

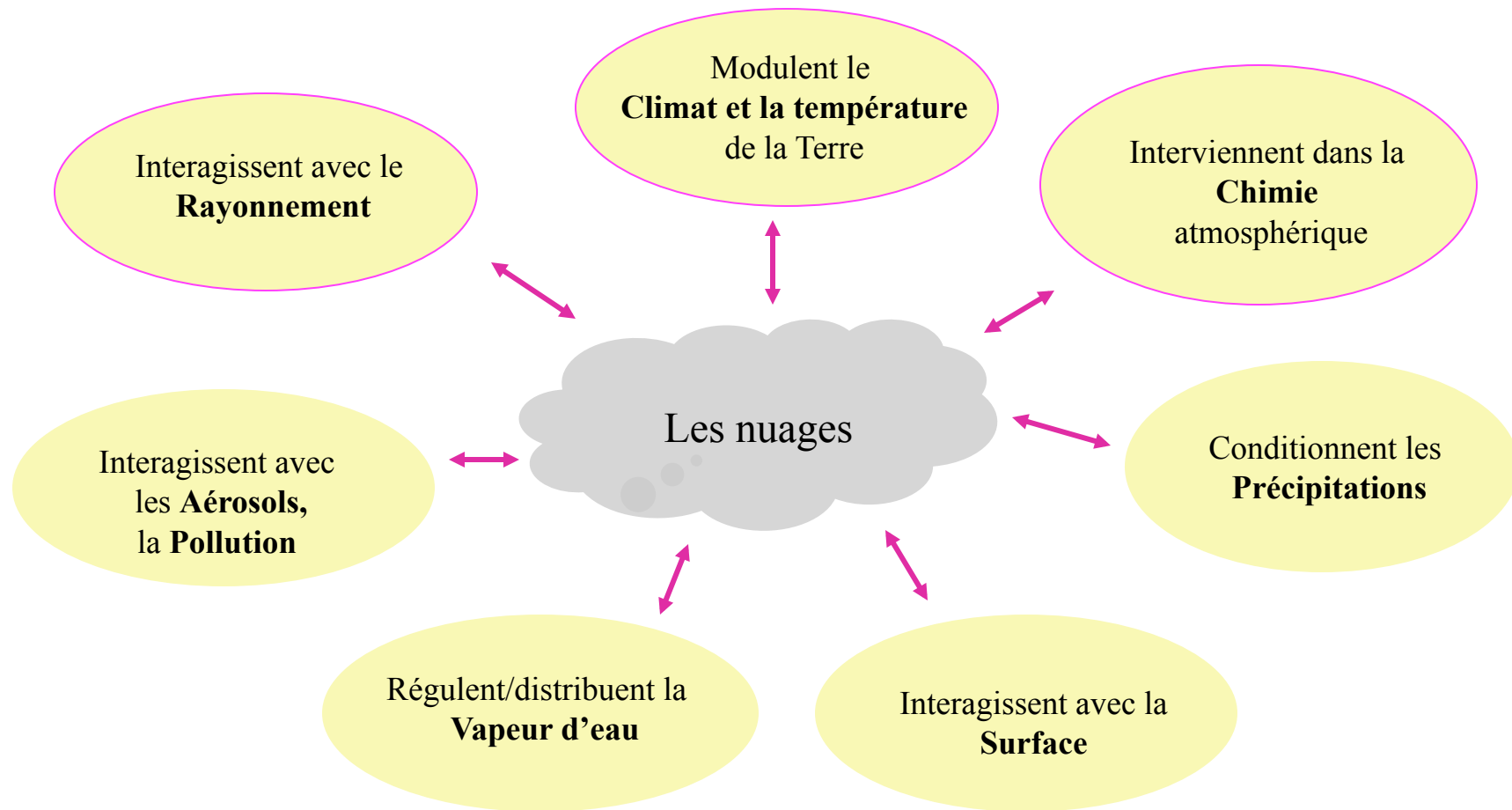
# Les nuages

Ecole d'été Lidar  
Juin 2010



H. Chepfer  
LMD/IPSL - Université Pierre et Marie Curie  
([Helene.Chepfer@lmd.polytechnique.fr](mailto:Helene.Chepfer@lmd.polytechnique.fr))

# Les nuages ... au cœur du système climatique

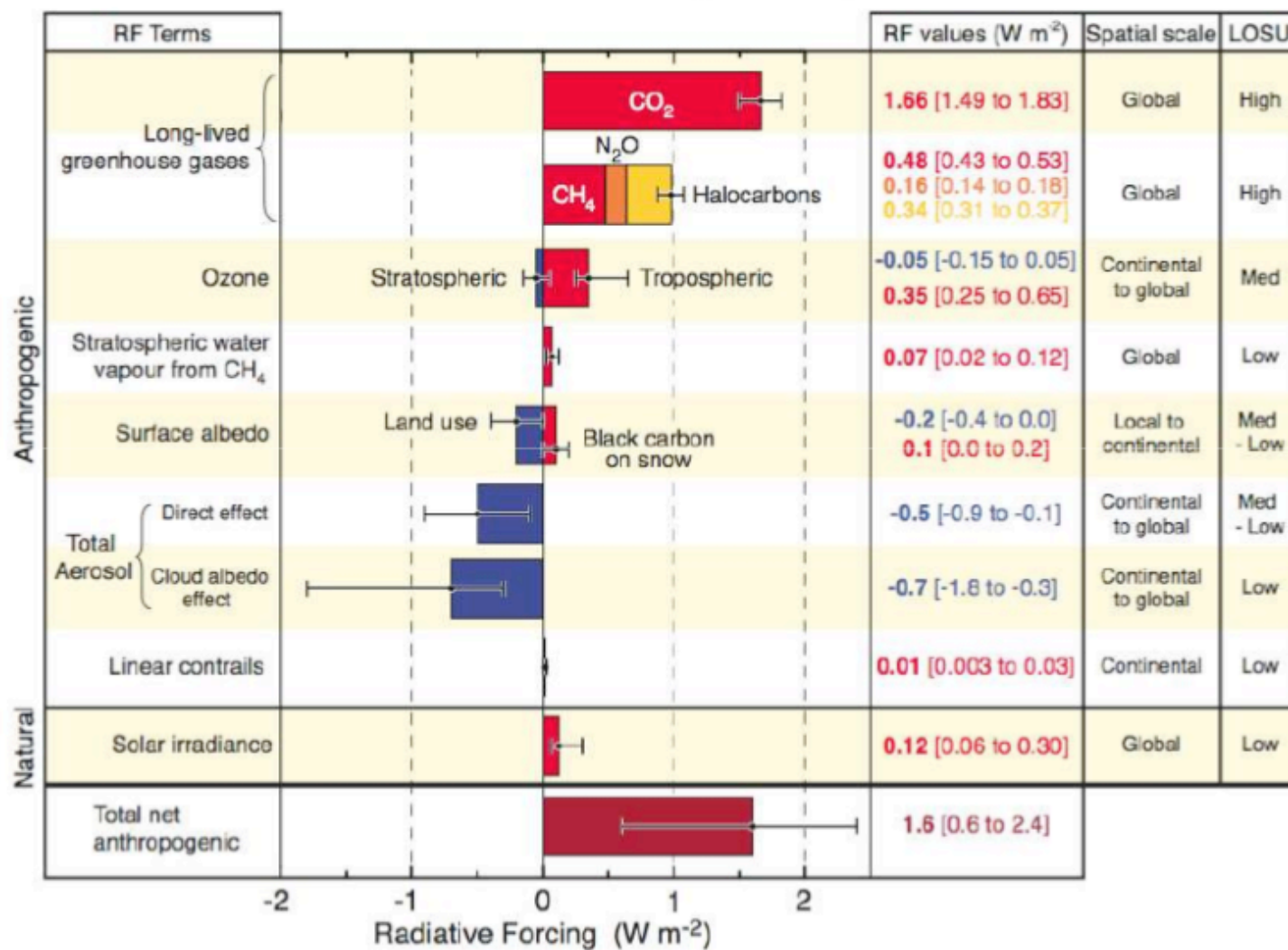


- Les processus nuageux sont complexes et mal compris -  
Les nuages constituent la principale source d'incertitude dans les prévisions d'évolution du climat de la Terre

# Les nuages : trace visible du cycle de l'eau atmosphérique

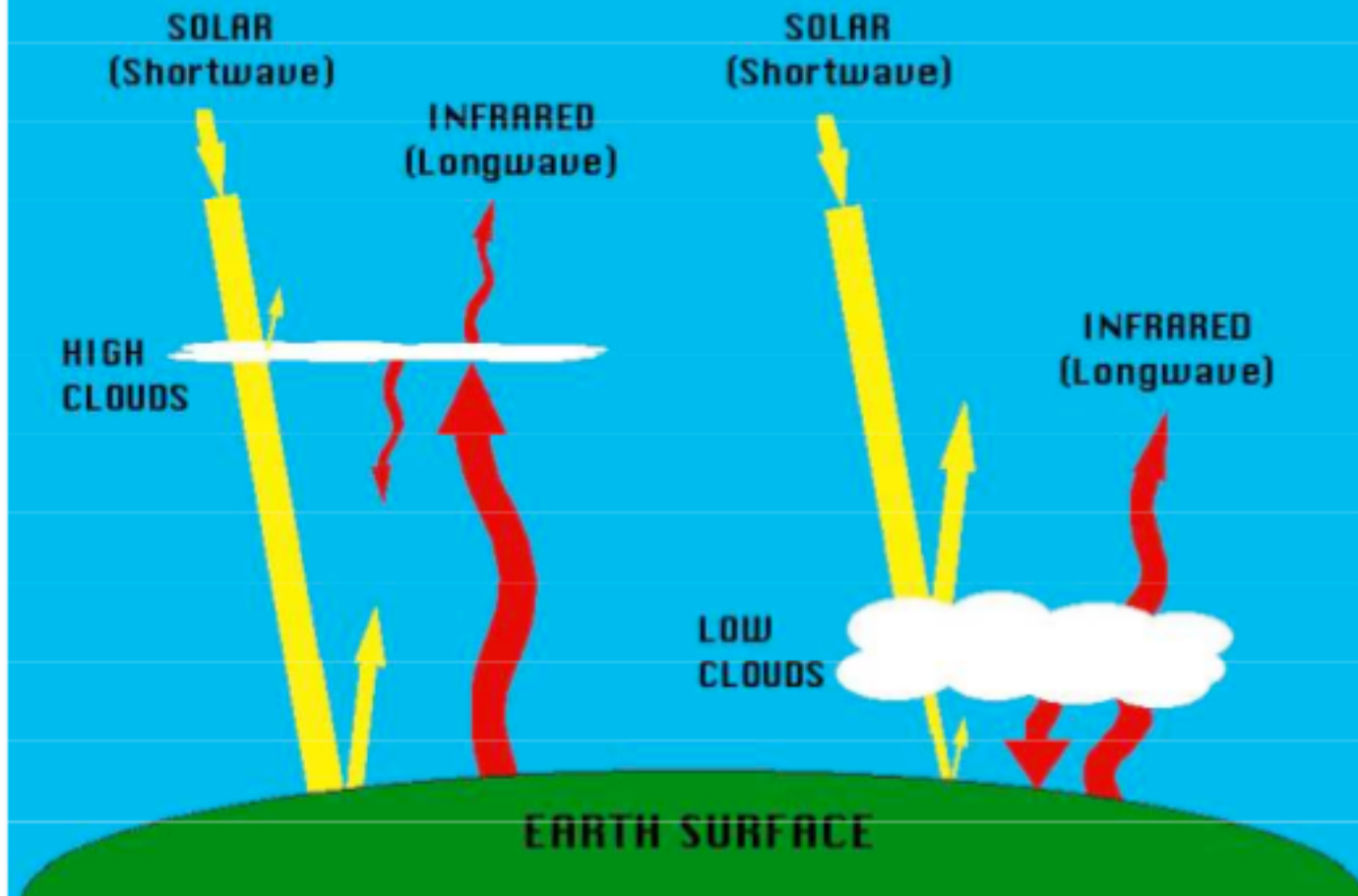
- Principaux modulateurs du climat de la Terre
- Acteurs majeurs du bilan radiatif de la Terre
- Éléments clés du cycle hydrologique
- Lieux de réactions chimiques
- Affectent le transport vertical et la redistribution des espèces dans l'atmosphère

# Forçage radiatif



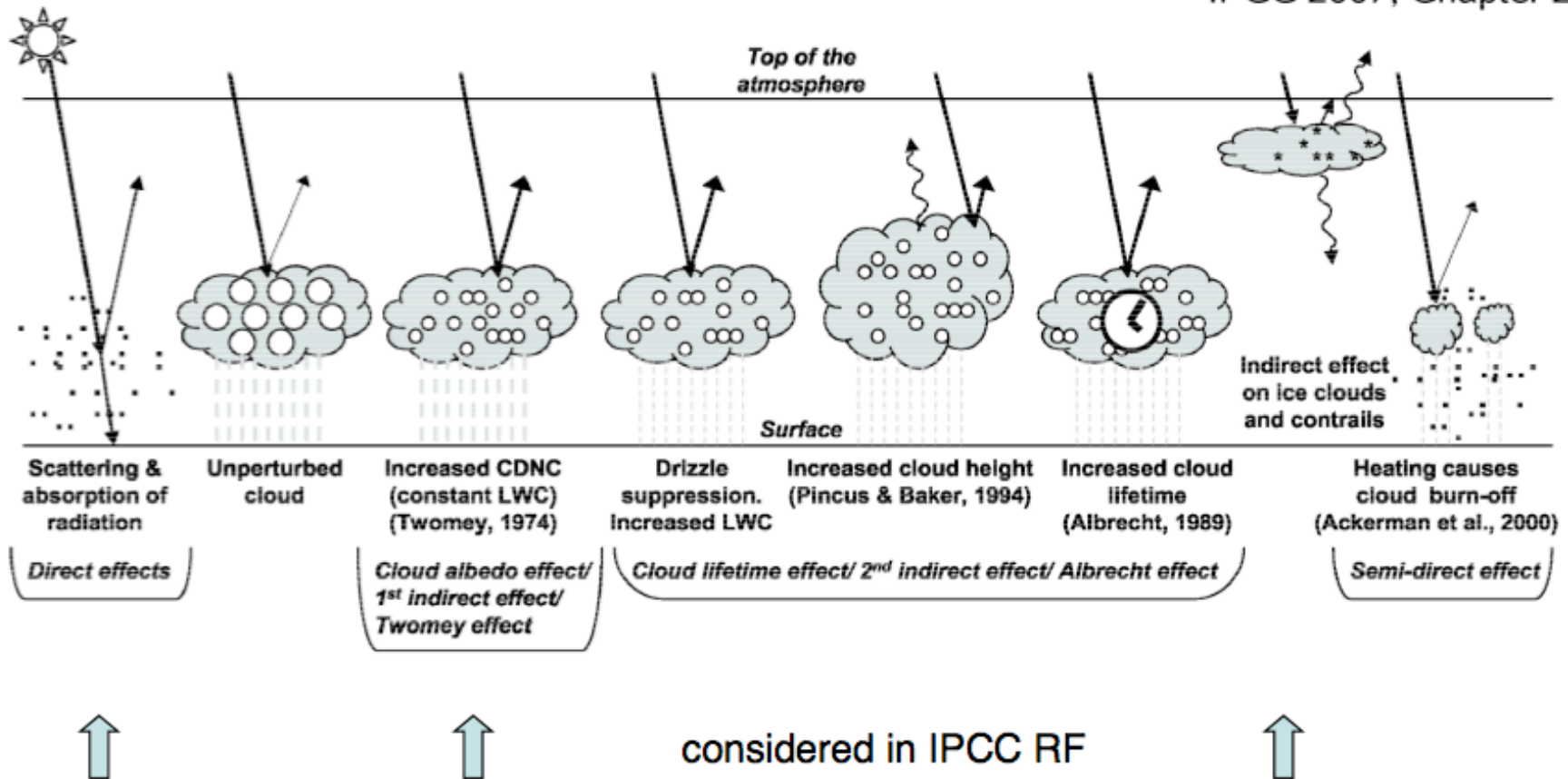


# CLOUD EFFECTS ON EARTH'S RADIATION

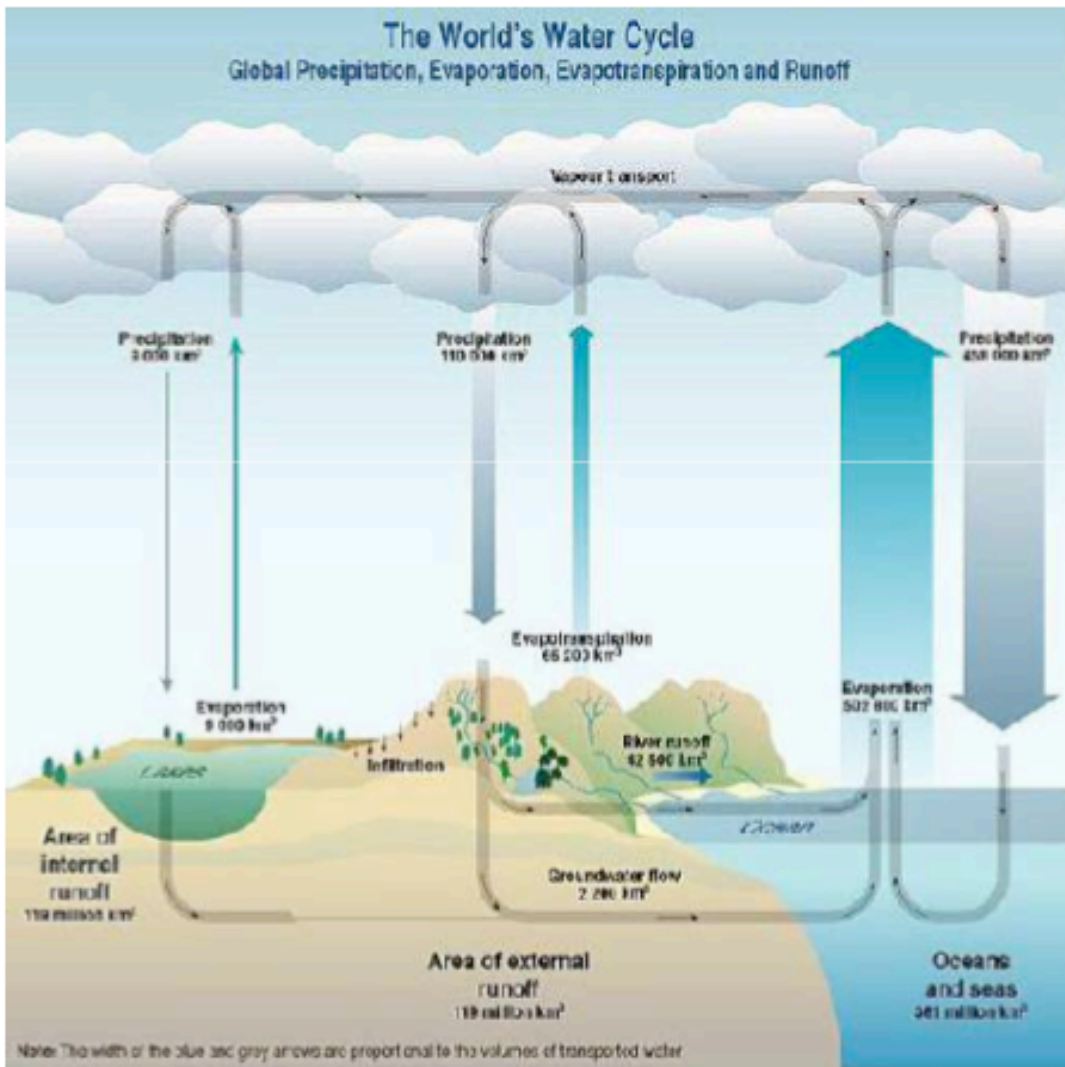


# Aérosols - Nuages - Climat

IPCC 2007, Chapter 2



# Cycle de l'eau



total water on Earth:  $1.4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$

oceans	97.4 %
polar ice	1.9 %
ground water	0.5 %
soil	0.01 %
biosphere	0.003 %
atmosphere	0.001 %

