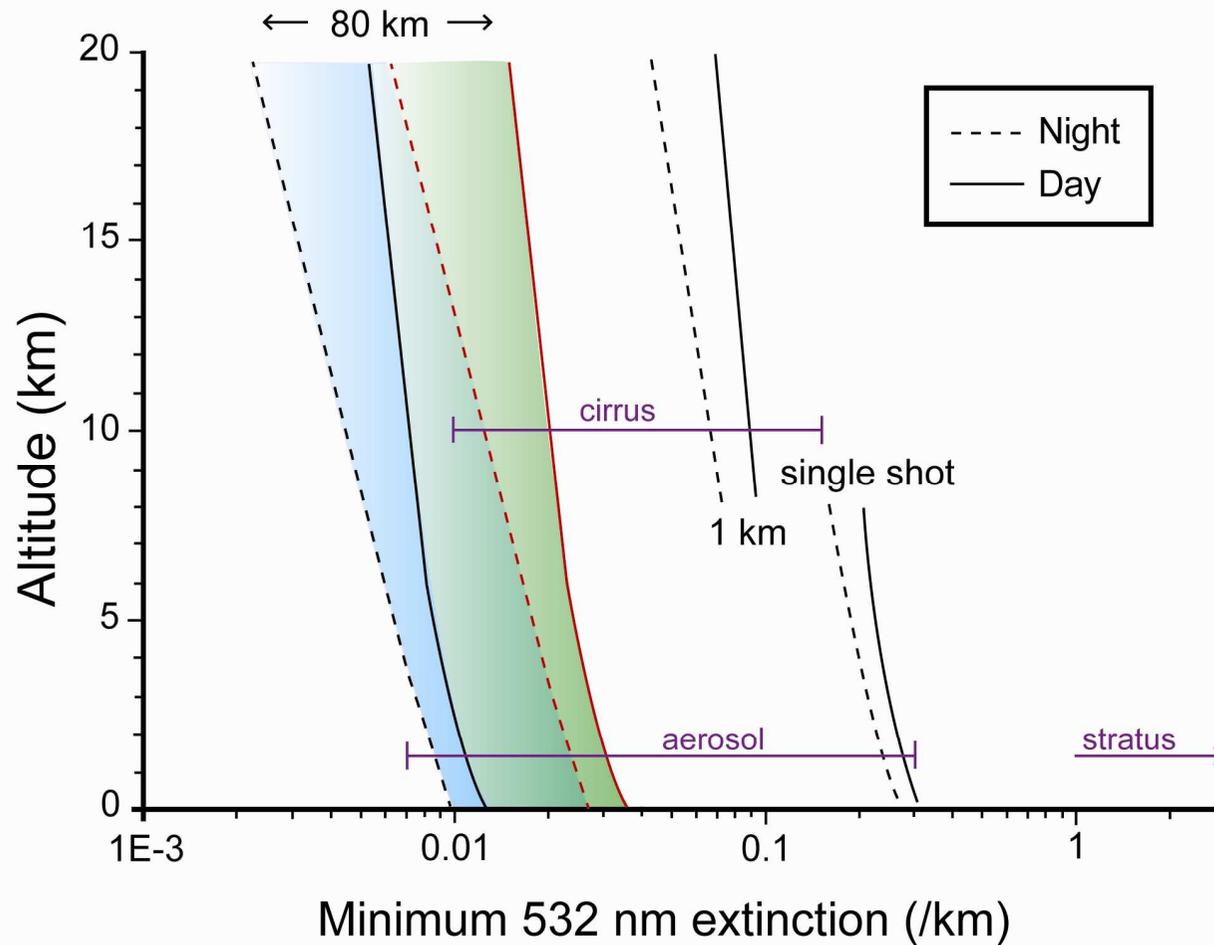
PRODUITS OPERATIONNELS LIDAR de la MISSION CALIPSO

Product	Primary Parameters	Maximum Altitude	Resolution	
			vertical	horizontal
DP 1.1 Level 1B	532, 532-perpendicular, and 1064 nm attenuated backscatter profiles	40 km	variable (see Table 8-1)	
DP 2.1A Cloud Layer Products	Base and top height, optical depth, cloud ice/water phase	20 km	30 m	1/3, 1, 5 km
DP 2.1A Aerosol Layer Product	Base and top height, optical depth, aerosol type	30 km	30 m	5 km
DP 2.1B Cloud Profile Product	532 nm backscatter and extinction	20 km	60 m	5 km
DP 2.1C Aerosol Profile Product	532 nm/1064 nm backscatter and extinction	< 20 km 20-30 km	60 m 360 m	5 km 5 km
DP 2.1D Vertical Feature Mask	Cloud mask, ice/water phase, aerosol mask, aerosol type	30 km	variable (see Table 8-1)	

Product	Primary Parameters	Spatial Resolution
DP 1.2 IIR Level 1B	8.65, 10.5, 12 μm radiances	1 km
DP 1.3 WFC Level 1B	650 nm radiances	125 m (0 - 2.5 km) 1 km (2.5 - 30 km)
DP 2.2A IIR Track Product	Brightness temperature, emissivity, ice particle size	1 km x 1 km
DP 2.2B IIR Swath Product		1 km x 61 km

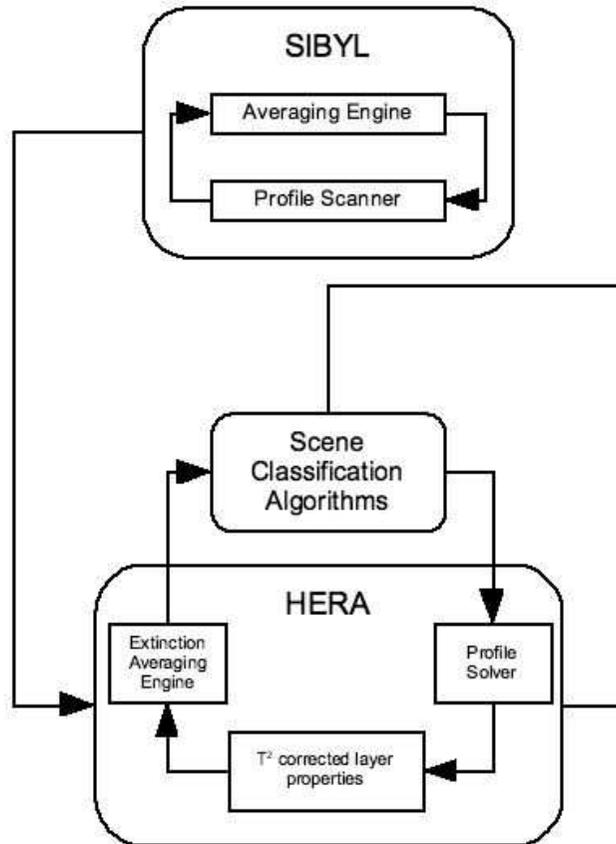
Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

SENSIBILITE DES OBSERVATIONS DE CALIPSO



MISSION CALIPSO

DETECTION DES AEROSOLS et DES NUAGES et PROPRIETES



Discrimination air clair ou non

Recherche des structures (altitudes)

Différenciation aérosols et nuages (CAD)

Détermination des propriétés optiques

V3 (2010) : algorithme CAD à 5 paramètres :

- Intensité (backscatter coefficient)
- Altitude
- Latitude
- **Dépolarisation**
- **Rapport de Couleur (1064/532)**

MISSION CALIPSO

ETALONNAGE des SIGNAUX de CALIOP

Seuillage et détermination du rapport de couleur requièrent un bon étalonnage

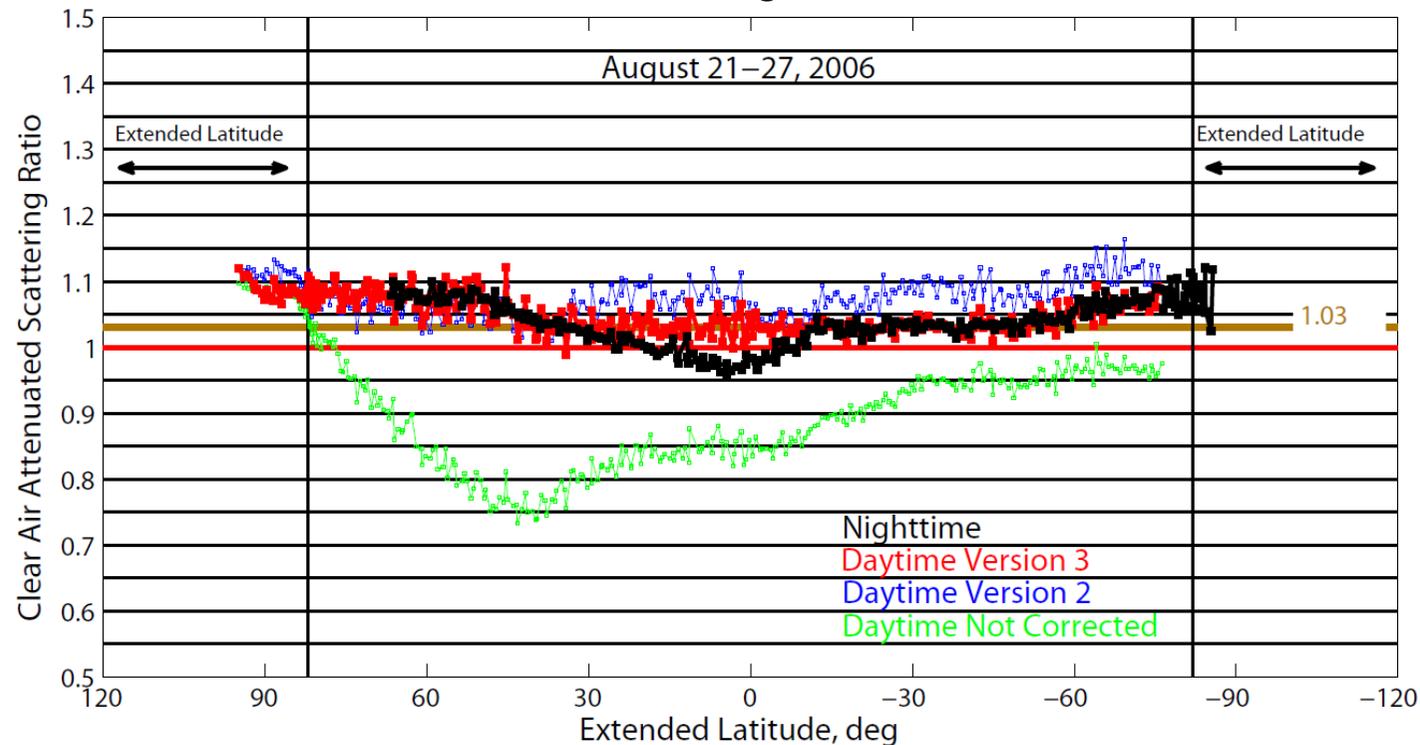
Version 3 daytime calibration

Version 2 daytime calibration

Version 1 daytime calibration

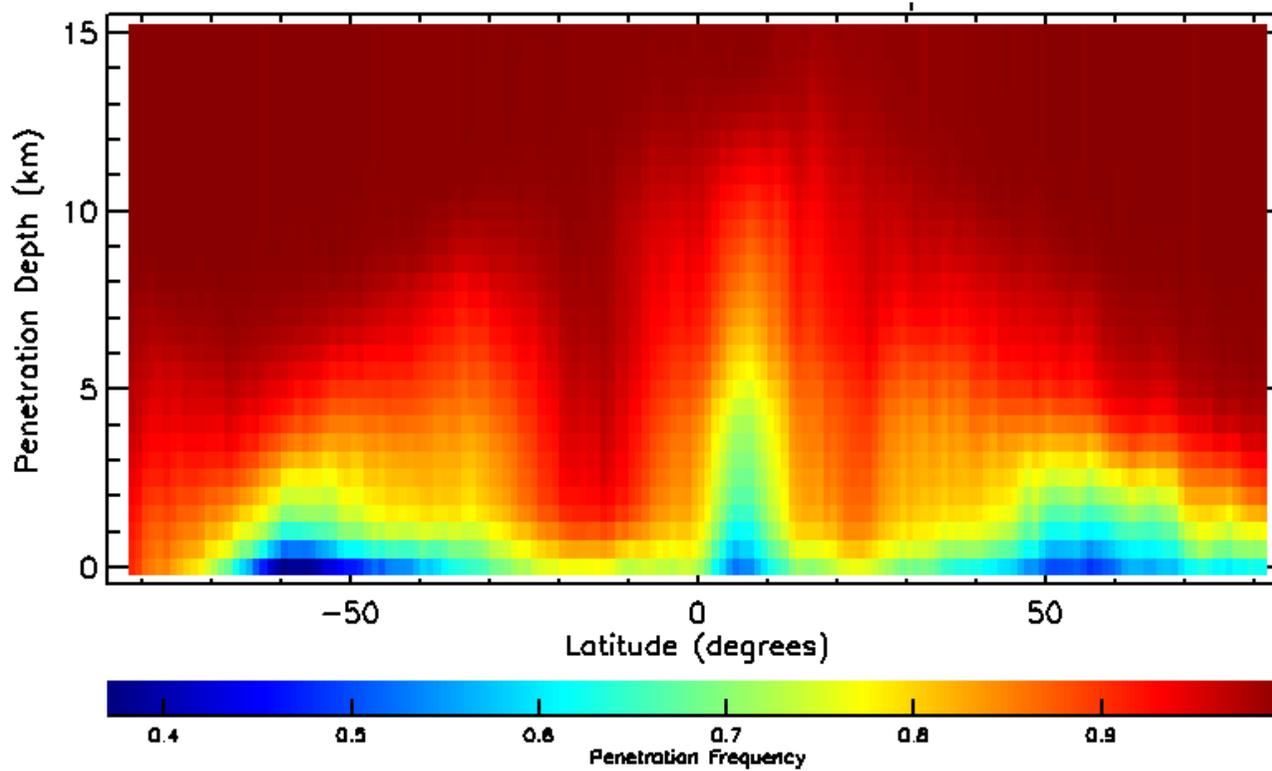
Version 2/3 nighttime calibration

8-12 km, clear-air attenuated scattering ratios:



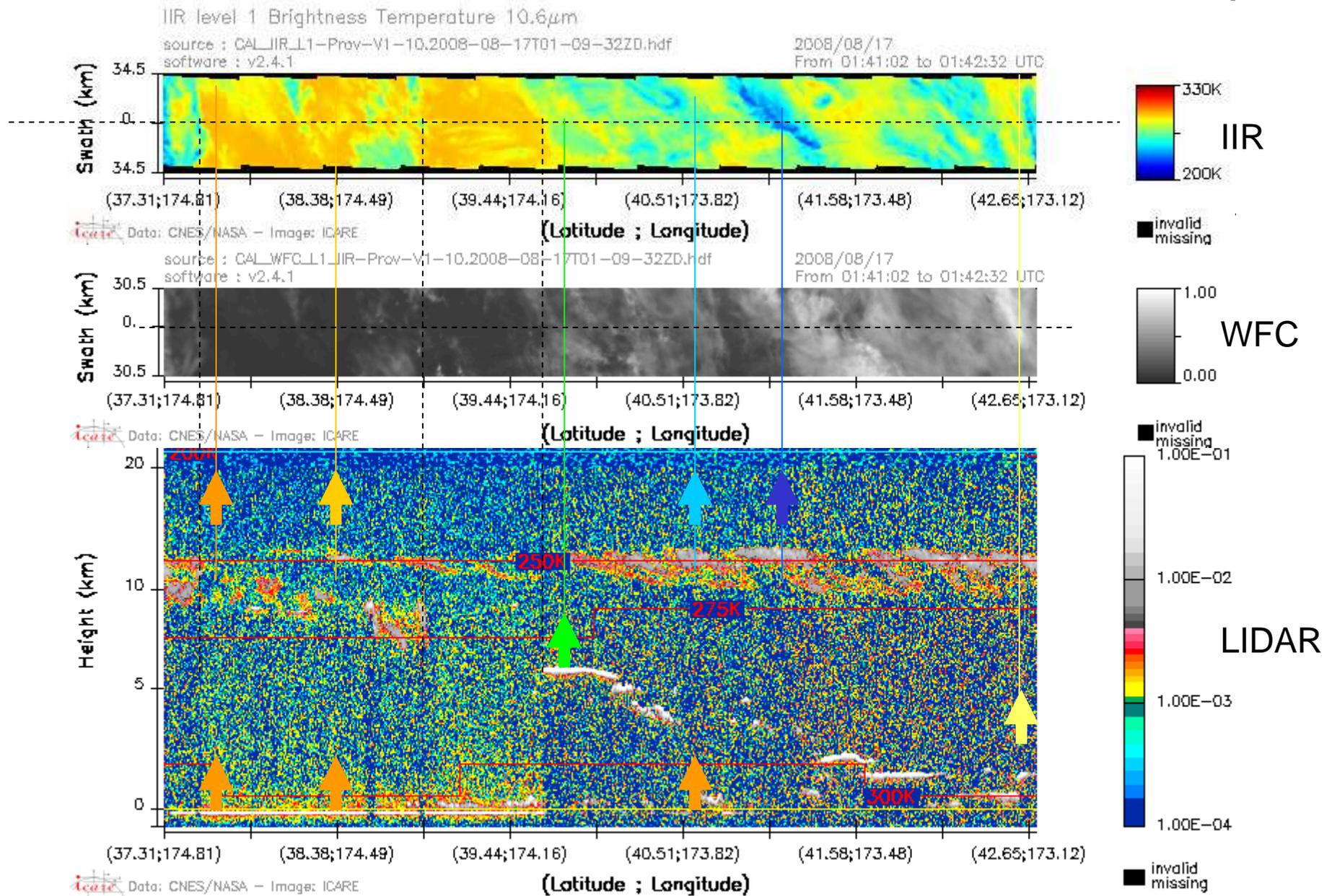
MISSION CALIPSO

PROBABILITE de DETECTION en ALTITUDE



Winker et al., BAMS, 2010

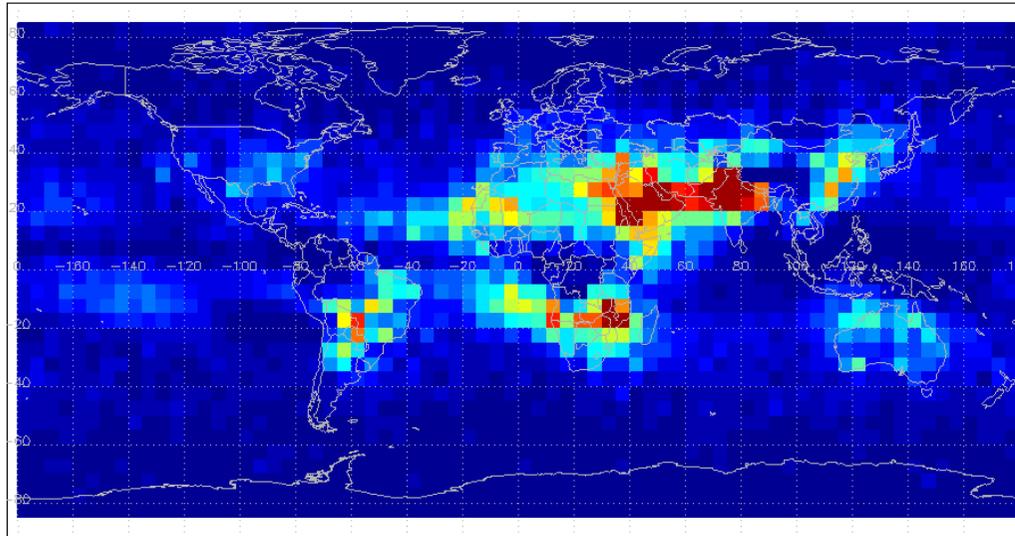
Combining lidar/IIR/visible camera observations



MISSION CALIPSO

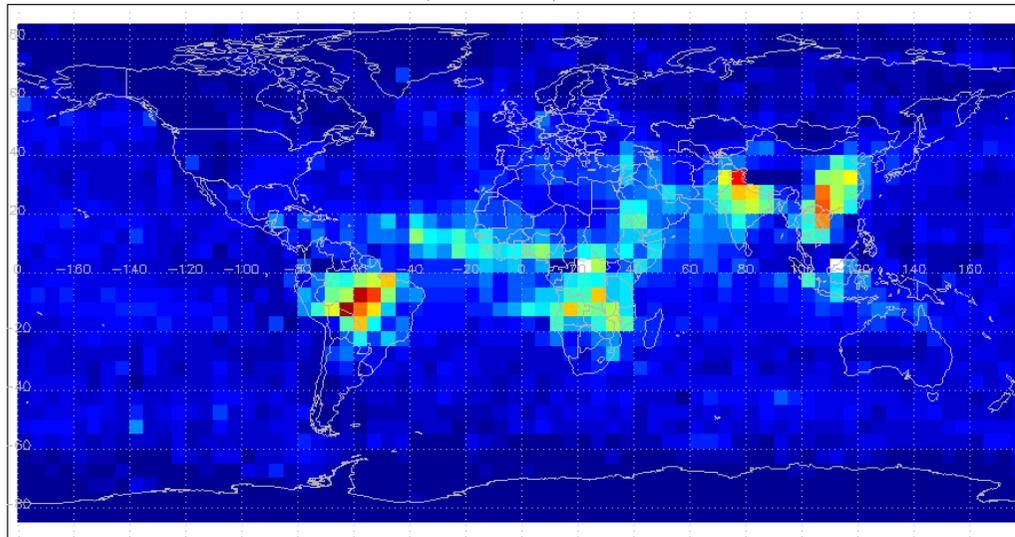
AEROSOLS AIR CLAIR et NUAGEUX

Mean AOD: CALIPSO (Aerosol above Cloud): 20070901_20071130 N



Au dessus des nuages

Mean AOD: CALIPSO (CloudFree): 20070901_20071130 N

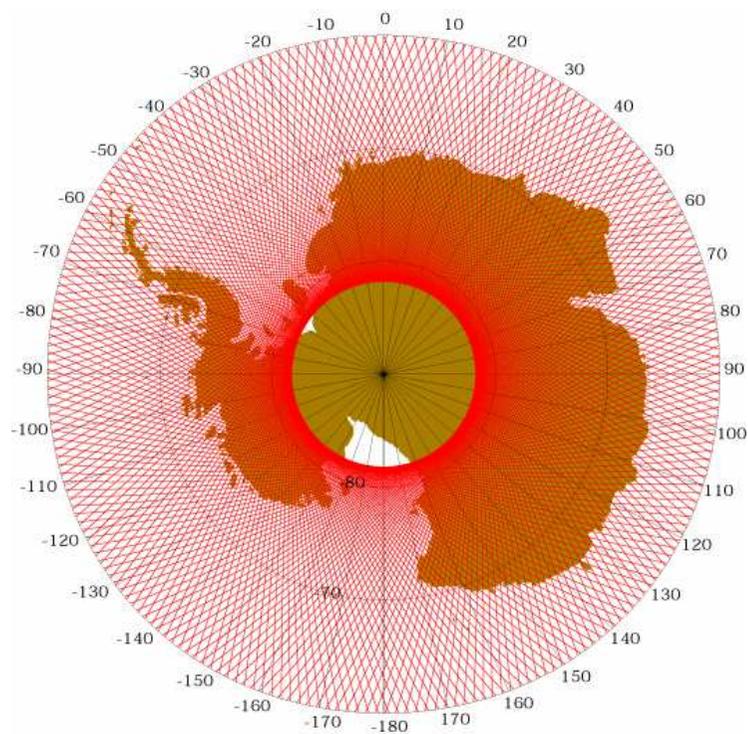


Air clair

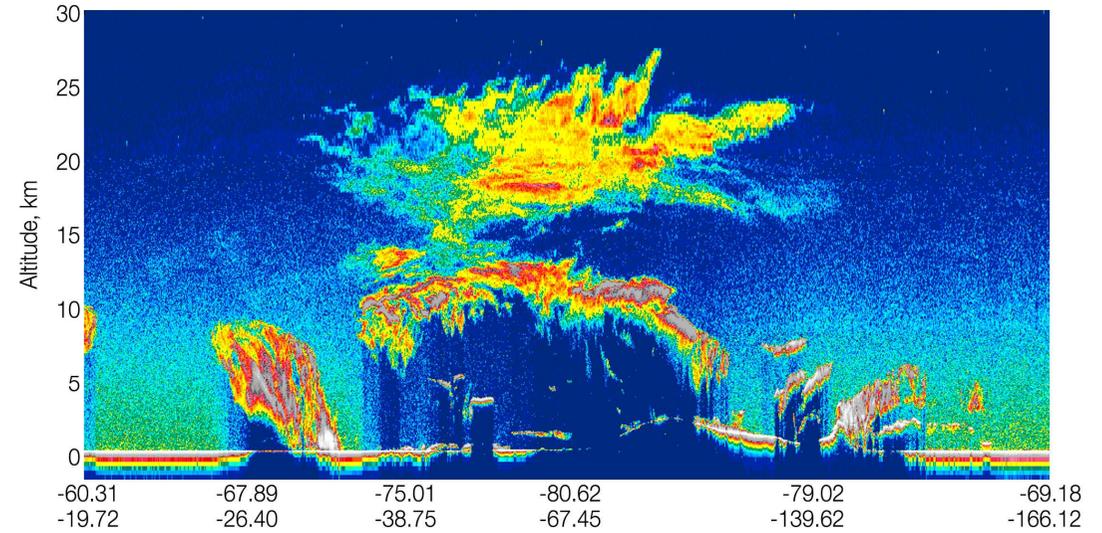
Winker et al.,
BAMS, 2010

0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
AOD

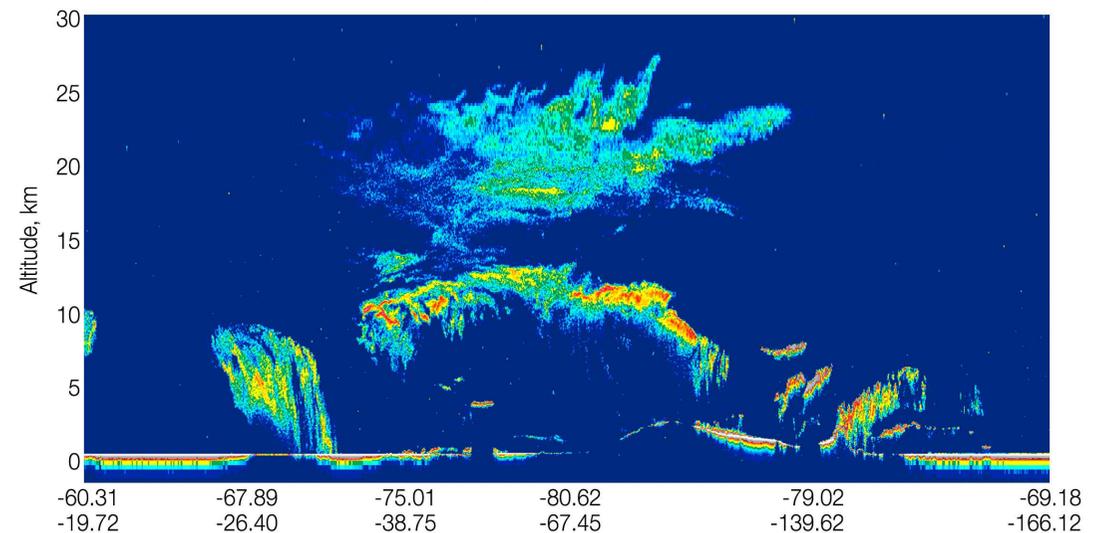
Antarctic Polar Stratospheric Clouds (July 24, 2006)



