

La télédétection laser pour l'étude des atmosphères, des surfaces continentales et de l'océan

J. Pelon



Le sondage par télédétection laser : Lidar (Light Detection and Ranging)

Analyse des propriétés structurelles et optiques d'un milieu dans sa profondeur sans le perturber : **mesure résolue en distance**. Elle est effectuée par

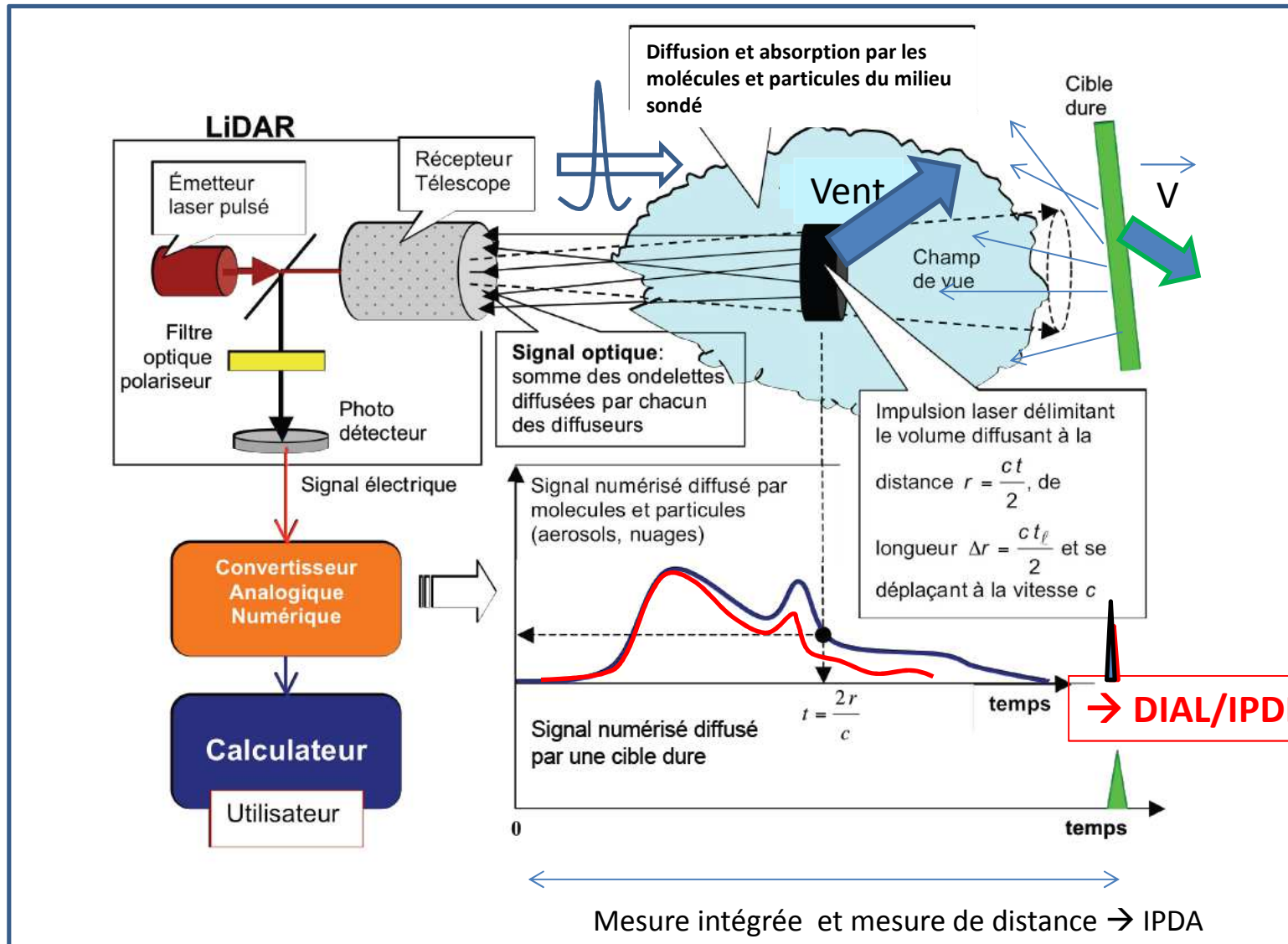
- analyse temporelle et spatiale (4D) de l'interaction de la lumière émise avec la matière des cibles
- mesure d'intensité ou d'amplitude/phase à la longueur d'onde émise ou analyse spectrale plus détaillée (séparation des contributions par interférométrie, par ex. HRS)

Cible « dure » : mesure de télémétrie (pas à proprement parler lidar), application en altimétrie et topographie (bathymétrie)

Cible « molle » : atmosphère, océan, surface diffusante

On utilise en général une source laser à impulsions, mais comme pour le radar une source continue à modulation de fréquence est aussi possible

Principe de la mesure LIDAR (rétrodiffusion Doppler, DIAL)

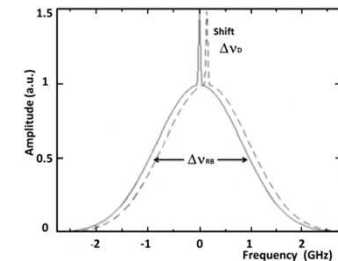


Méthodes de mesure par LIDAR

Analyse des propriétés structurelles et optiques par

- Analyse de la l'interaction de la lumière émise avec la matière des cibles
- Mesure d'intensité ou d'amplitude/phase à la longueur d'onde émise
- Sans/avec analyse spectrale détaillée (séparation des contributions, doppler)

Diffusion élastique (même longueur d'onde émise et reçue) :
diffusion Rayleigh et Mie (atmosphère), réflexion diffuse
ou non :
diffusion Brillouin, Raman, Fluorescence, ...



Mesures/analyses multi-spectrales (HRS, DIAL, IPDA, + Raman, + ...)

On utilise en général source laser à impulsion, mais comme pour le radar une source continue à modulation de fréquence est aussi possible

Atmosphères terrestres et planétaires
 Surfaces continentales (topographie et biosphère)
 Océans (dynamique et production biologique)

Paramètres clés GES et Aérosols
 Physico-chimie et rayonnement

Paramètres clés Aérosols/Nuages/Météo
 Dynamique/rayonnement
 + Surface et océans

DIAL
 (Haute Energie
 Basse cadence)

DIAL
 (Basse Energie
 Haute cadence)

Lidar rétrodiffusion et DIAL

Haute
 Energie
 BC

Basse Energie
 HC

Système
 Orbital ou aéroporté

Système
 Aéroporté ou sol
 compact

Système
 Orbital ou
 aéroporté

Système
 Aéroporté ou
 sol compact

Technologie sources laser solide NIR
 (OPO, diodes ...)

Technologie sources laser solide Nd-XX
 OU
 NIR (OPO, diodes ...) (H2O)

1.5 – 2.5 μm
 Détection directe
 (DD)

0.8 – 10 μm
 Détection Het. (HD)

0.5-2 μm
 Det. Directe
 (DD) + HRS

1.5-2 μm
 Fibré NIR +
 DD/HD

1 à 2 μm
 +/-DD/HRS ou
 Fibré/Het

Besoins :
 Source OPO
 Haute efficacité/
 détecteurs

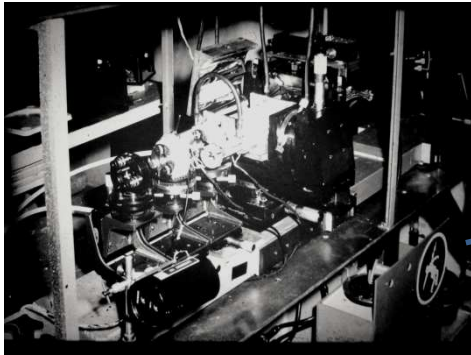
Besoins :
 Sources
 laser/détecteurs

Besoins : Source
 Haute efficacité
 Détecteur DD +
 HRS

Besoins : lasers
 fibrés
 + détecteur DD

Besoins : source
 + HRS ou lasers
 fibrés +
 détecteurs DD

Au départ, en France (70's)



Etude de la dynamique mésosphérique à partir du sol (OHP) ... quelques groupes internationaux

Adéquation de la source laser et du lidar aux objectifs

Grande évolution/essaimage au niveau national (laboratoires)
Et international (projets/groupes/applications développement industriel, ...)