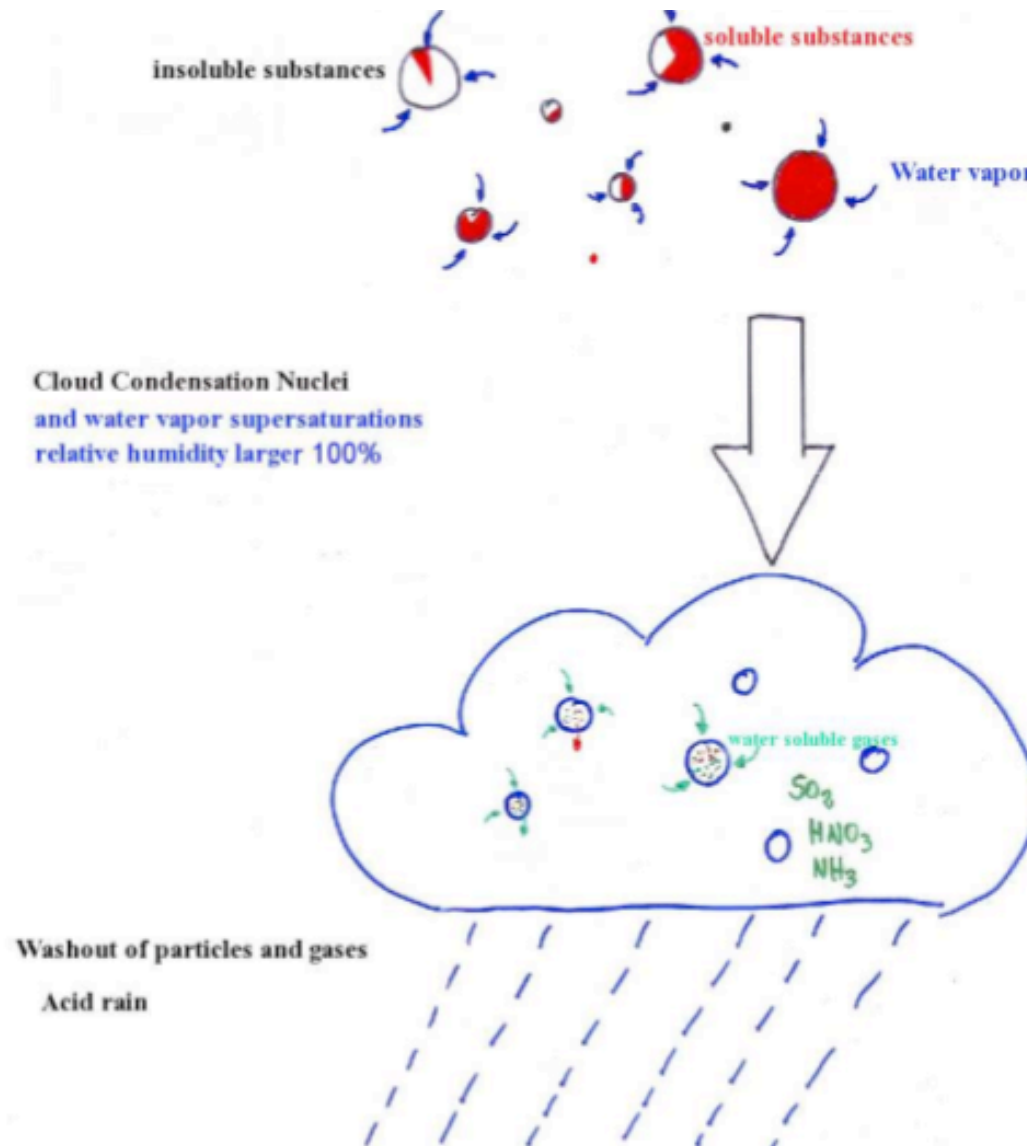
atmospheric H<sub>2</sub>O 4% - 1 ppmv

total atmospheric H<sub>2</sub>O 25 mm

annual precipitation 800 mm

H<sub>2</sub>O exchange rate 10-11 days

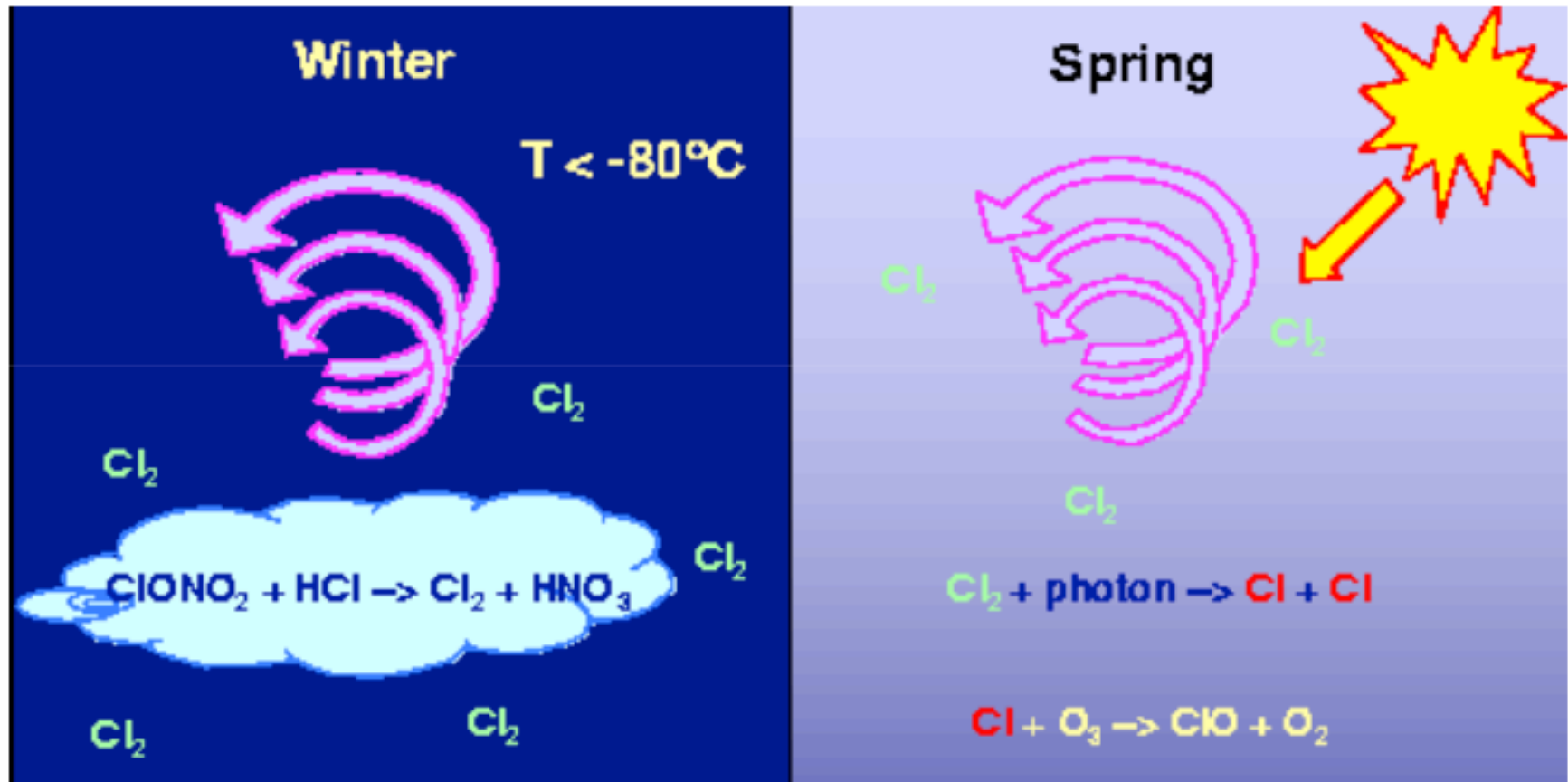
# Réactions chimiques dans les nuages



Courtesy: Schiller

# Réactions chimiques dans les « nuages »

## stratospheric ozone

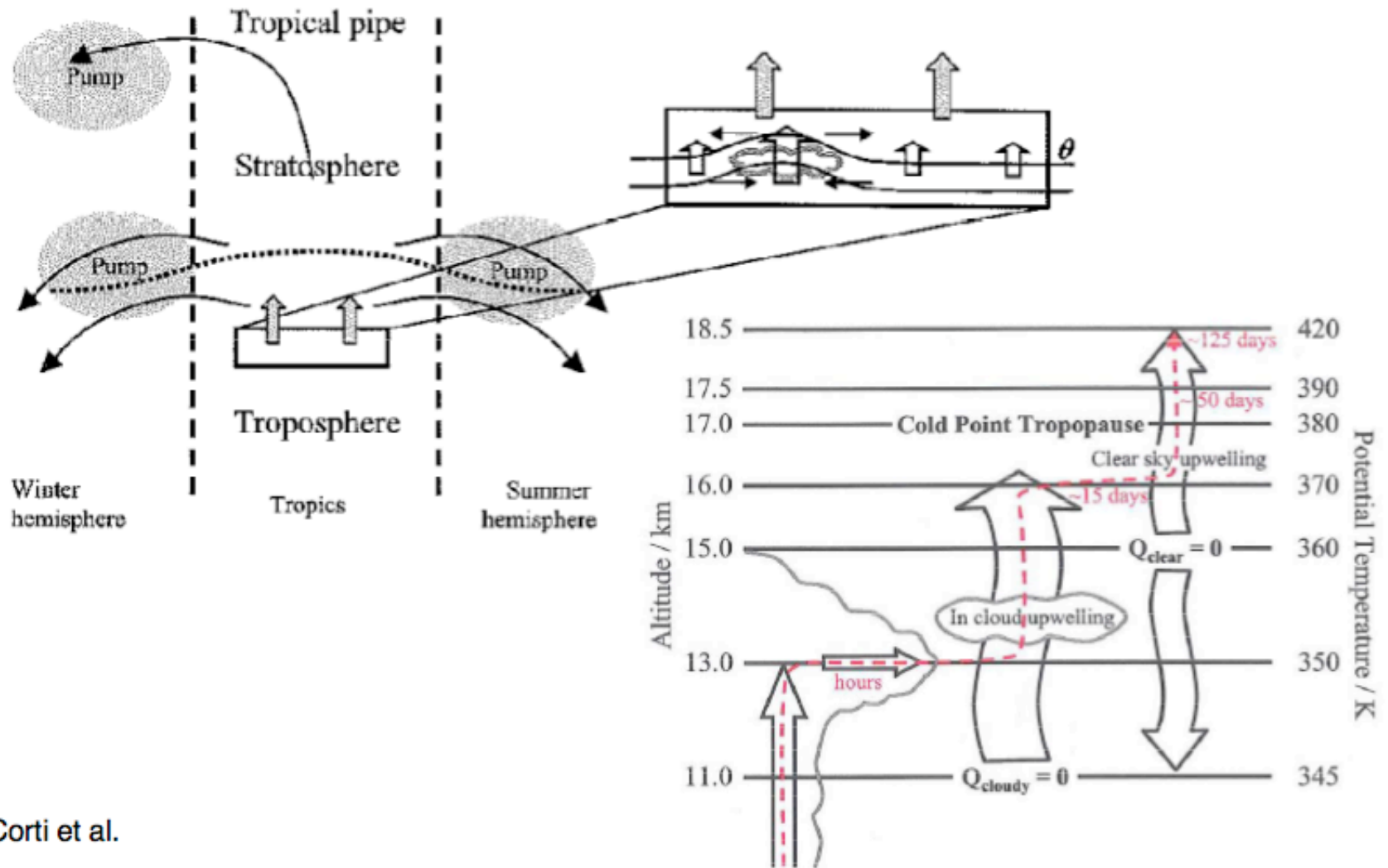


source gas  
CFC

reservoirs  
HCl, ClONO<sub>2</sub>

reactive  
Cl<sub>2</sub>, Cl, ClO, (ClO)<sub>2</sub>

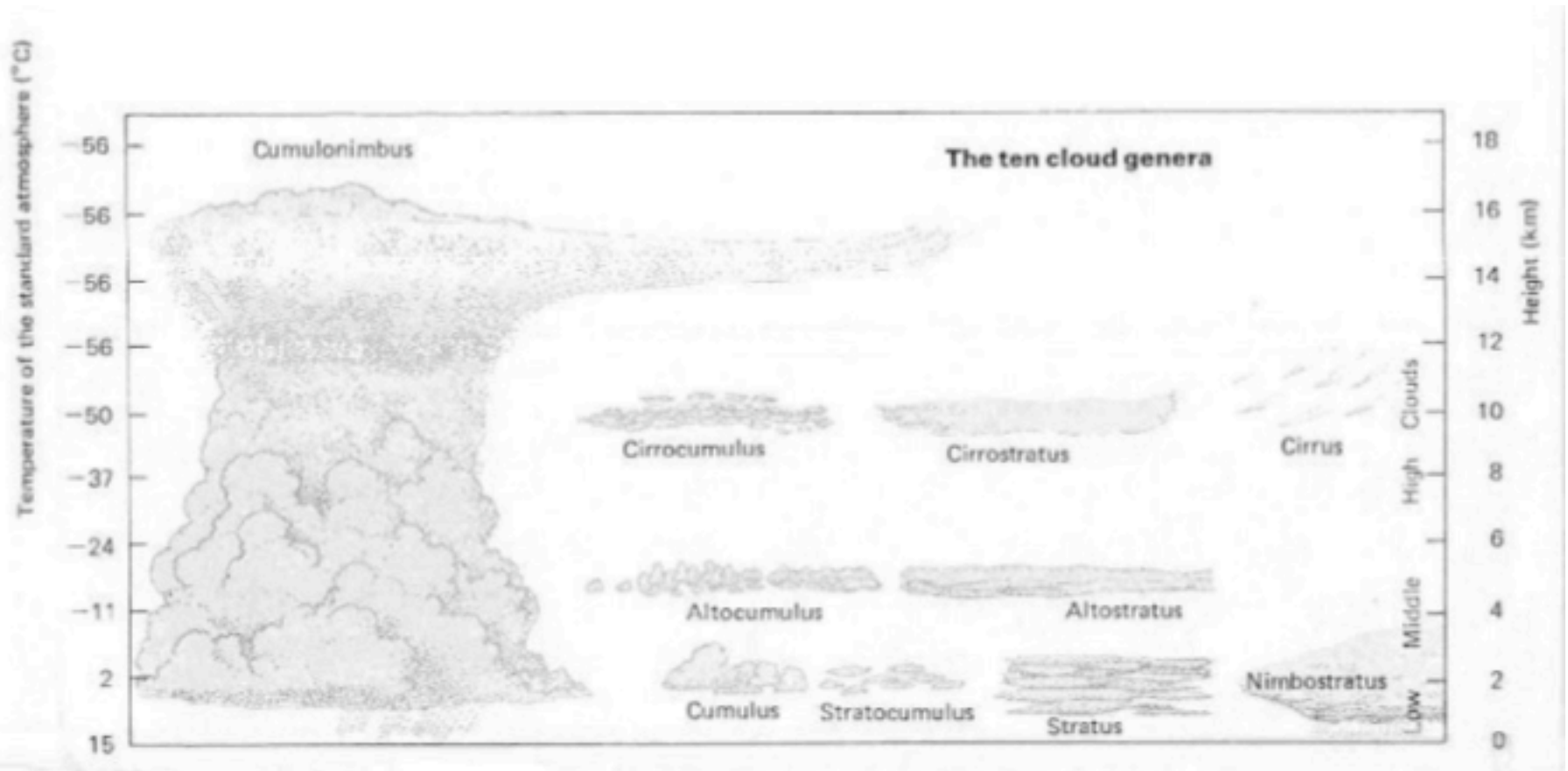
# Nuages - transport vertical



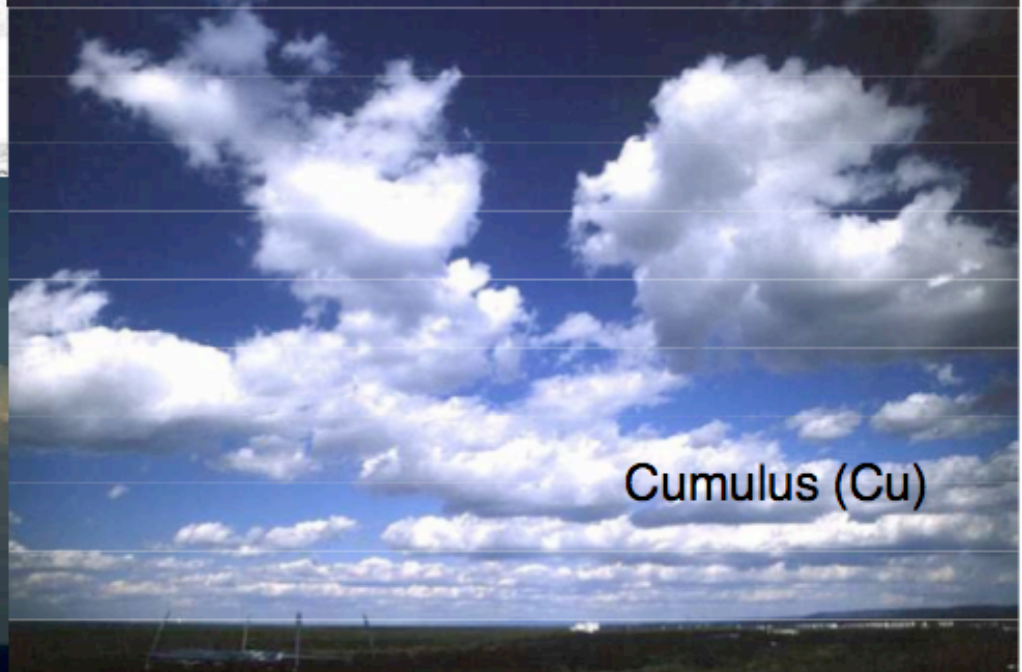
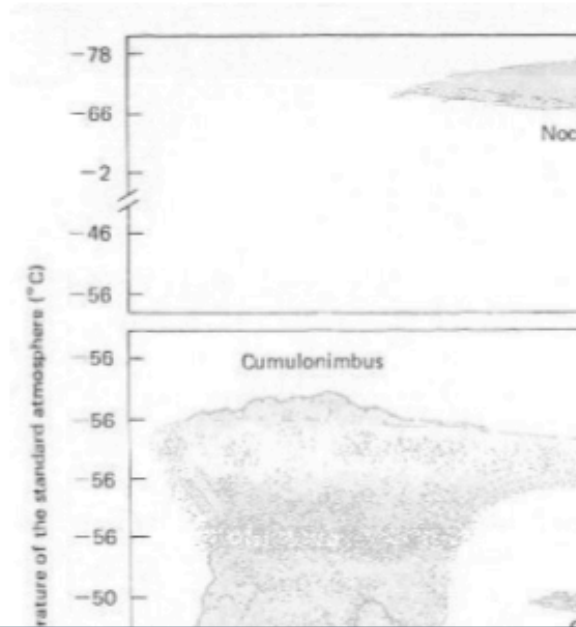
Corti et al.



# Types de nuages



# Low Clouds

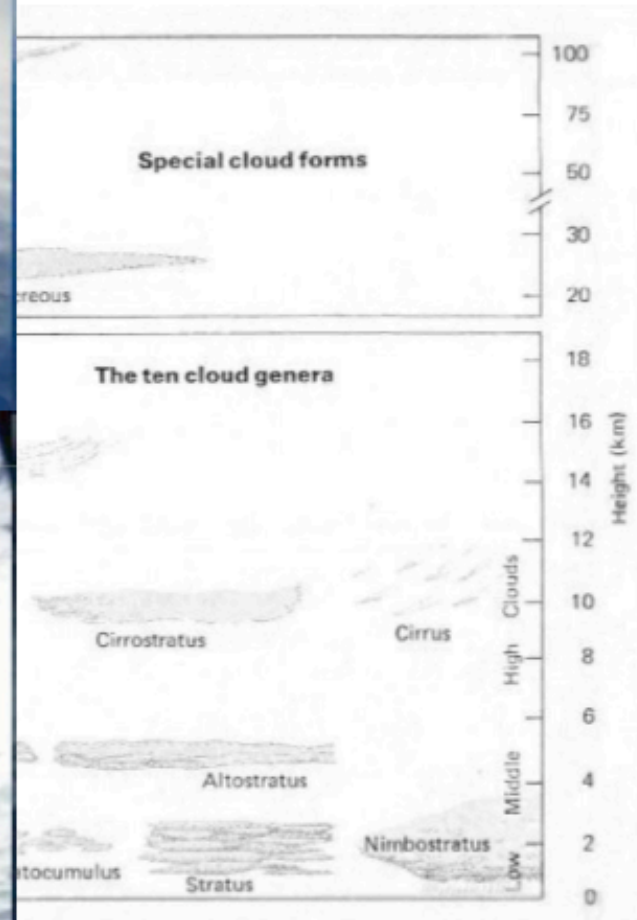




# Medium-high Clouds

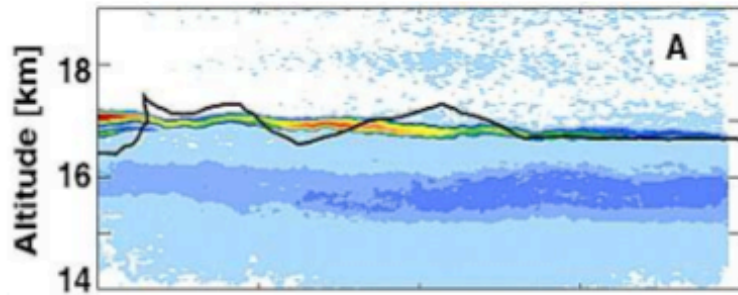
Altostratus (As)

Altostratus (Ac)

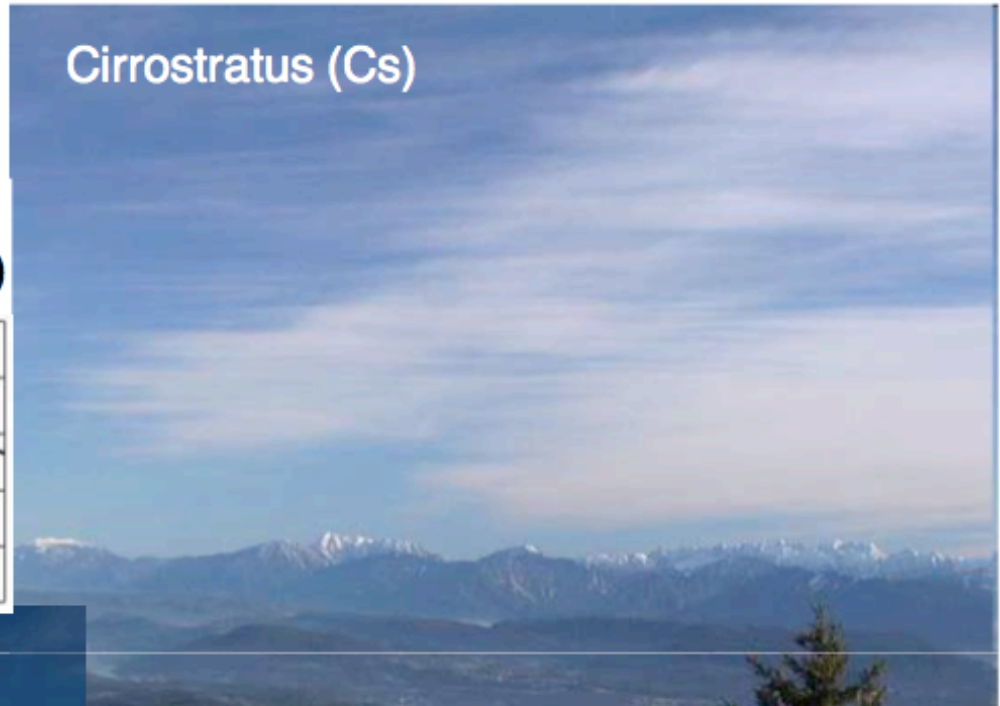


# High Clouds

Subvisible cirrus (SVC/UTTC)



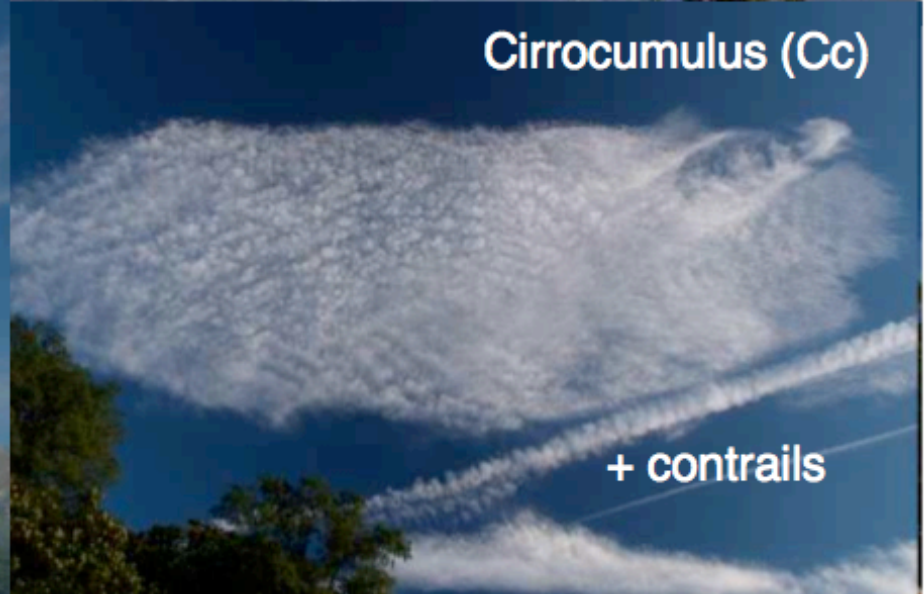
Cirrostratus (Cs)



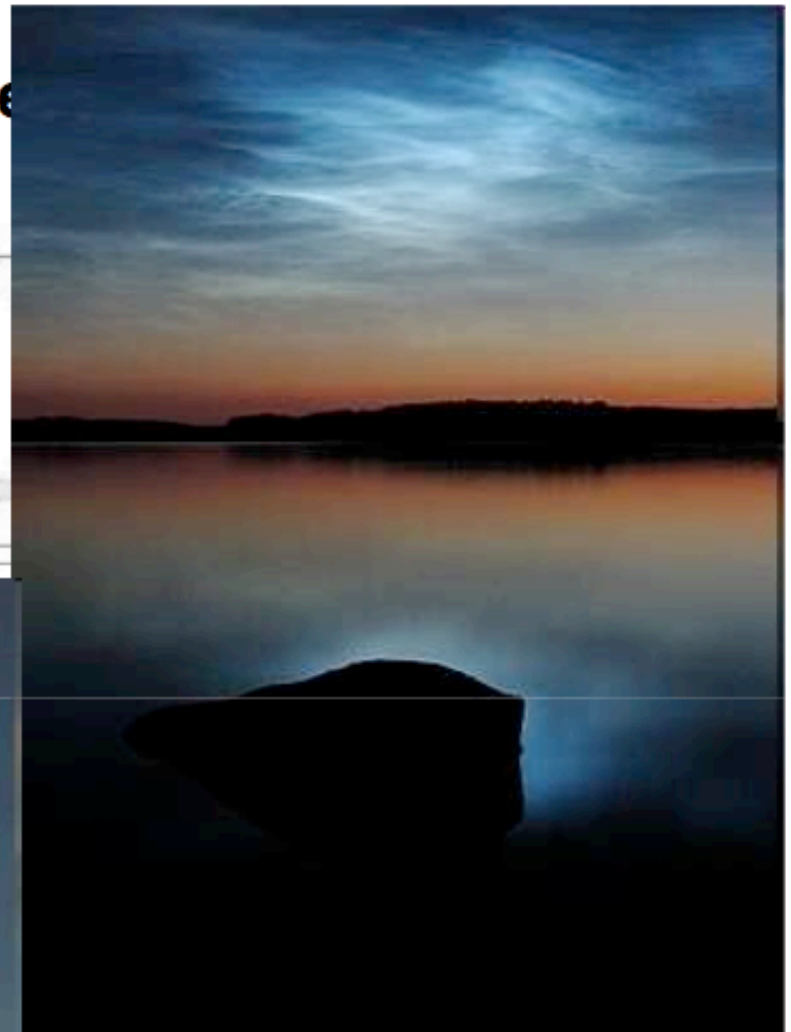
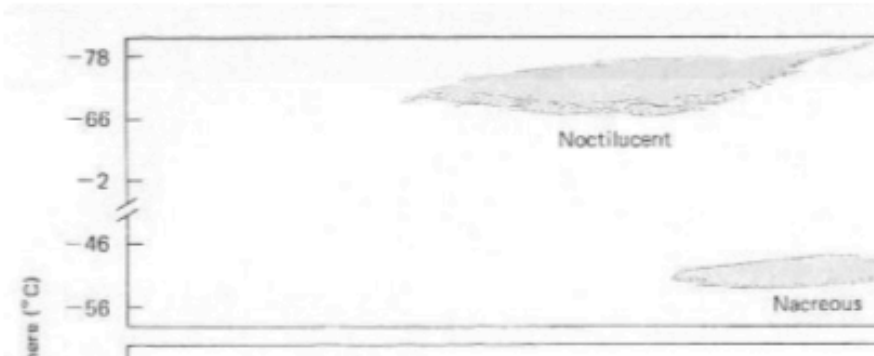
Cirrus (Ci)

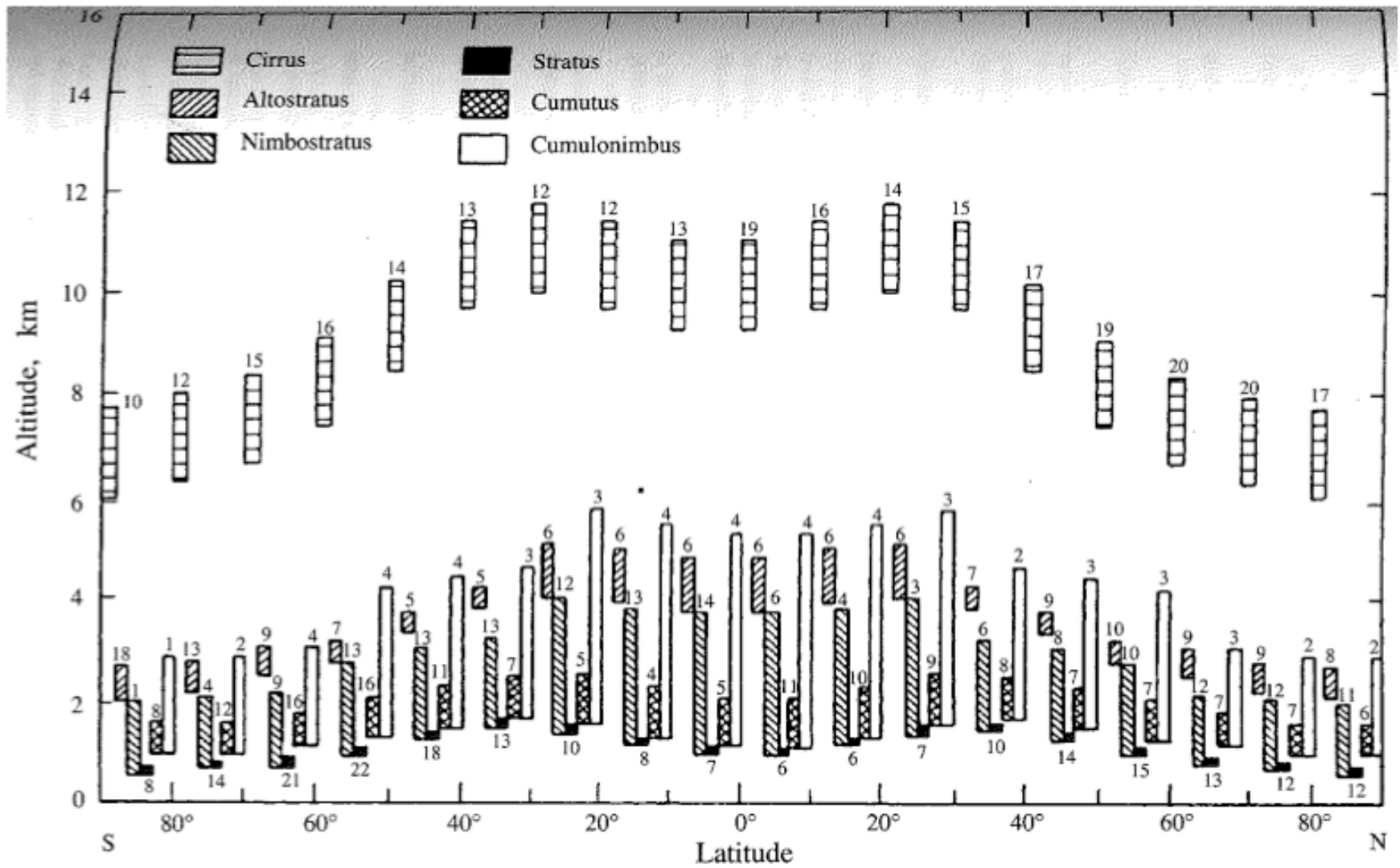


Cirrocumulus (Cc)



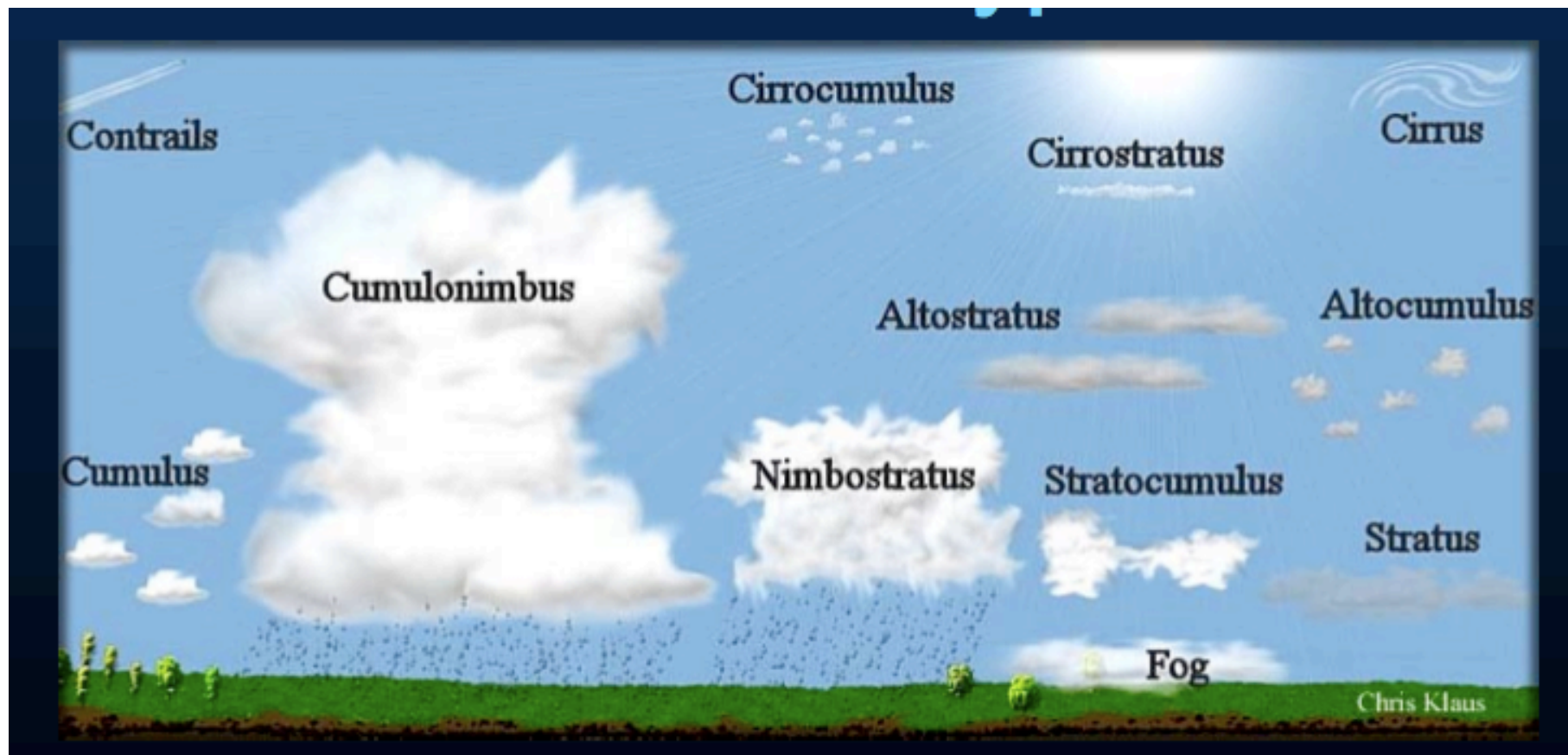
# Polar Stratospheric Clouds (mother Noctilucent Clouds







# Types de nuages



# Nuages tropicaux

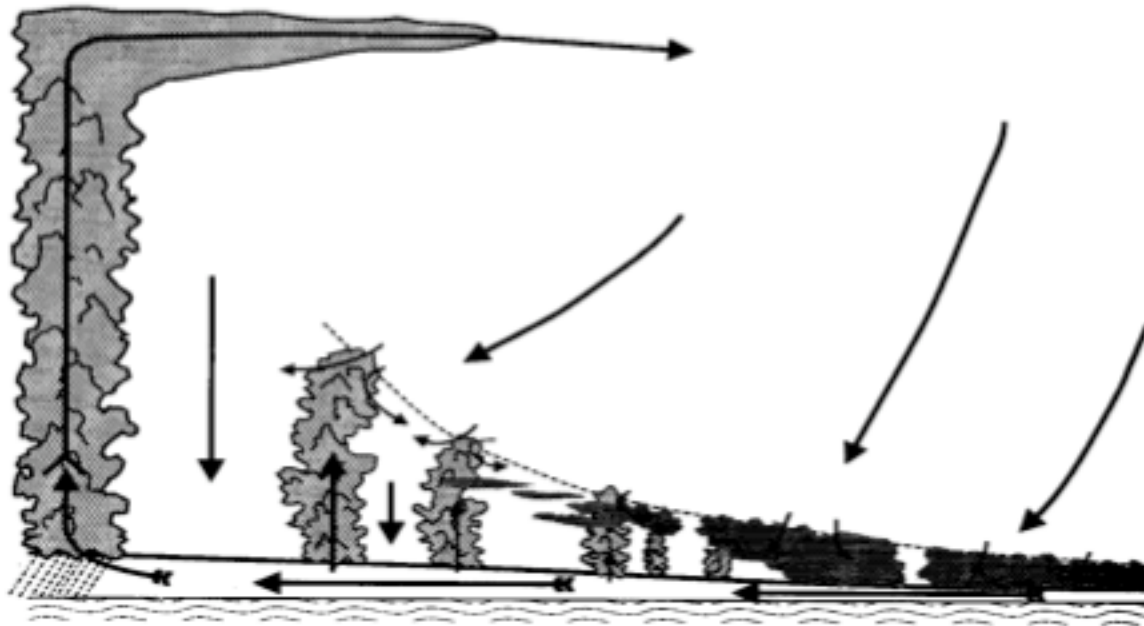


Schéma idéalisé dans « référentiel dynamique »:

La couche limite épaiscit

La convection se renforce

La vitesse verticale moyenne ascendante augmente

Les mvts ascendants importants apparaissent dans les nuages

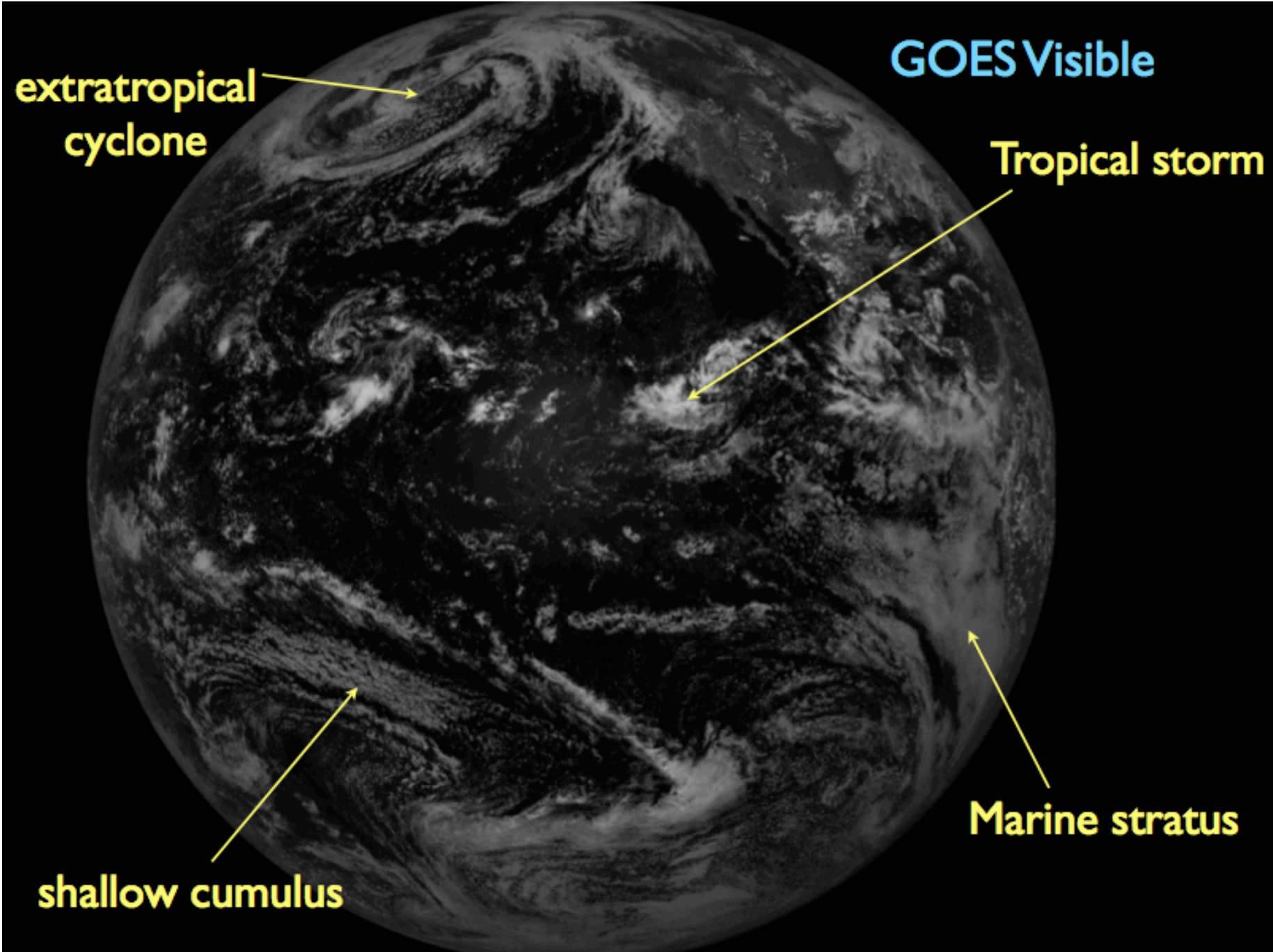
**extratropical  
cyclone**

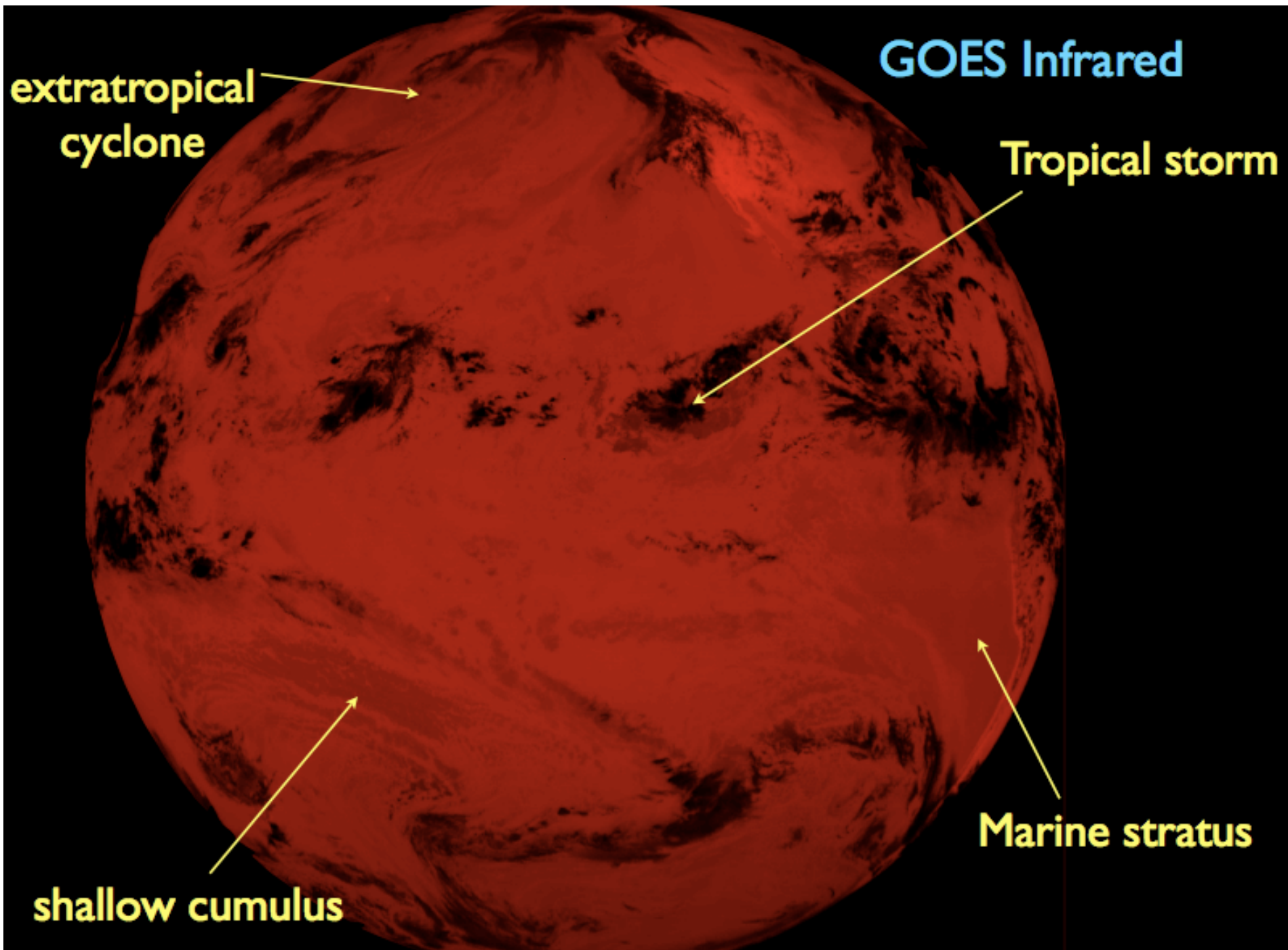
**GOES Visible**

**Tropical storm**

**shallow cumulus**

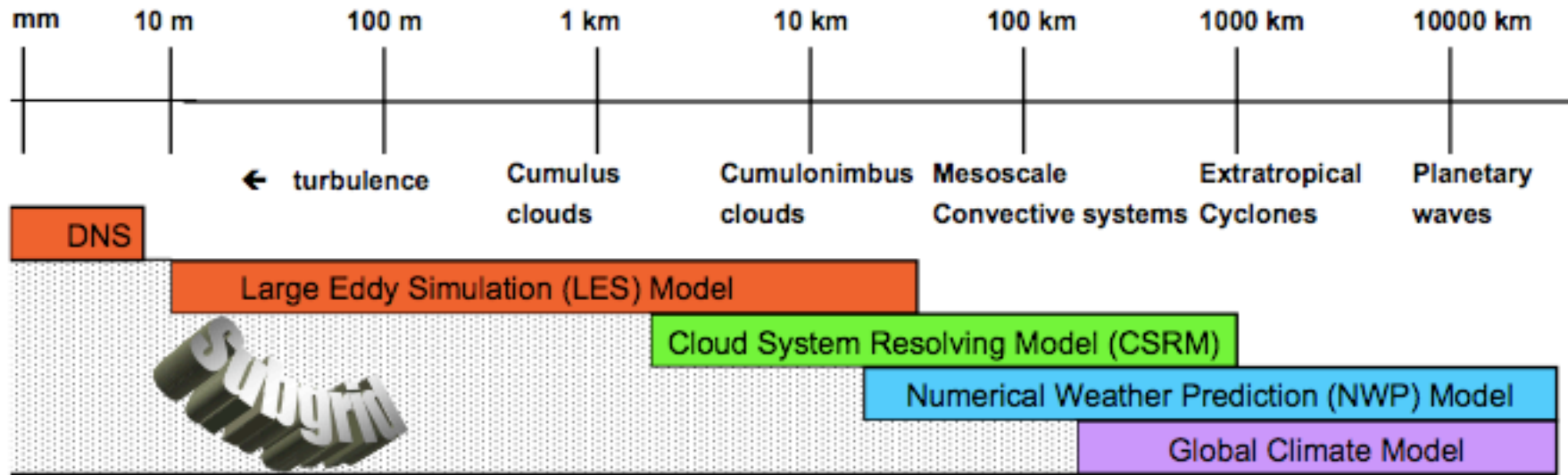
**Marine stratus**



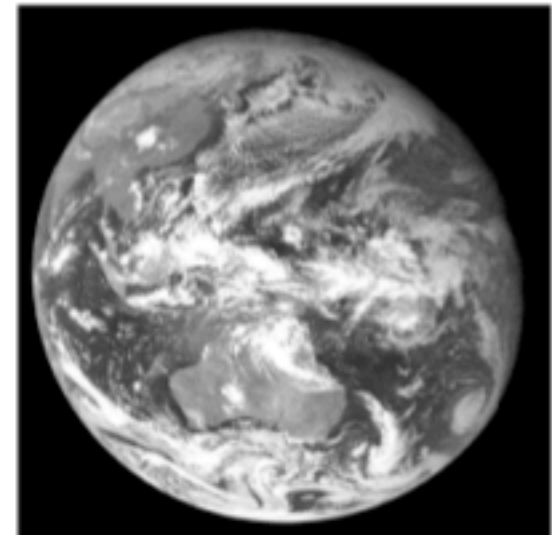
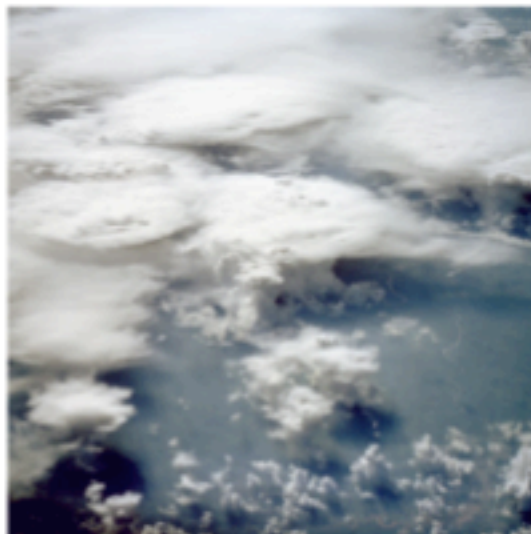




# Les nuages : différentes échelles, différents processus



9/2/2008



*« En ce qui concerne la vapeur, elle est une séparation de l'eau ;  
...La terre demeure telle et son humidité s'évapore aux rayons du  
soleil et à l'autre source de chaleur provenant de l'air, vapeur qui  
monte toujours plus haut ; mais quand la chaleur qui provoque sa  
montée la quitte, étant dispersée dans les hautes couches et finissant  
par s'éteindre ayant atteint des hauteurs si élevées au-dessus du sol,  
la vapeur se refroidit et se condense de nouveau compte tenu de  
la perte de chaleur à cette hauteur ; alors l'air se transforme en eau,  
ce qui génère à nouveau des chutes d'eau sur la terre...  
Ce qui émane de l'eau est vapeur et  
ce qui dans l'air devient eau est nuage...*

*ARISTOTE (4<sup>ième</sup> s. AC)*

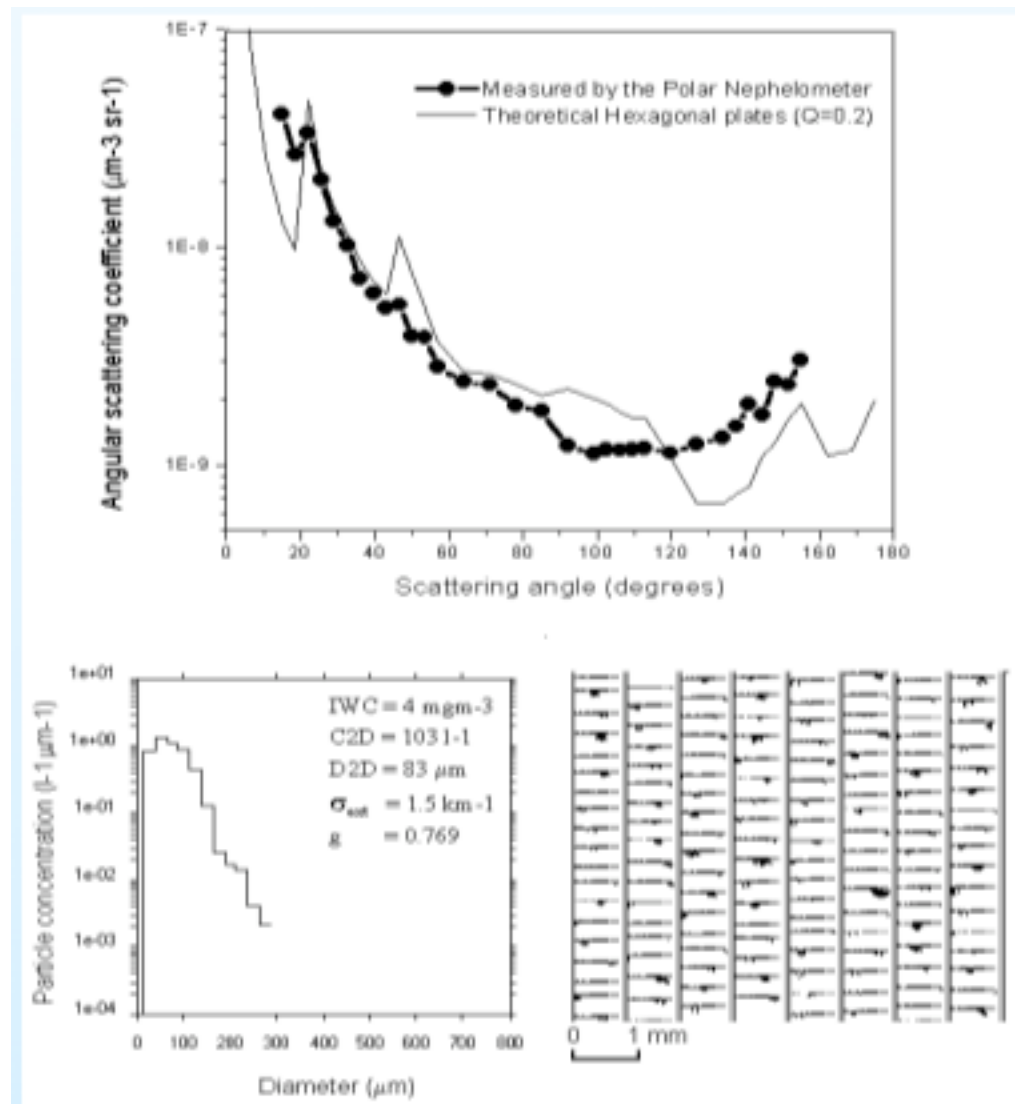
# Plan

- Observer les nuages par prélèvements in situ
- Observer les nuages par télédétection passive
- Observer les nuages par télédétection active:  
radar et lidar
- Observations des nuages et climat:  
Evaluer la description des nuages dans les modèles de climat  
Documenter l'évolution des nuages à long terme

# Observer les nuages par prélèvements in situ

- Prélèvements de particules dans le nuage  
Vecteur = avion,  
Instruments: 2DC, 2DP, CPI, Néphélomètre
- La taille, la distribution en taille
- La forme des particules
- Le contenu en eau, le contenu en glace
- La température du milieu
- La vapeur d'eau à faible température

# Mesures in situ dans des nuages de glace

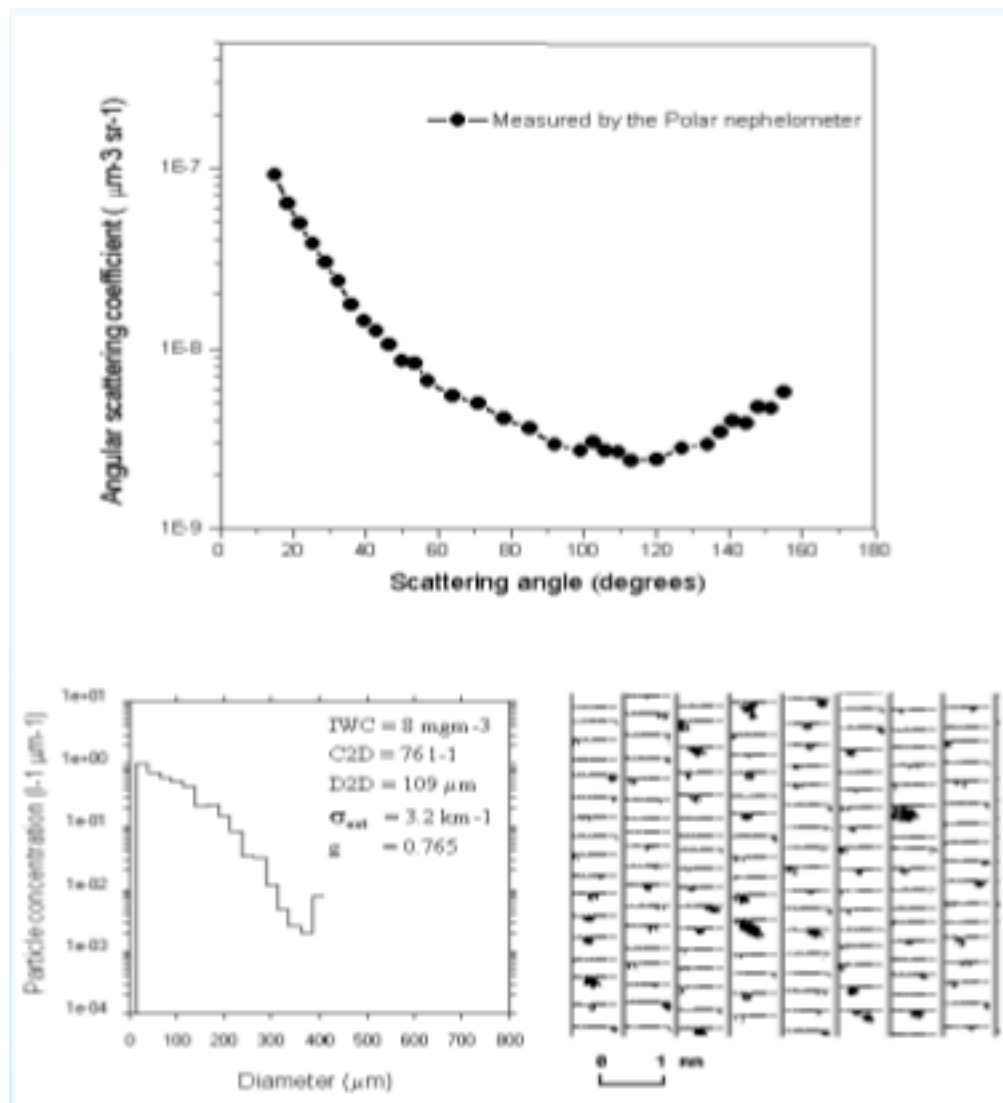


*En haut* : Fonction de phase de diffusion moyenne mesurée par le Néphélomètre Polaire et fonction de phase théorique correspondant à une population de plaques hexagonales orientées aléatoirement.

*En bas* : Spectre dimensionnel de taille correspondant mesuré par le 2D-C et un exemple d'image de particules de glace.

Cet exemple a été obtenu dans un cirrus à 7600 m/-35°C et met en évidence la présence de halos mesurés à 22° et 46° .

## Mesures in situ dans des nuages liquides



*Idem (cf planche précédente).*

Cet exemple a été obtenu dans le même cirrus à 7600 m/-35°C et ne révèle pas de présence de halos mesurés à 22° & 46° bien que les propriétés dérivées de la sonde 2D-C soient identiques.

⇒ Les propriétés de diffusion du nuage sont dominées par les petites particules de glace ( $< 100 \mu\text{m}$ ) qui ne peuvent être mesurées par les sondes PMS classiques (Gayet et al., 2000, Auriol et al., 2001).

Gayet et al.

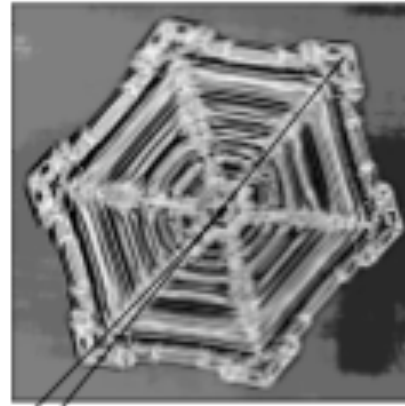


# Mesures de la forme des cristaux de glace

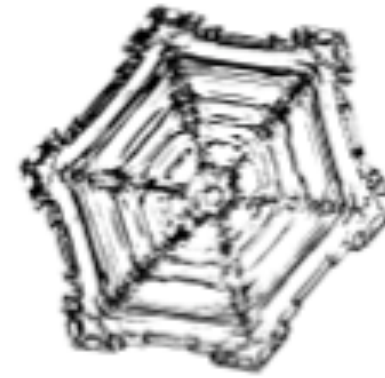
CPI: Cloud Particle Imageur

Détection des défauts de symétrie

Caractéristiques des cristaux de glace avec une résolution dimensionnelle de 2mic.



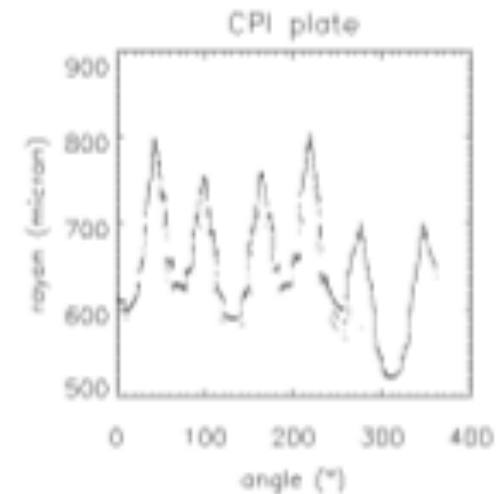
Dalf Projection 3D->2D + pas d'aberration non linéaire=> Dalf=0? il existe des défauts de symétrie pour les cristaux faiblement dendritiques



Seuillage de l'image



Détection (manuelle) du centre de croissance + périmètre extérieur



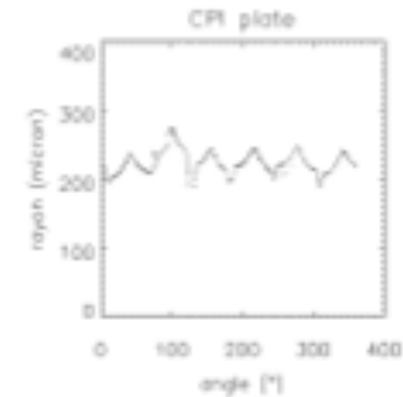
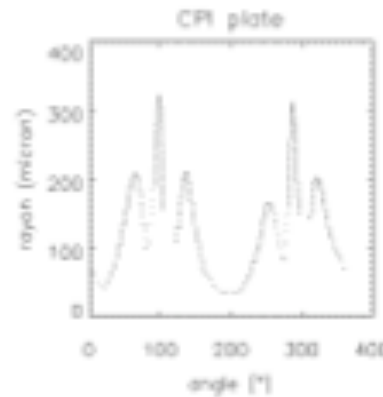
Distance au centre en fonction de l'angle, => Détection des défauts de symétrie

# Mesures de la forme des cristaux de glace

CPI: Cloud Particle Imageur

Détection des défauts de symétrie

Caractéristiques des cristaux de glace avec une résolution dimensionnelle de 2mic.





# Plan

- Observer les nuages par prélèvements in situ
- Observer les nuages par télédétection passive
- Observer les nuages par télédétection active: radar et lidar
- Observations des nuages et climat:  
Evaluer la description des nuages dans les modèles de climat  
Documenter l'évolution des nuages à long terme

# Observer les nuages par télédétection passive

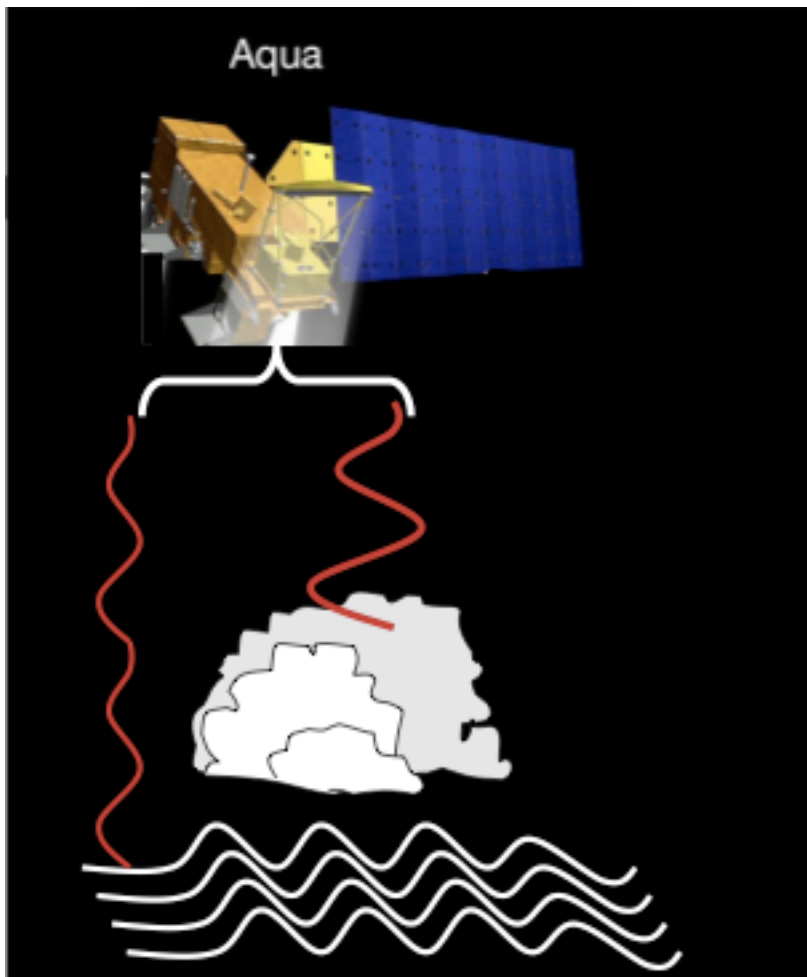


- $\lambda$  telluriques
- $\lambda$  solaires

La source de rayonnement est naturelle (tellurique et solaire);  
information intégrée le long  
d'un trajet

La mesure dépendra de la  
position de l'instrument

# Observer les nuages par télédétection passive



- $\lambda$  micro-ondes

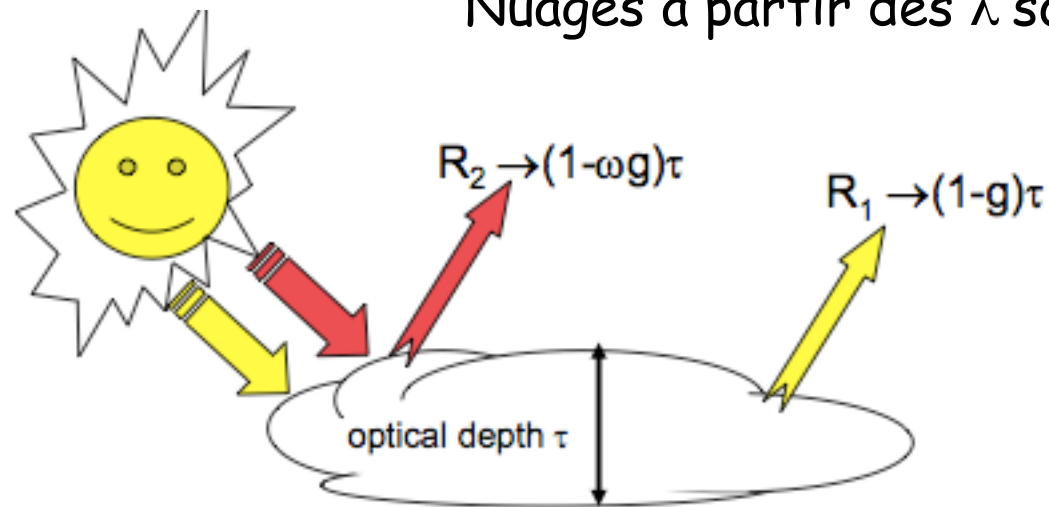
La différence dépend des espèces absorbant/émettant le long du trajet - principalement vapeur d'eau, nuages liquides, et précipitations

Challenge : pluie ou nuage ?