532 μm Total Attenuated Backscatter

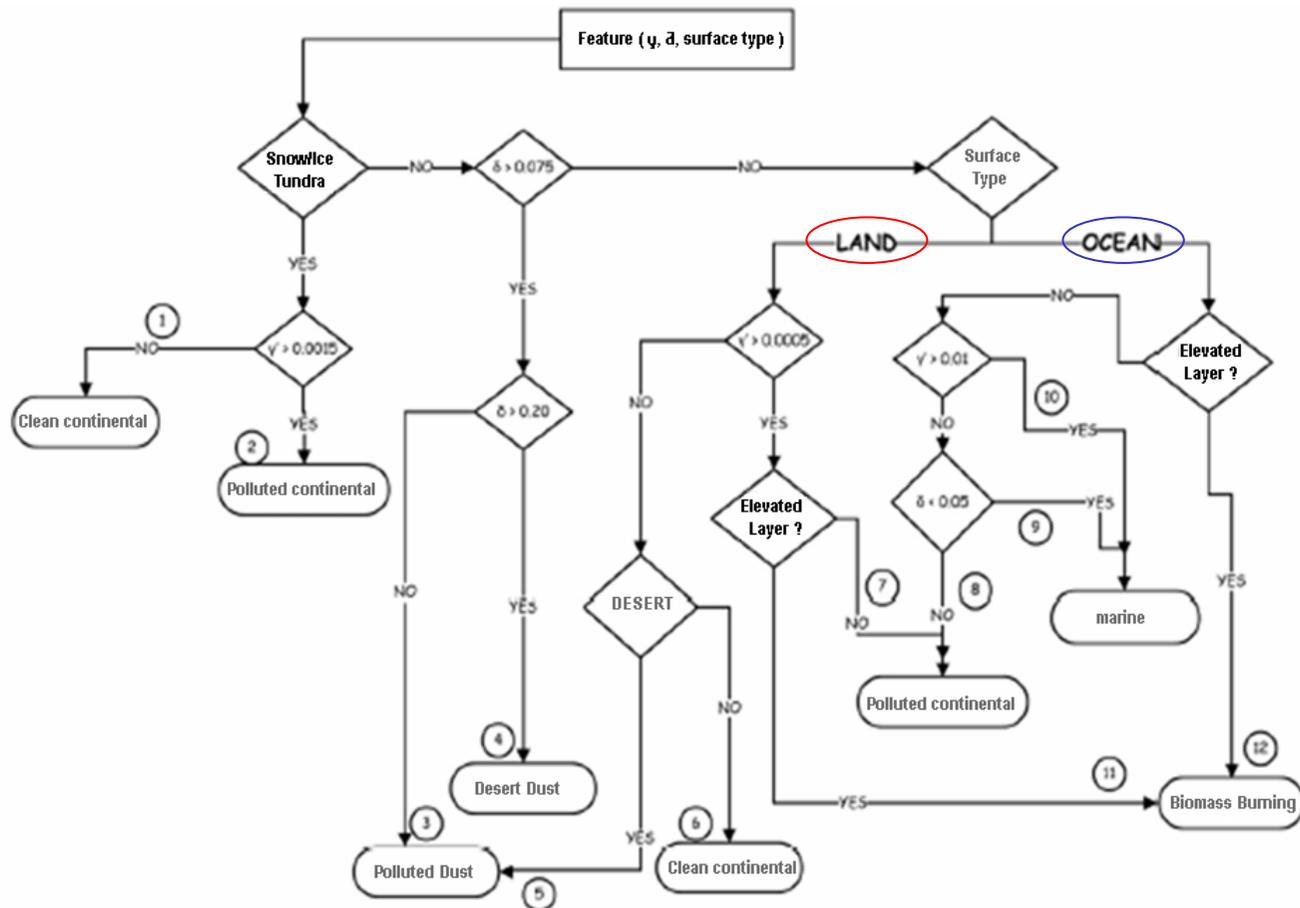


532 μm Perpendicular Attenuated Backscatter



MISSION CALIPSO : IDENTIFICATION du TYPE des AEROSOLS

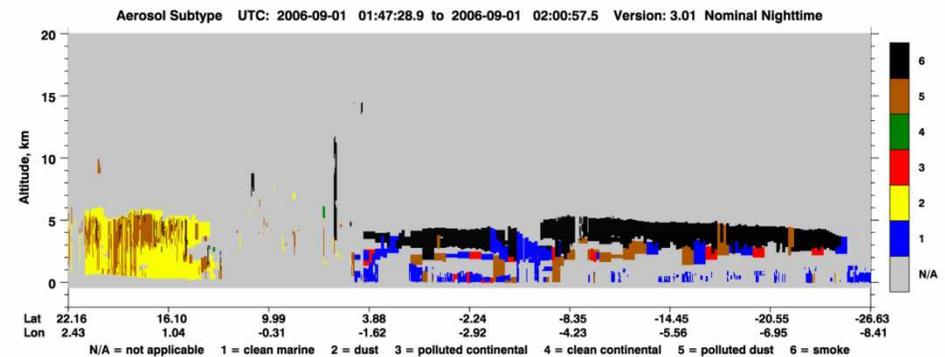
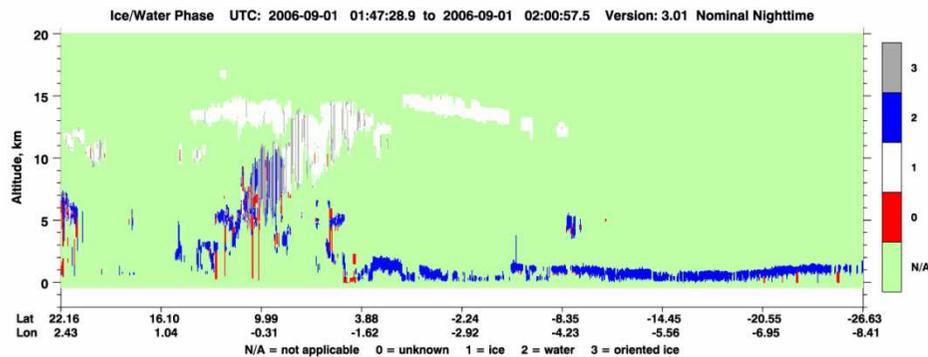
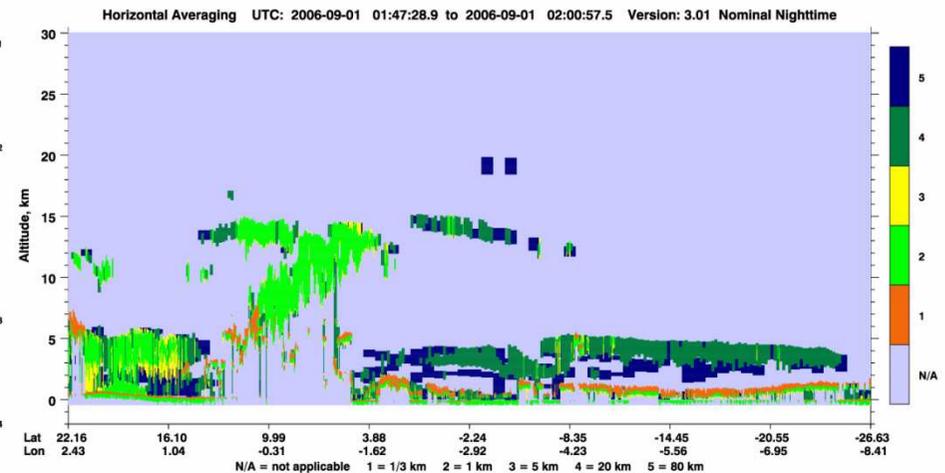
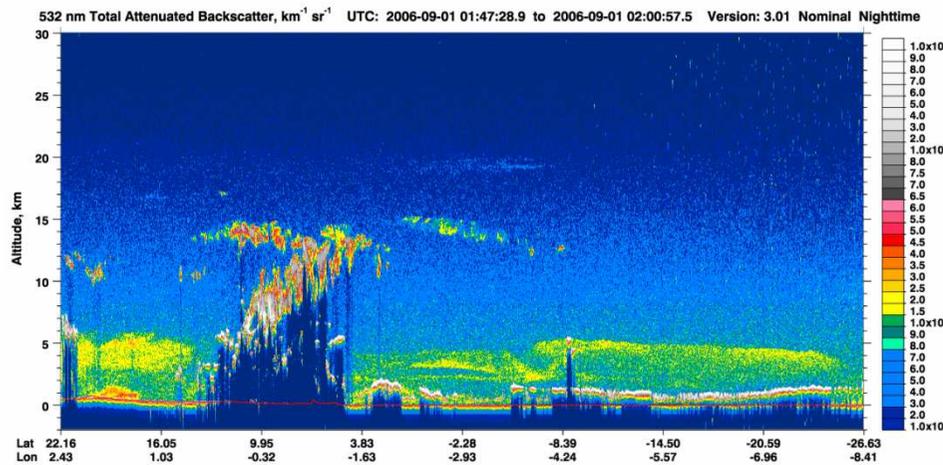
Lidar ratio	Dust	Smoke	Clean Continental	Polluted Continental	Clean Marine	Polluted Dust
532 nm (sr)	40	70	35	70	20	55
1064 nm (sr)	55	40	30	30	45	48



Omar et al.,
JAOT 2008

2010 : Version 3 des données L1 et L2

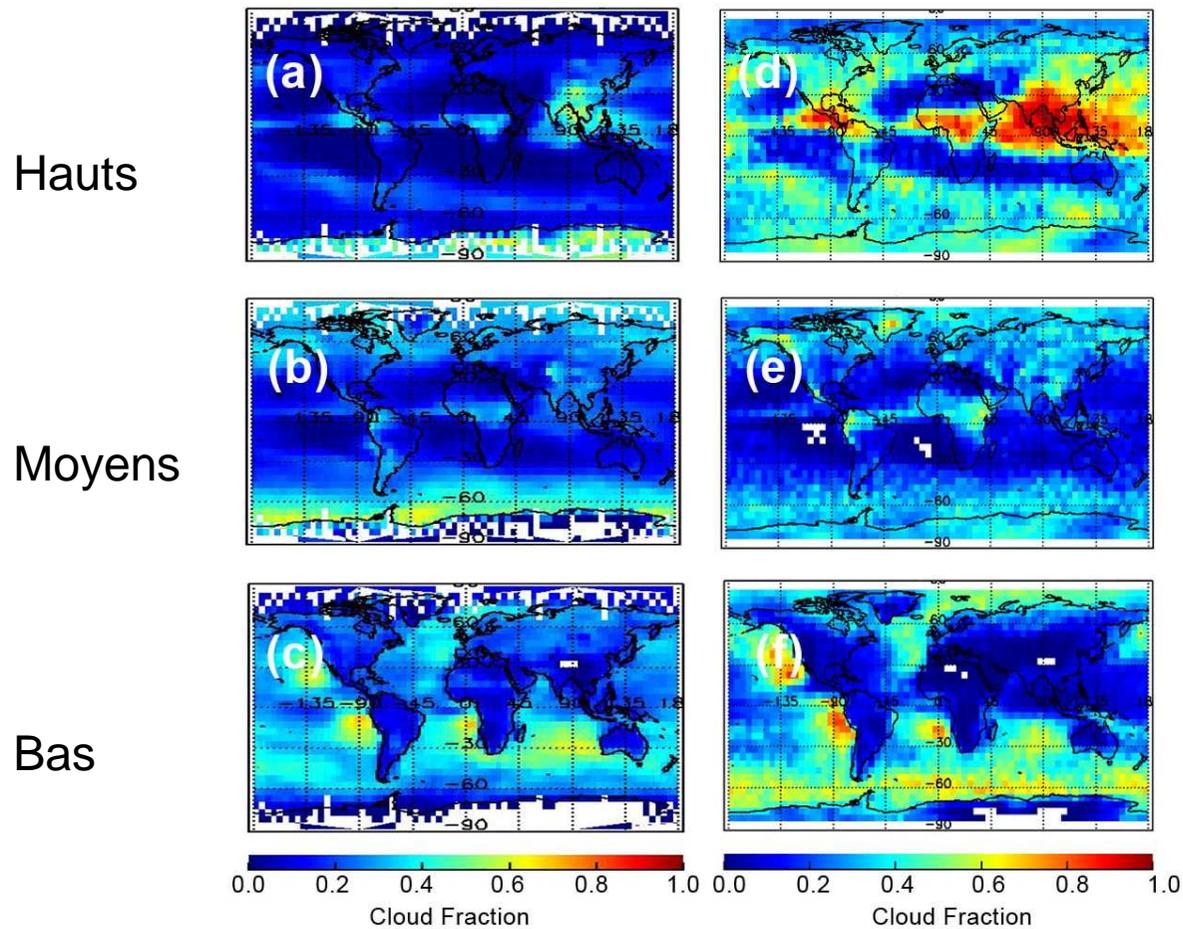
http://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/production/



Site miroir en France : <http://www.icare.univ-lille1.fr>

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

CALIPSO-ISCCP



Winker et al.,
BAMS, 2010

Comparaisons avec les modèles de climat → cf H. Chepfer

ALTITUDE DES NUAGES

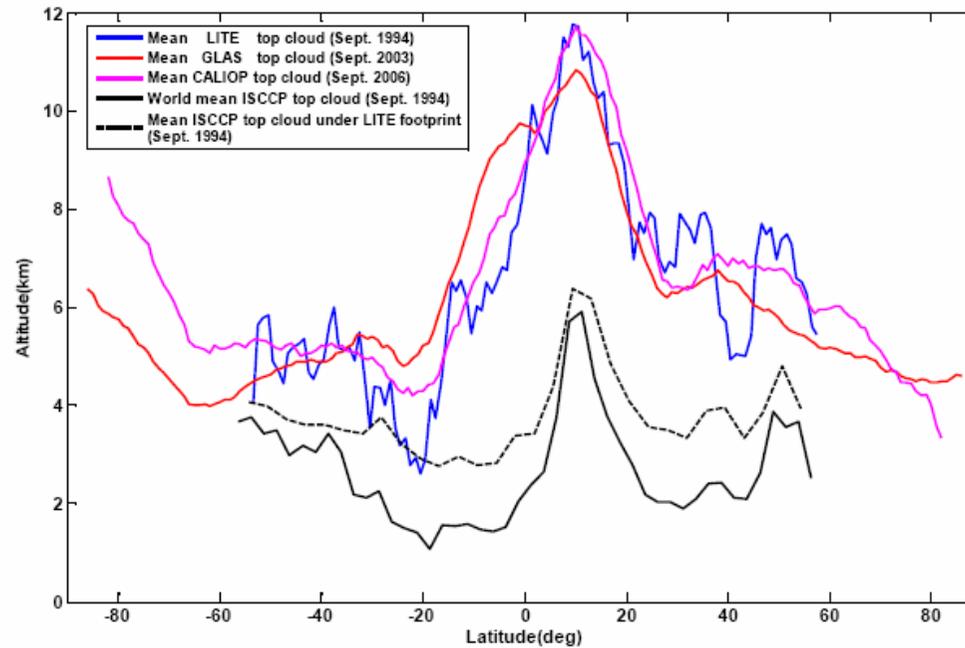


Fig. 6. Mean cloud top height against the altitude of the highest structure for LITE (Local Method applied on September 1994), GLAS (operational algorithm applied on the last week of September and the two first week of October 2003) and CALIOP (operational algorithm applied on September 2006). The mean cloud top height given for both the global coverage of ISCCP data and the ISCCP data under the LITE footprint on September 1994 is also given.