Industrie

« The lidar Gold Rush » ...
« LiDAR Market Continues To Percolate »
Semi-conductor Engineering
Juin, Sep. 2017



Pour la recherche

- Météorologie et climat (hCLA, H₂O, nuages, T, ...)
- Physico-chimie de l'atmosphère /GES (O₃, CH₄, CO₂...)
- Etudes, locales, régionales, globales
- ...
- Réseaux d'observations (surface)
- Campagnes coopératives (moyens aéroportés)
- Observation spatiale

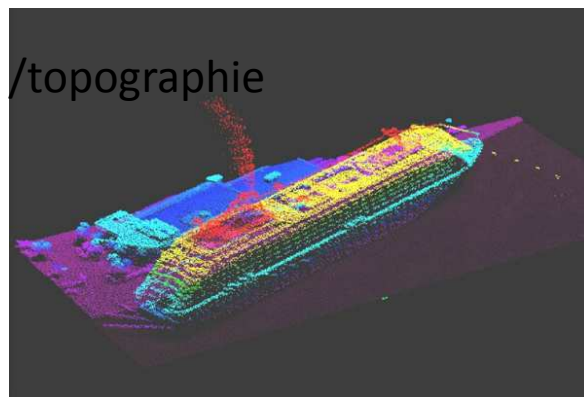
Quelques illustrations

- 1) Mesures Lidar depuis la (sub)surface
et mesures aéroportées

Océan : Une évolution rapide des moyens développés

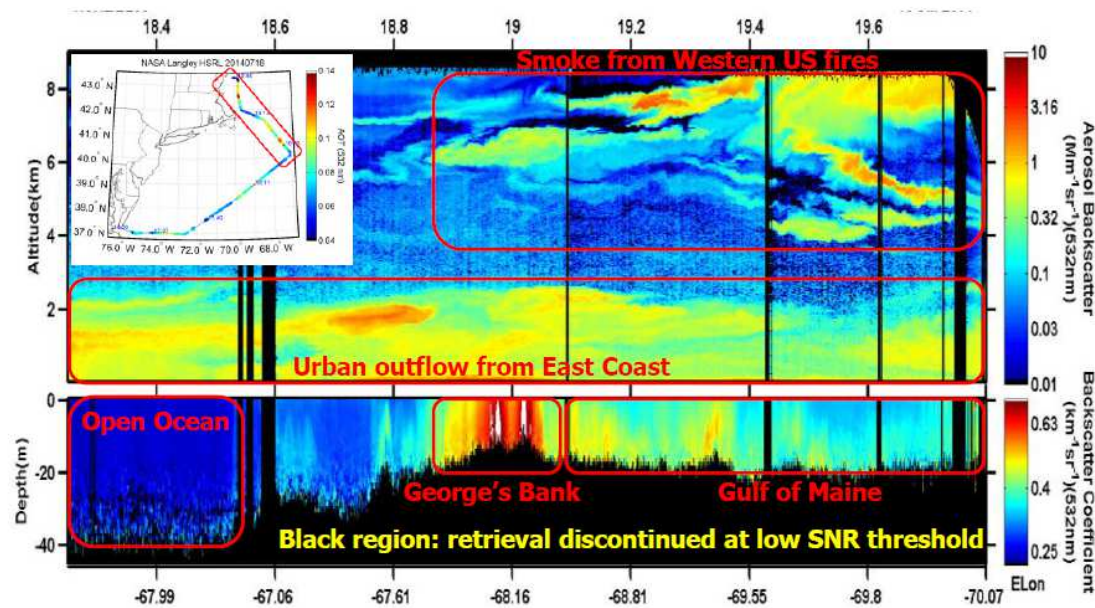


Imagerie /topographie



A cruise vessel with underwater part acquired by CZMIL Lidar system using Bright Solutions Lasers (courtesy Optech Inc).

BLIDAR, bouée de mesure météo-océanique consortium (Eolfi, NKE, Ifremer, Irseem)



Lidar aéroporté, Hair et al., 2016, NASA/LaRC

Réseau Arctique : un besoin pour l'étude des processus d'interaction dans une région en plein changement

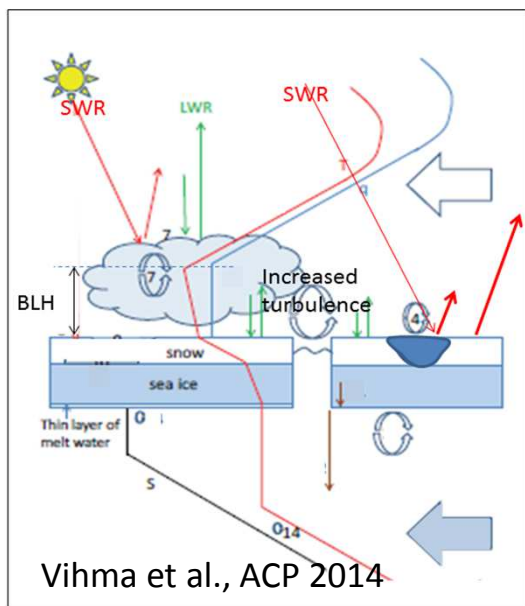
LOCEAN/LATMOS

Operational Models

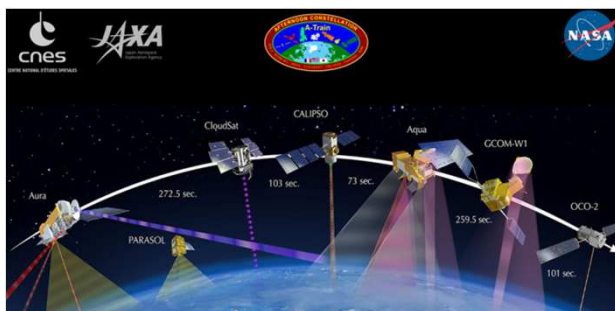
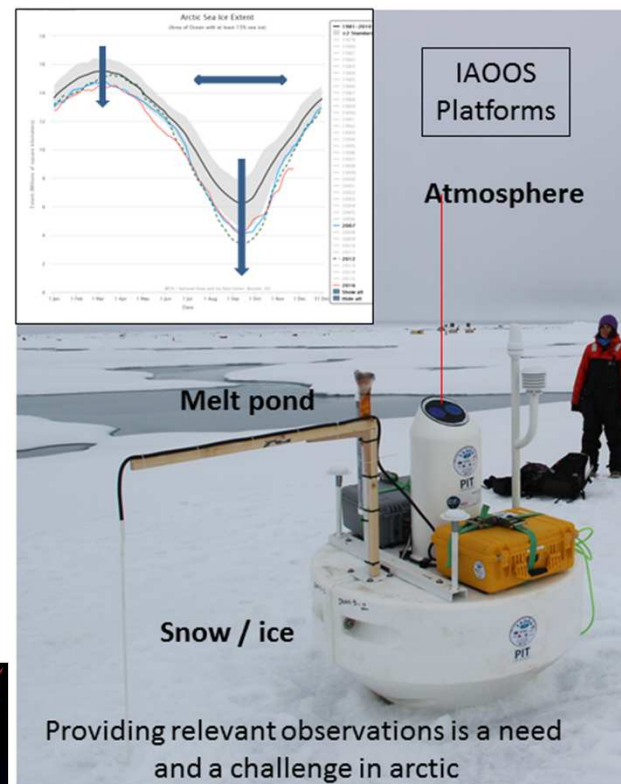
- poor representativeness
- lack of input data (p, T, U, V, clouds, radiation, salinity, ...)
- parameterizations of critical processes at the snow/ice interface to analyze energy transfer

Satellite data

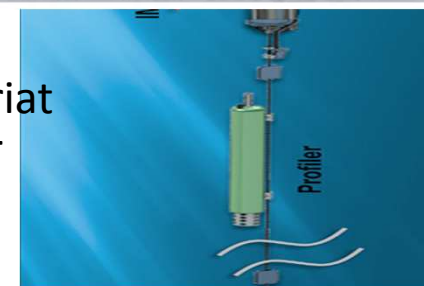
- Large scale inputs
- Validating /understanding
- Scaling up



→ Need arctic network to perform regular observations in the three Atm/Snow-ice/Ocean media and linked to space observations