# Observer les nuages par télédétection passive

Nuages à partir des  $\lambda$  solaires

Twomey & Cocks, 1980's  
Nakajima & King, 1990s



La réflectance visible ( $R_1$ ) est fonction d'une combinaison de paramètres ie;  $(1-g)\tau$

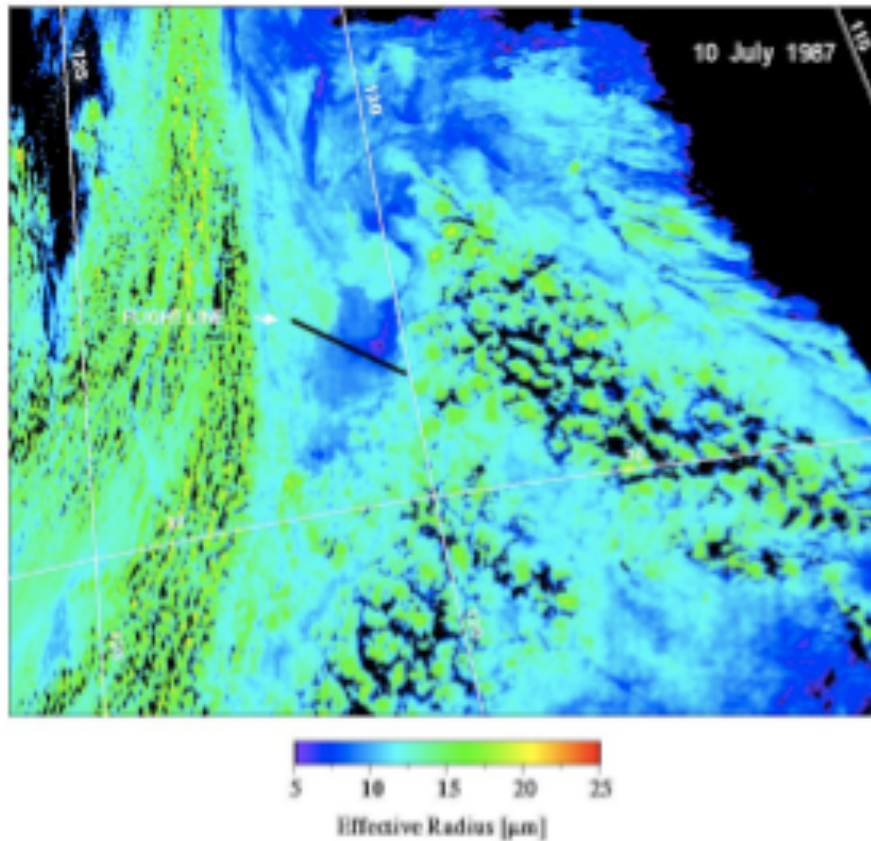
La réflexion dans le proche IR ( $R_2$ ) est une fonction de l'épaisseur optique  $\tau$  et de l'albédo de diffusion simple  $\omega_0$  - ce dernier est une fonction de la taille des particules  $R_e$

La mesure de réflectance à 2 longueurs d'ondes (ou bandes spectrales) donne accès à des paires de paramètres  $\tau$  et  $R_e$

$$\tau \rightarrow \frac{3 LWP}{3 r_e}$$

$$LWP \rightarrow \frac{2}{3} \tau r_e$$

# Observer les nuages par télédétection passive



Nuages à partir des  $\lambda$  solaires:  
La taille des particules

La taille des particules obtenu par cette approche correspond au sommet des nuages

- La région exacte à laquelle cette valeur correspond est ambiguë

Nakajima and Nakajima (JAS 1995)

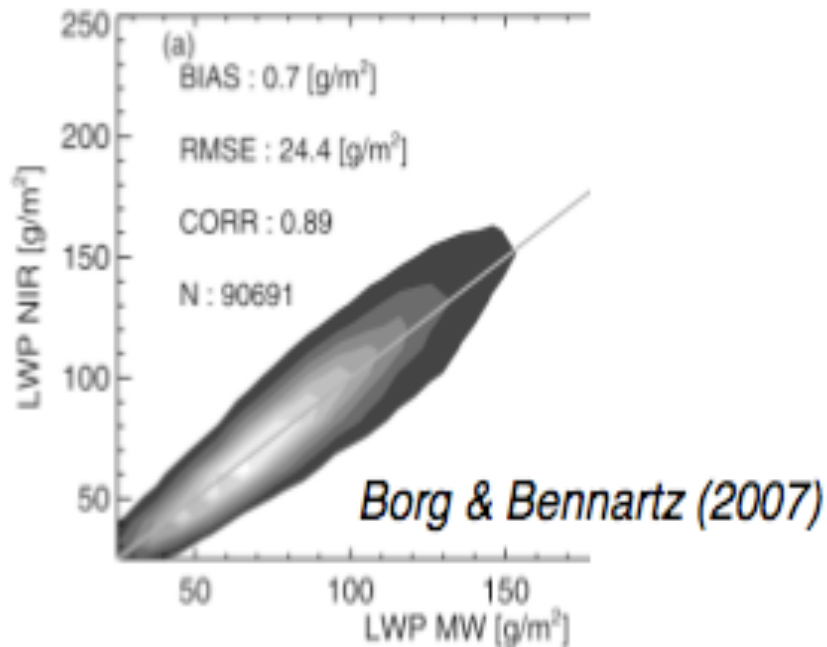
AVHRR

# Observer les nuages par télédétection passive

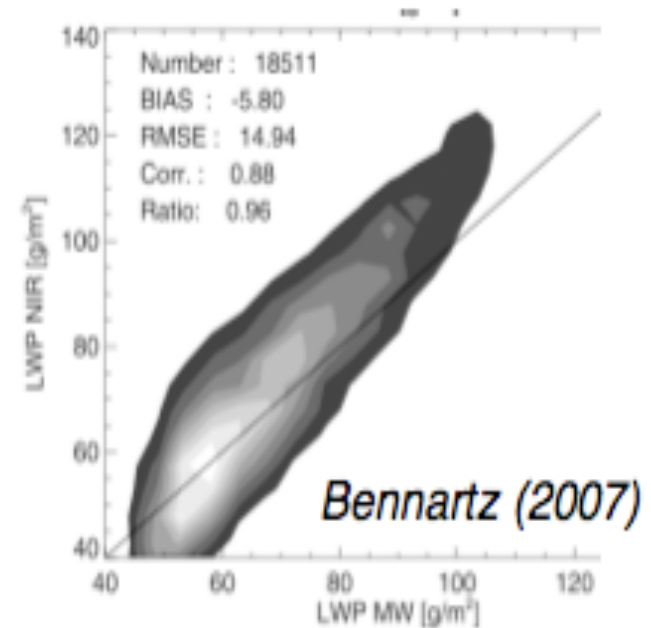
Accord entre LWP obtenus par Vis/NIR et Micro-ondes ?

Pour stratocumulus :  $LWP = 2/3 \rho \tau R_e$  (nuages verticaux homogènes)  
Remplacé par :  $LWP = 5/9 \rho \tau R_{e,top}$  (nuages adiabatiques)  
pour stratocumulus chauds.

## Stratocumulus



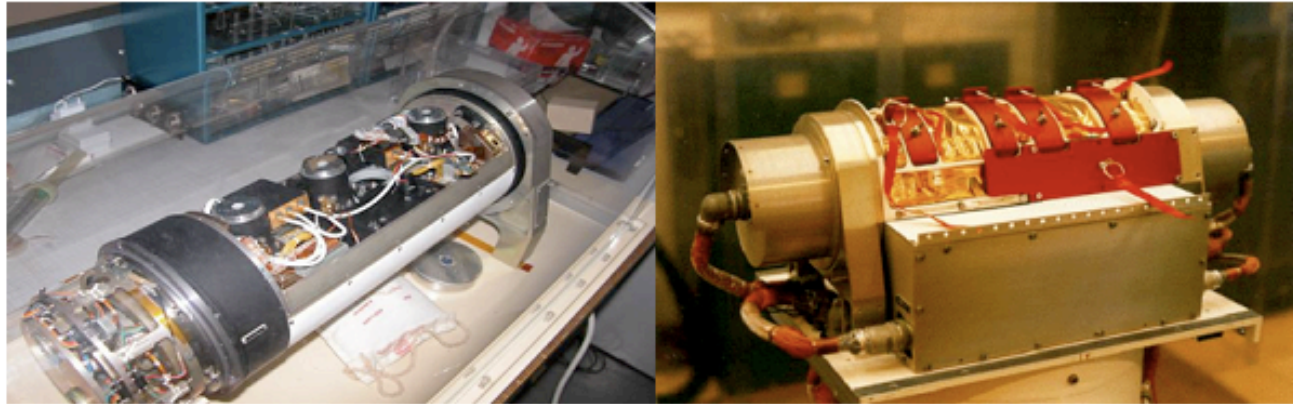
## Tous nuages





# Téledétection passive: ScaRaB mesure du bilan radiatif

L'instrument SCARAB a déjà volé sur les missions RESURS et METEOR et va être adapté à la mission Megha-Tropiques.



Le boîtier optique SCARAB (version RESURS)

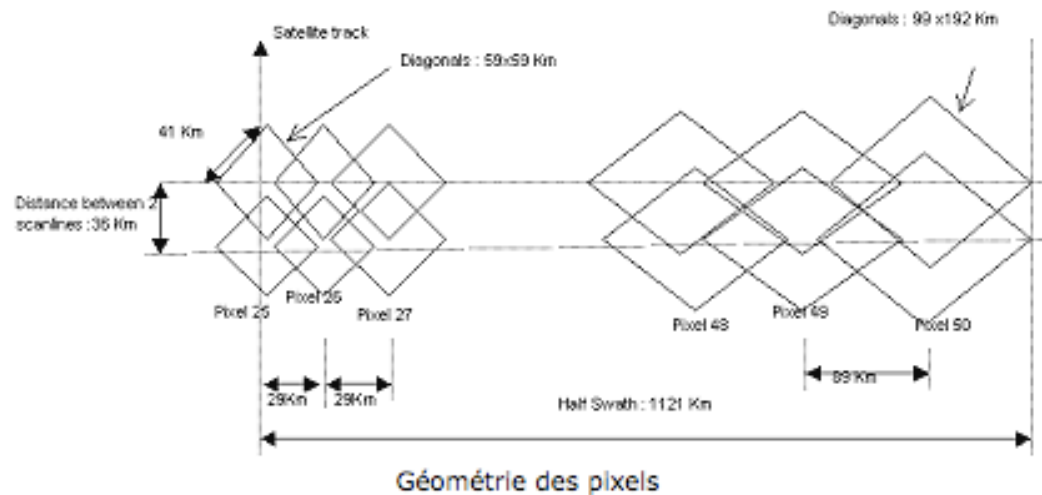
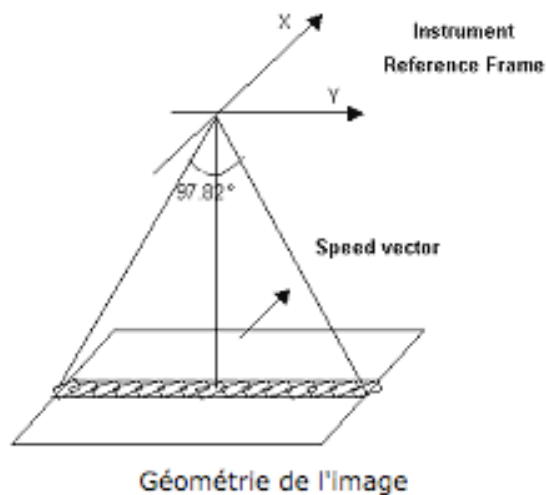
Le radiomètre optique contient 4 télescopes parallèles et indépendants qui focalisent les réflexions solaires et les radiation thermiques de l'atmosphère terrestre sur 4 canaux de détection.

Canal	Bande observée	Filtre	Nom
Canal 1	0.5 à 0.7 $\mu\text{m}$	Interférence	Canal visible
Canal 2	0.2 à 4 $\mu\text{m}$	Silice	Canal solaire
Canal 3	0.2 à 200 $\mu\text{m}$	Pas de filtre	Canal total
Canal 4	10.5 à 12.5 $\mu\text{m}$	Interférence	Canal thermique

Les canaux 2 et 3 sont considérés comme les canaux principaux, le canal 2 donnant directement l'énergie solaire réfléchi par l'atmosphère terrestre, le canal 3 mesurant l'énergie totale (solaire et thermique). Les canaux 1 et 4 sont des canaux proches utilisés pour l'identification des scènes dans le domaine visible (canal 1) et infrarouge (canal 4). Le scanneur effectue une rotation des télescopes et des détecteurs associés dans le plan nadir, perpendiculaire au vecteur vitesse du satellite. Une mesure de calibration sur l'espace est effectuée à chaque période de balayage sauf pour le canal visible.

# Téledétection passive: ScaRaB mesure du bilan radiatif

La géométrie des pixels est dictée par l'orbite, le balayage perpendiculaire à la trace satellite et l'ouverture carrée des télescopes.

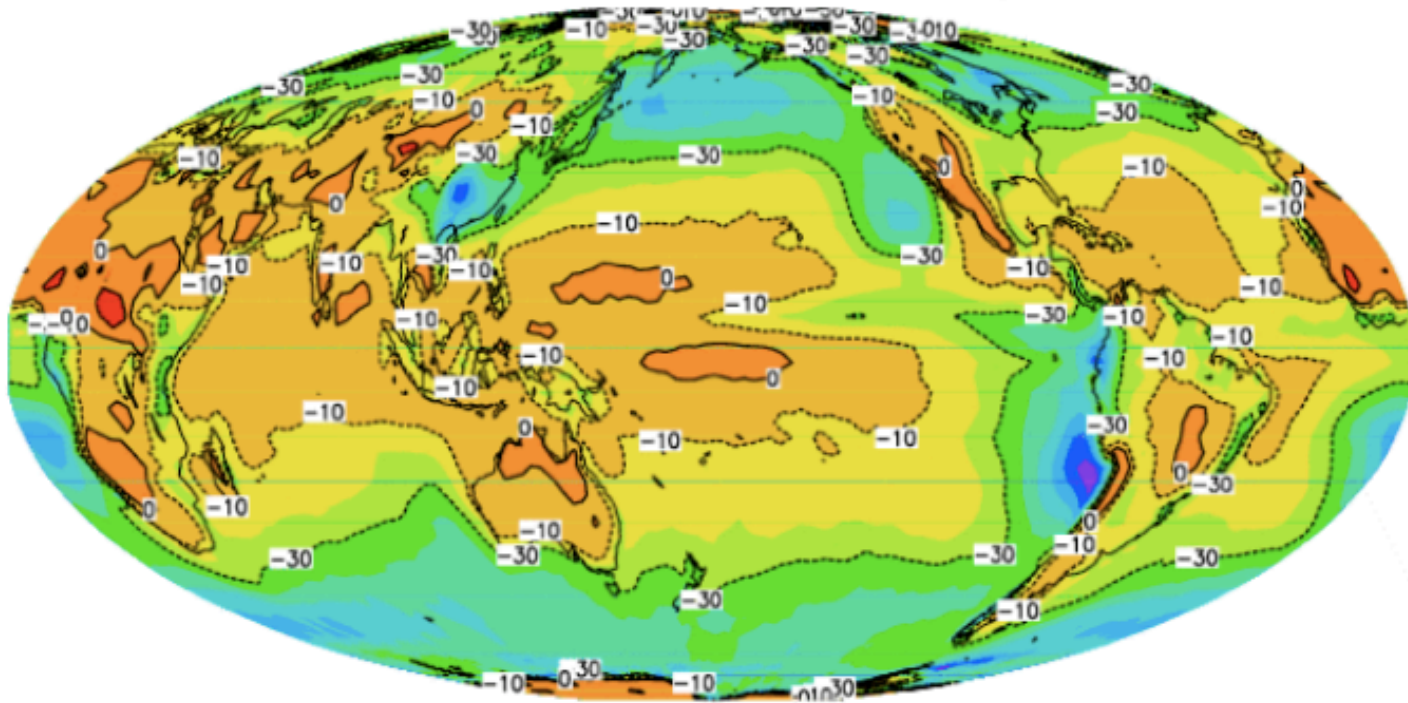




# Téledétection passive: ScaRaB mesure du bilan radiatif

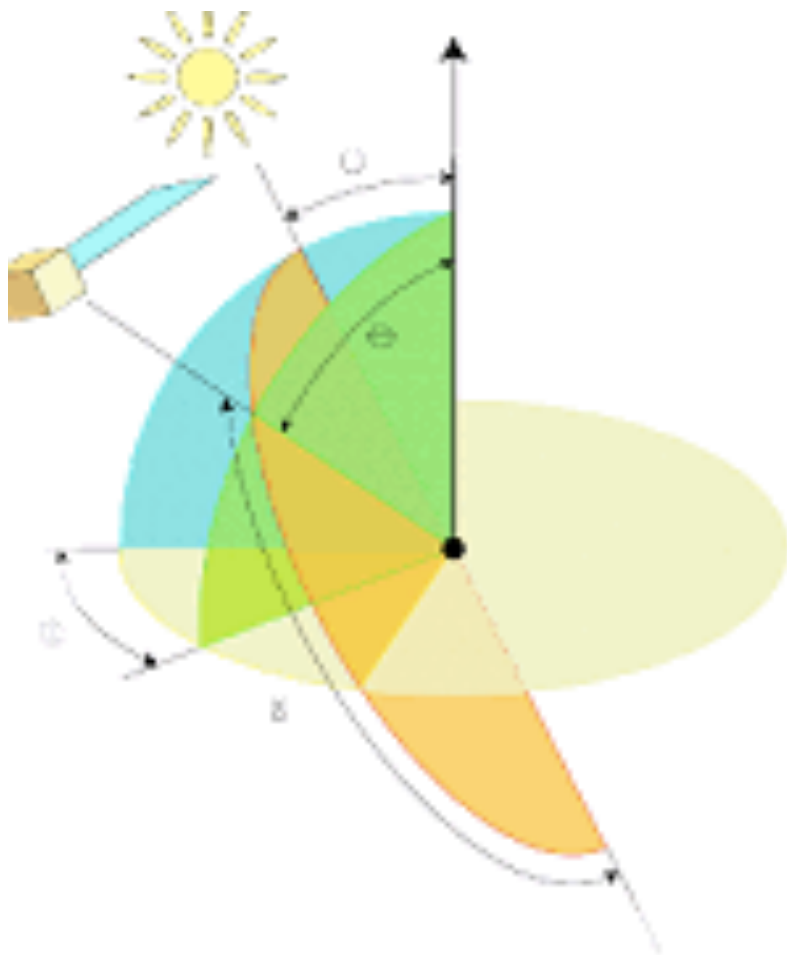
Impact des Nuages sur le Bilan Radiatif  
(Cloud Radiative Forcing ou CRF)

CERES: NET Cloud Radiative Forcing ( $W/m^2$ )

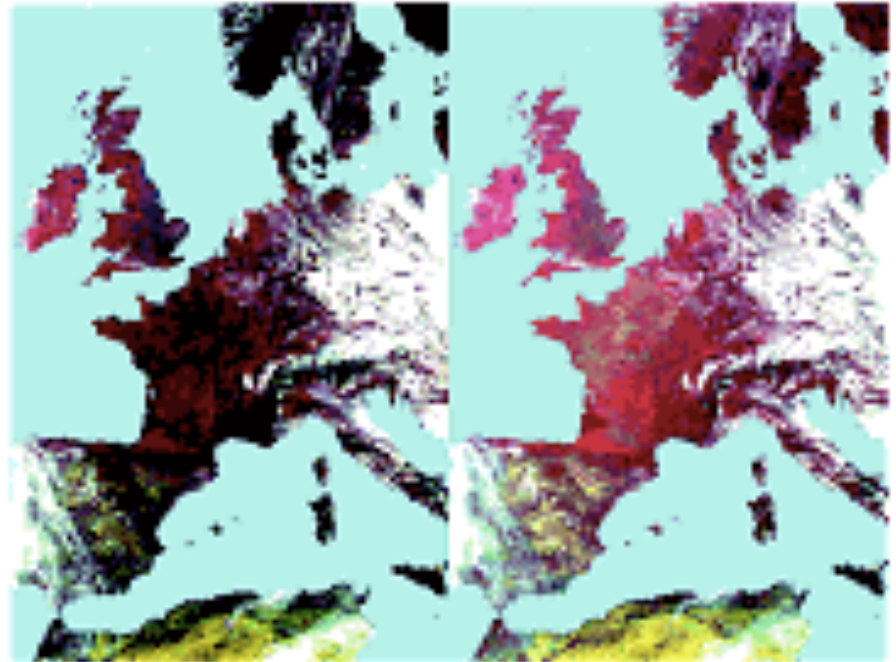


Moyenne globale :  $-20 W/m^2$

# Téledétection passive: POLDER /PARASOL (visible)



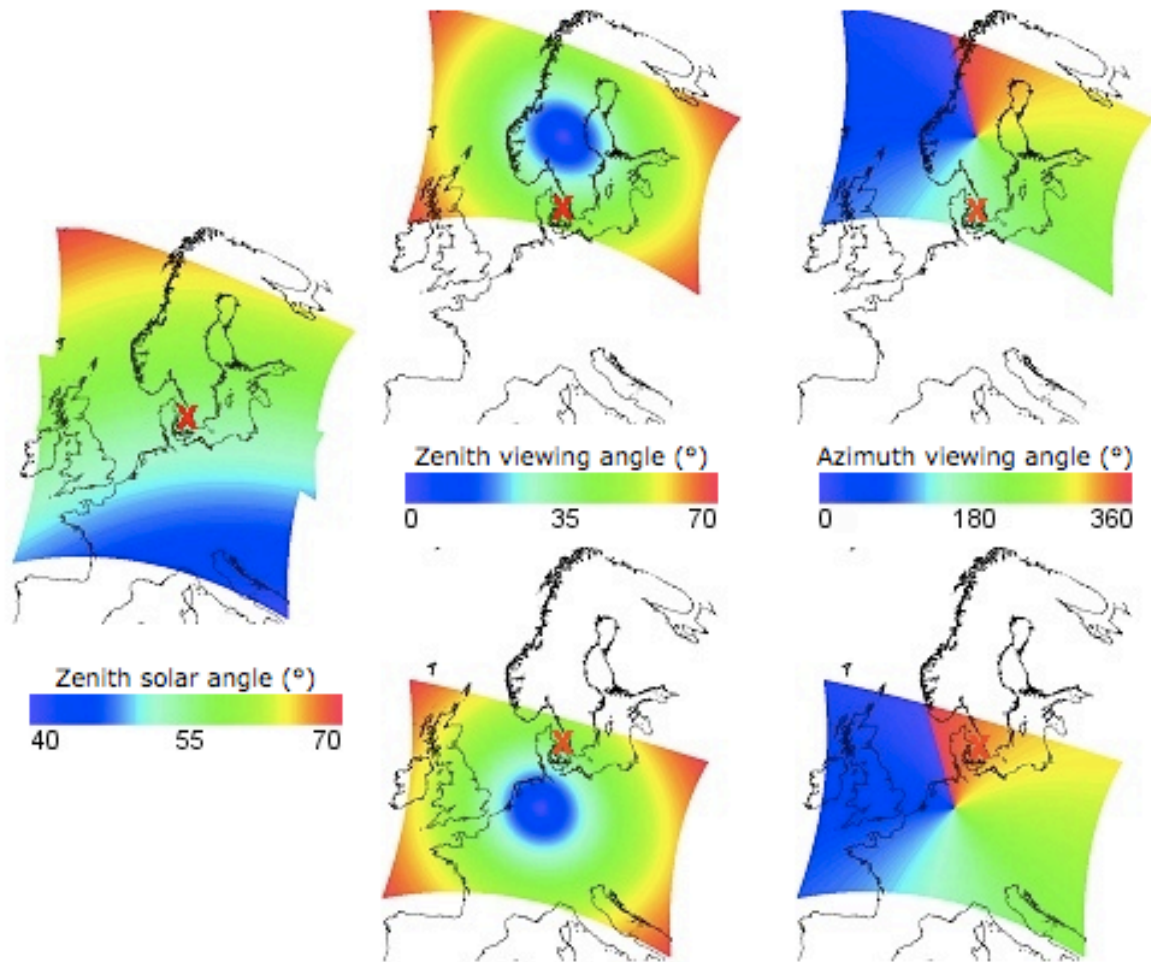
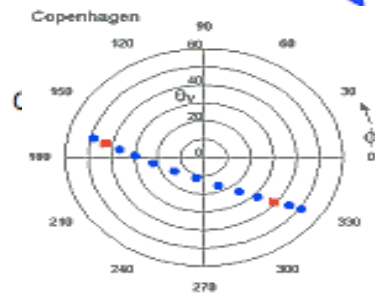
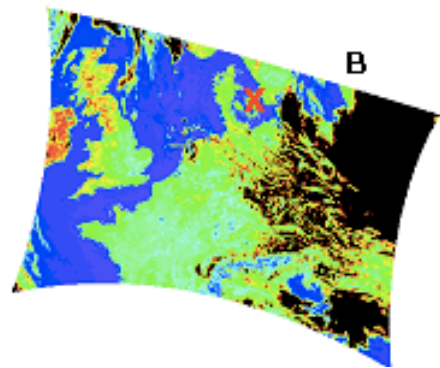
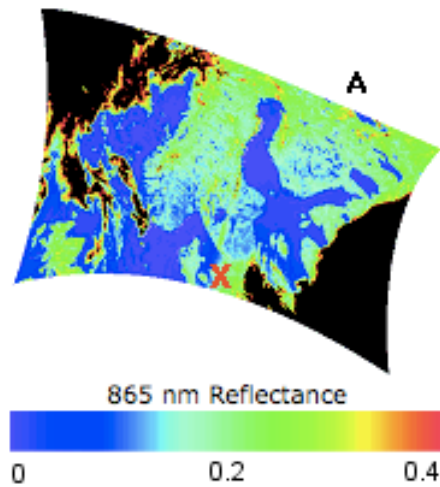
September 1996, 16th



Facing the Sun

Back to the Sun

# Téledétection passive: POLDER / PARASOL multi-directionnalité



# Téledétection passive: POLDER / PARASOL polarisation

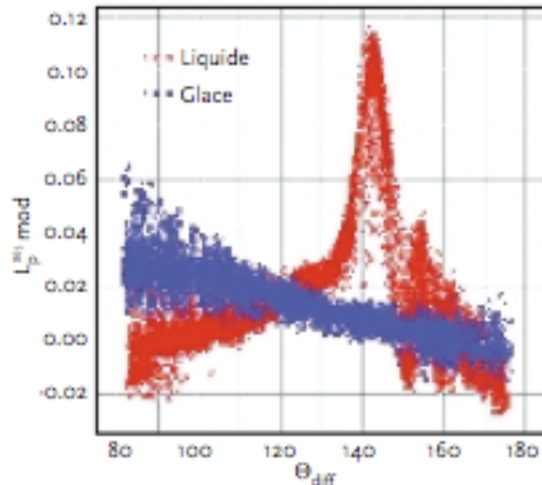


Figure 1: Diagram of polarized reflectance above liquid water clouds (red) and ice clouds (blue).