Berthier et al., ACP, 2008

APPORT DES MISSIONS LIDAR

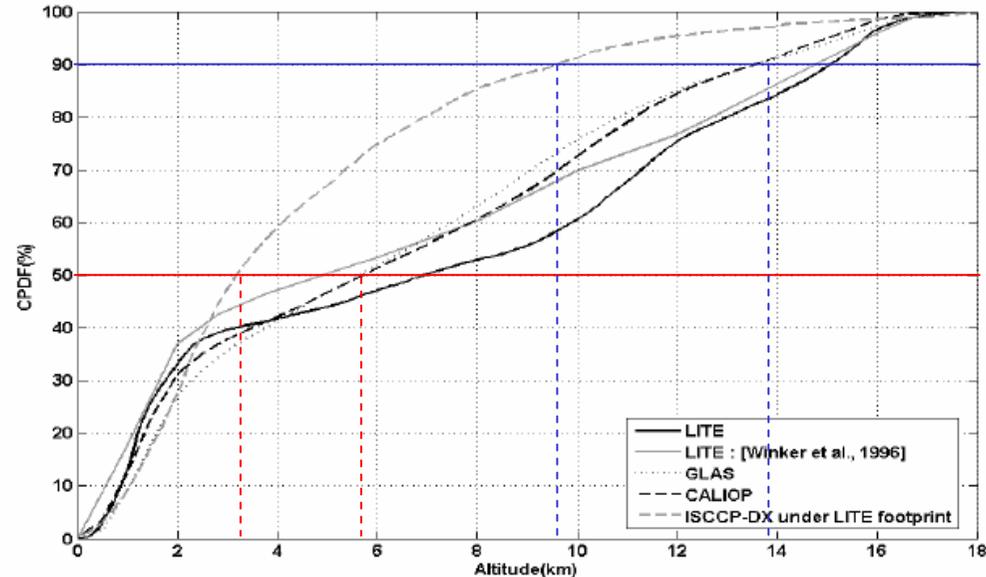
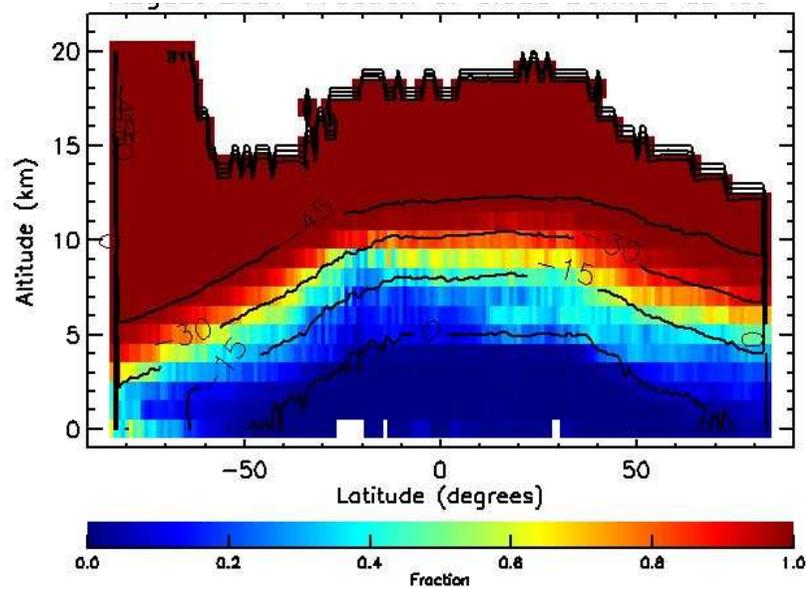


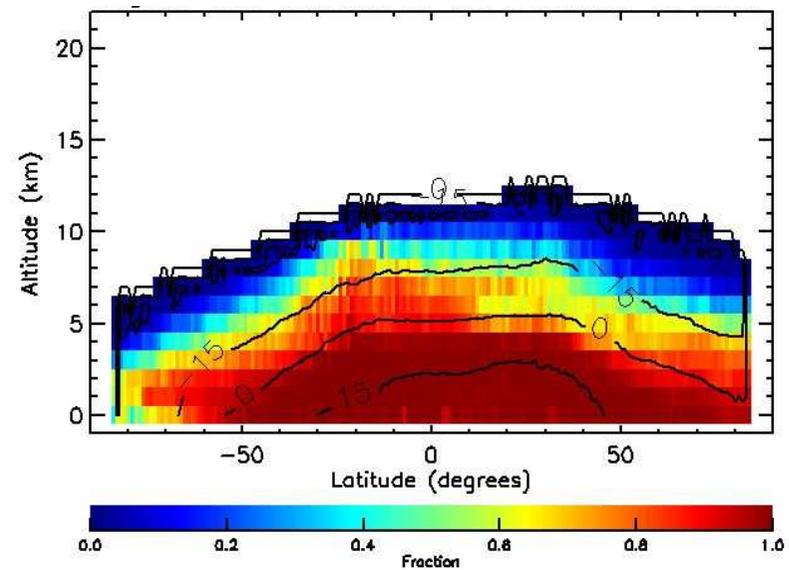
Fig. 4. Cloud top height cumulative probability density functions (CPDF) for the highest cloud structure established from: LITE (Local Method applied on September 1994), GLAS (Operational Algorithm, applied on last week of September and two first week of October 2003) and CALIOP (Operational Algorithm, applied on September 2006). The CPDF previously retrieved by Winker et al. (1996) with LITE data and the CDPF for ISCCP on the footprint of the LITE orbits on September 1994 are also given.

Berthier et al., ACP, 2008

Mission CALIPSO : Phase nuageuse



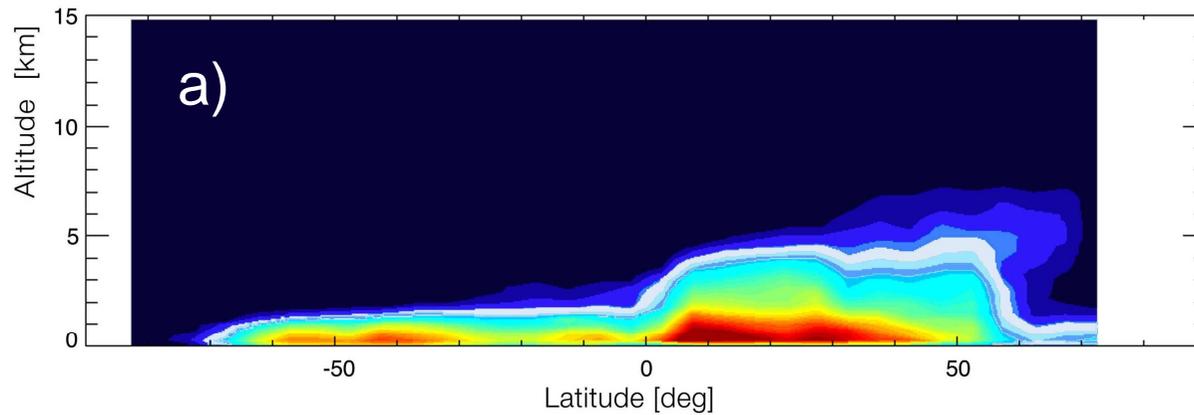
Nuages glacés



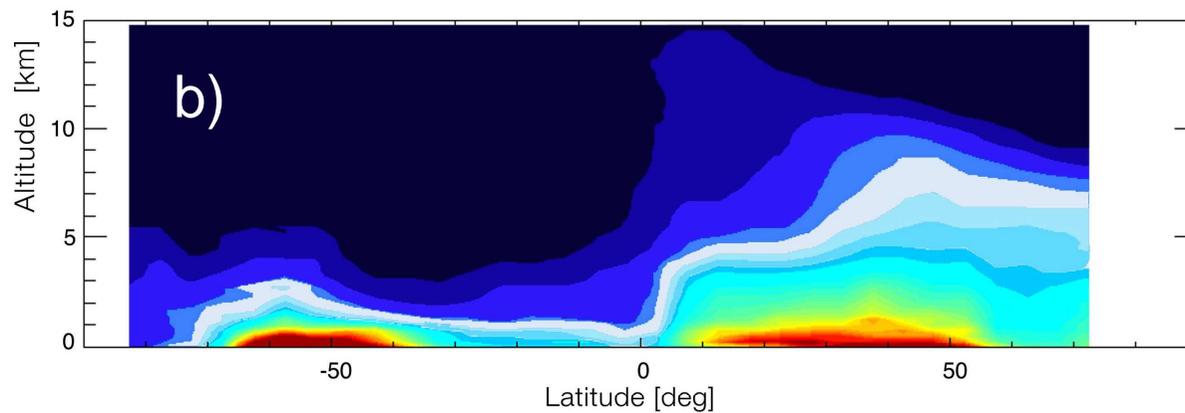
Nuages d'eau et mixtes

Winker et al., BAMS, 2010

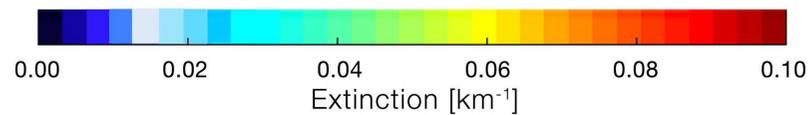
AEROSOLS



CALIOP



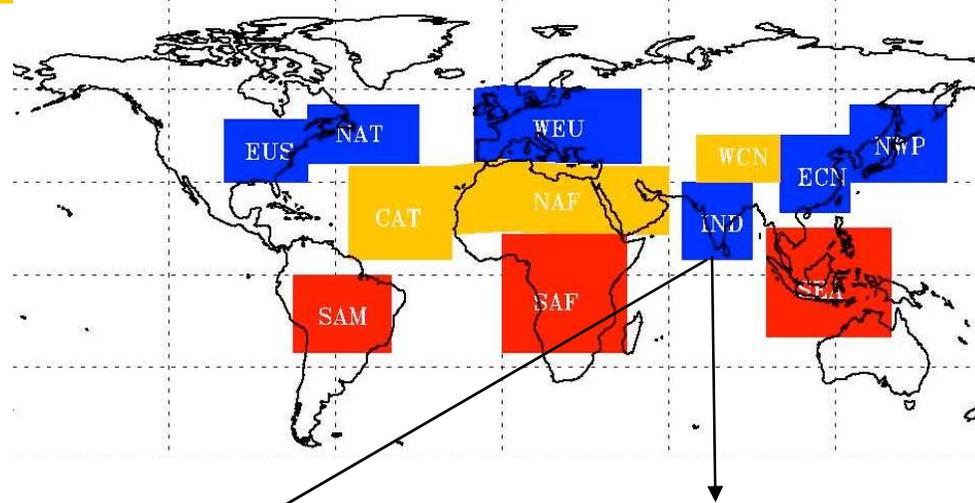
GOCART
(NASA/GSFC)



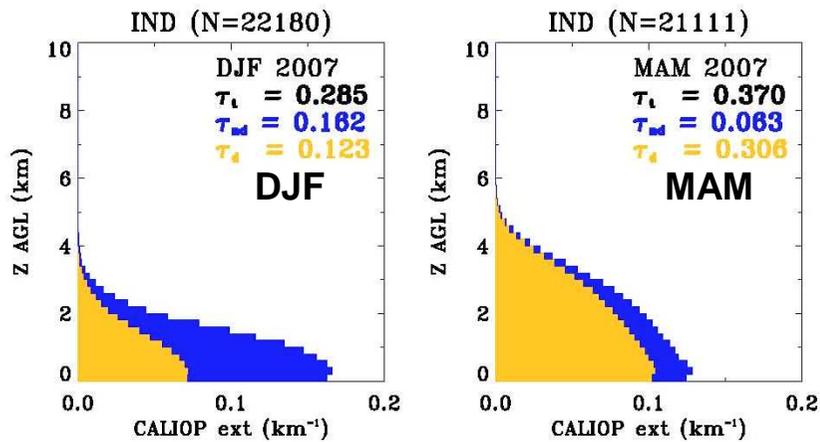
Courtesy D. Winker, NASA

Regional comparisons with GOCART global model

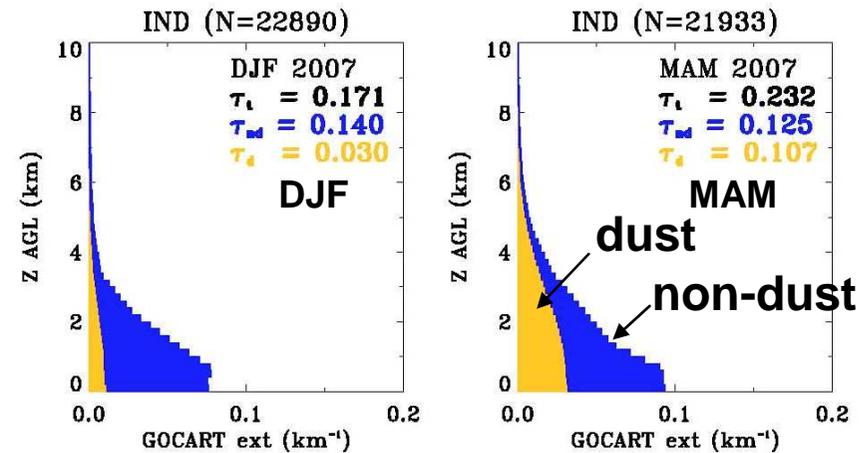
H. Yu, et al. (JGR special issue, 2010)



CALIOP extinction

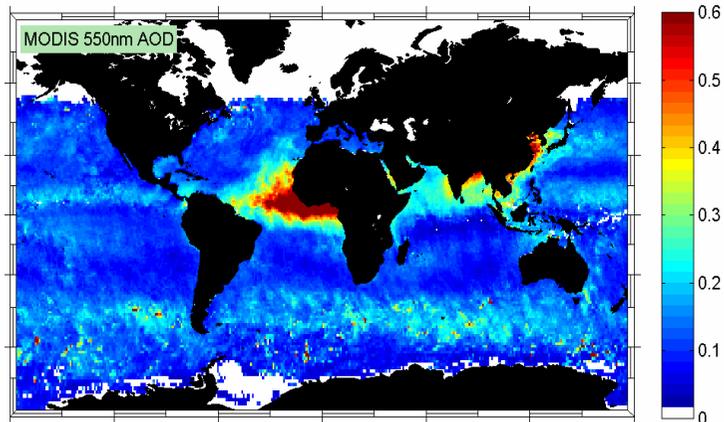


GOCART extinction



Column AOD from ocean surface returns

MODIS



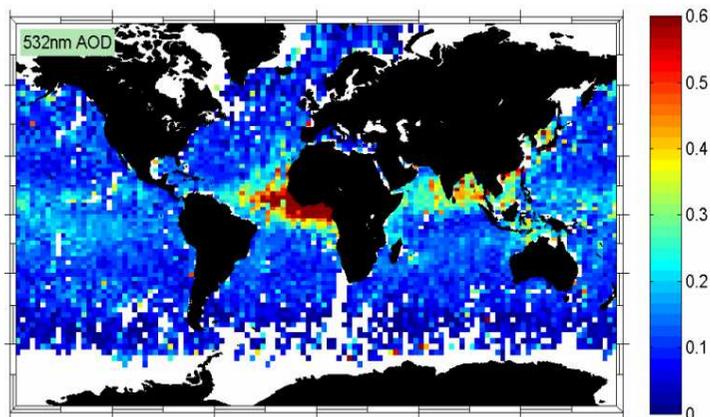
Ocean reflectance constraint gives improved AOD retrieval

- at both wavelengths \rightarrow Ångström exponent
- expect AOD uncertainty of ~ 0.05