Partenariat
INSU/DT
IPEV
ICARE

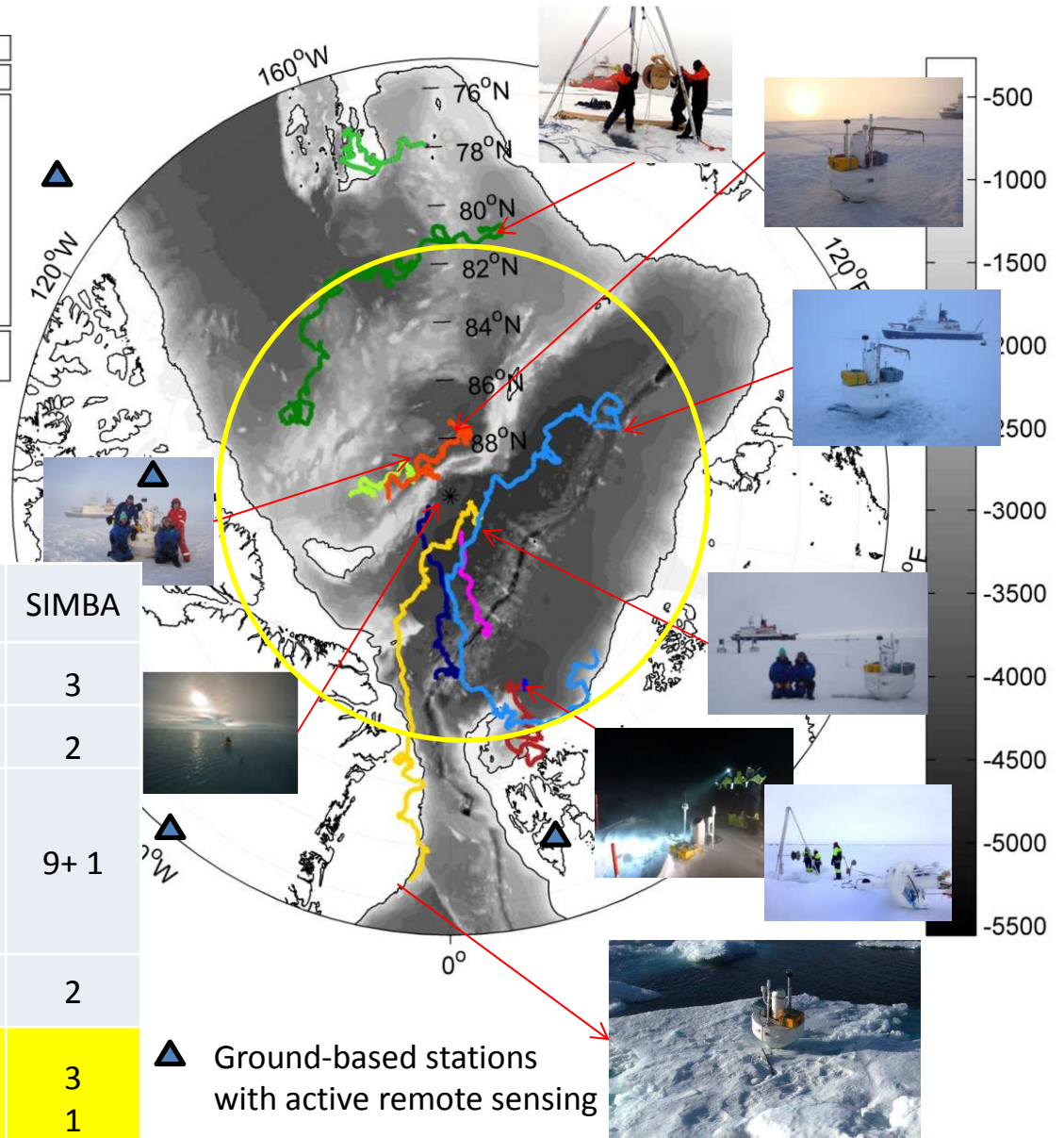


IAOOS : 16 DEPLOYMENTS, 10 planned in 2018, 2019

International
project
MOSAIC
AWI/NOAA

✓ 4 platforms recovered

Barneo2013	IAOOS 04
Barneo2014	IAOOS 05
N-ICE2015	IAOOS 07-09
	IAOOS 11
Araon2015	IAOOS 14
	IAOOS 15
Polarstern 2015	IAOOS 16
	IAOOS 17
	IAOOS 18
Araon2016	IAOOS 19
	IAOOS 20
	IAOOS 21

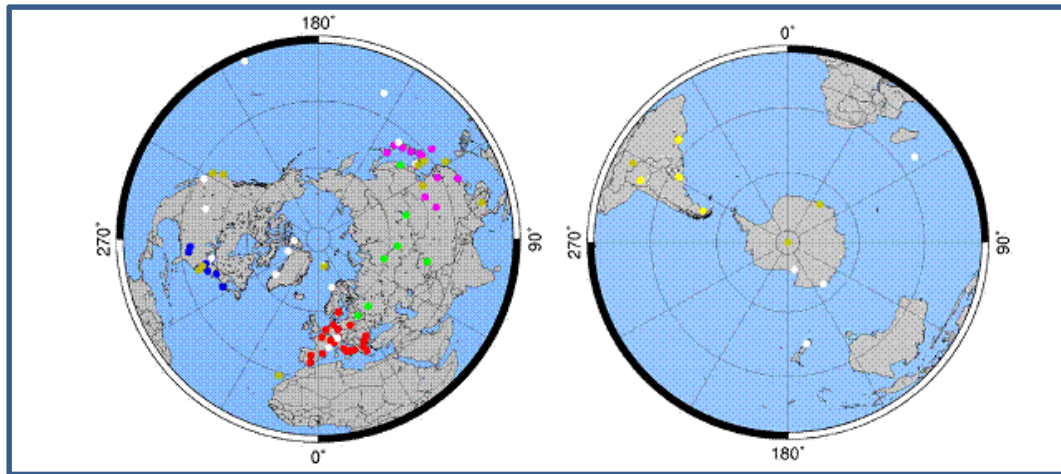


Year	Expedition	Profiler	Atmos	SIMBA
2013	North Pole IC, Russia	1		3
2014	North Pole IC, Russia	1	1	2
2015	North Pole IC, Russia N-ICE IC, Norway Araon IB, Korea Polarstern IB, Germany	3+2+4=9	9	9+ 1
2016	Araon IB, Korea	2	2	2
2017	North Pole IC, Russia. Araon IB, Korea	2 1	2 1	3 1

Réseaux Lidar (hors ceilomètres) (Aérosols/pollution, ...)

ICOS → CLA

GALION: Global Atmospheric Watch (GAW) Aerosol Lidar Observations Network



GALION partners

[Asian Dust Network \(AD-Net\)](#)

[Latin American Lidar Network \(LALINET or ALINE\)](#)

Atmosphere aerosol and ozone monitoring in CIS regions through lidar stations network ([CIS-LiNet](#))

[European Aerosol Research Lidar Network \(EARLINET\)](#)

[Micro-Pulse Lidar Network \(MPLNET\)](#)

[Network for the Detection of Atmospheric Composition Change \(NDACC\)](#)

[The NOAA Cooperative Remote Sensing Science and Technology \(CREST\) Lidar network \(CLN\)](#)

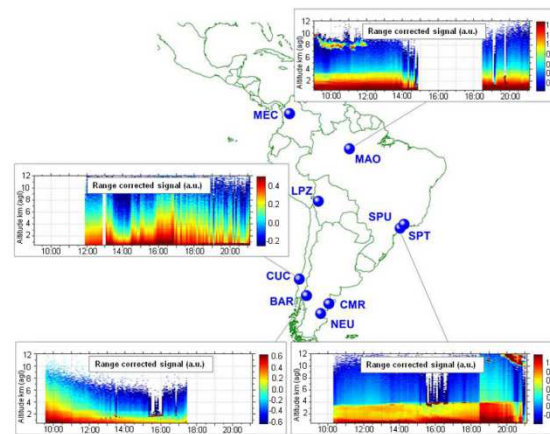
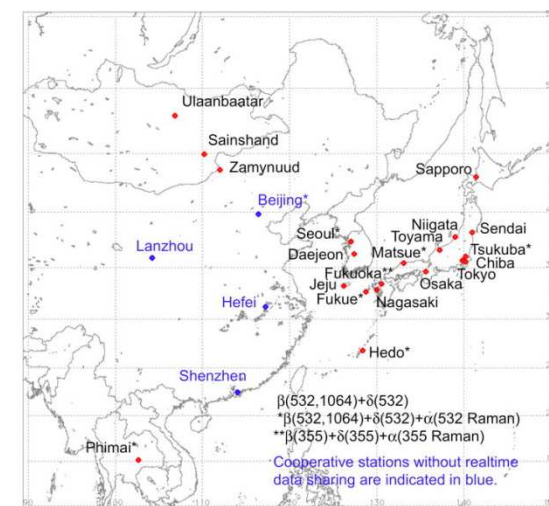
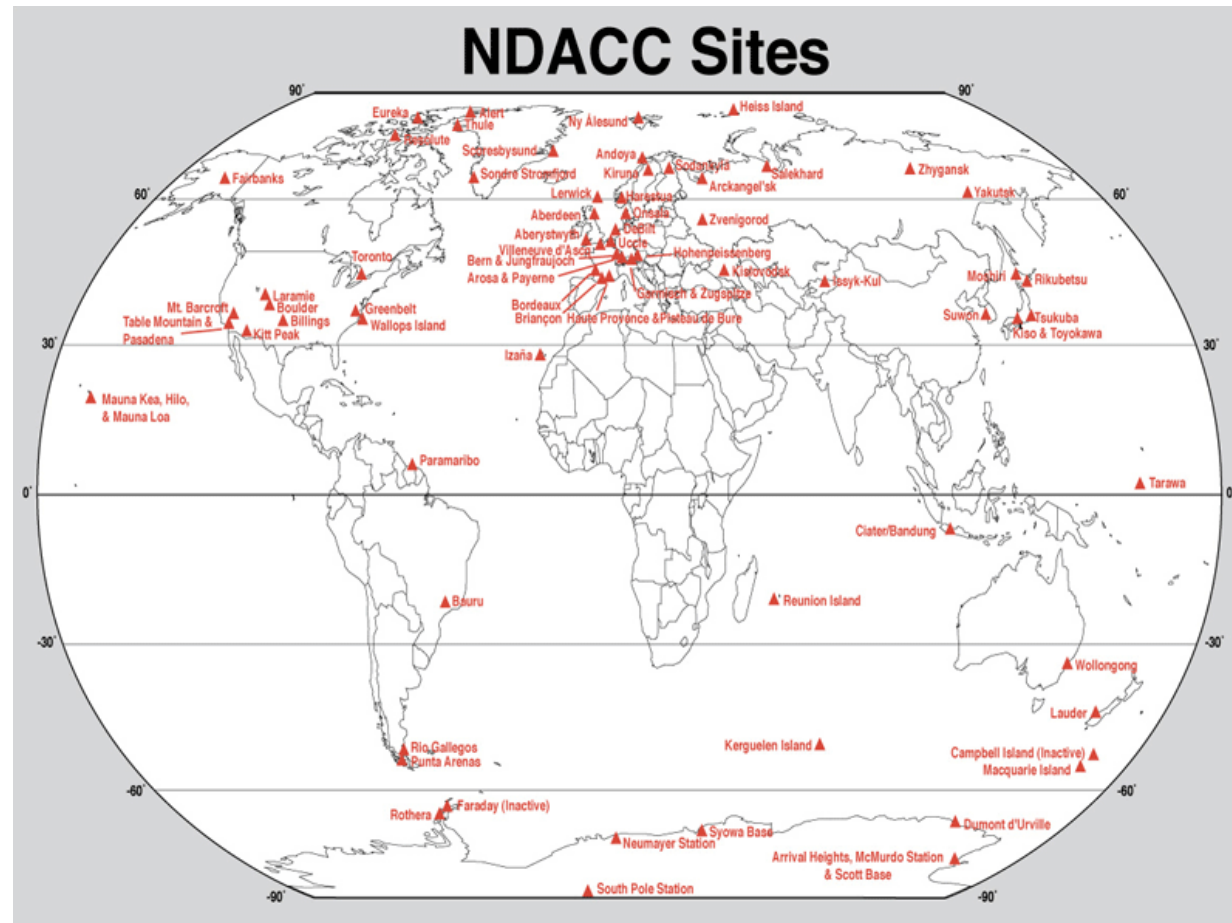