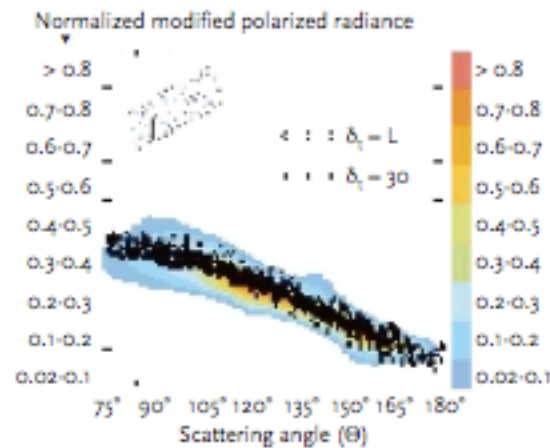


Figure 2: Plot of measurements from polarization diagram for IHM-type crystal.

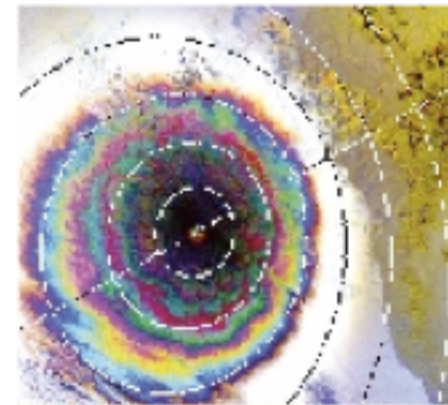


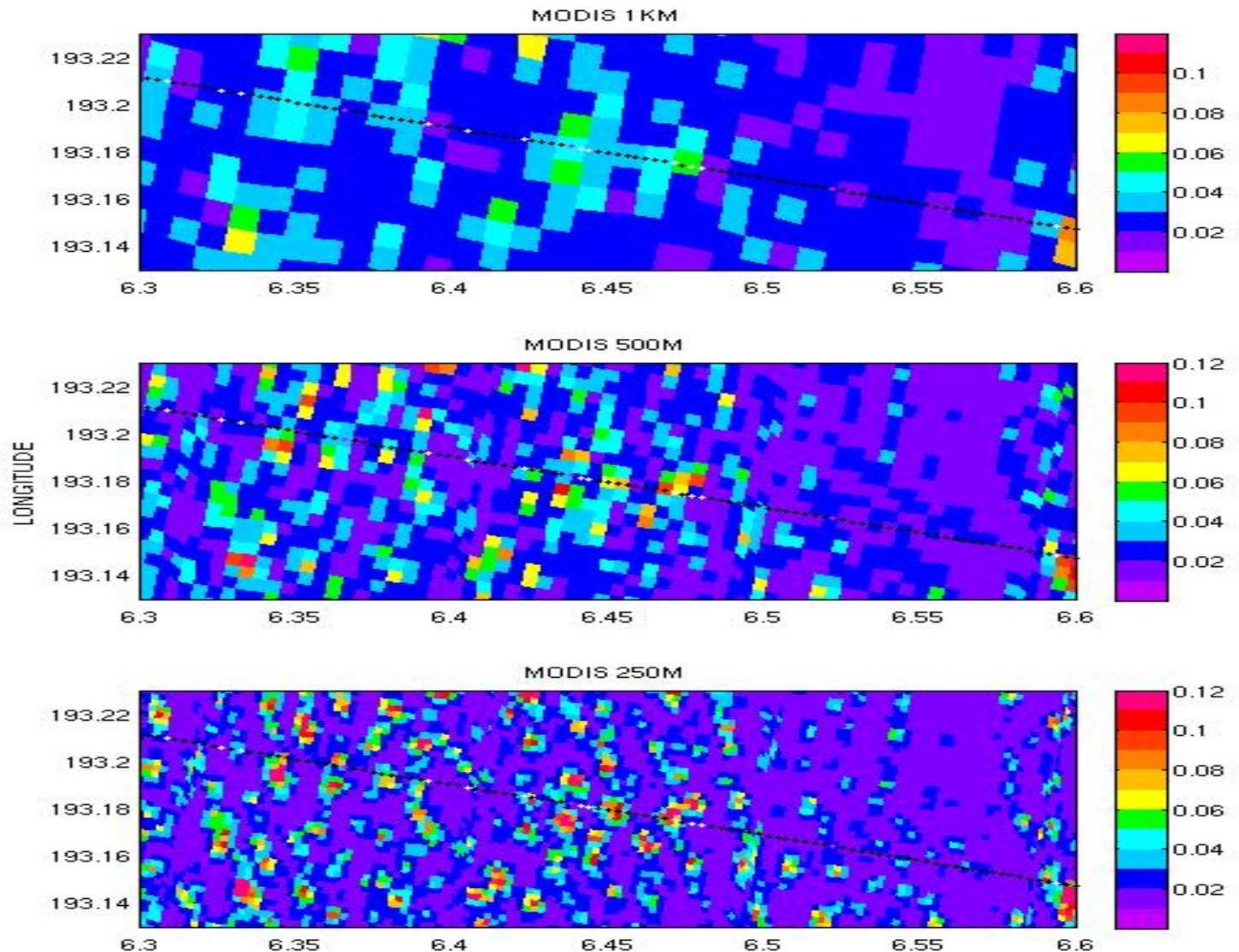
Figure 3: POLDER image showing polarization arcs observed in a cloud field off the coast of Africa.



# Téledétection passive

- Modis:  
La « haute »  
résolution  
spectrale  
et spatiale

« la texture  
des  
nuages »





# Téledétection passive

- Les instruments en orbite héliosynchrone:  
AVHRR, MODIS, POLDER/PARASOL, SCARAB, ...
- Les satellites géostationnaires: *Météosat/MSG*
  - > ISCCP: International Satellite Cloud Climatology
  - le cycle diurne des nuages
  - les longues séries temporelles: variabilité inter-annuelle

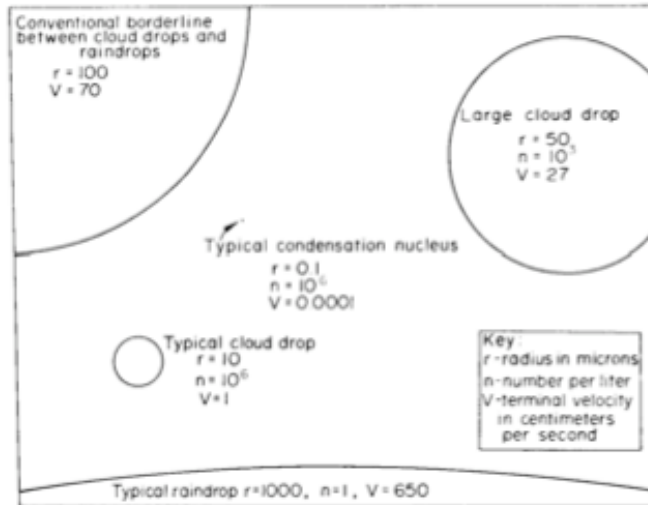
# Plan

- Observer les nuages par prélèvements in situ
- Observer les nuages par télédétection passive
- Observer les nuages par télédétection active:  
radar et lidar
- Observations des nuages et climat:  
Evaluer la description des nuages dans les modèles de  
climat  
Documenter l'évolution des nuages à long terme

# La télédétection active

- Principe:  
choix de ttes les caractéristiques de la source de rayonnement
  - Longueur d'onde
  - Direction de visée
  - Puissance
  - Etat de polarisation... et une source d'émission pulsée

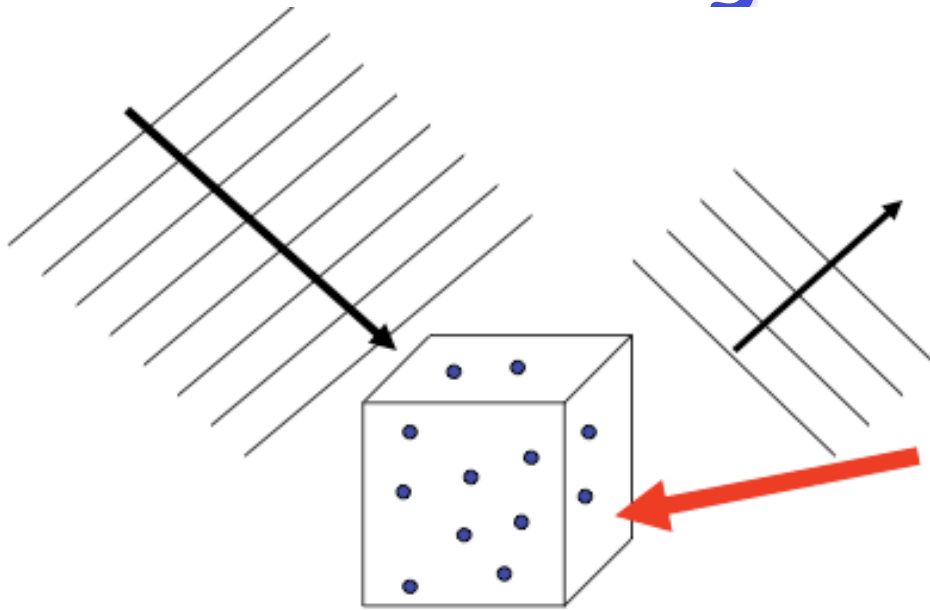
# Téledétection active pour les nuages: + et -



\* Dépend aussi de la concentration en volume des particules

Emetteur	Avantages	Inconvénients
Laser (vis et IR $\lambda$ )	Voit* ttes les particules 0.1 mic et au-dessus, haute resolution spatiale	Atténué fortement dans nuages épais, diffusion multiple, => mesure distance confuse
Ondes mm	Voit* ttes les particules > 5 mic	Atténuation dans les pluies modérées et fortes ms pour pluie > 3-5 Mm/hr depuis l'espace
Ondes cm	Moins atténué sous pluies intenses	Incapable de voir la majorité des nuages

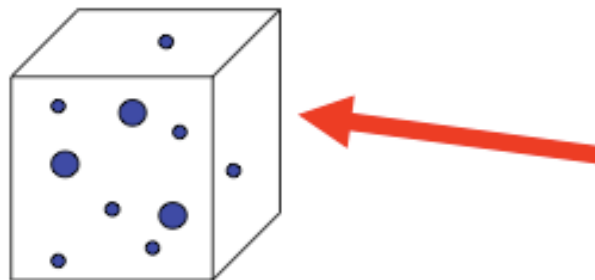
# La télédétection active pour les nuages: le radar



La puissance rétrodiffusée par le volume nuageux est relié directement à la taille des particules dans le volume sondé  $Z$ ;  $ND^6$

Pour un nuage hypothétique (particules ttes de meme taille), la puissance est proportionnelle au carré du contenu en eau ou glace du volume sondé  $Z$ ;  $w^2$

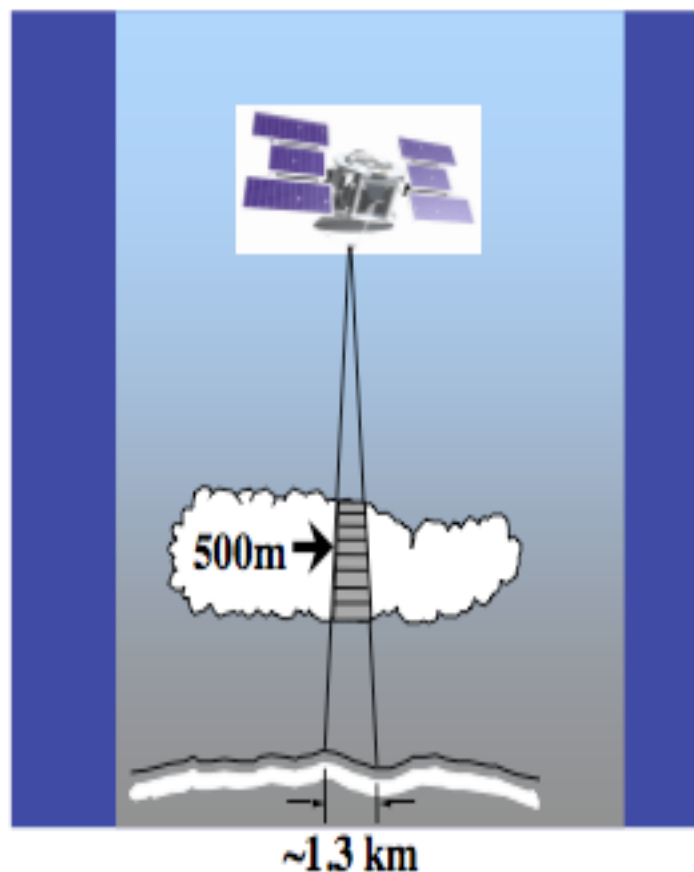
MAIS



Pour nuage réel (particules de tailles variables dans le volume sondé), la puissance  $Z$  est *approximativement* proportionnelle au carré du LWC ou IWC du volume du radar –autres informations typiquement ajoutée



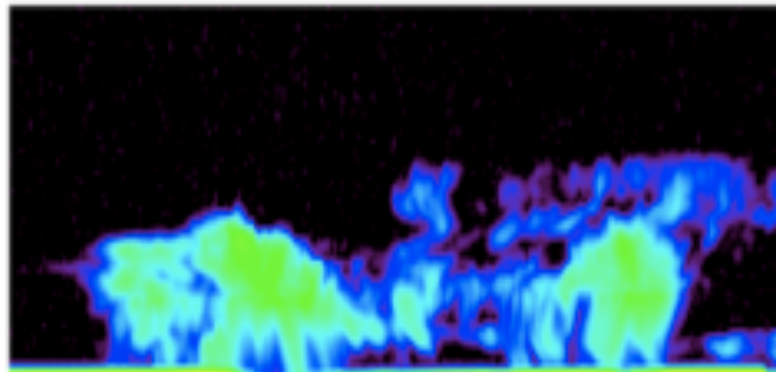
# Le radar spatial CloudSat



Visée au nadir, 94 GHz  
3.3  $\mu$ s pulse : 480 m rés. verticale  
1.3 km rés. Horizontale  
Calibration meilleure que 2 dBZ  
Sensibilités -30 dBZ  
Intervalle de mesure: 80 dB

# Le radar spatial CloudSat

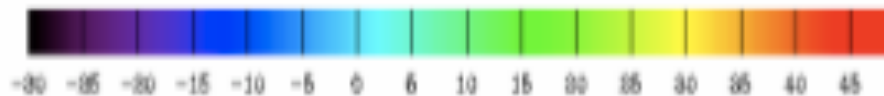
2006336151939\_D3178\_CS\_51554\_TR.hdf



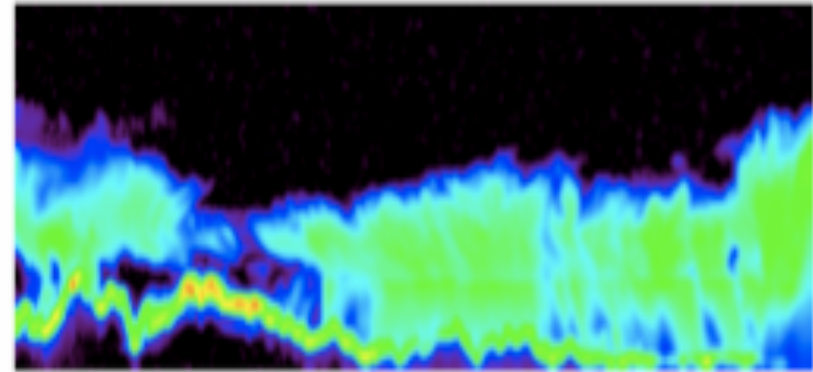
CloudSat CPR ( 33.84, 161.43) -1.46 min.



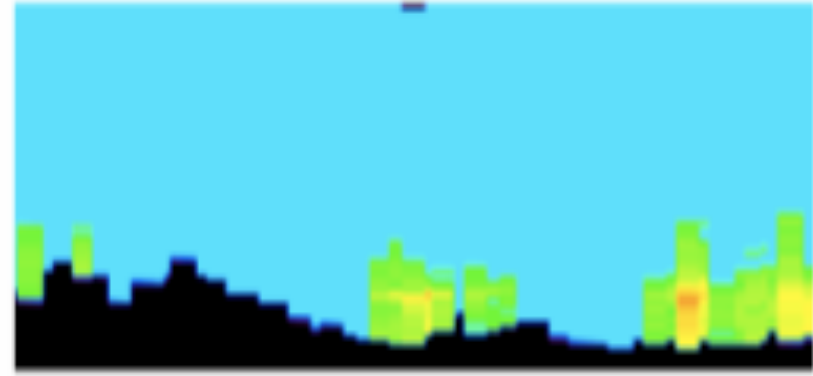
TRMM PR ( 33.84, 161.44)



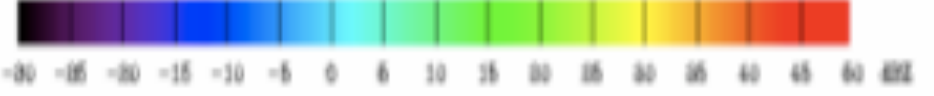
2006344184321\_D3297\_CS\_51681\_TR.hdf



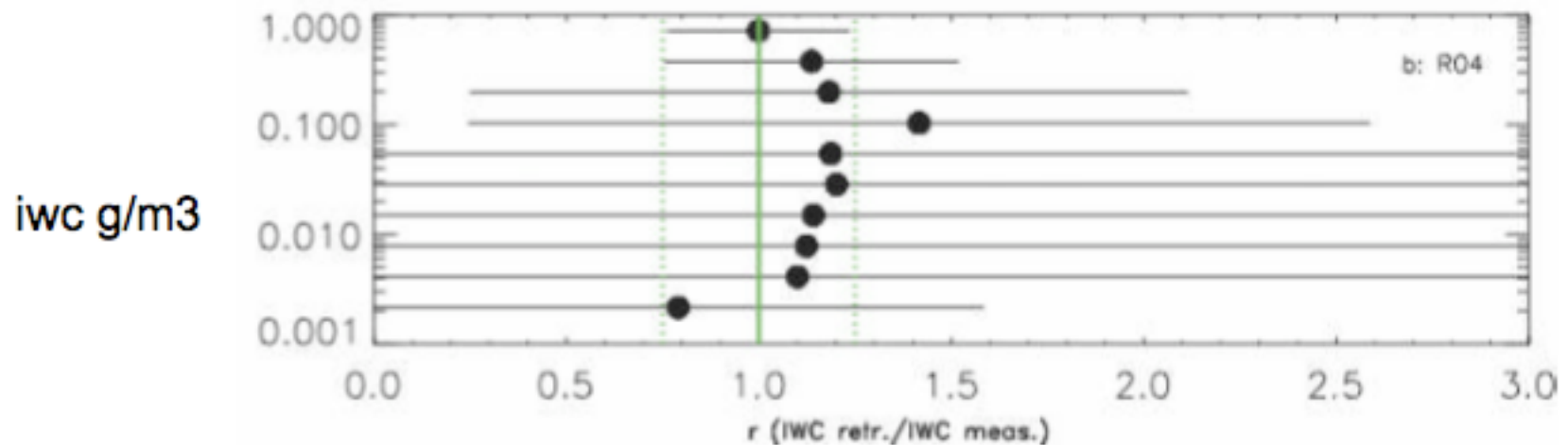
CloudSat CPR ( -18.67, -73.15) -28.27 min.



TRMM PR ( -18.66, -73.15)

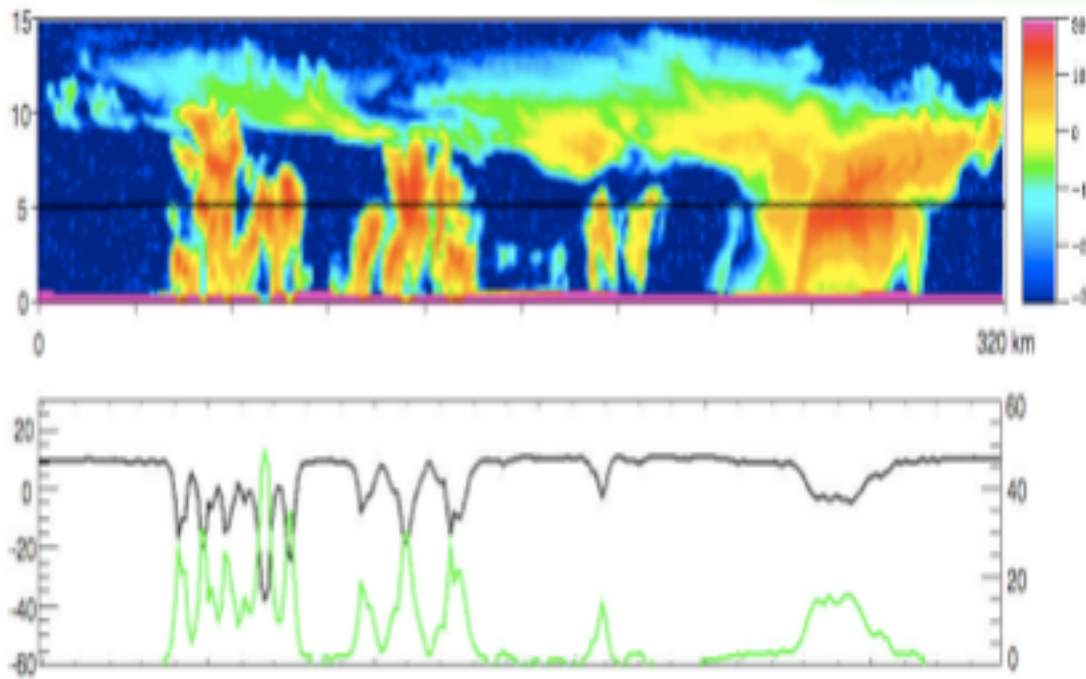


# Exemple d'incertitudes: incertitude IWC < 50% incertitude IWP 30%



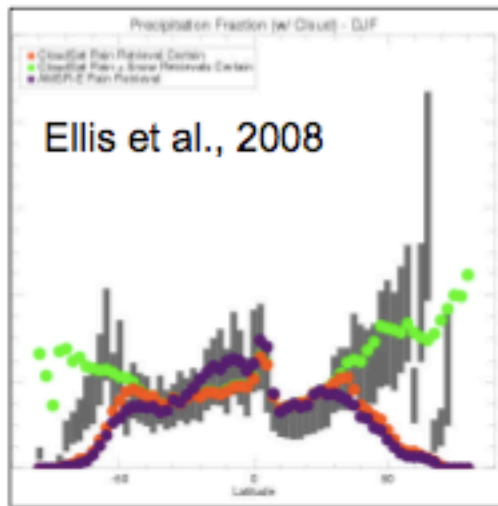
# Atténuation par les précipitations

- Détection des précipitations

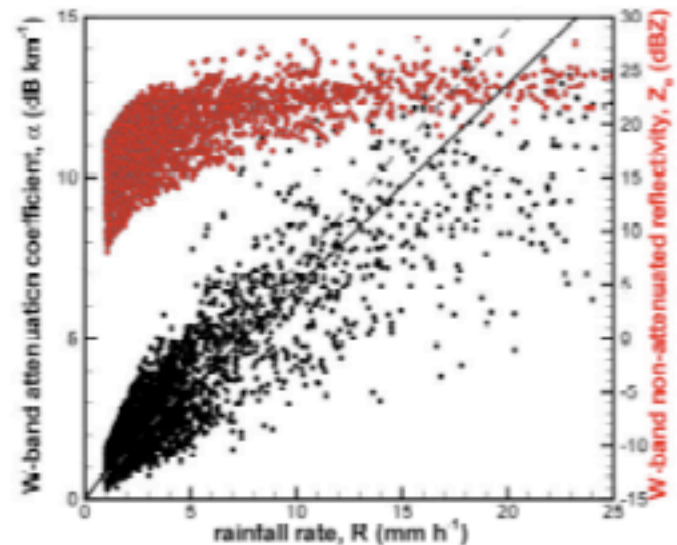


Condition	$Z_u$ range (dB)
Rain definite	$> 0$
Rain probable	-7.5 to 0
Rain possible	-15 to -7.5
Snow definite	$> -5$
Snow possible	-15 to -5
No precipitation	$< -15$

# Mesures des précipitations



- GRAY BARS - COADS
- ORANGE DOTS - CloudSat liquid only
- GREEN DOTS - CloudSat liquid+snow
- PURPLE DOTS - AMSR-E passive microwave estimates matched to CloudSat track

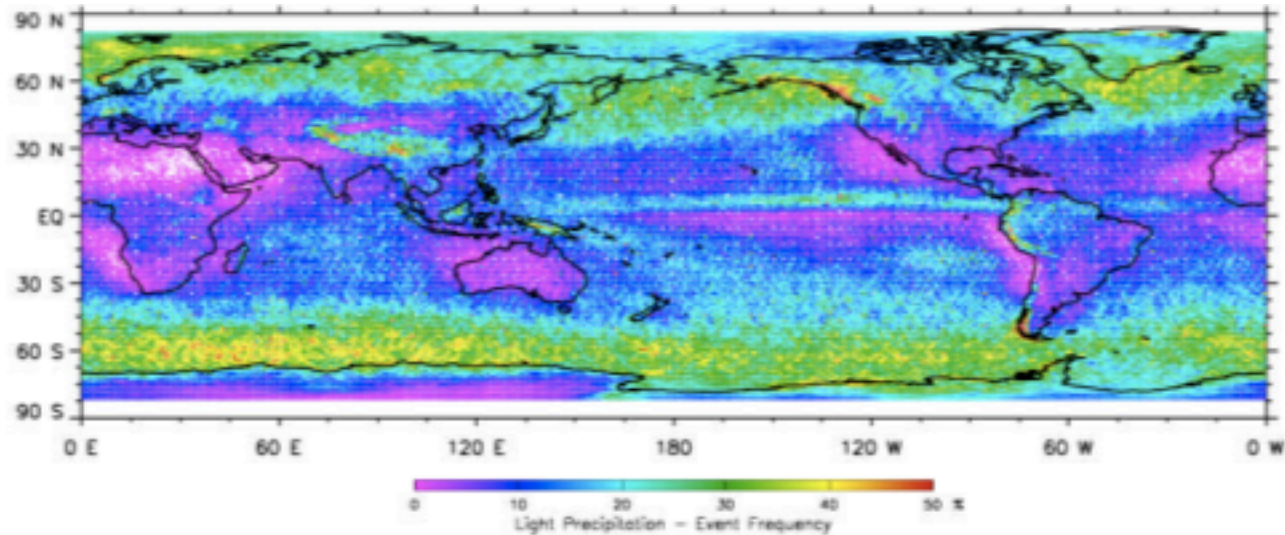


PIA uncertainty  $\sim 2$  dB  
Corresponds to a threshold  
Precip of  $\sim 0.05$ mm/hr

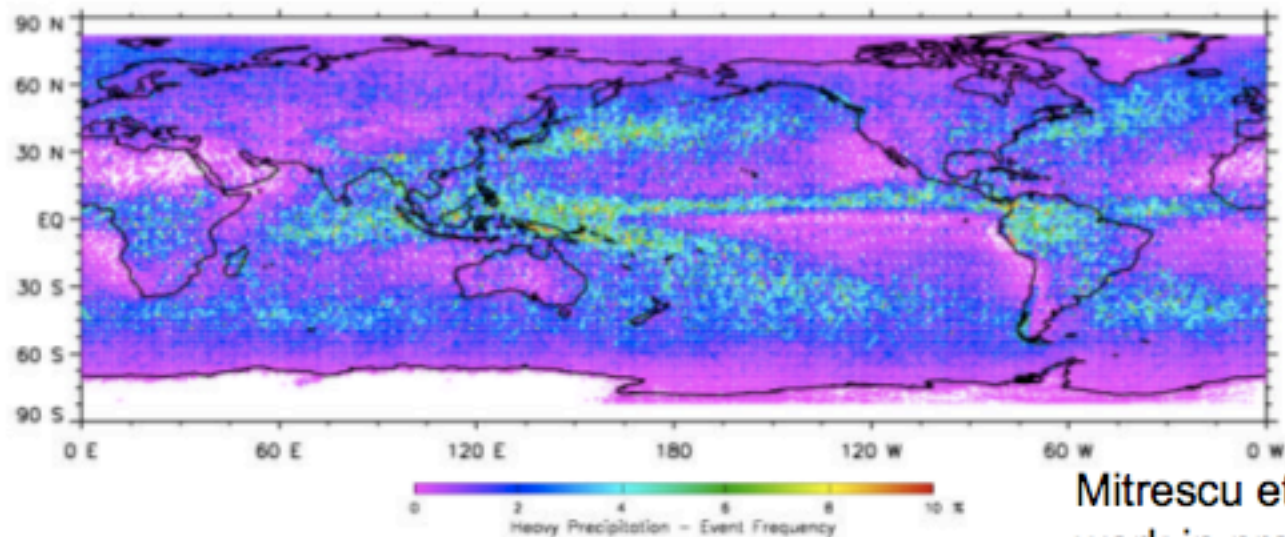


# Mesures des précipitations: CloudSat 2 années

'light'  
RR < 5 mm/hr



'heavy'  
RR > 5 mm/hr



Mitrescu et al –  
work in progress

# La télédétection active: lidar

- Principe:  
choix de ttes les caractéristiques de la source de rayonnement
  - Longueur d'onde
  - Direction de visée
  - Puissance
  - Etat de polarisation

Exercice:

Ecrire Eq lidar

Eq lidar et polarisation

# 1 orbite CALIPSO

$$SR = ATB / ATB_{mol}$$

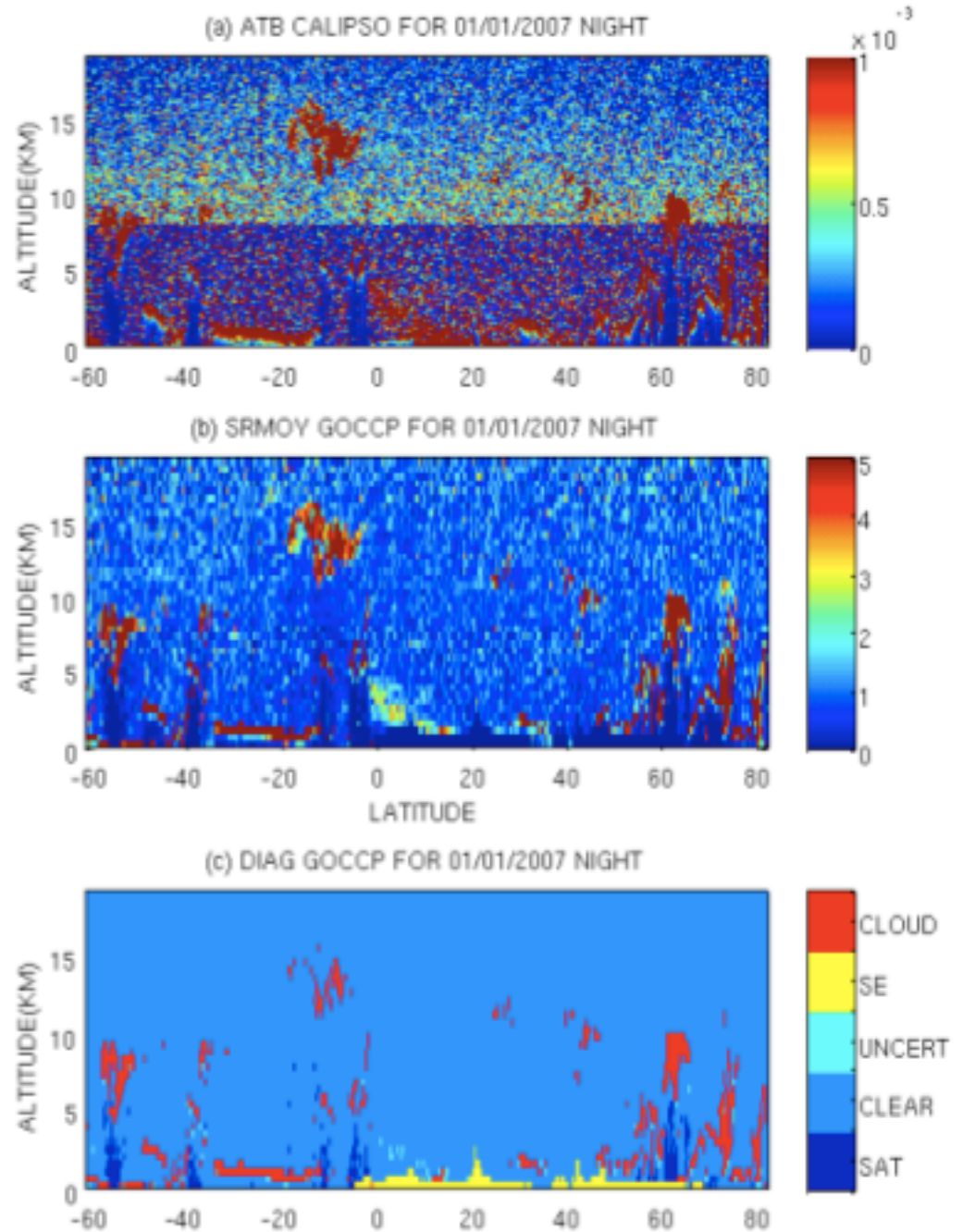
ATB = ATtenuated Backscatter signal

$SR > 5$  : nuages

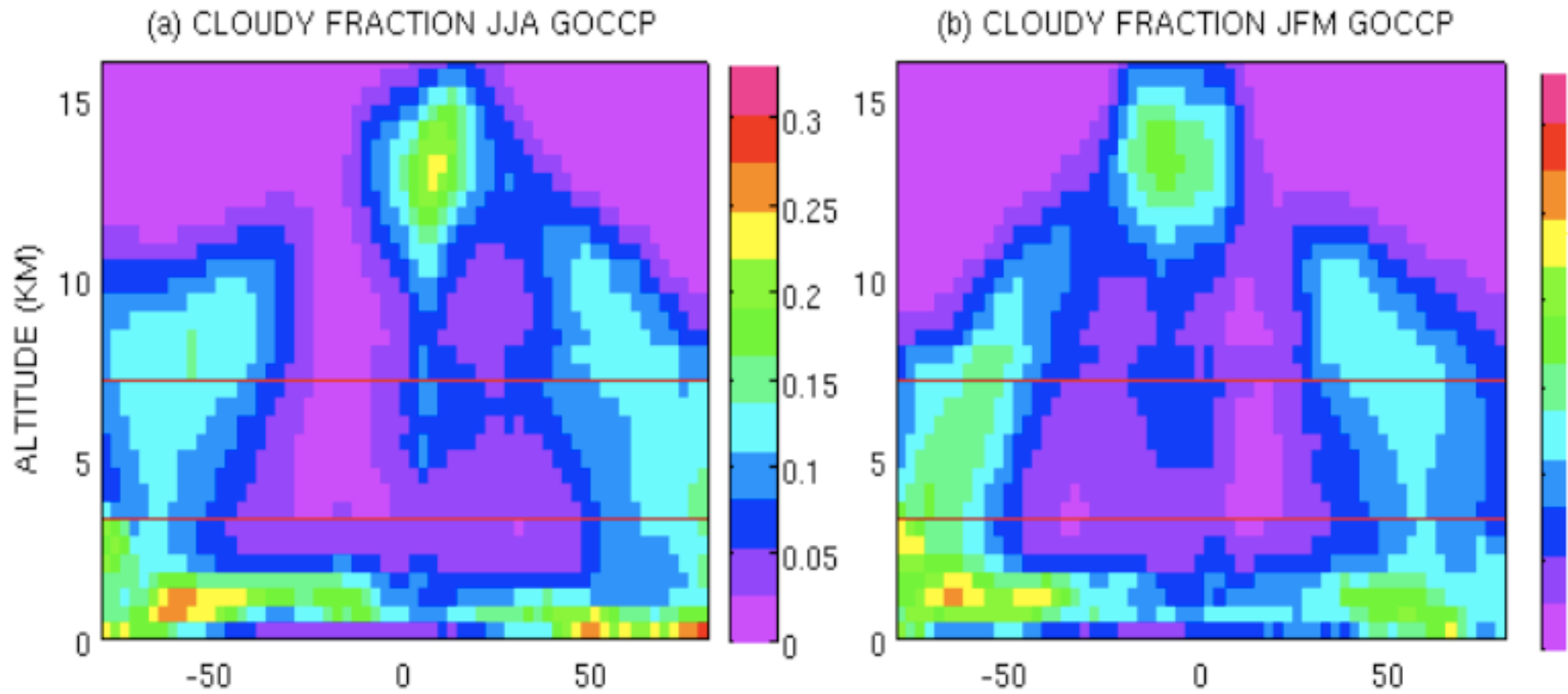
$1.2 < SR < 5$  : incertains

$0.01 < SR < 1.2$  : clair

$SR < 0.01$  : totalement atténué



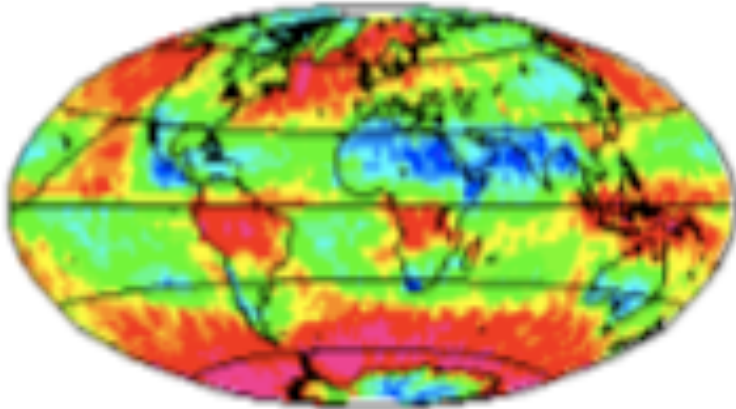
# Observer les nuages par télédétection active: lidar



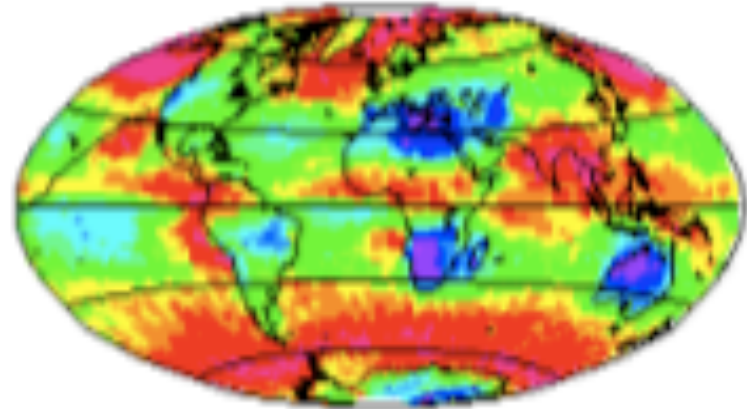
Fraction nuageuse 3D

# Observer les nuages par télédétection active: lidar

(a) TOTAL CLOUD GOCCP JFM



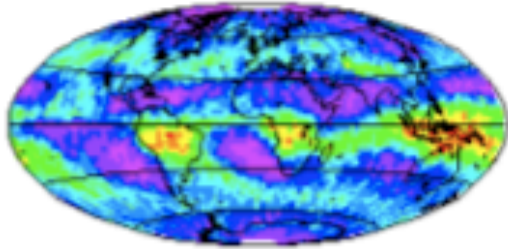
(e) TOTAL CLOUD GOCCP JJA



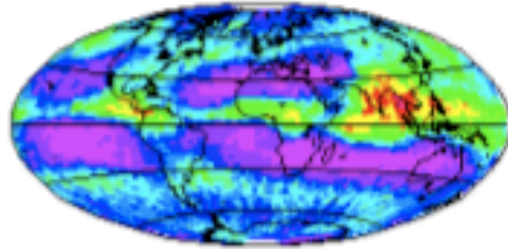
Fraction nuageuse totale



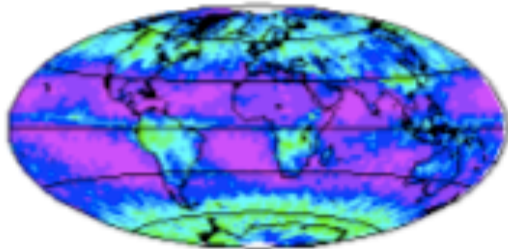
(b) HIGH CLOUD GOCCP JFM



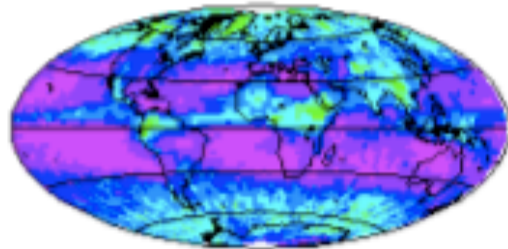
(f) HIGH CLOUD GOCCP JJA



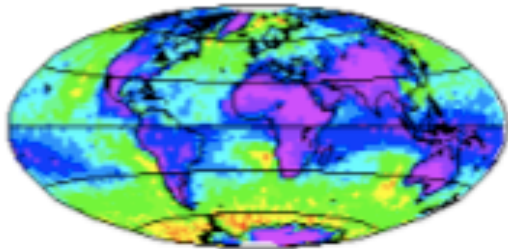
(c) MID CLOUD GOCCP JFM



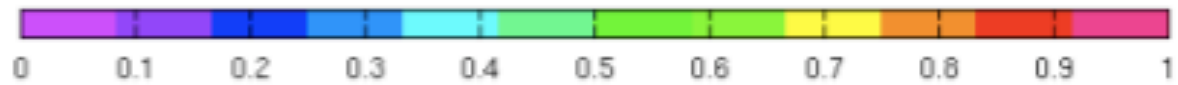
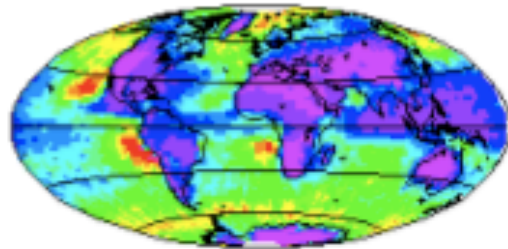
(g) MID CLOUD GOCCP JJA



(d) LOW CLOUD GOCCP JFM



(h) LOW CLOUD GOCCP JJA



Chepfer et al. 2010

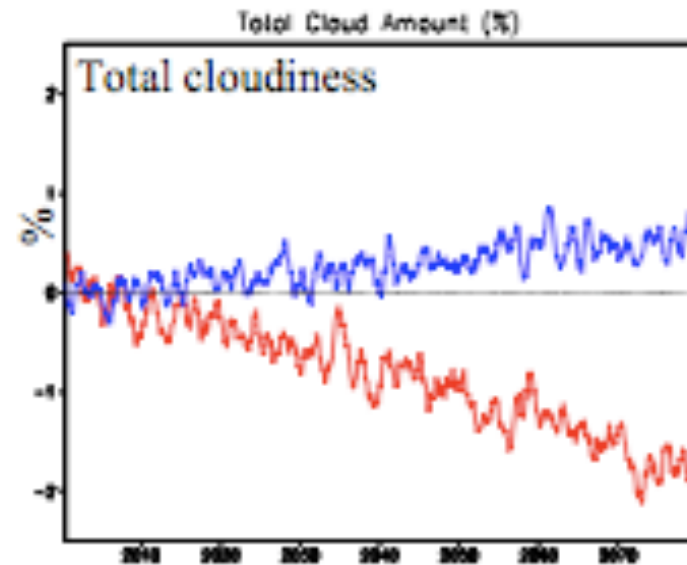
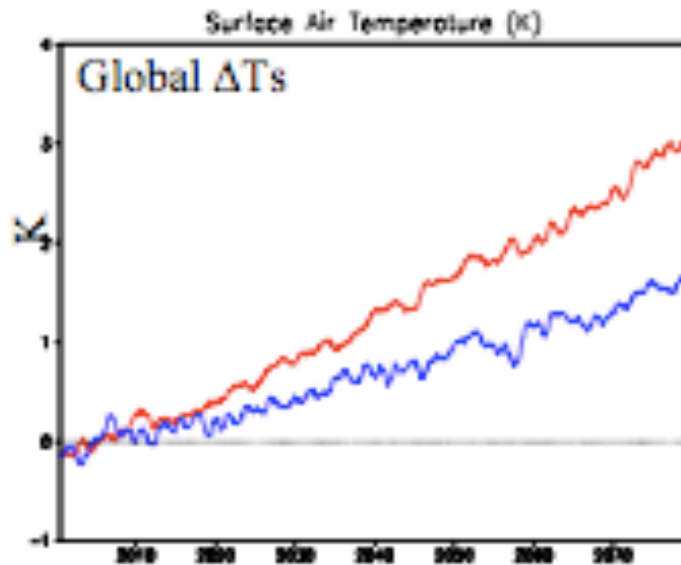
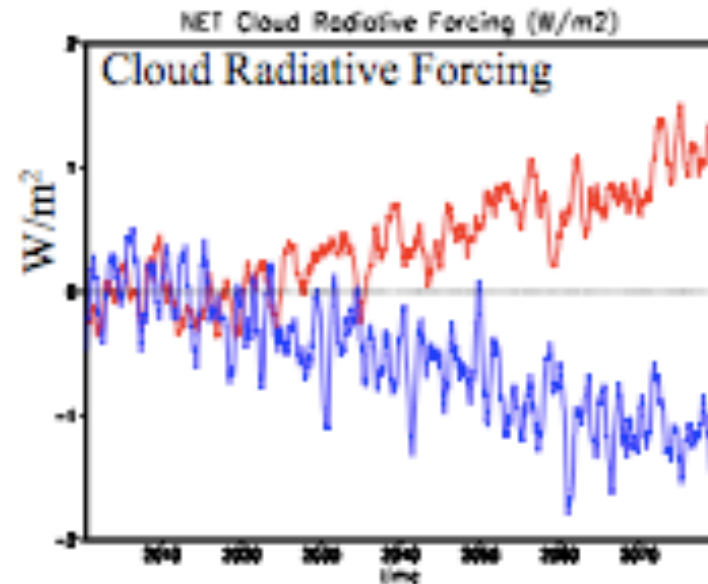
# Plan

- Observer les nuages par prélèvements in situ
- Observer les nuages par télédétection passive
- Observer les nuages par télédétection active:  
radar et lidar
- Observations des nuages et climat:  
Evaluer la description des nuages dans les modèles de  
climat  
Documenter l'évolution des nuages à long terme

## Clouds & climate sensitivity

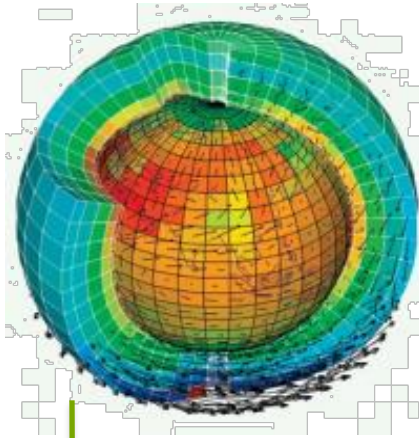
AR4 OAGCMs :

**MIROC-HIRES** vs **NCAR CCSM3**  
global warming experiments  
(+1% CO<sub>2</sub>/yr)

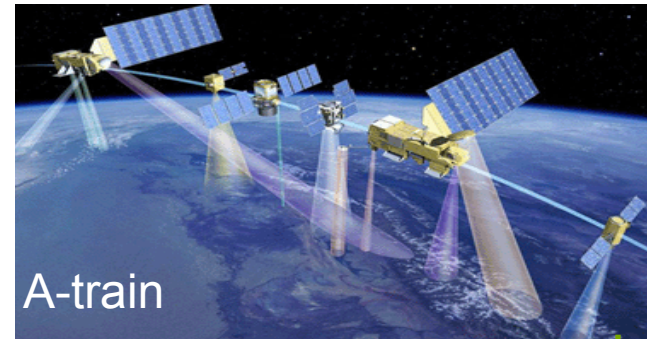


Courtesy S. Bony

# Une stratégie pour évaluer la description des nuages dans les modèles de climat



not consistent



## Observation simulators

CFMIP-OSP/CALIPSO/PARASOL  
Subgridding, Overlap, Detection, Stat  
etc... (Chepfer, Bony et al. 2008)

## Specific data processing starting from Level 1

Spatio-temporal resolution. detection  
threshold consistent with the simulator  
(Chepfer, Bony et al. submitted)

## Simulated datasets

CALIPSO-like  
PARASOL-like

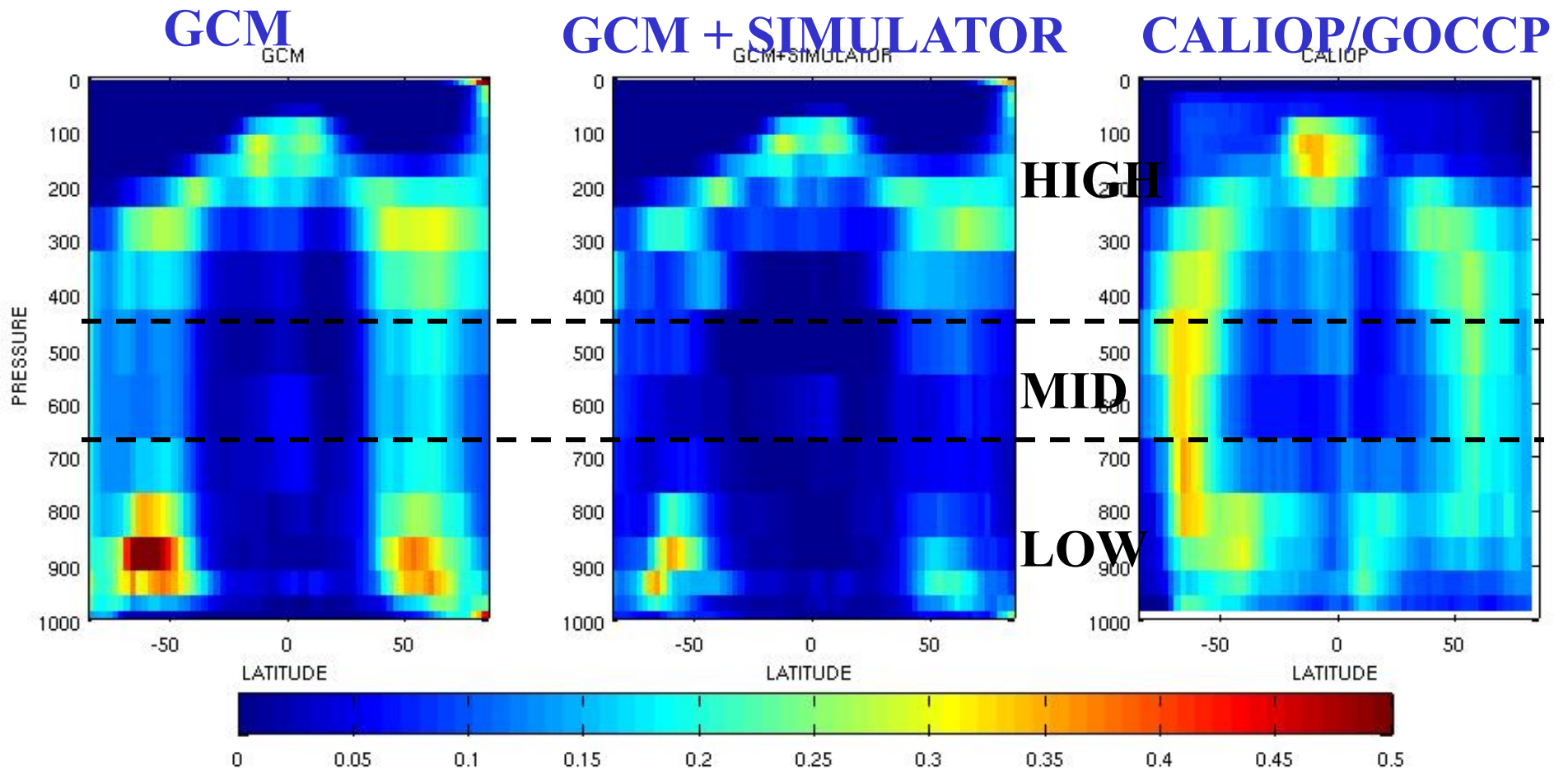
consistent

## Observational datasets

CALIPSO-GOCCP (see  
poster G. Cesana)  
PARASOL-Reflectance

Ensures that model/obs differences are due to model deficiencies

# Comparisons CALIOP / LMDz-GCM : Zonal mean



CLOUD FRACTION

Chepfer et al. 2008



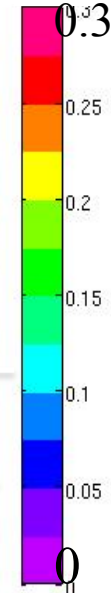
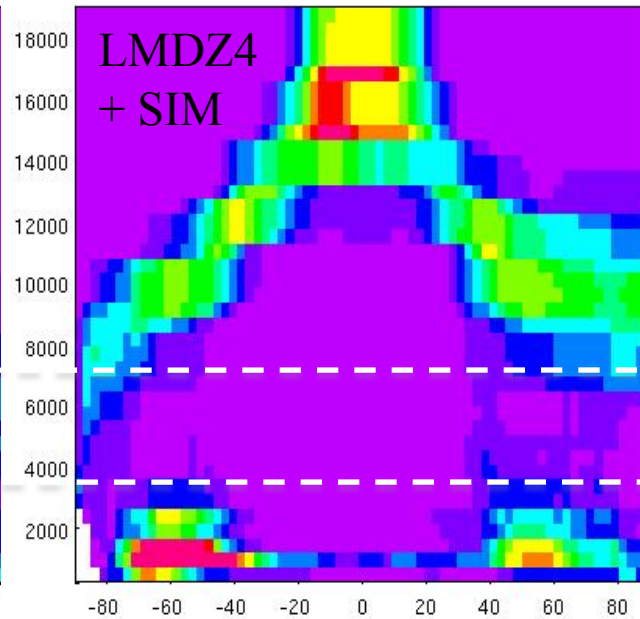
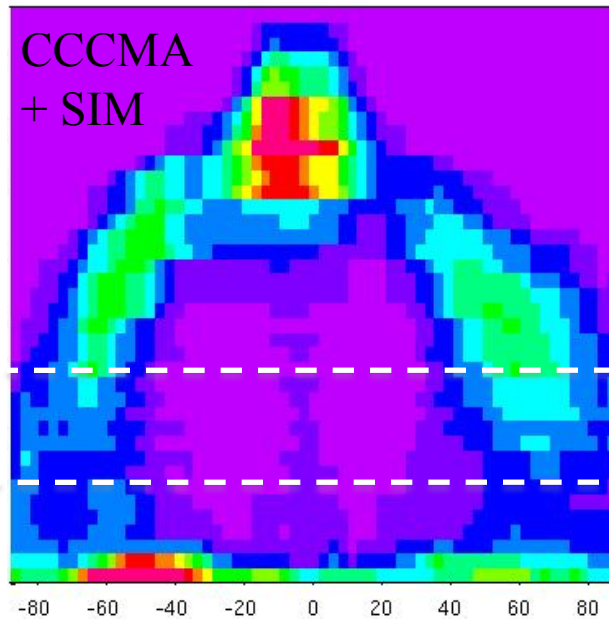
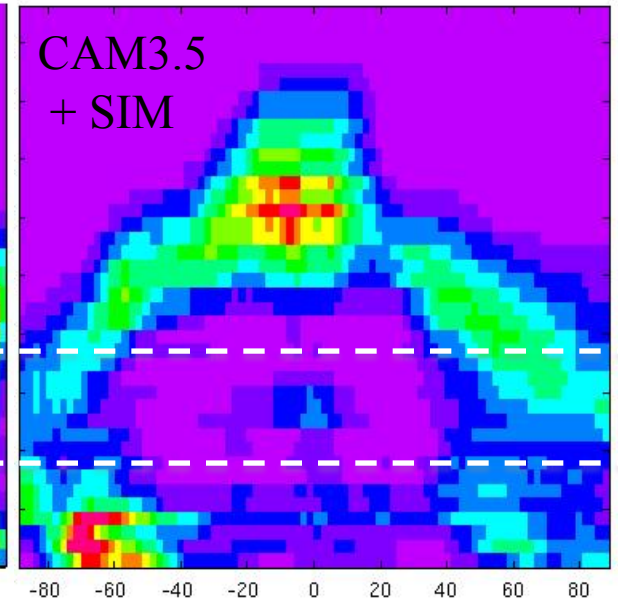
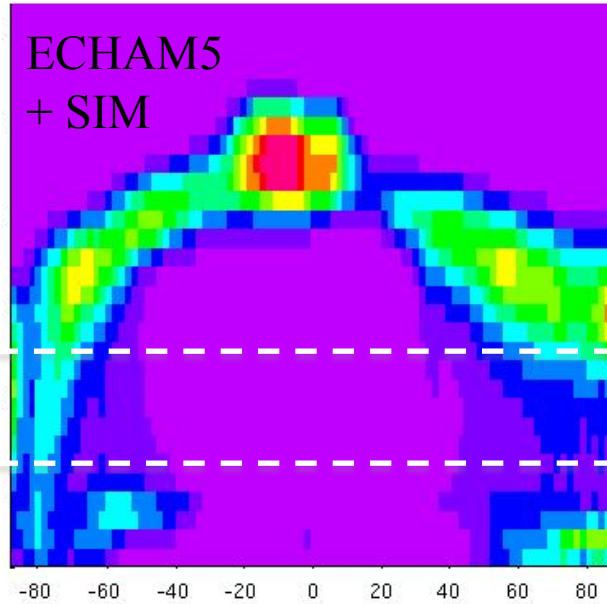
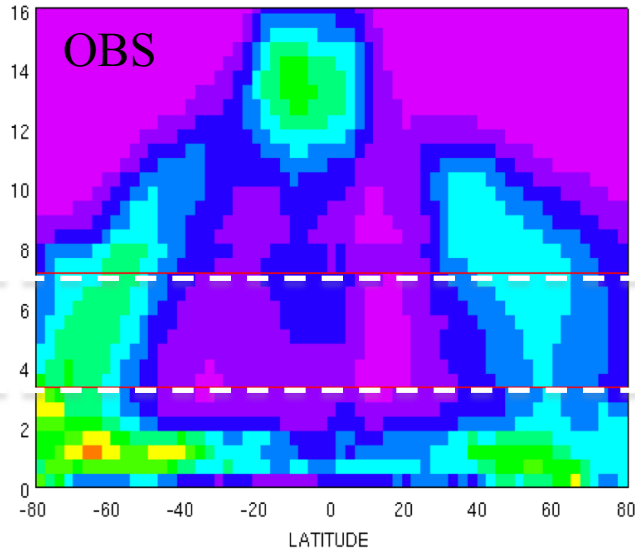
# (d2) Cloud Vertical Distribution