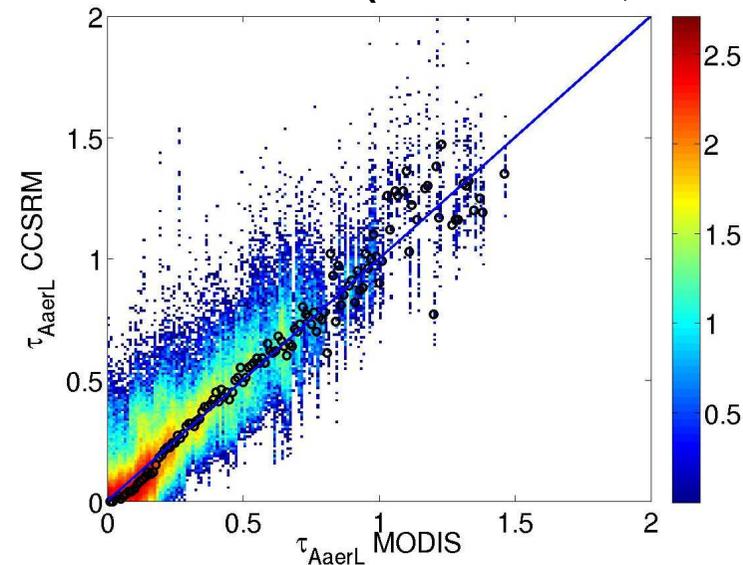
Also:

- allows calibration improvements
- provides diagnostic on lidar ratio (aerosol type)

CALIPSO (preliminary)



(Josset et al., IEEE, 2009)



IIR level 2 algorithm and products

Combining IR and lidar (and visible camera)

Targets: uppermost cloud or aerosols layers (desertic, volcanic dust)

- Effective emissivity
- Microphysics: ice crystals, dust particles size

Microphysique nuageuse : complémentarité actif-passif sur la plate-forme CALIPSO (CALIOP-IIR)

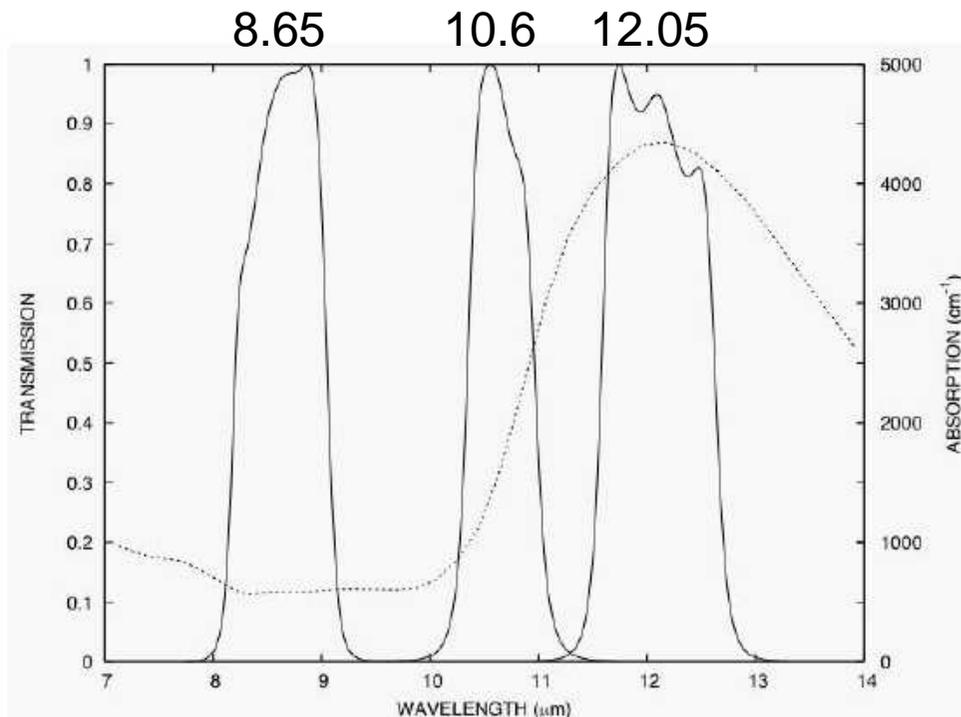


FIG 1. Spectral response of the three IIR channels onboard CALIPSO. Channels at 8.7, 10.6 and 12 μm are labeled 1, 2 and 3, respectively. Spectral variation of the ice absorption (Warren *et al.*, 1984) is also reported (dashed line- right axis).

Due to absorption by ice (or water) the spectral slope of BT is positive with wavenumber

$$T_b(8.7) - T_b(12) > 0$$
$$T_b(10.6) - T_b(12) > 0$$

Dubuisson et al, JAMC, 2008

Scene classification under the lidar track

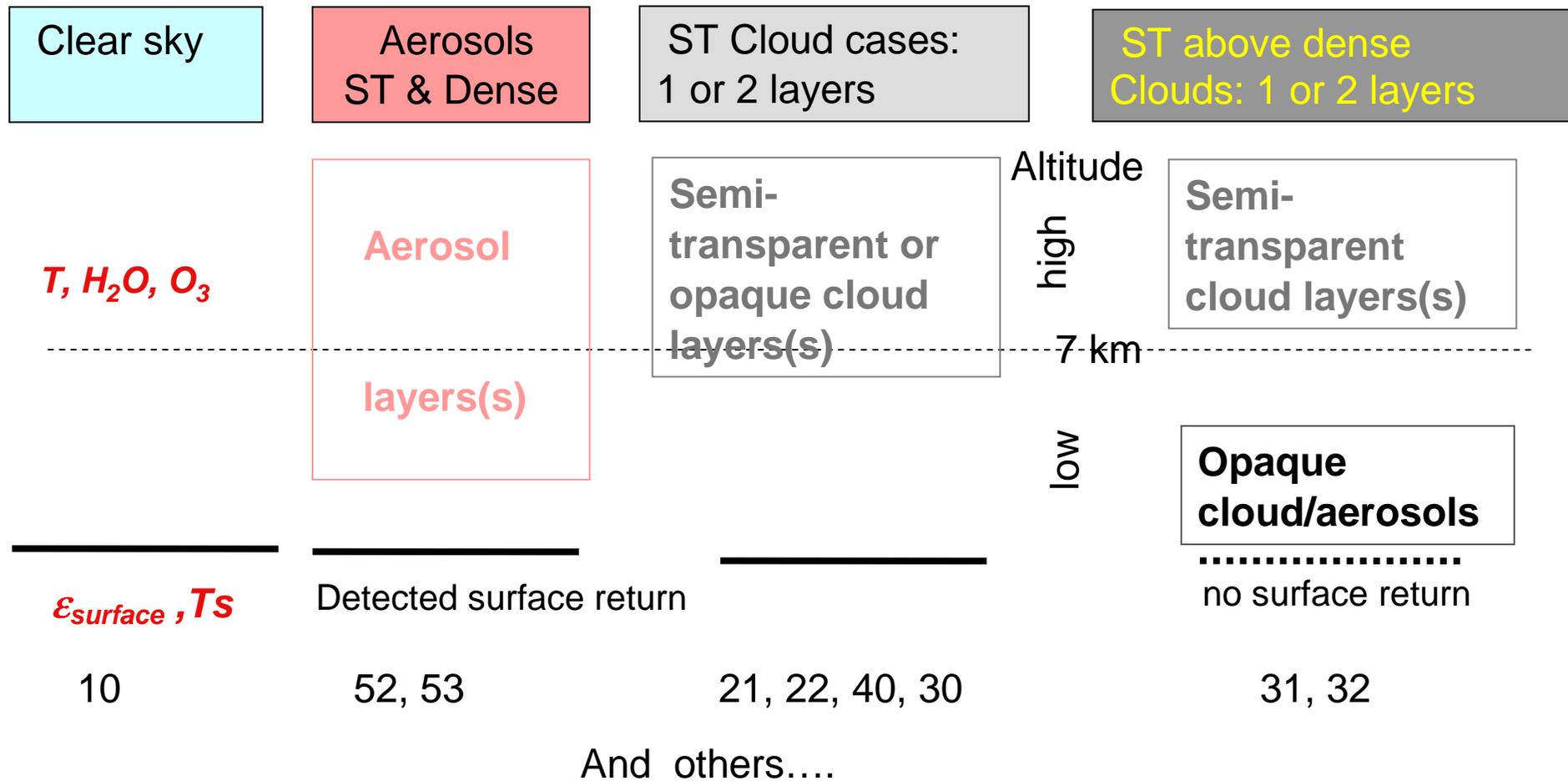
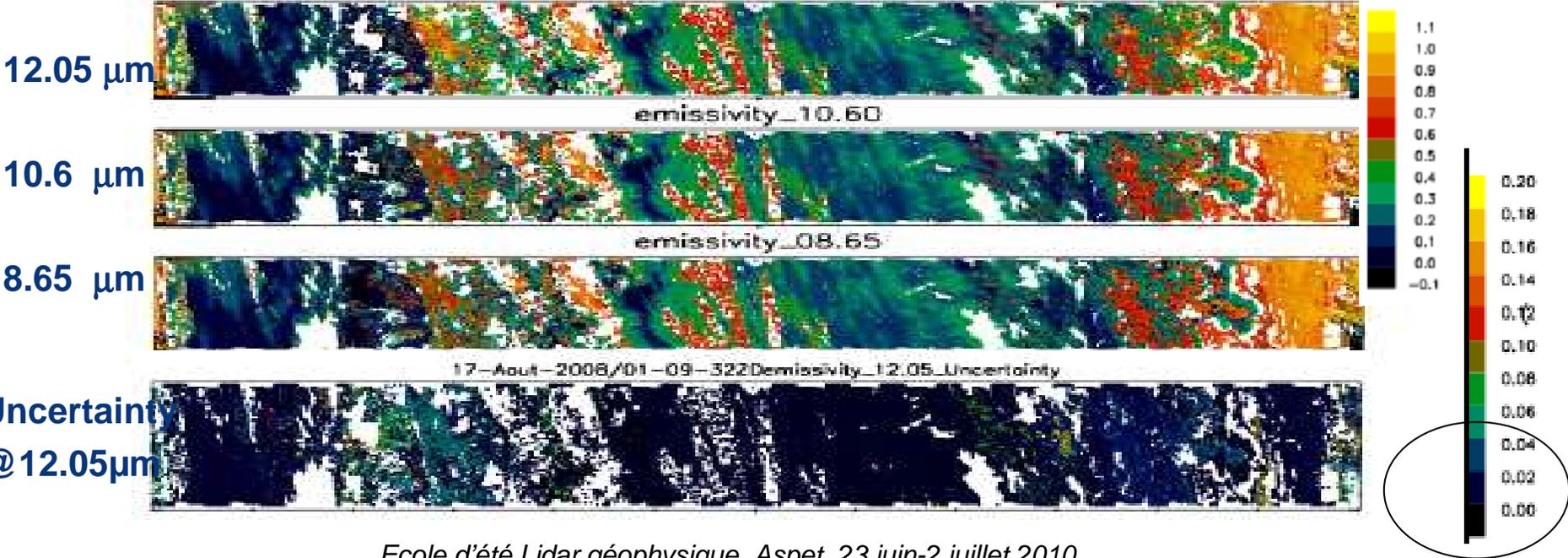
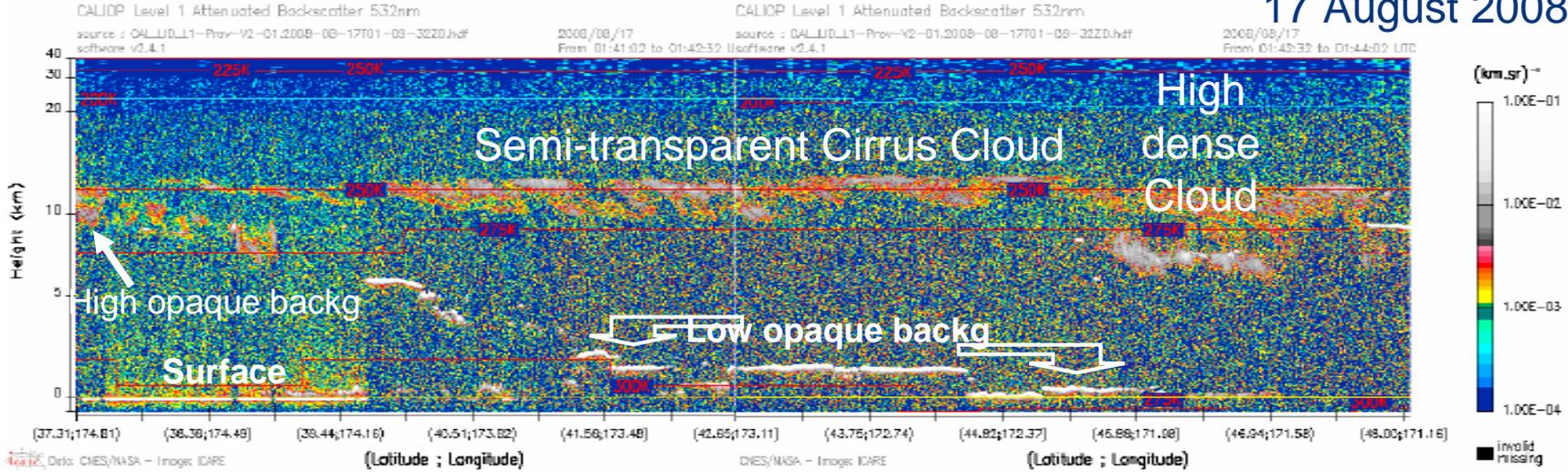