Fig. 1. LALINET Lidar stations with an example of network measurements performed on 12th September 2012 during a pilot field campaign.



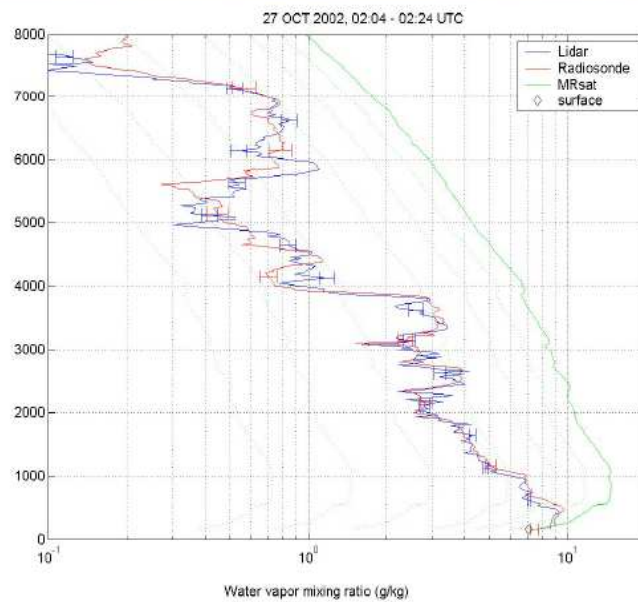
Network for the Detection of Atmospheric Composition Change



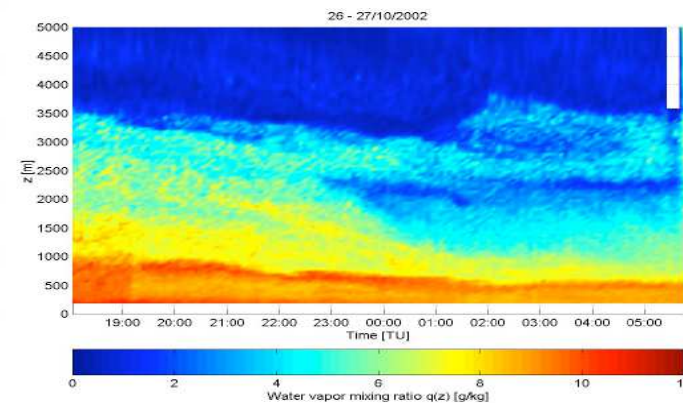
Début en 1991 (OHP et quelques autres). Plus de 70 stations de recherche pour **l'étude et la surveillance de la stratosphère et de la haute troposphère**

NDACC (<http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/>)

Météorologie/Géodésie : Analyse du champ de vapeur d'eau (Lidar Rameau)



Lidars Raman H₂O : LAREG/IGN + LATMOS + LSCE

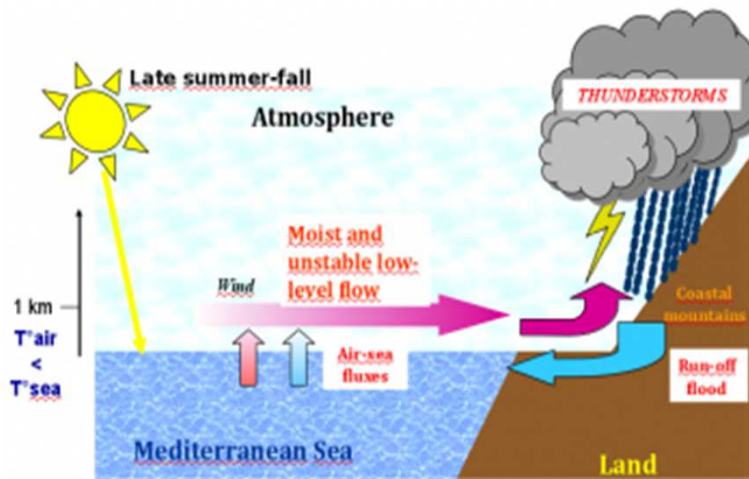


Bock et al., 2000

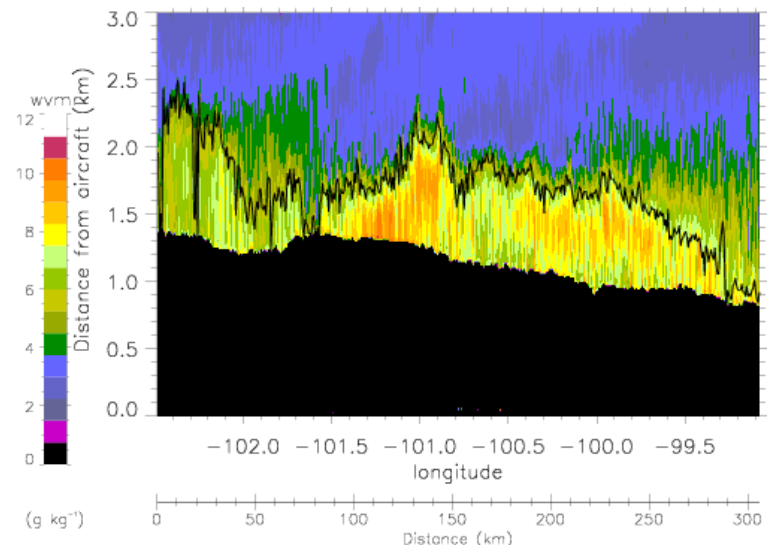
LEANDRE II : Mesures de vapeur d'eau : étude advection à meso-échelle, convergence, alimentation en eau des systèmes convectifs ...

Mesures aéroportées LII effectuées à bord du P3 de la NOAA pendant la campagne IHOP au dessus des grandes plaines américaines (2002), Flamant et al., 2003