## CALIPSO-GOCCP

ECHAM5 + LIDAR SIMULATOR - JFM

LLNL + LIDAR SIMULATOR - JFM

CLOUDY FRACTION JFM GOCCP

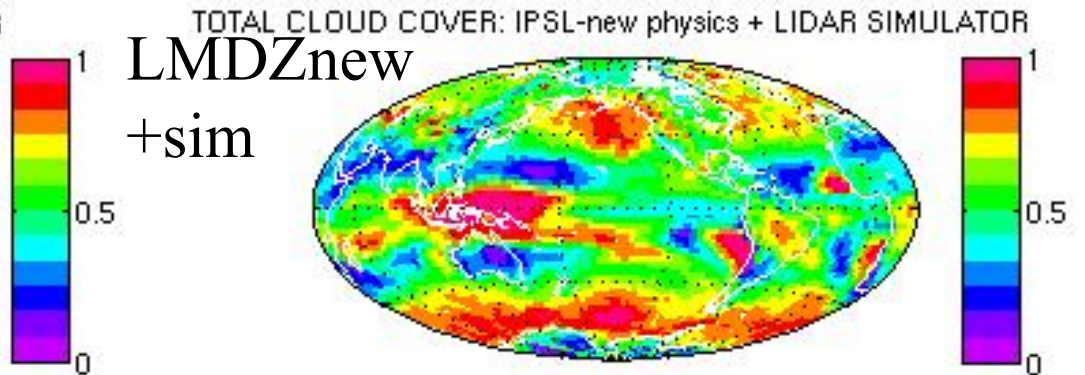
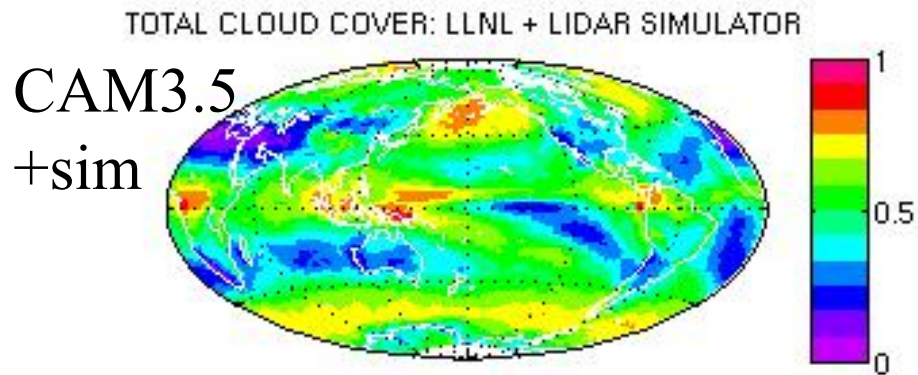
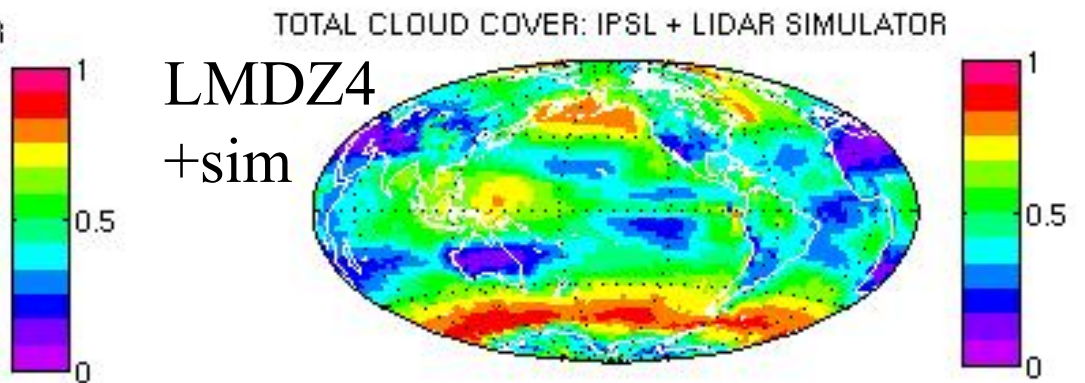
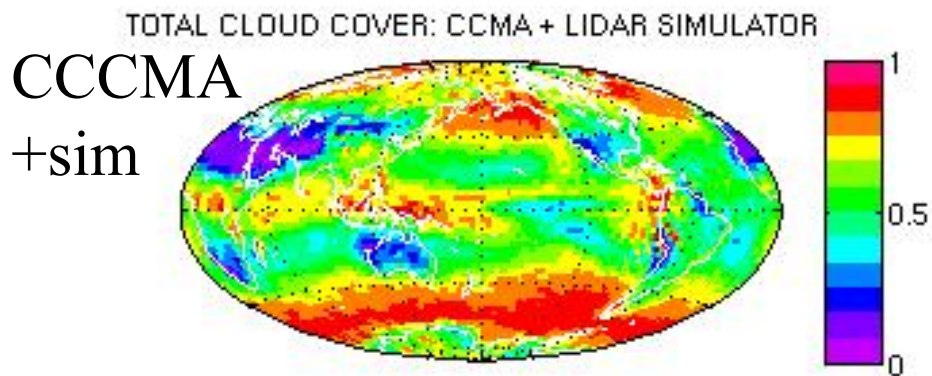
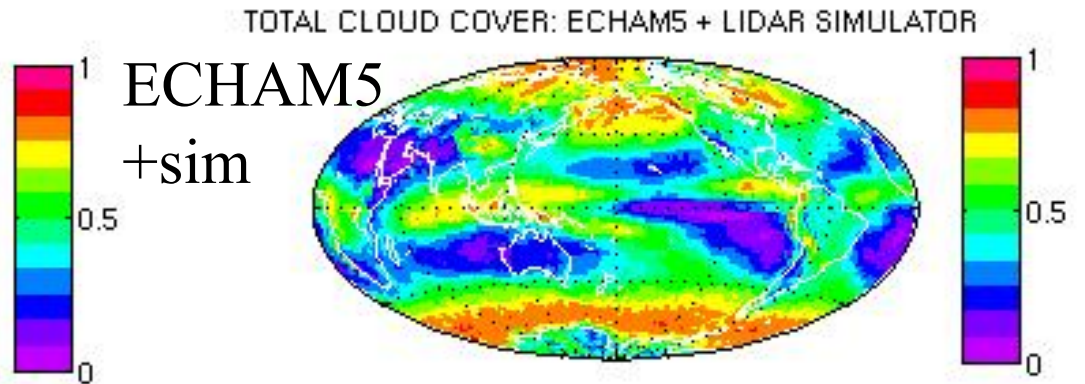
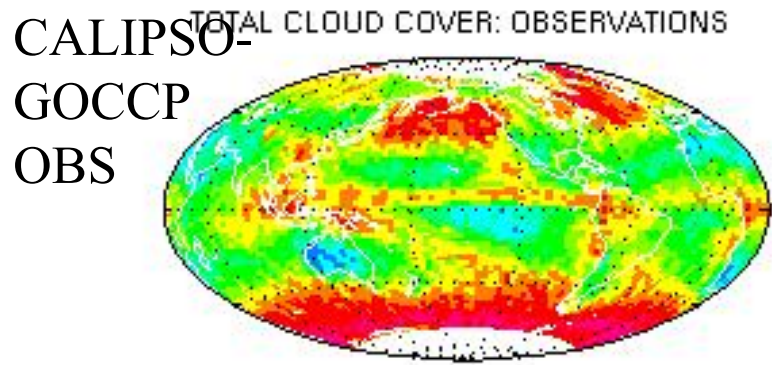


Overestimate:  
- High clouds

Underestimate:  
- Tropical low clouds  
- Congestus  
- Mid level mid lat



# Cloud cover model evaluation

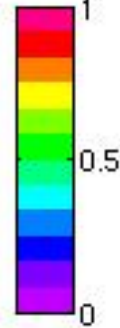
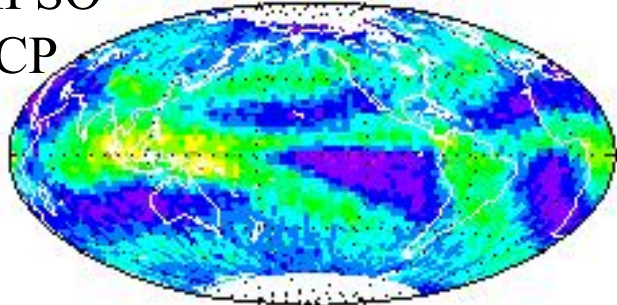




# High clouds model evaluation

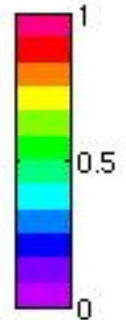
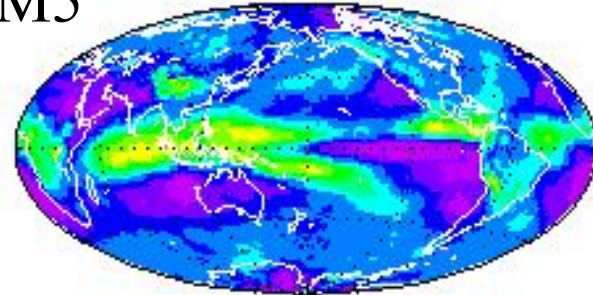
CALIPSO-  
GOCCP  
OBS

HIGH CLOUD COVER: OBSERVATIONS



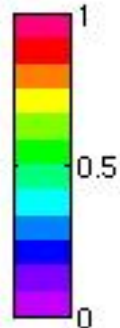
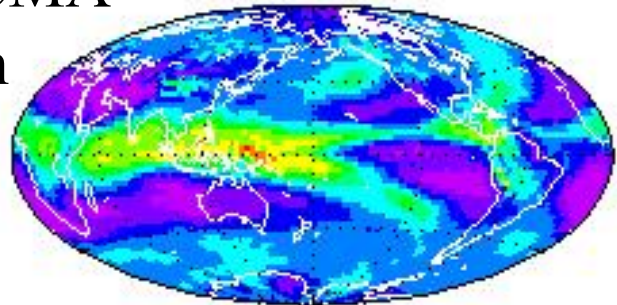
ECHAM5  
+sim

HIGH CLOUD COVER: ECHAM5 + LIDAR SIMULATOR



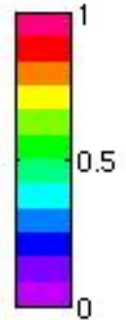
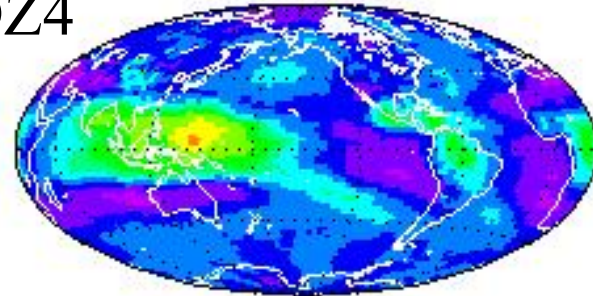
CCCMA  
+sim

HIGH CLOUD COVER: CCCMA + LIDAR SIMULATOR



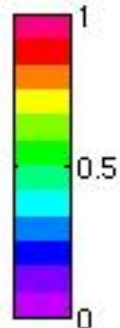
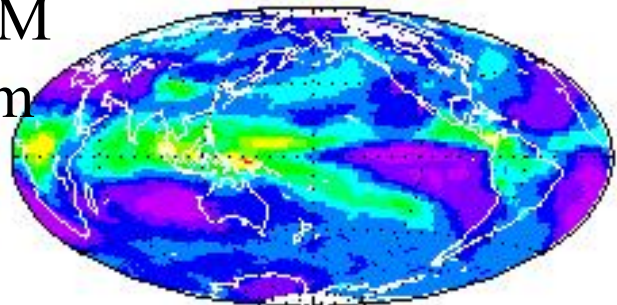
LMDZ4  
+sim

HIGH CLOUD COVER: IPSL + LIDAR SIMULATOR



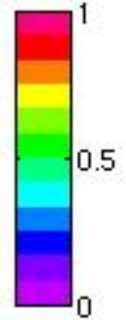
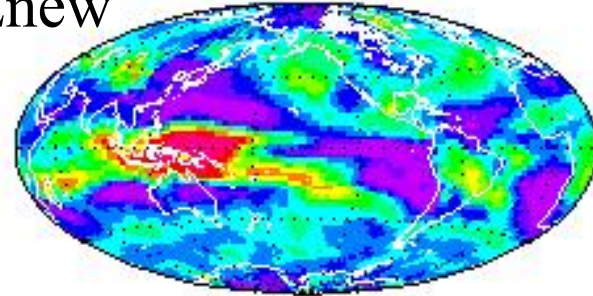
CAM  
+sim

HIGH CLOUD COVER: LLNL + LIDAR SIMULATOR



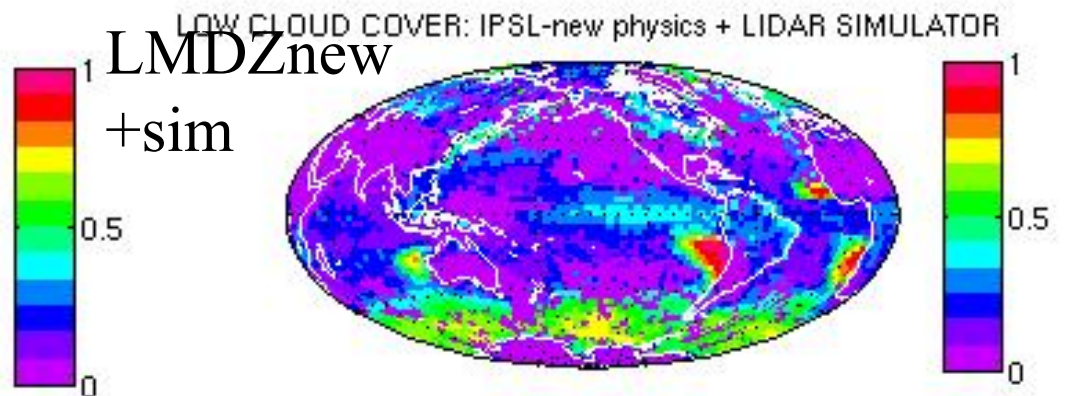
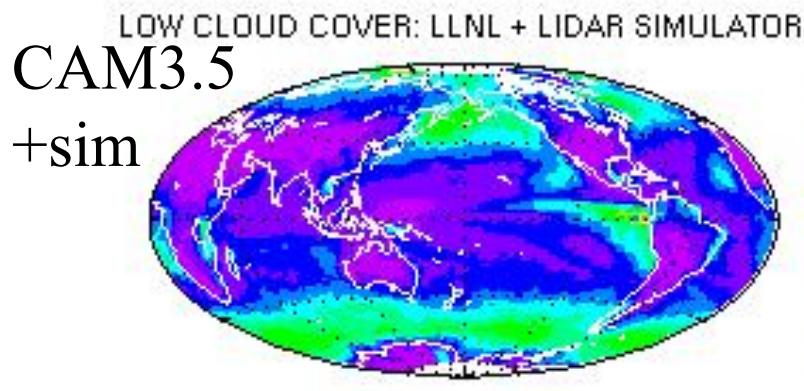
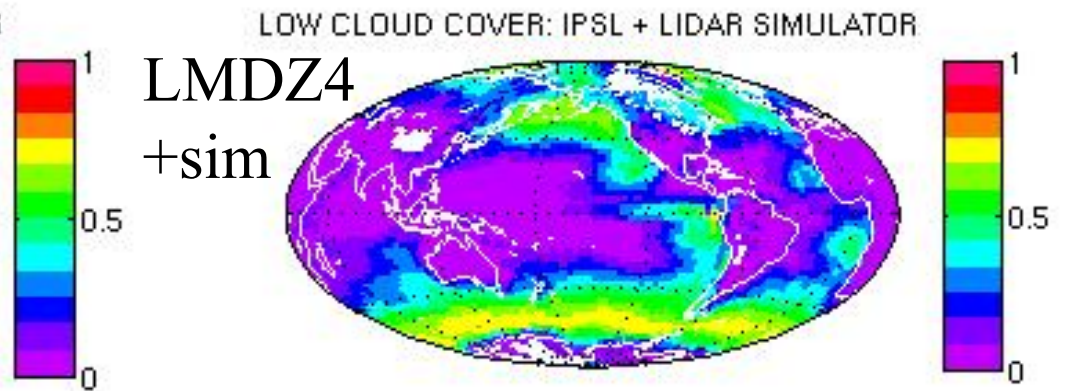
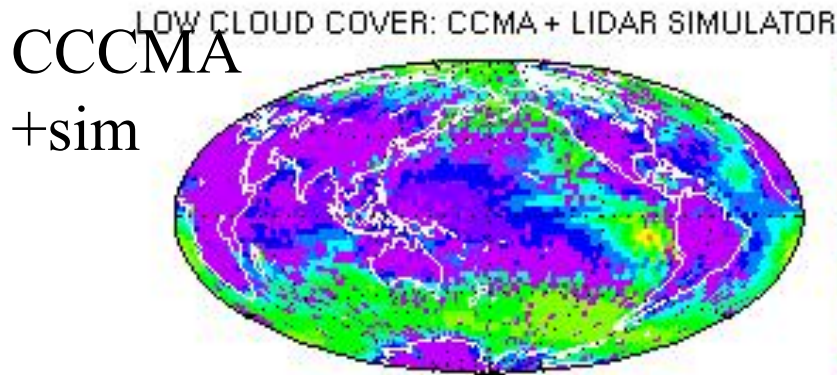
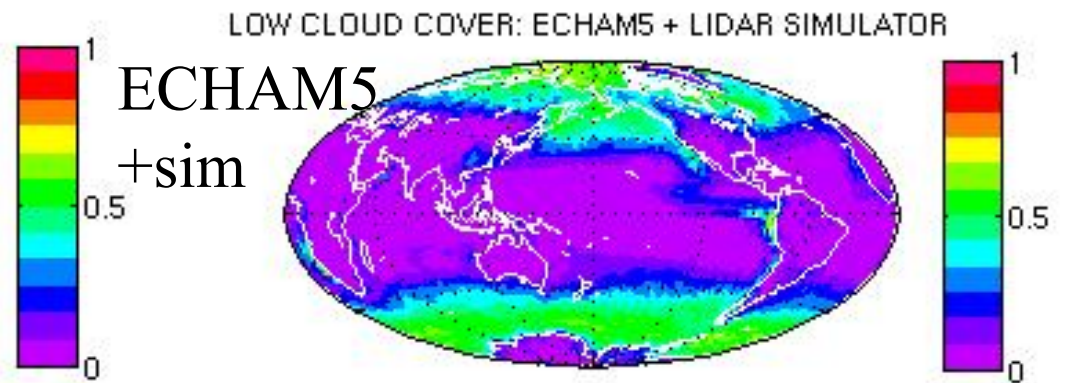
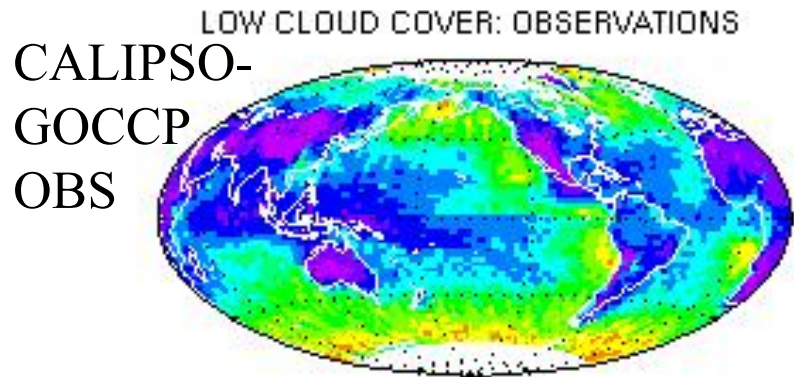
LMDZnew  
+sim

HIGH CLOUD COVER: IPSL-new physics + LIDAR SIMULATOR





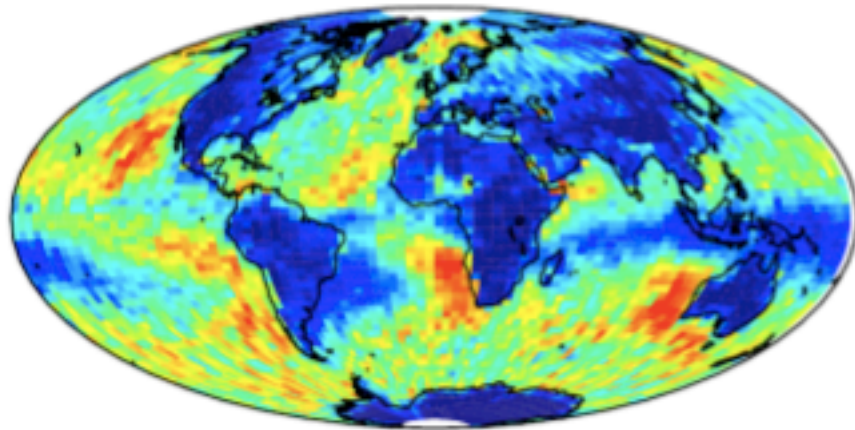
# Low clouds model evaluation



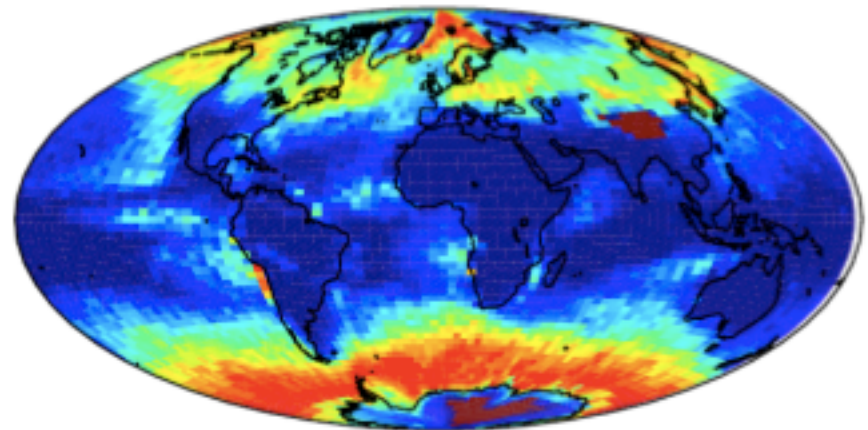


Low Level cloud fraction ( $P_{top} > 680\text{hPa}$ ) Jan-Feb-Mar

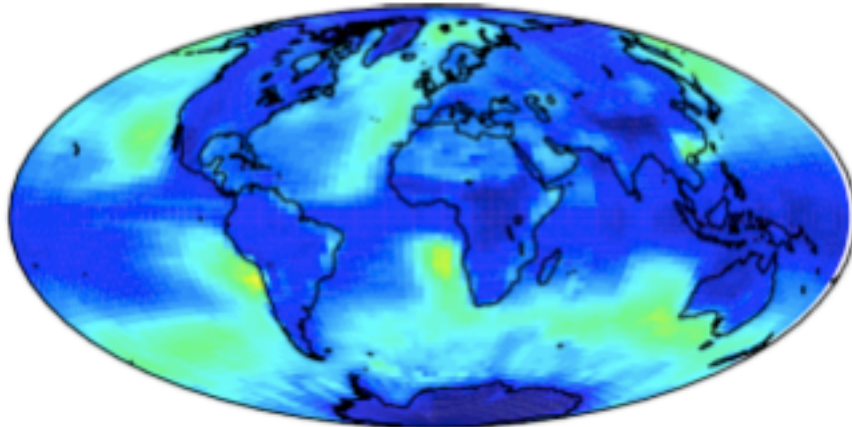
**CALIPSO data**



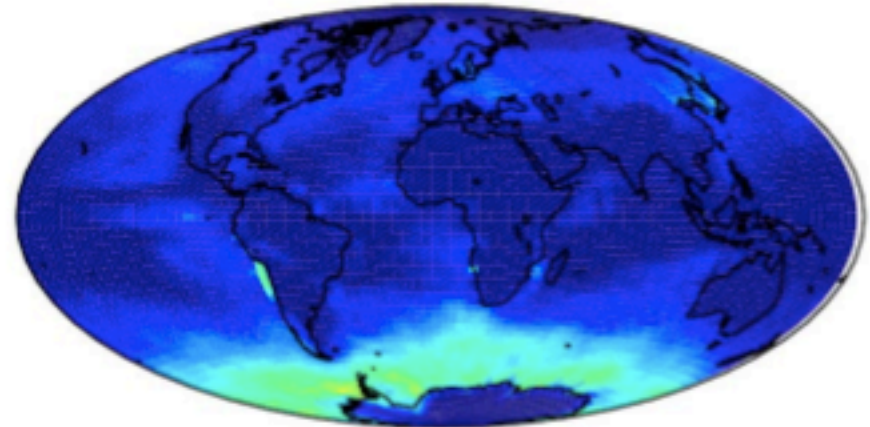
**GCM + CALIPSO simulator**



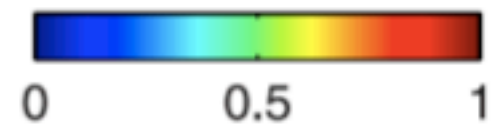
**ISCCP data**



**GCM + ISCCP simulator**



*(Chepfer, Bony, Winker, Chiriaco, Dufresne & Seze, GRL, 2008)*



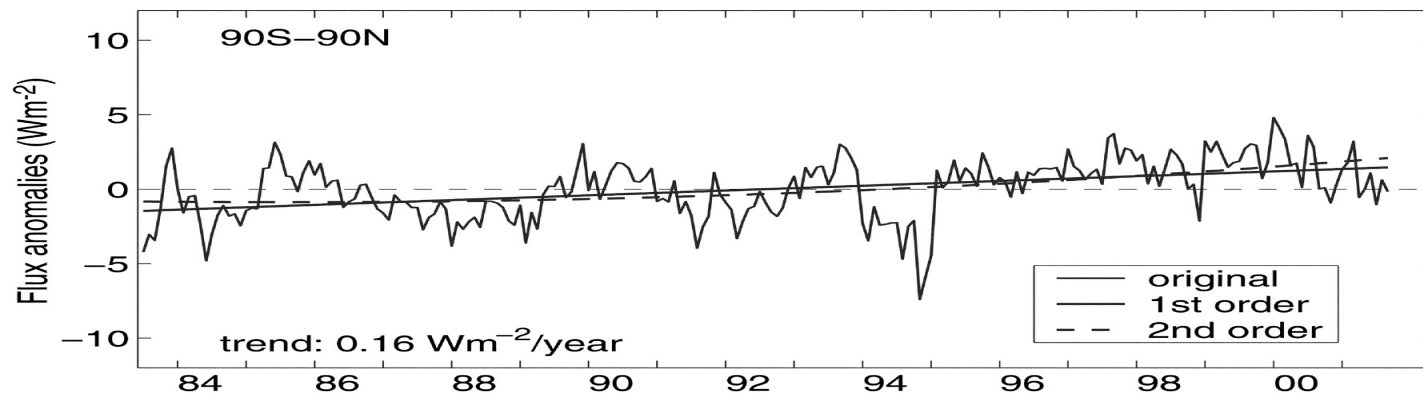
# Plan

- Observer les nuages par prélèvements in situ
- Observer les nuages par télédétection passive
- Observer les nuages par télédétection active: radar et lidar
- Observations des nuages et climat:  
Evaluer la description des nuages dans les modèles de climat  
Documenter l'évolution des nuages à long terme



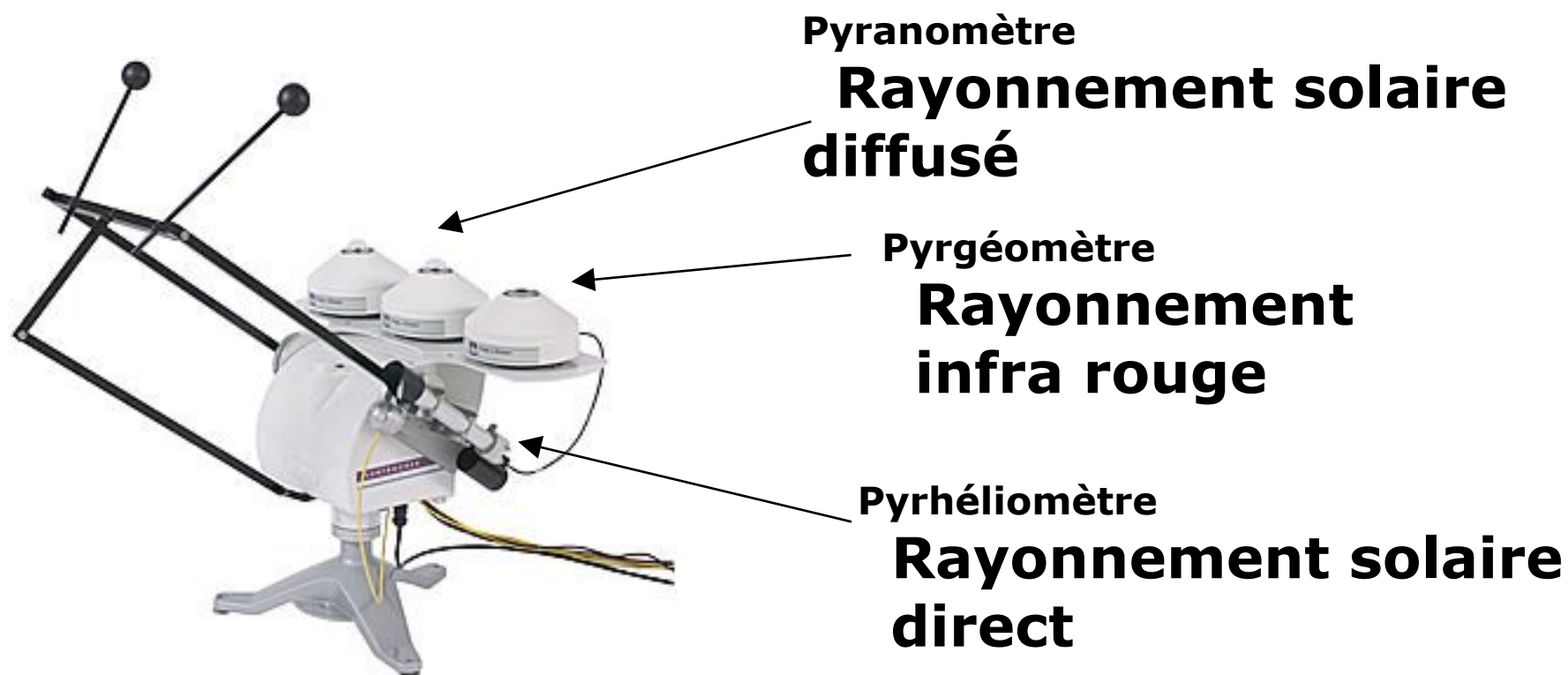
# Les observatoires sol: longues séries temporelles, faible couverture spatiale

→ Phénomène de « Dimming and Brightening »



- Rayonnement solaire reçu à la surface (mesuré par satellite) après soustraction du rayonnement moyen.
- Régression linéaire (trait plein) et de second ordre (pointillés) de l'anomalie de rayonnement solaire reçu.