Illustration: effective emissivity

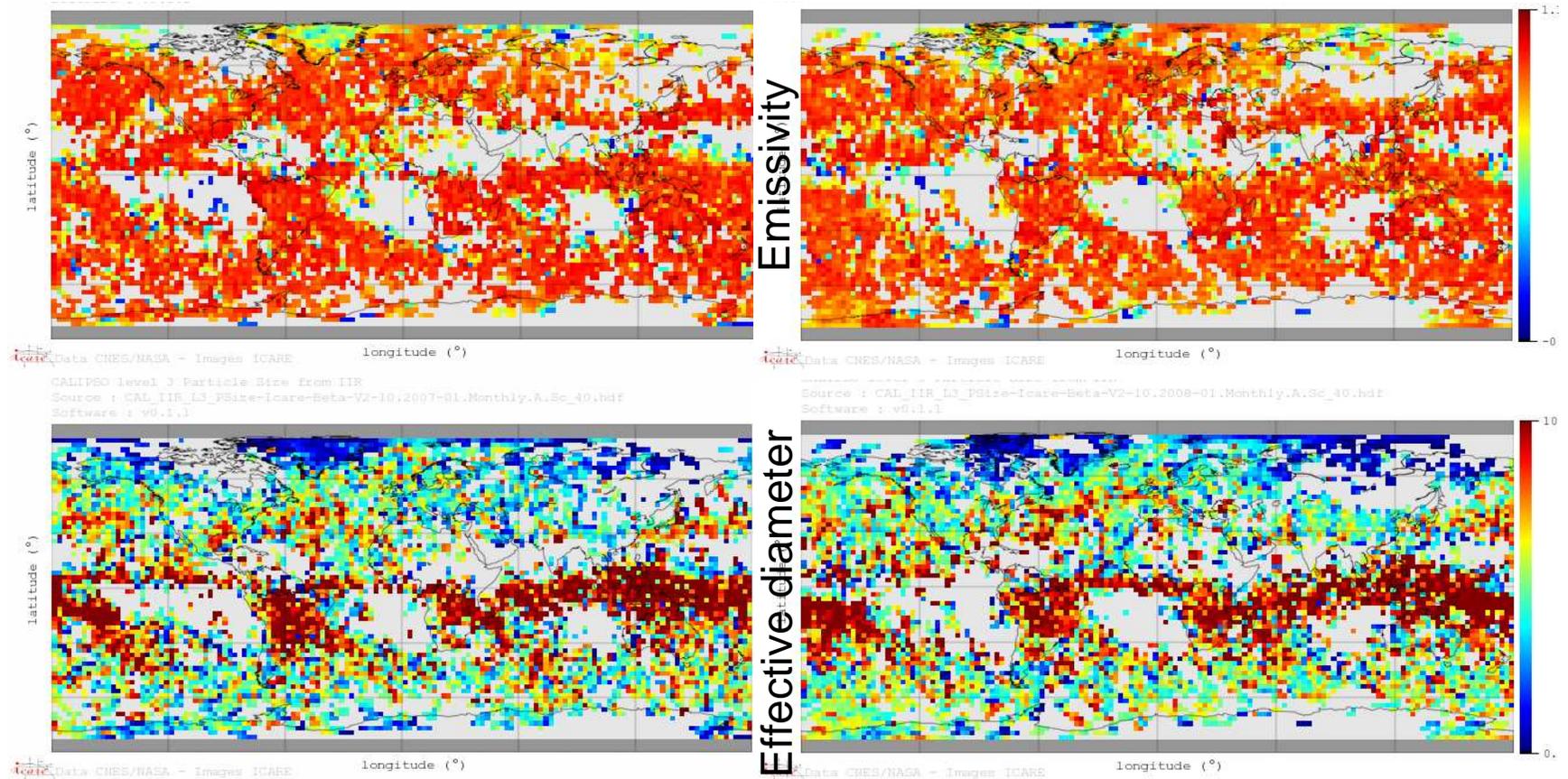
17 August 2008



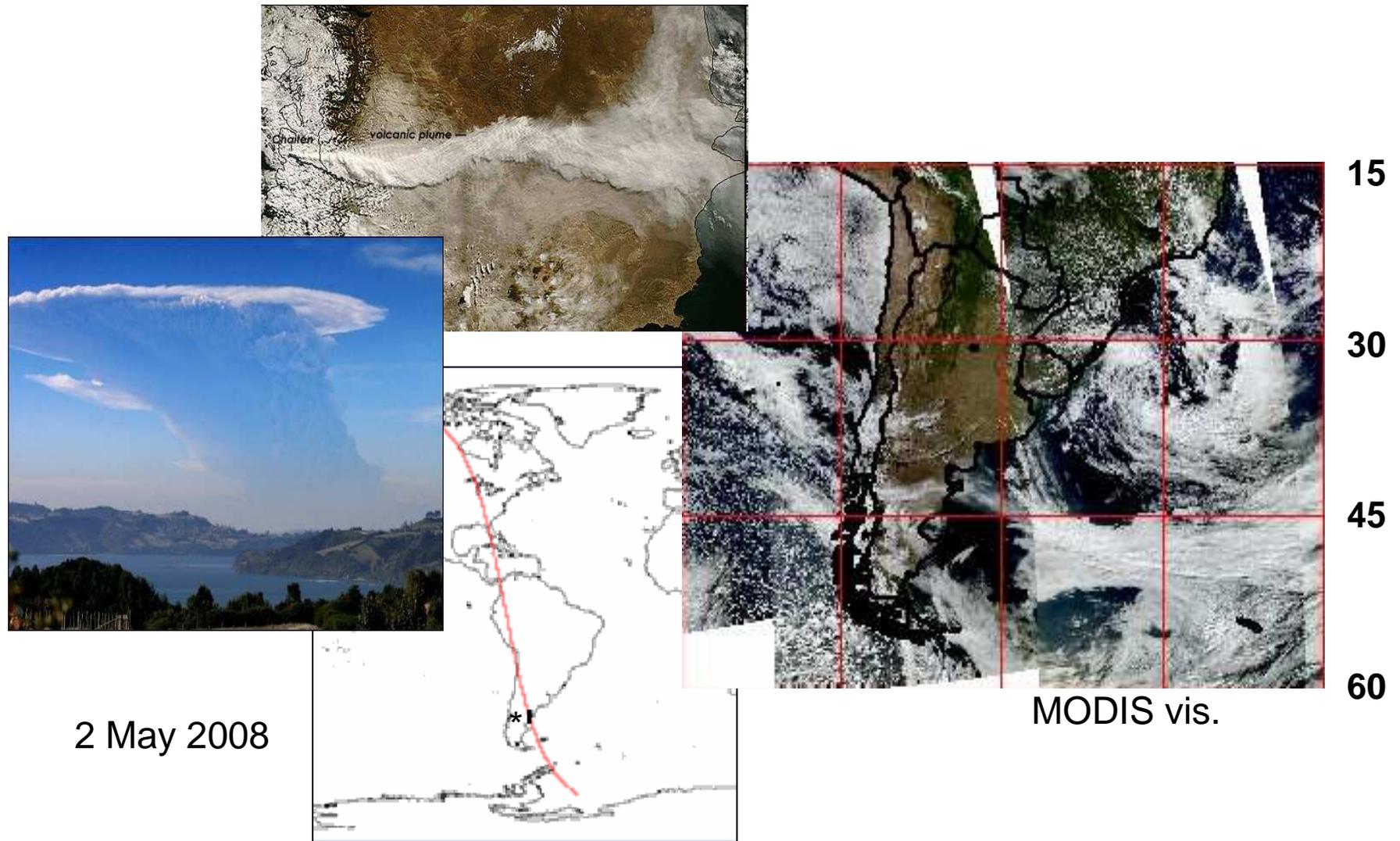
Monthly Statistics High dense clouds (D + N, O + L)

January 2007

January 2008



Aerosols volcaniques : Chaiten



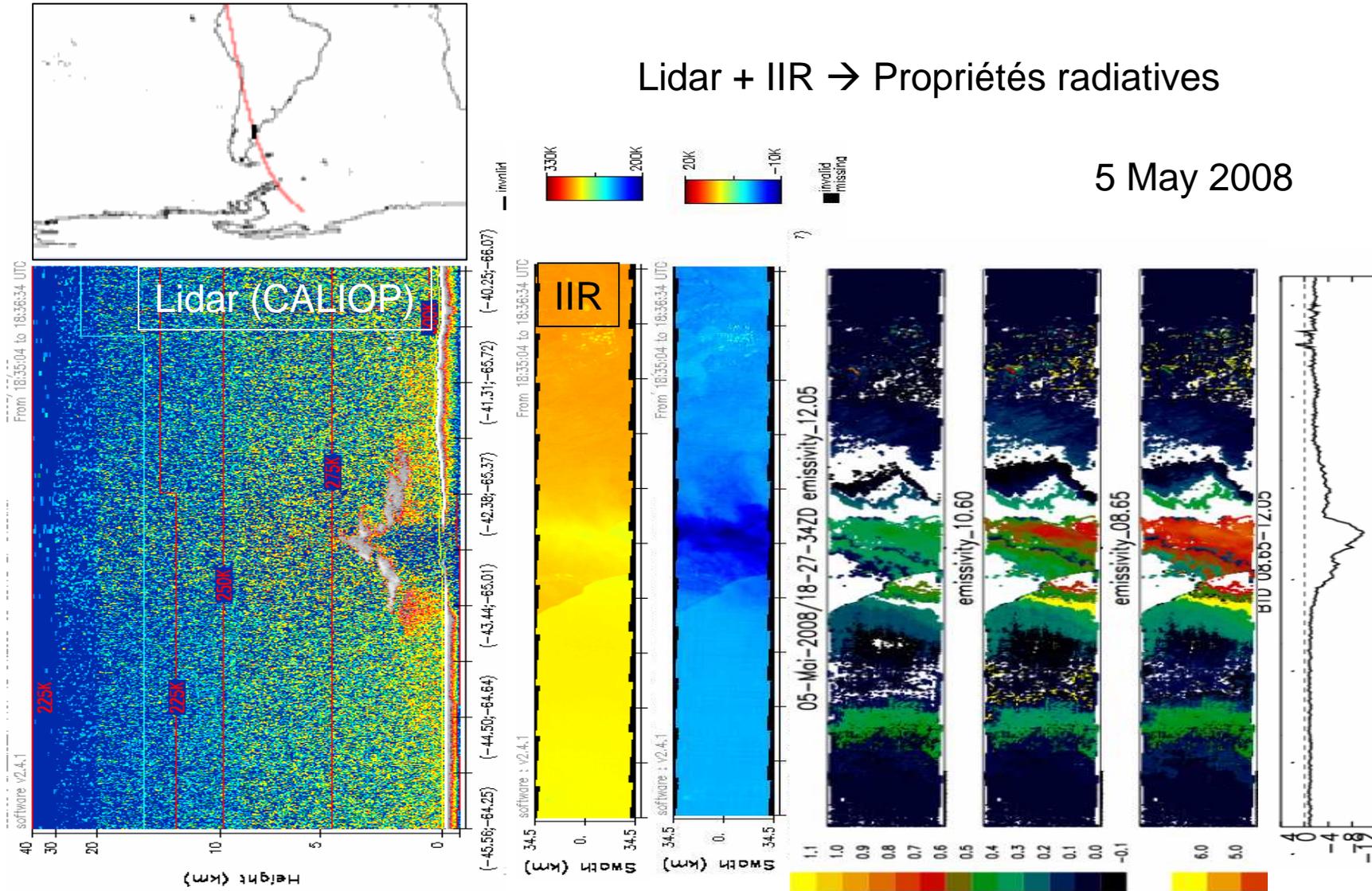
2 May 2008

MODIS vis.