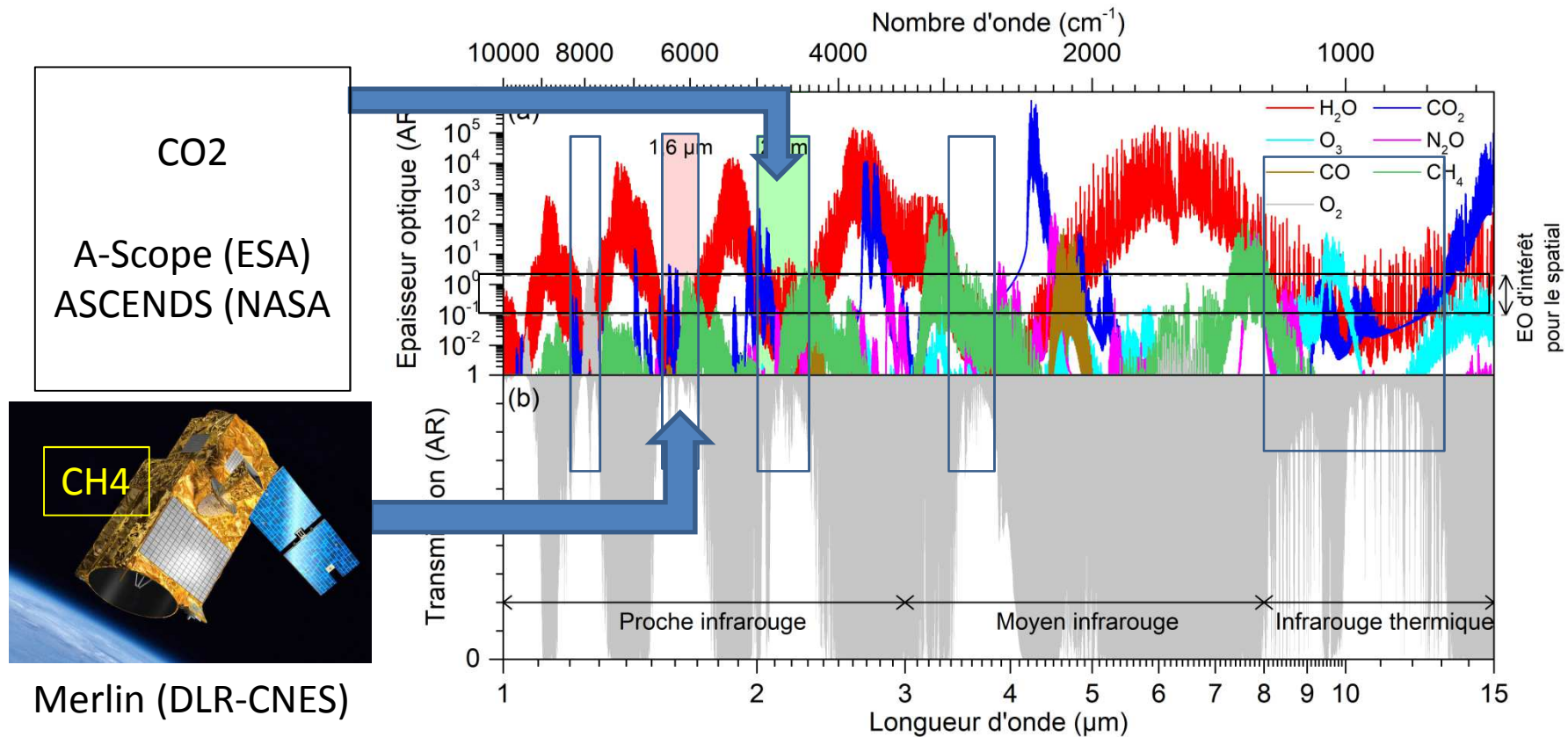
Confrontation à la modélisation,
Assimilation



Nombreuses autres campagnes, derniers vols dans le cadre de HYMEX



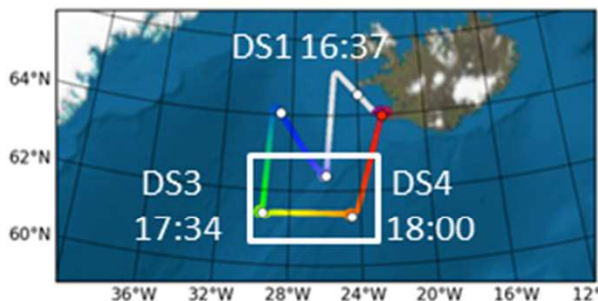
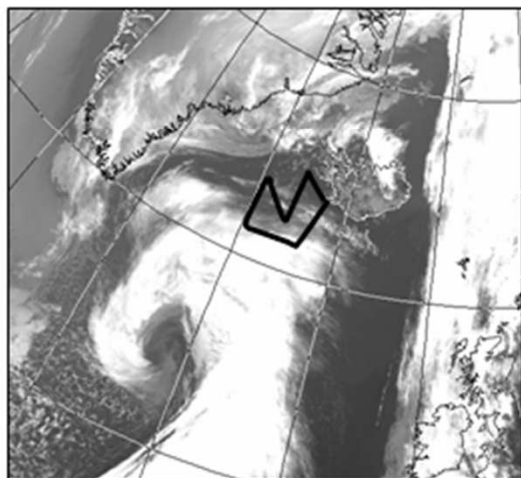
Mesures des gaz à effet de serre : un enjeu pour le futur (mesures par DIAL (IPDA) dans le proche IR)



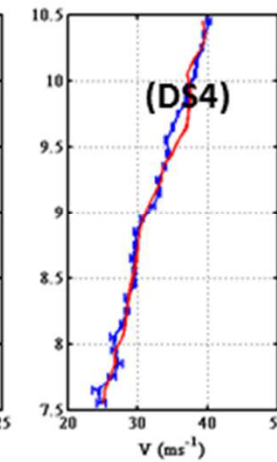
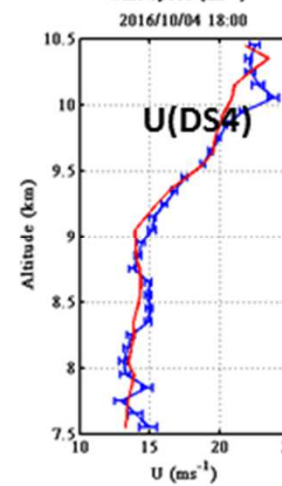
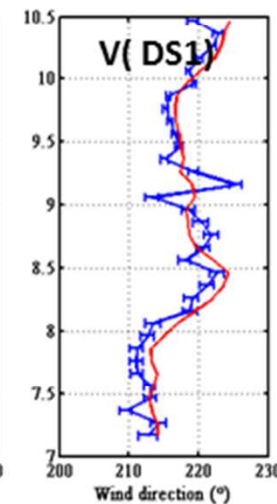
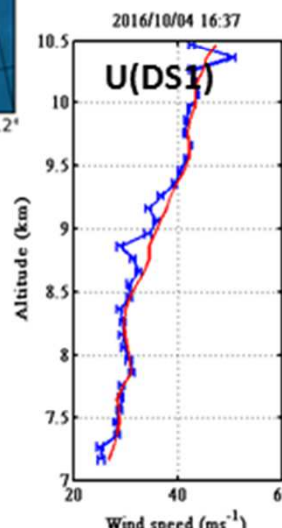
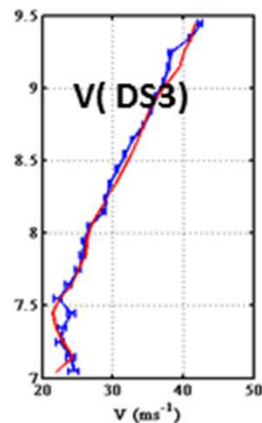
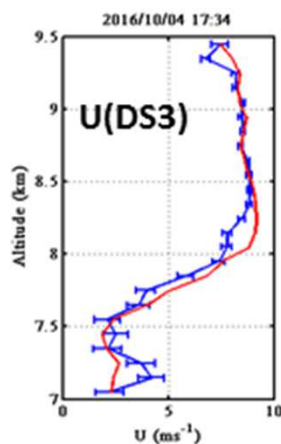
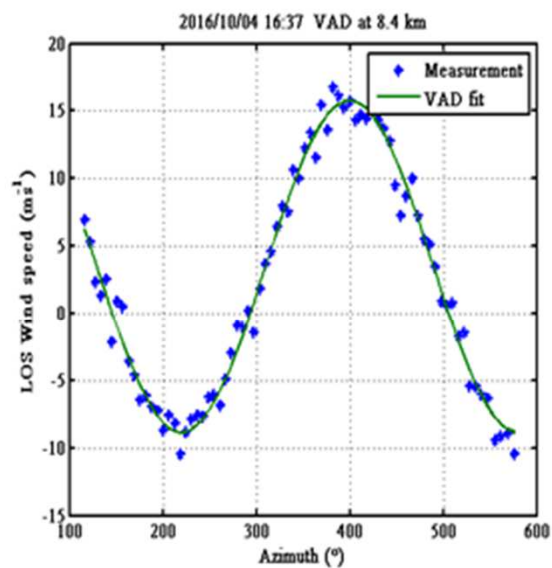
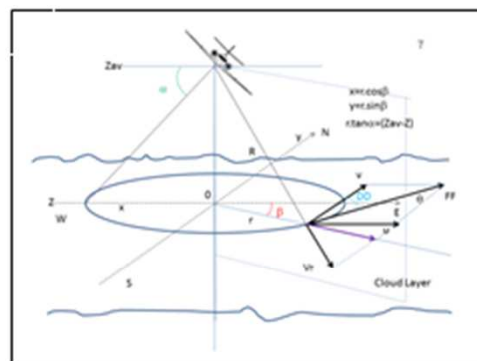
- Fenêtre atmosphérique possédant des raies d'absorption des espèces à mesurer
- Choix du domaine spectral en adéquation avec les sources laser « solides » (OPO) et l'efficacité de diffusion et de détection, ainsi que les bruits de mesure

Mesures de vent par lidar Doppler HSRL en détection directe (LNG/RALI sur F20)

LNG Flight 8 October 4th



NAWDEX 2016



Configuration RALI, permet de bénéficier de la complémentarité radar + lidar

Missions spatiales



LA MISSION LITE (1994)

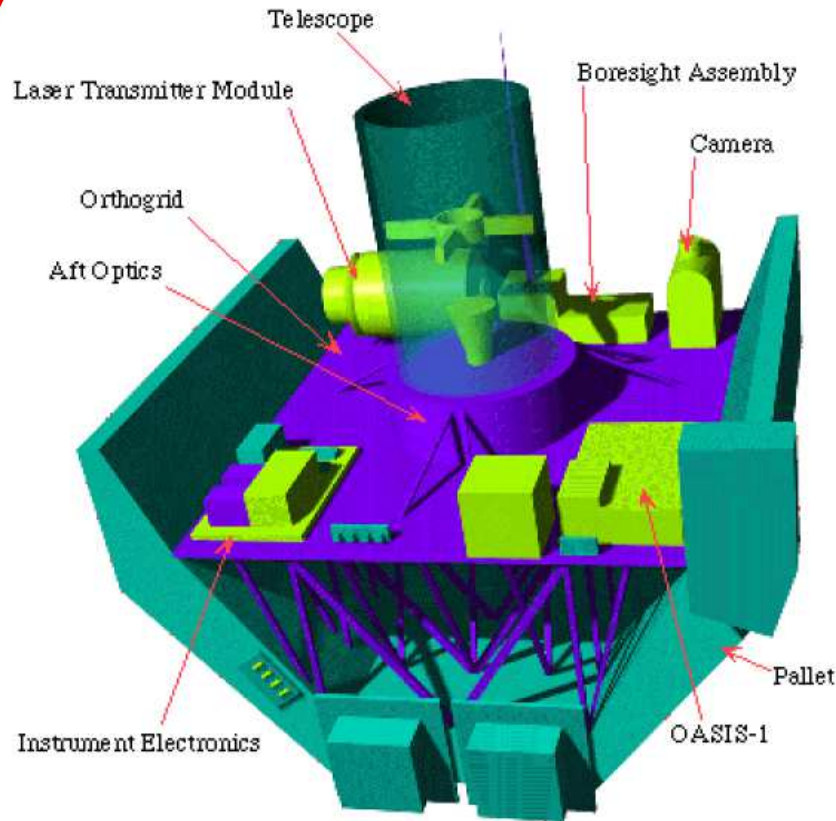


TABLE DES CARACTERISTIQUES

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)

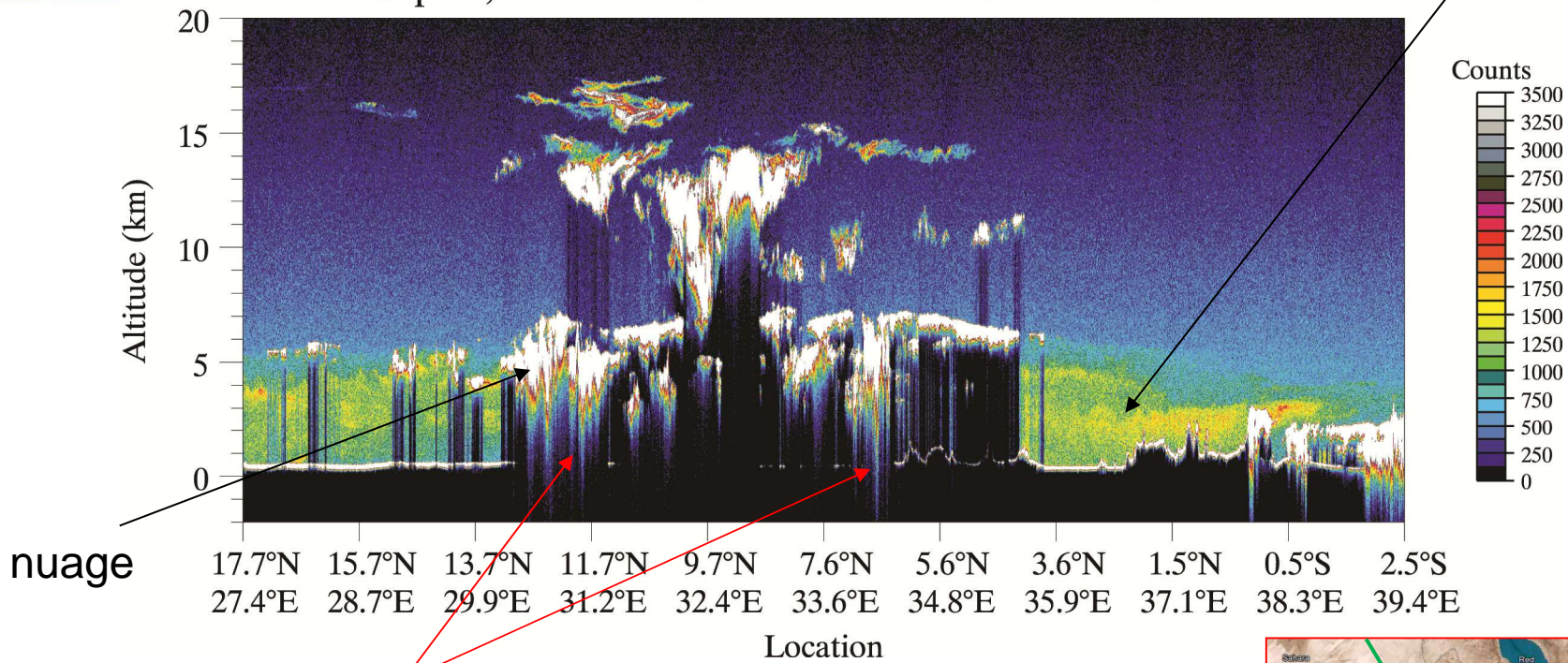
McCormick et al., 1999



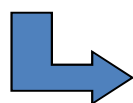
LA MISSION LITE : Une Première

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

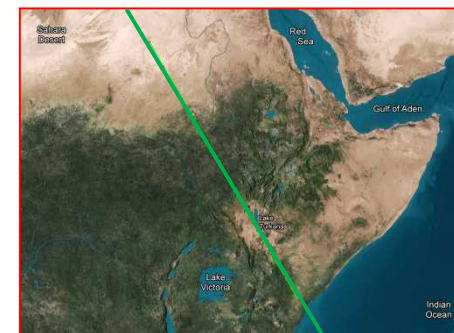
Aérosols désertiques



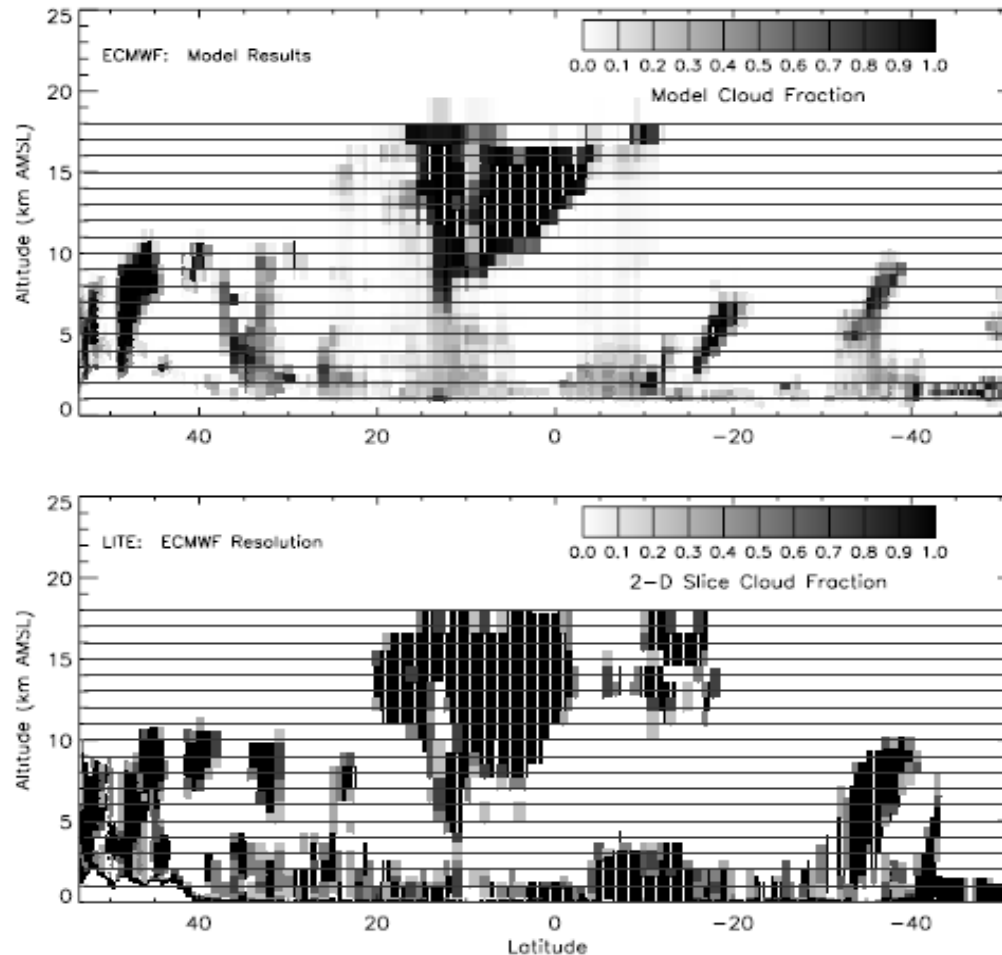
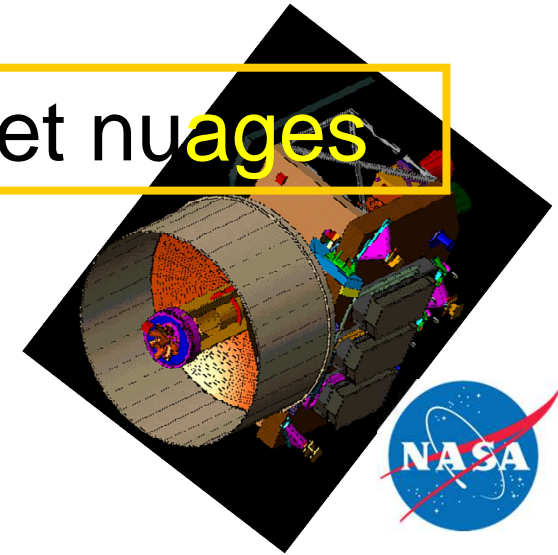
traîne