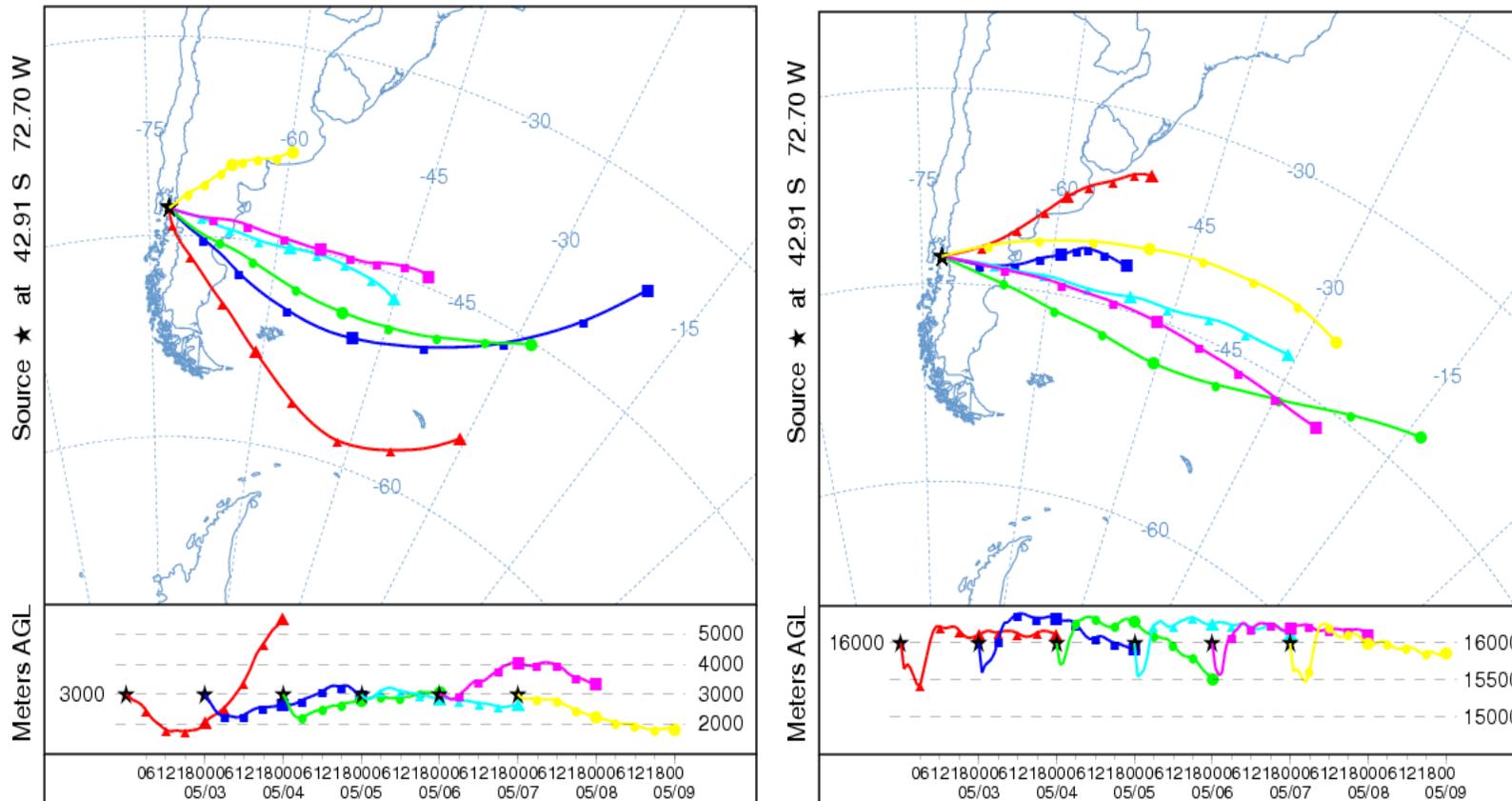
Aerosols volcaniques : Chaiten

Lidar + IIR → Propriétés radiatives

5 May 2008

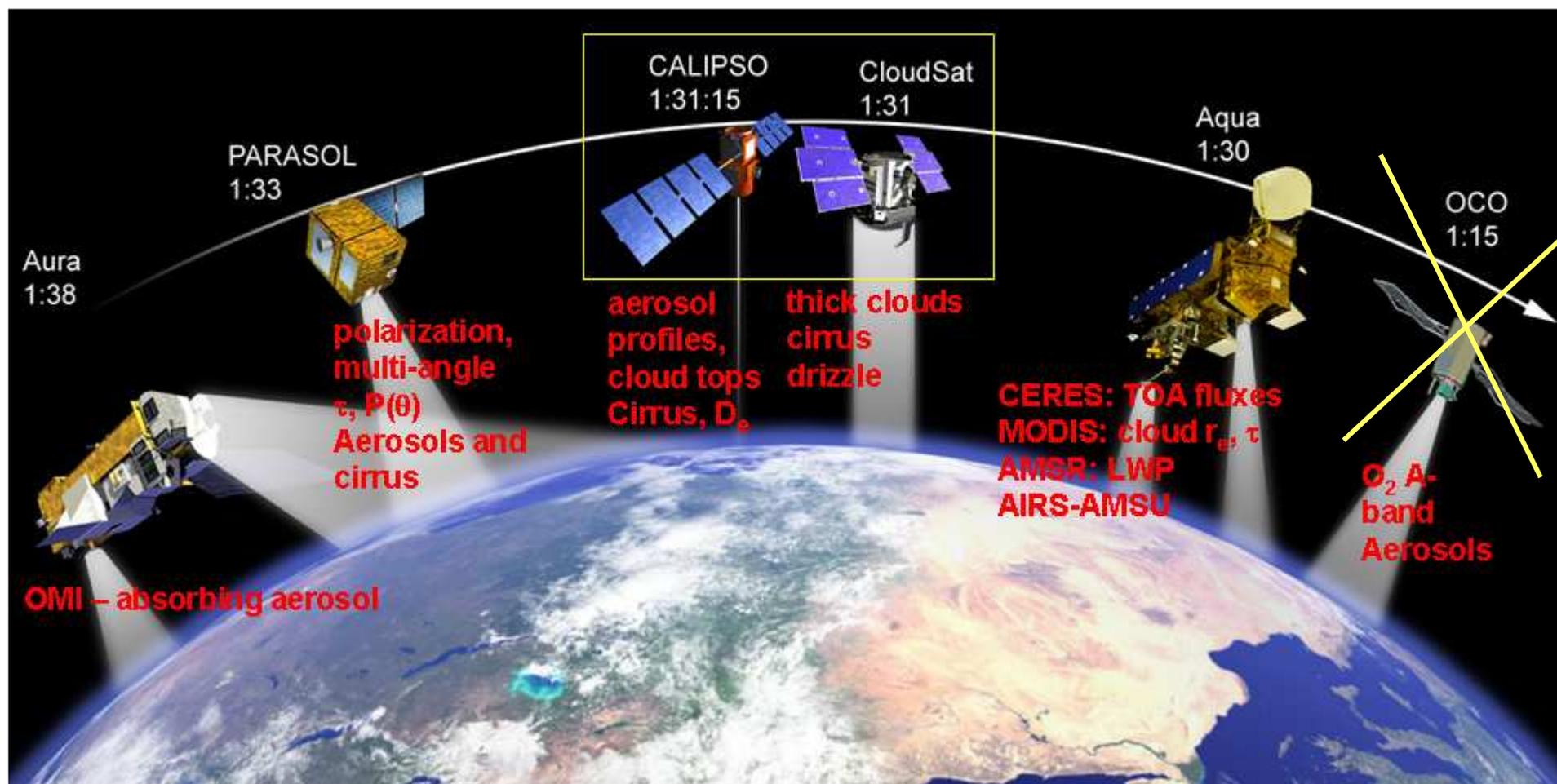


Aerosols volcaniques : Chaiten



NOAA Hysplit GDAS

SYNERGIE des OBSERVATIONS de l' « AQUA-TRAIN »

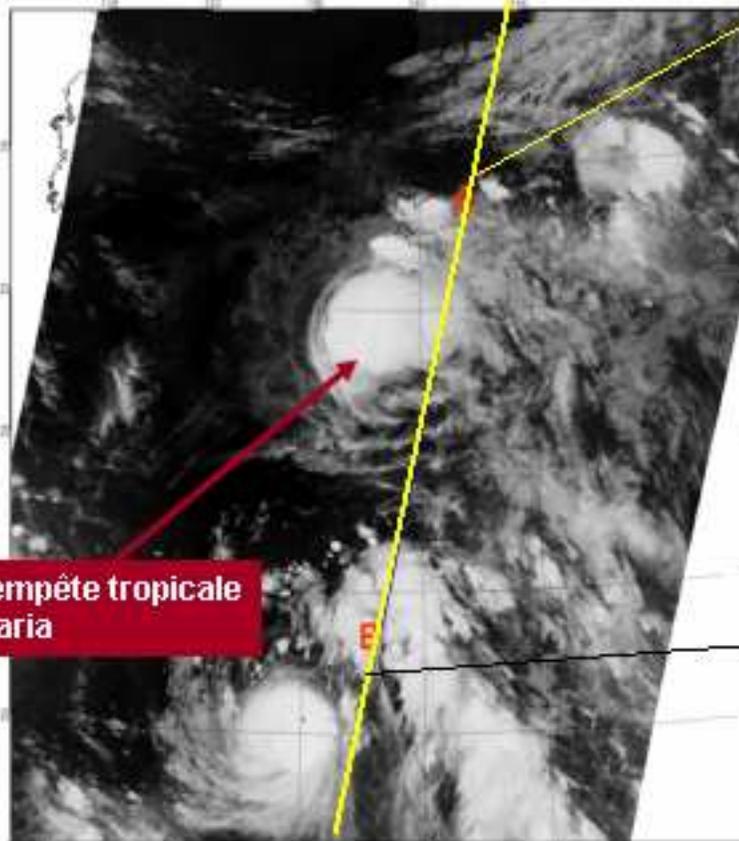


CALIPSO et CloudSAT ont rejoint l'A-TRAIN en juin 2006

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

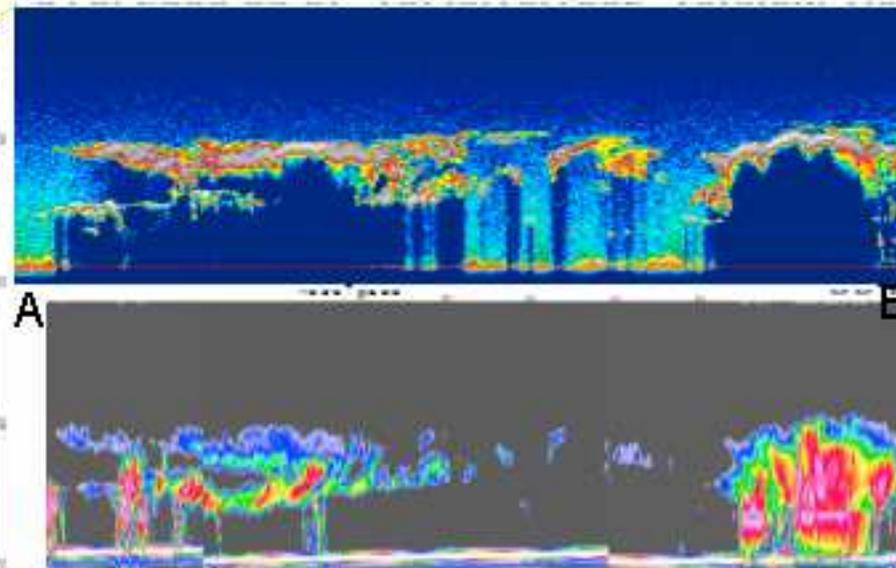
A-TRAIN : les vols en formation permettent une optimisation des synergies avec les autres satellites : souplesse de mise en œuvre et performances bien adaptées

MODIS (11 μm)



Tempête tropicale
Maria

CALIPSO (0,53 μm)

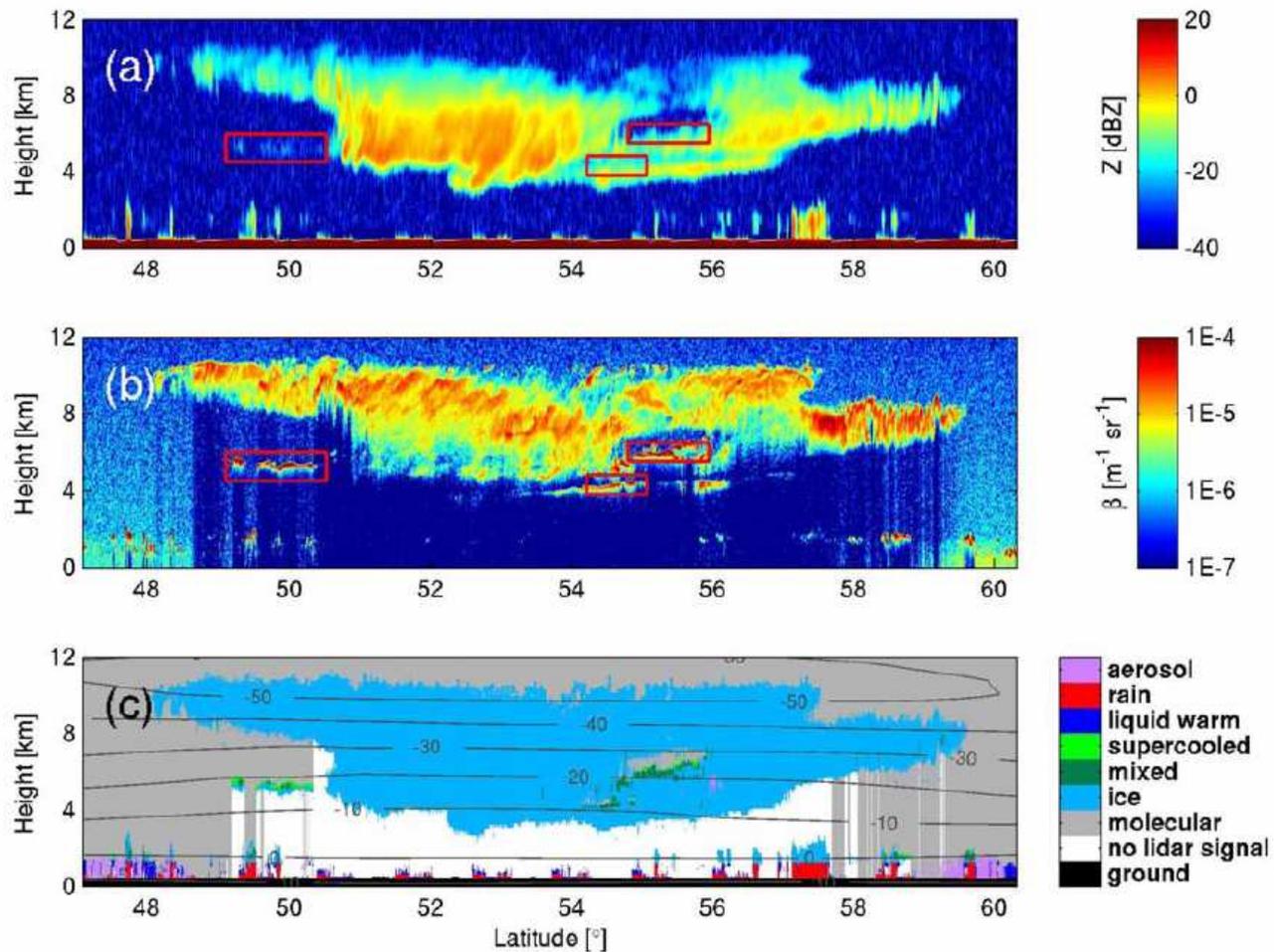


CloudSat (94 GHz)



Trace
au sol

SYNERGIE RADAR-LIDAR

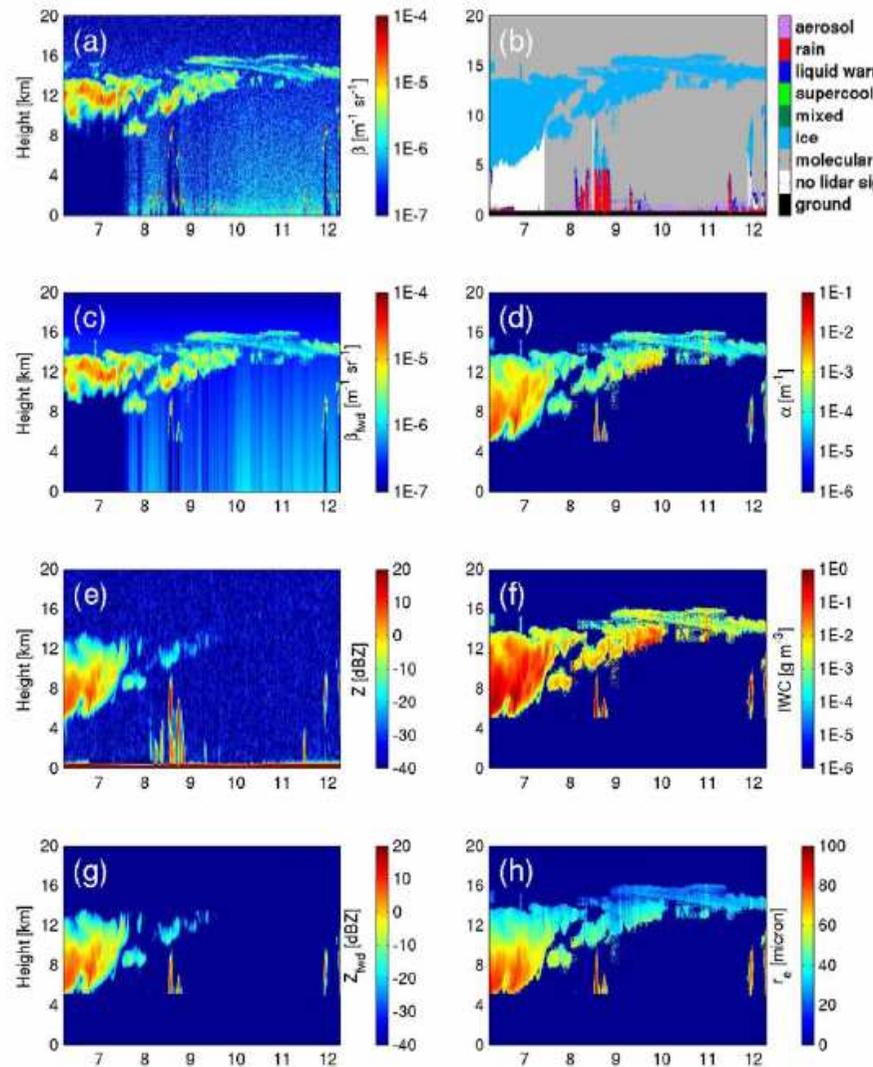


Radar
 $Z \sim D^6$

Lidar
 $\beta \sim D^2$

Delanöe & Hogan, JGR 2010

SYNERGIE RADAR-LIDAR



Example of observations and retrieved ice cloud properties using the radar-lidar algorithm

22 September 2006

- (a) CALIPSO lidar observations, (e) CloudSat radar observations of the same scene,
- (b) the categorization obtained using the method described in section 2.2
- (c) the lidar forward modeled attenuated backscatter signal at the final iteration of the algorithm,
- (g) the radar forward modeled signal,
- (d) retrieved extinction coefficient of ice,
- (f) retrieved ice water content,
- (h) retrieved effective radius.

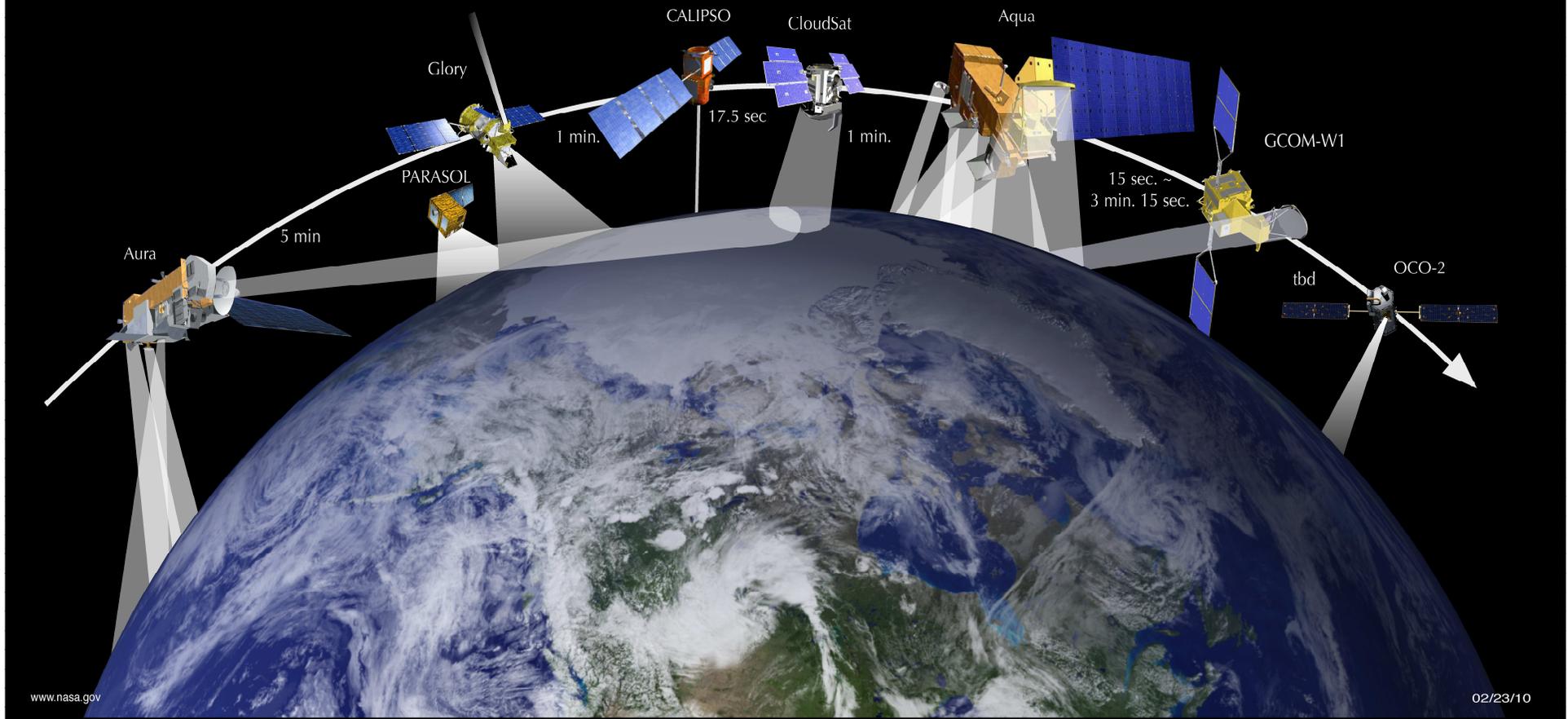
Delanöe et Hogan, JGR, 2010

CONFIGURATION de l'A-TRAIN PREVUE POUR 2011

National Aeronautics and Space Administration



The Afternoon Constellation "A-Train"



Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

CALIPSO → 2014 ????
+ A-Train

→ apport déjà essentiel !

LES NOUVELLES MISSIONS PREVUES

ADM-AEOLUS → 2013

EARTHCARE → 2014

ICESAT2 → 2015

ACE → 2018-2020

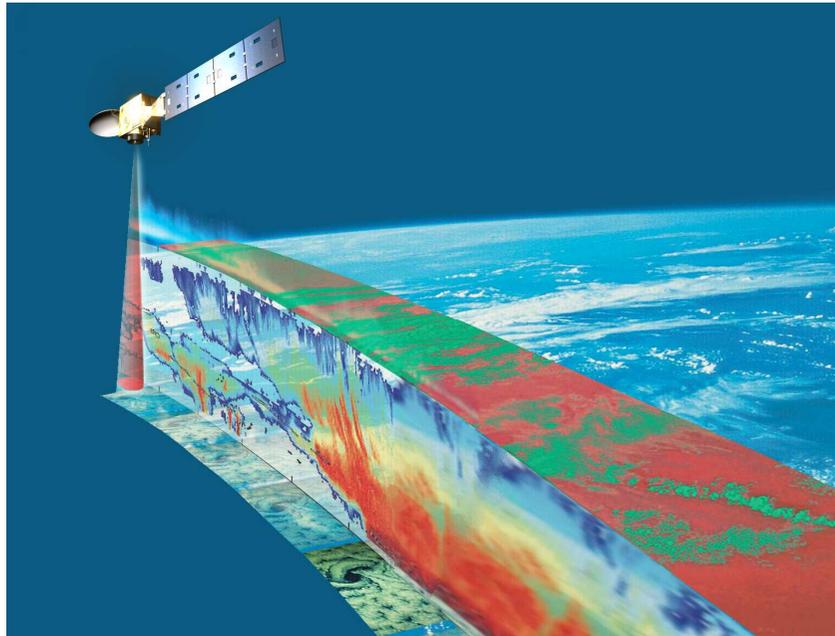
LA MISSION EARTHCARE



earthcare
earth explorers

LIDAR+RADAR+IMAGEUR+RADIOMETRE

European Space Agency



Mettre les instruments critiques
Sur une même plate-forme

mass/power	1300 kg / 1100 W
Data rate	up to 1500 kbit/s
Orbit	Sun-synchronous, DN 10:30
Height	450 km
Lifetime	2 (+1) years
Launcher	PSLV, DNEPR or SOYUZ

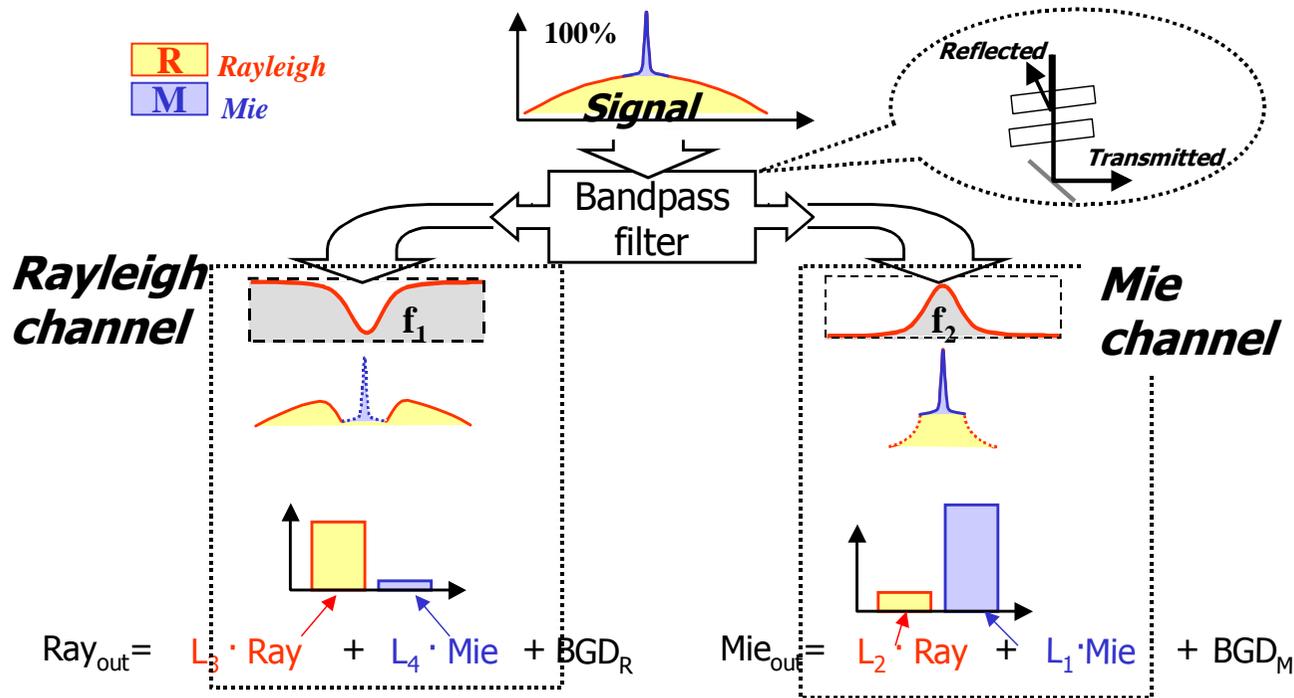
LA MISSION EARTHCARE : Lidar à haute résolution spectrale

Signal incident



$$S(z) = \frac{c}{2} \cdot T_E^{laser} \cdot E_l \cdot A_R \cdot \eta^2 \cdot T_{opt} \cdot \beta(z) \cdot \left(\frac{T(z)}{z - z_s} \right)^2$$

Lidar constant



LA MISSION EARTHCARE

La séparation du signal lidar haute résolution spectrale en deux contributions moléculaire et particulaire permet un traitement spécifique pour séparer les contributions dues à la diffusion et à l'atténuation particulaire

Mais

Il faut bien étalonner les voies pour corriger des signaux résiduels (séparation imparfaite entre signal moléculaire et particulaire)

Autre avantage : filtrage spectral plus étroit et la possibilité de travailler avec un angle solide de mesure plus étroit permettent un meilleur RSB.

Mission ANR	LITE	GLAS	CALIPSO	EARTHCARE
Target	Demonstration mission for Clouds, aerosols, surface	Altimetry and atmosphere (clouds & aerosols)	Atmosphere (clouds & aerosols)	Atmosphere (clouds & aerosols)
Orbit (km)	260	600	705	450
Lidar Payload Mass (kg)	990	350	260	330
Payload Power (W)		300	220	520
Data rate			330 kb/s	660 kb/s
Laser Technology	Nd-Yag Flashlamp	Nd-Yag Solid state	Nd-Yag Solid state	Nd-Yag Solid state
Lidar type	Backscatter	Backscatter	Backscatter	HSRL
Operation wavelengths (nm)	1064, 532, 355	1064, 532, -	1064, 532, -	-, -, 355
Polarisation	No	No	Yes	Yes
Energy (mJ) at (1064, 532, 355 nm) and Rep. rate	470, 530, 160 @ 10 Hz	72, 32, - @ 40 Hz	110, 110, - @ 20.2 Hz	-, -, 30 @ 75Hz (goal)
Telescope size	1 m	1 m	1 m	60 cm
Receiver field of view at 1064, 532, 355 nm (mrd, FWHM, daytime)	1.1, 1.1, 1.1	0.48, 0.15, -	0.13, 0.13, -	-, -, 0.07
Detection mode Quantum Eff. (%) 1064, 532, 355 nm	SiAPD & Photomultipliers 33, 12, 21	SiAPD (PC/ana) 33, 50, -	Photomultipliers + siAPD 33, 13, -	CCD -, -, 75
Relative nighttime performance index	38, 20, 22	19, 12, -	12, 9, -	-, -, 15
Relative daytime degradation index *	250*, 250, 700	1060*, 430	320*, 110	23

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

Timeframe 2010 – 2013, Missions listed by cost				
CLARREO (NASA portion)	Solar and Earth radiation, spectrally resolved forcing and response of the climate system	LEO, Precessing	Absolute, spectrally- resolved interferometer	\$200 M
SMAP	Soil moisture and freeze/thaw for weather and water cycle processes	LEO, SSO	L-band radar L-band radiometer	\$300 M
ICESat-II	Ice sheet height changes for climate change diagnosis	LEO, Non- SSO	Laser altimeter	\$300 M
DESDynI	Surface and ice sheet deformation for understanding natural hazards and climate; vegetation structure for ecosystem health	LEO, SSO	L-band InSAR Laser altimeter	\$700 M
Timeframe: 2013 – 2016, Missions listed by cost				
HypIRI	Land surface composition for agriculture and mineral characterization; vegetation types for ecosystem health	LEO, SSO	Hyperspectral spectrometer	\$300 M
ASCENDS	Day/night, all-latitude, all-season CO ₂ column integrals for climate emissions	LEO, SSO	Multifrequency laser	\$400 M
SWOT	Ocean, lake, and river water levels for ocean and inland water dynamics	LEO, SSO	Ka-band wide swath radar C-band radar	\$450 M
GEO- CAPE	Atmospheric gas columns for air quality forecasts; ocean color for coastal ecosystem health and climate emissions	GEO	High and low spatial resolution hyperspectral imagers	\$550 M
ACE	Aerosol and cloud profiles for climate and water cycle; ocean color for open ocean biogeochemistry	LEO, SSO	Backscatter lidar Multiangle polarimeter Doppler radar	\$800 M

Decadal Survey, National research Council, 2007

Ecole d'été Lidar géophysique, Aspet, 23 juin-2 juillet 2010

En résumé

LITE : MISSION PROBATOIRE 1 semaine en 1994

ALISSA : MISSION PROBATOIRE URSS-France QUELQUES jours en 1998

GLAS : 1ere MISSION ATMOSPHERE/SURFACE

1^{ère} période : 1 mois en Octobre 2003

10 ans

CALIPSO : 1ere période : juin 2006 – mars 2009

2eme période : mars 2009 → 2014 ???

EARTHCARE : 2014 – 2019

ACE : 2018 -

Possibilité d'avoir une longue série d'observation et envisager des systèmes opérationnels ... qui aideront à maîtriser les changements de systèmes pour mieux comprendre le nôtre (la Terre !) ...

MERCI
de votre attention