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



GLAS sur ICESAT (2002): hCL et nuages

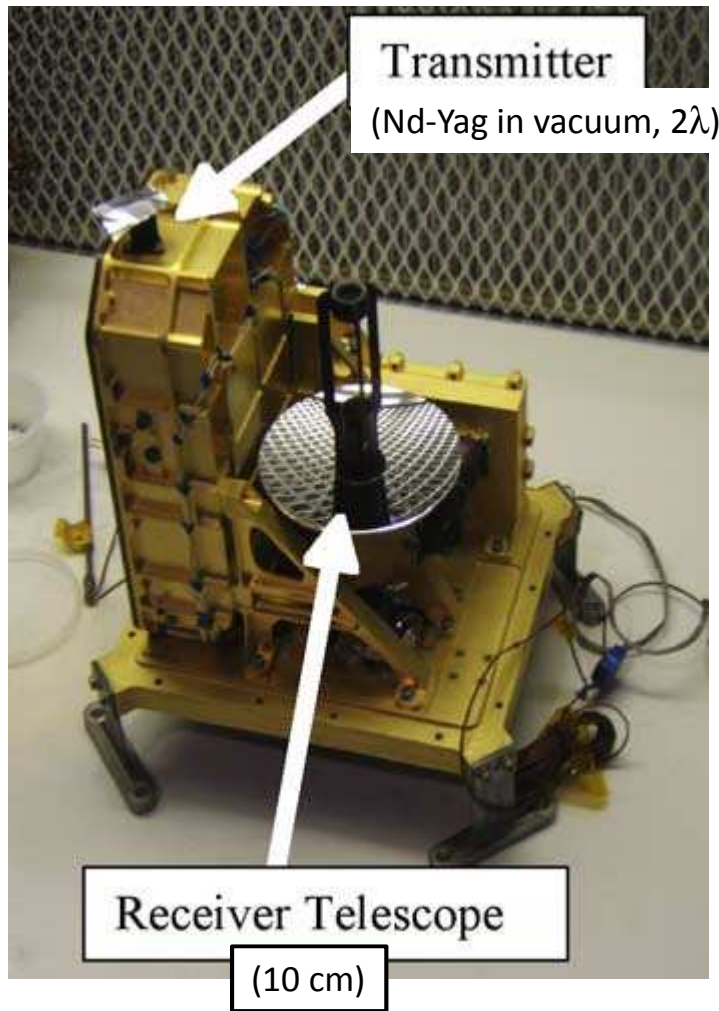


Première analyse
Comparative
Modèle (CEPMMT)
Vs Observations
Spatiales Lidar

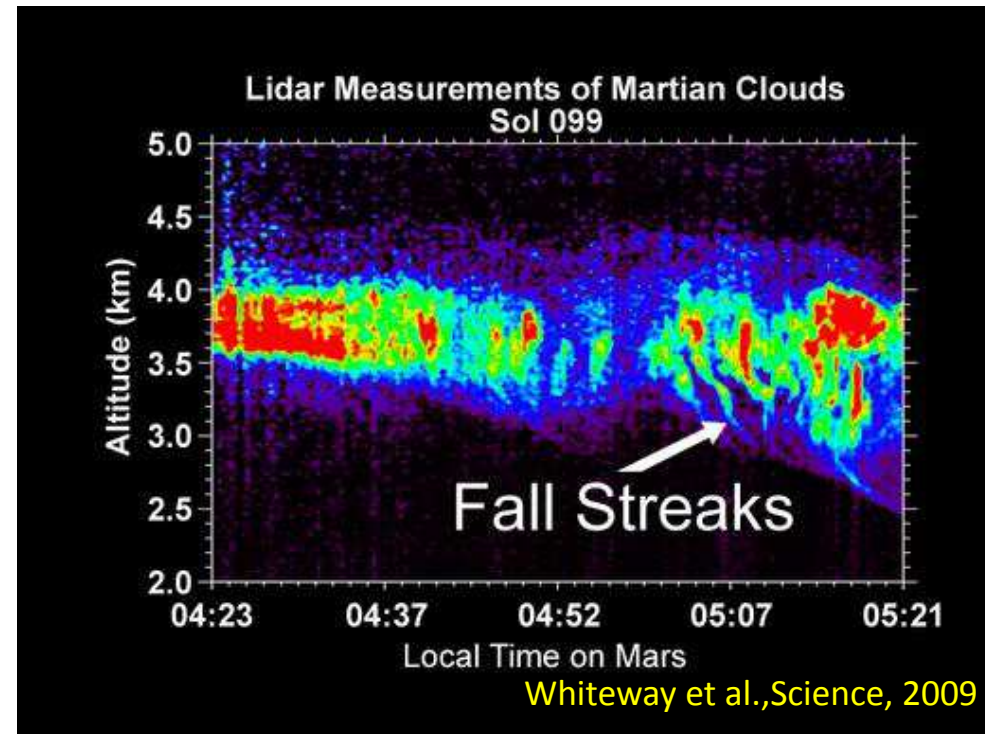
Miller, Stephens and
Beljaars GRL, 1999

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

Structures nuageuses sur Mars : la mission Phoenix de la NASA (2008)



Whiteway et al., JGR, 2008



The Canadian-built lidar aboard NASA's Phoenix Mars Lander produced this graphic of a profile of a Martian cloud on the 99th sol, or Martian day, of the mission (Sept. 3, 2008). The vertical streaks at the base of the cloud on the right of the image show ice crystals falling from the cloud, similar to snow. The streaks are curved as the winds are faster around 3 kilometers (almost 2 miles) than at higher altitudes. Scientists are able to determine that the snow is water-based and not carbon-dioxide snow, since temperatures on Mars are currently too warm to support the latter.

CALIPSO Weekly Performance (Laser # 1)



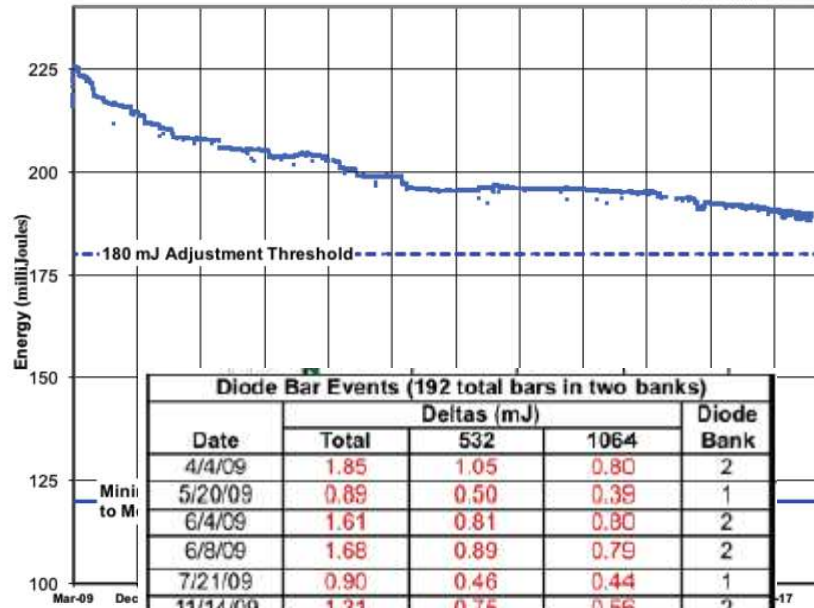
October 05, 2017

Laser #1 Shots On-Orbit: 5.02 Billion
Total Laser Shots On-Orbit: 6.63 Billion
Total Light Emitted: 132.70s





Total Output Energy for the Redundant Laser

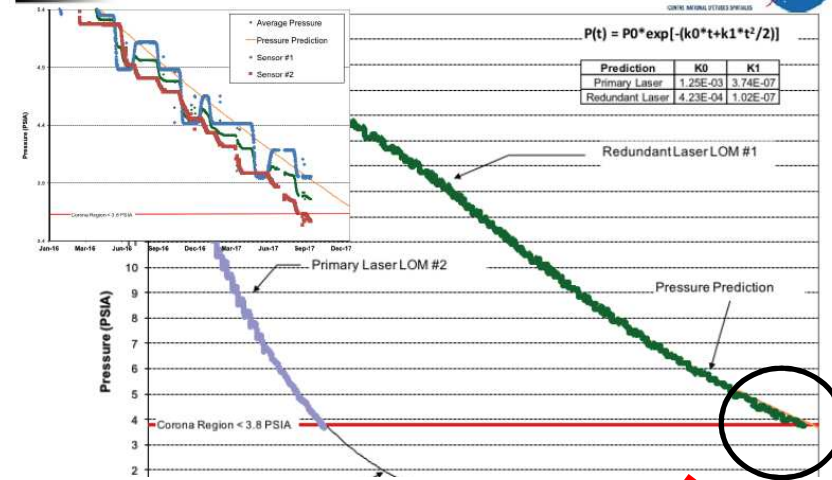


Diode Bar Events (192 total bars in two banks)

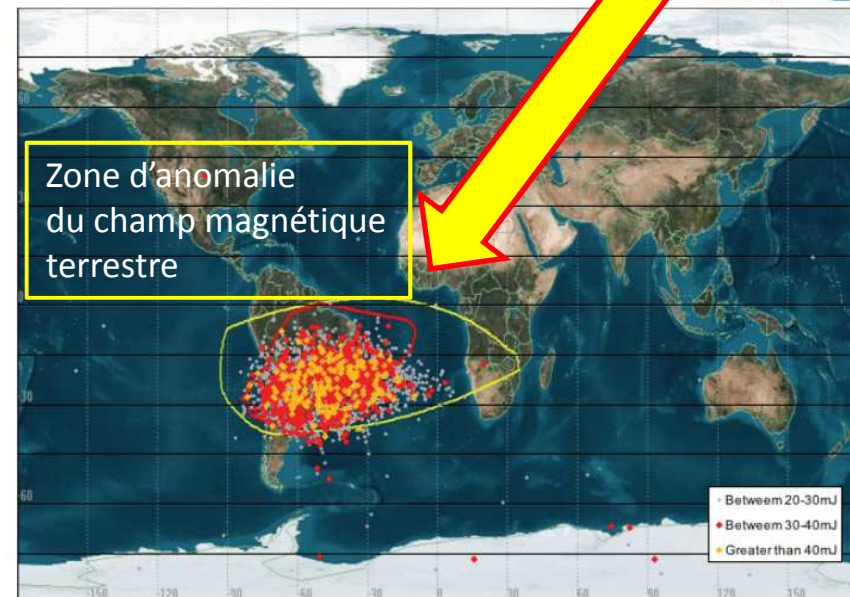
Date	Deltas (mJ)			Diode Bank
	Total	532	1064	
4/4/09	1.85	1.05	0.80	2
5/20/09	0.89	0.50	0.39	1
6/4/09	1.61	0.81	0.80	2
6/8/09	1.68	0.89	0.79	2
7/21/09	0.90	0.46	0.44	1
11/14/09	1.31	0.75	0.56	2
11/22/09	0.40	0.20	0.20	2
12/16/09	0.91	0.53	0.38	2
1/9/10	1.90	1.10	0.80	2
3/16/10	0.76	0.35	0.41	1
5/3/10	1.3	0.75	0.55	2
5/8/10	1.03	0.6	0.43	2
11/20/10	2.13	1.28	0.85	2
3/15/11	0.36	0.20	0.16	2
6/20/11	1.12	0.66	0.46	2
10/6/11	0.33	0.16	0.17	2
2/15/12	1.11	0.66	0.45	2
4/13/12	1.59	1.01	0.58	1
6/25/12	1.51	1.00	0.51	2
1/3/13	1.23	0.85	0.38	2
1/23/13	1.05	0.70	0.35	2
8/27/15	0.61	0.38	0.18	1
8/27/15	0.77	0.51	0.26	1
9/5/15	0.5	0.36	0.17	1
1/4/16	1.06	0.73	0.33	2
5/29/16	0.82	0.58	0.24	2
6/10/16	1.70	1.22	0.48	2
7/10/16	0.85	0.58	0.27	2



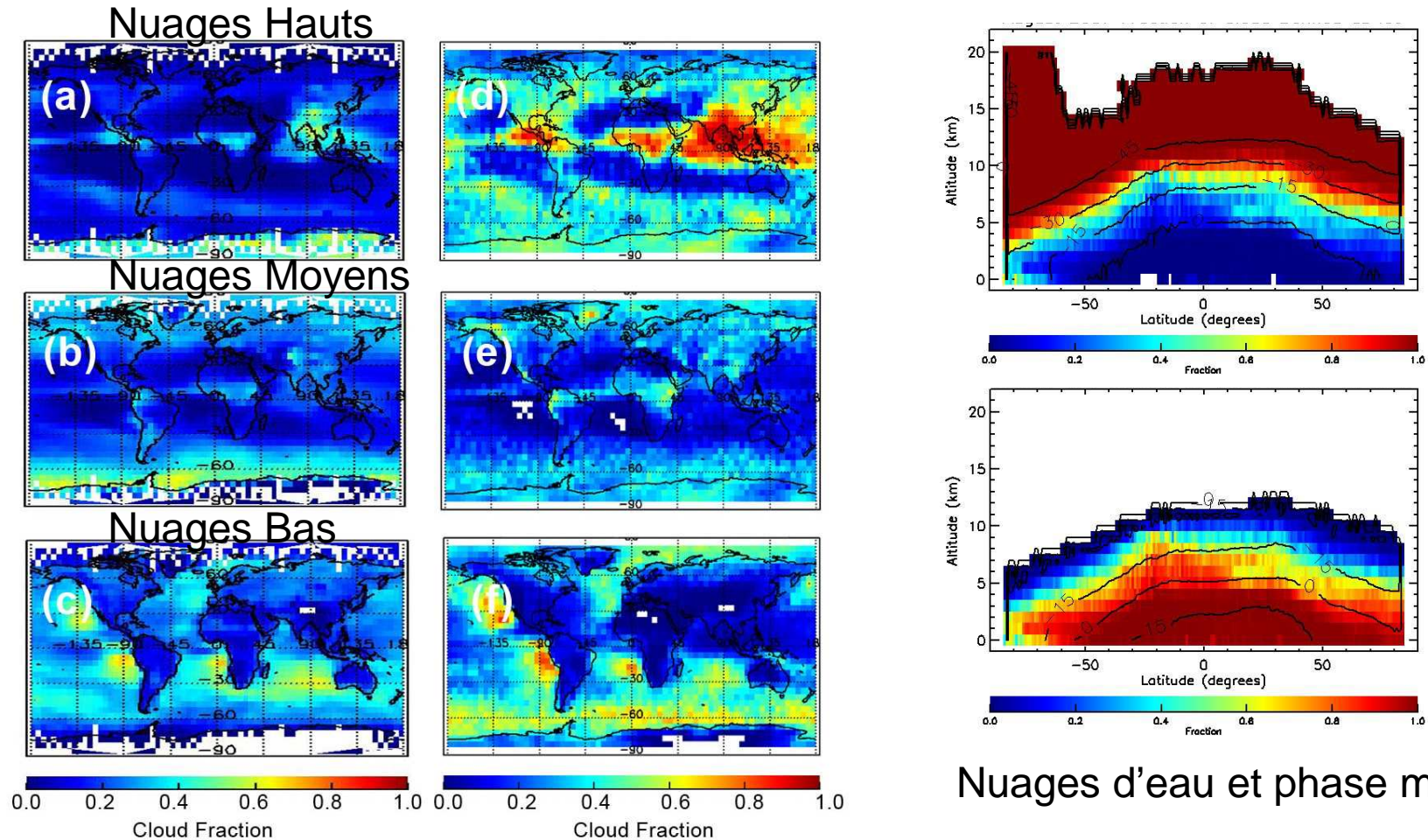
Laser Canister Pressures



Large Energy Drops



CALIPSO/CALIOP vs ISCCP



Nuages d'eau et phase mixte

Winker et al.,
BAMS, 2010

Comparaisons avec les modèles de prévision (CEPMMT)
Comparaisons avec les modèles de climat → AR5/GIEC

Systemes Lidar Spatiaux

Instrument	NRT?	Rating	Satellite	Orbit	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ACE Lidar		2	ACE (Aer.Clo.Eco.)											
3D-Winds Lidar		1	3D-Winds	TBD										
CATS		2	ISS CATS	51.6 °						X	X	X	X	
GEDI Lidar		3	ISS GEDI	51.6 °										X
ATLAS		3	ICESat-2	92 °								X	X	X
IPDA lidar		4	MERLIN	06:00 asc										X
CO2 lidar		4	ASCENDS	10:30 asc										
CALIOP	No	2	CALIPSO	13:30 asc	X	X	X	X	X	X				
ALADIN		1	ADM-Aeolus	06:00 desc							X	X	X	X
ATLID		2	EarthCARE	13:30 desc										X

Prochaines missions : ESA

Merci de votre attention

Questions ?