# Mesure de flux au sol



Réseau BSRN

## ➤ Les données de radiomètres

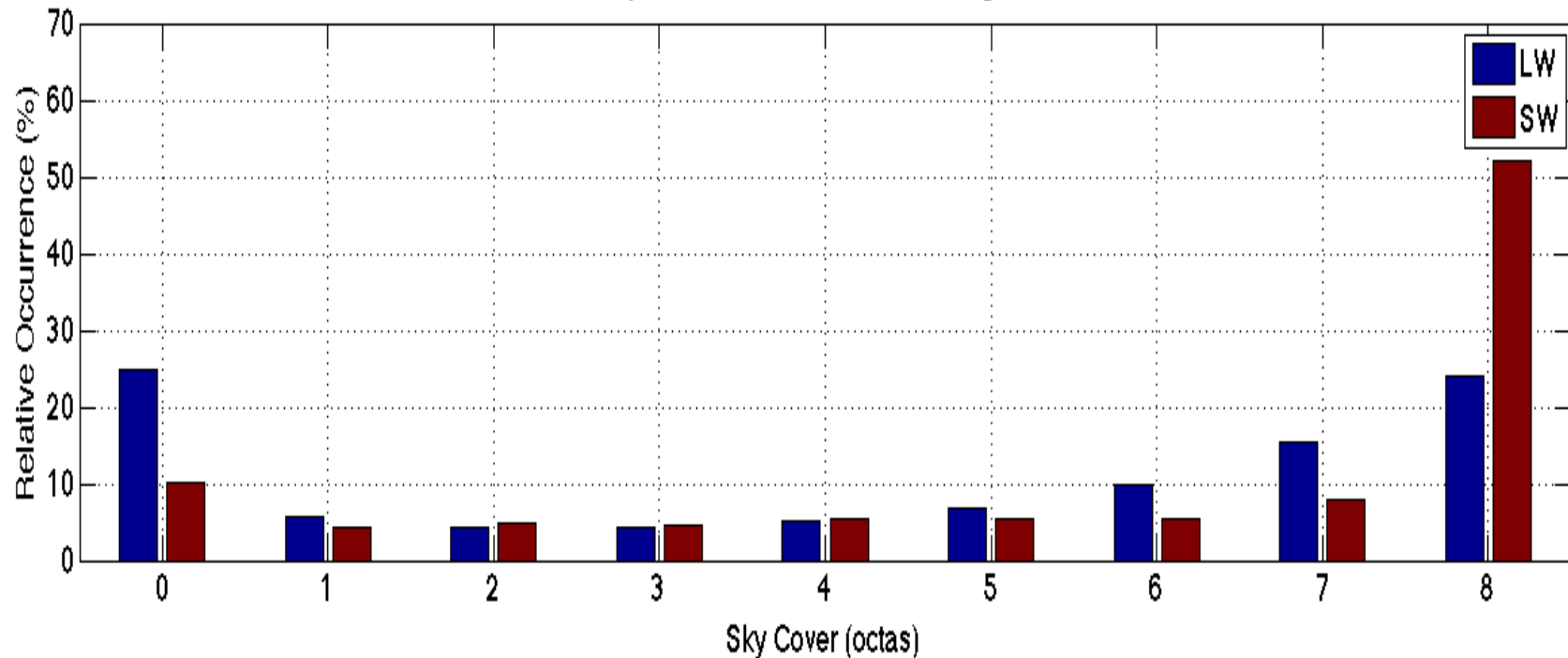
- Existent sur de longues périodes
- Prises dans de nombreux sites
- Séries de données bien échantillonnées
- Donnent des informations sur peu de paramètres:  
Seule la fraction de couverture nuageuse est réellement exploitable

## ➤ Les Variabilités

- Interannuelles
- Saisonnière

# Caractérisation couverture nuageuse sol

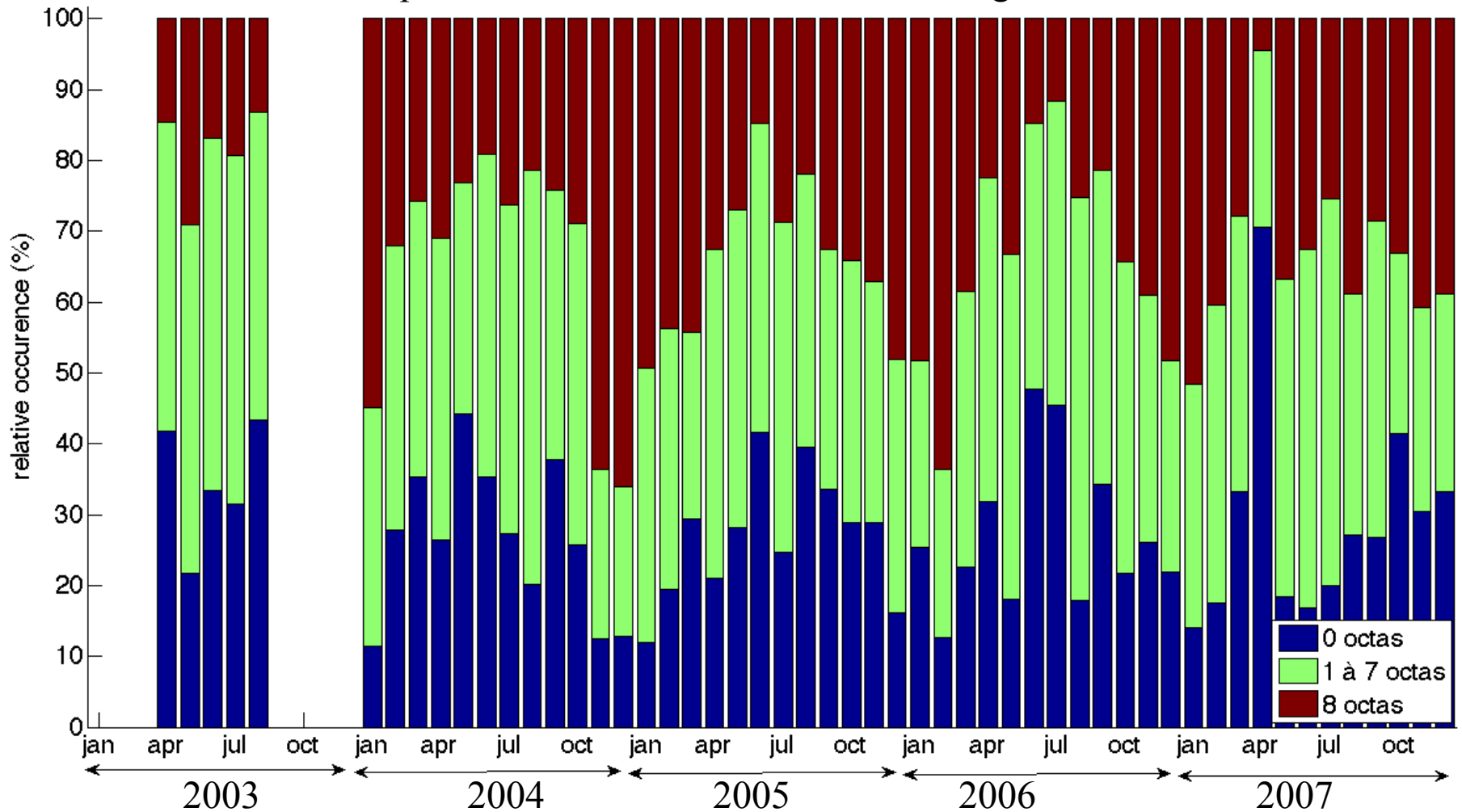
Répartition de la couverture nuageuse



Trois couvertures nuageuses:

- Ciel clair : **0 octa**
- Ciel partiellement couvert: **1 à 7 octas**
- Ciel couvert: **8 octas**

## Fréquence des différentes couvertures nuageuses

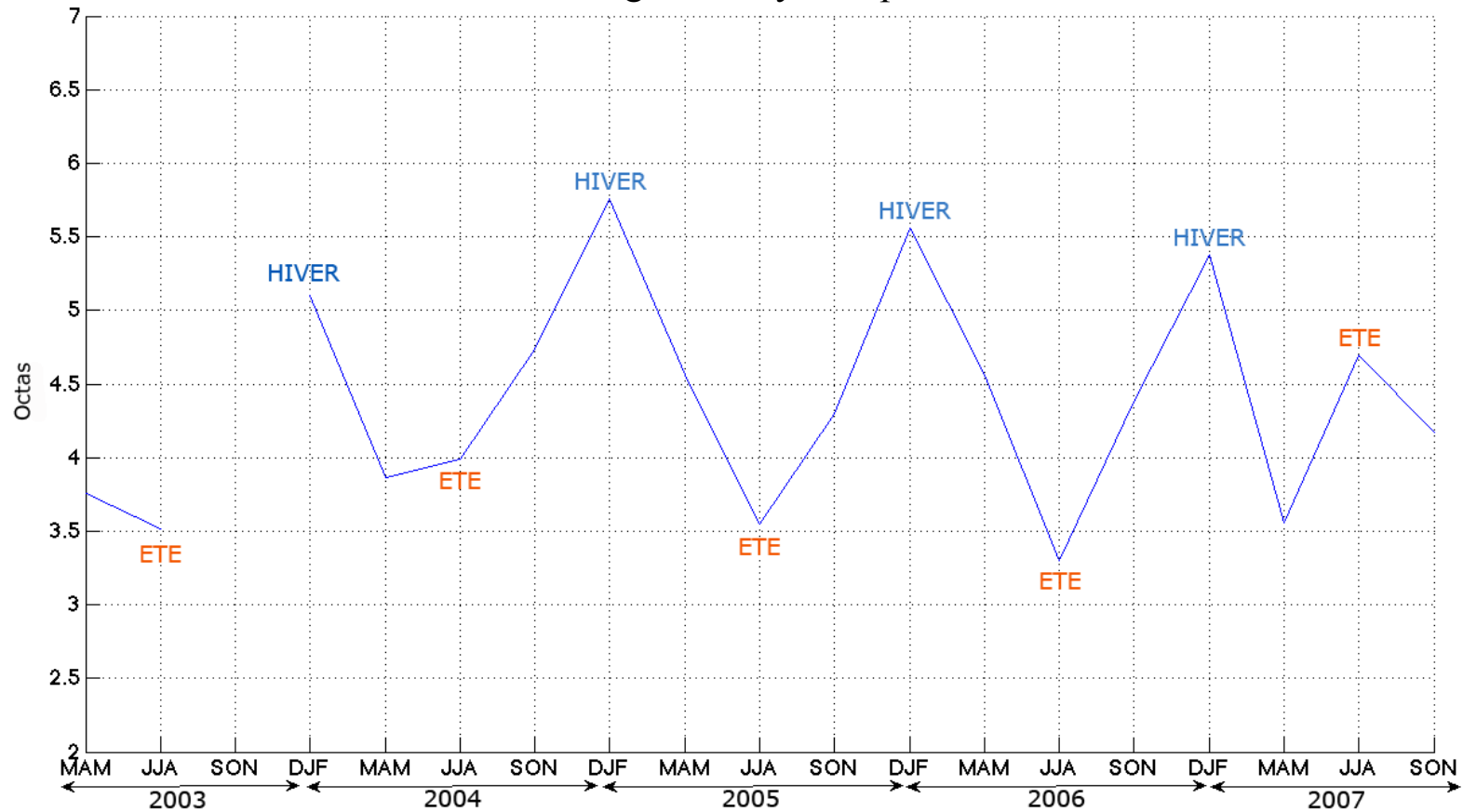


- Variabilité saisonnière
- Variabilité interannuelle
- Phénomènes exceptionnels



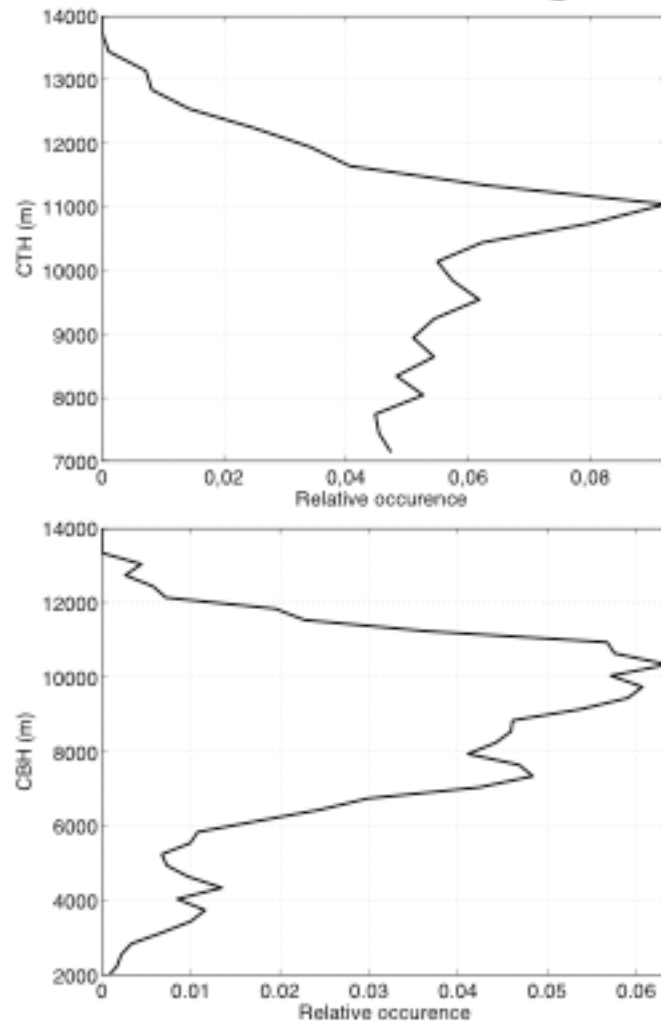
# Variation saisonnière

Couverture nuageuse moyenne par saison

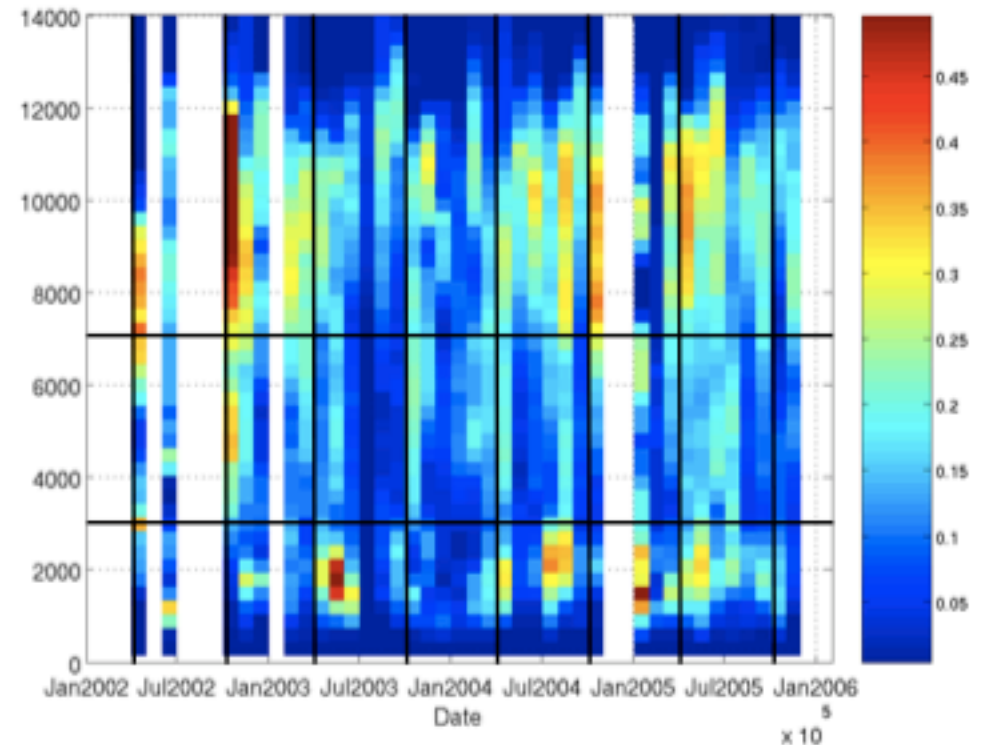


# La télédétection active: lidar sol séries temporelles

Distributions verticales des bases et sommets de nuages

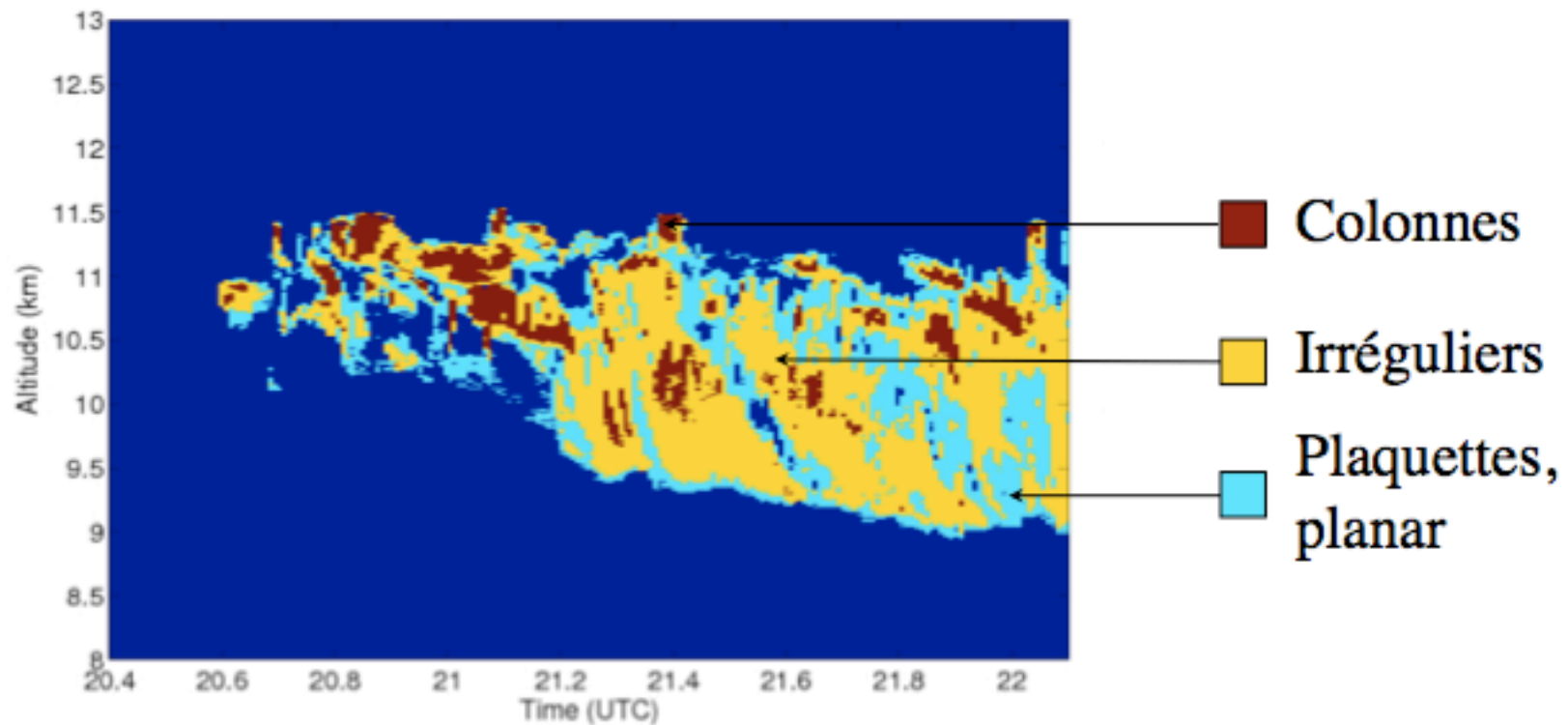


Variations saisonnières de l'occurrence des nuages



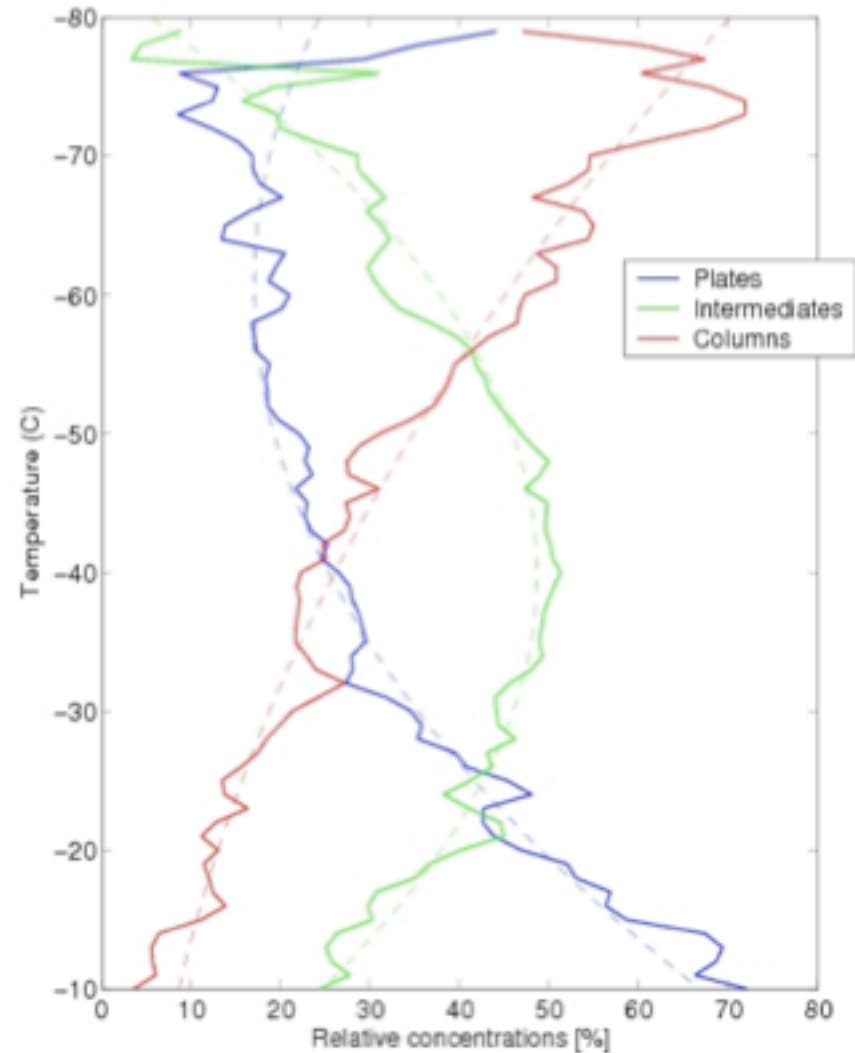
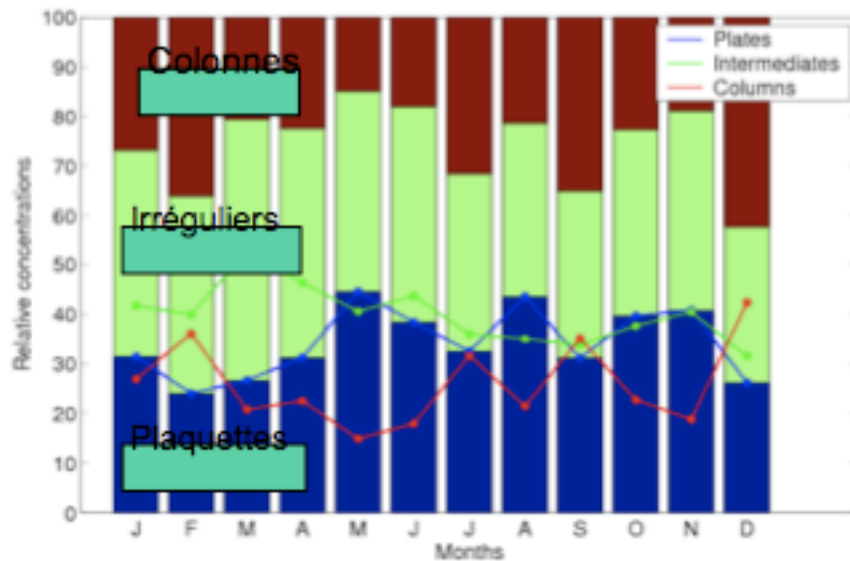
**Mid-latitude (49°N)**  
**(Haeffelin et al., 2006)**

# La télédétection active: lidar dépolarisation - microphysique



**Mid-latitude (49°N)**  
(Noel et al., 2006)

# La télédétection active: lidar sol séries temporelles



**Mid-latitude (49°N)**  
(Noel et al., 2006)

# Les « longues » séries temporelles nuageuses

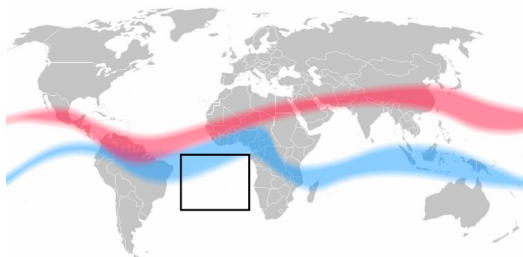
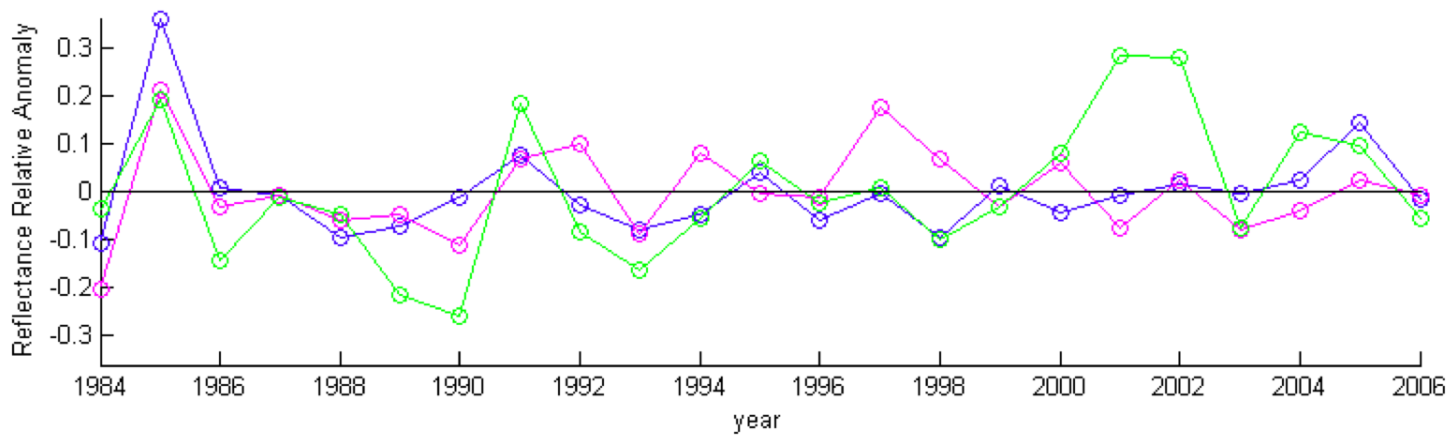
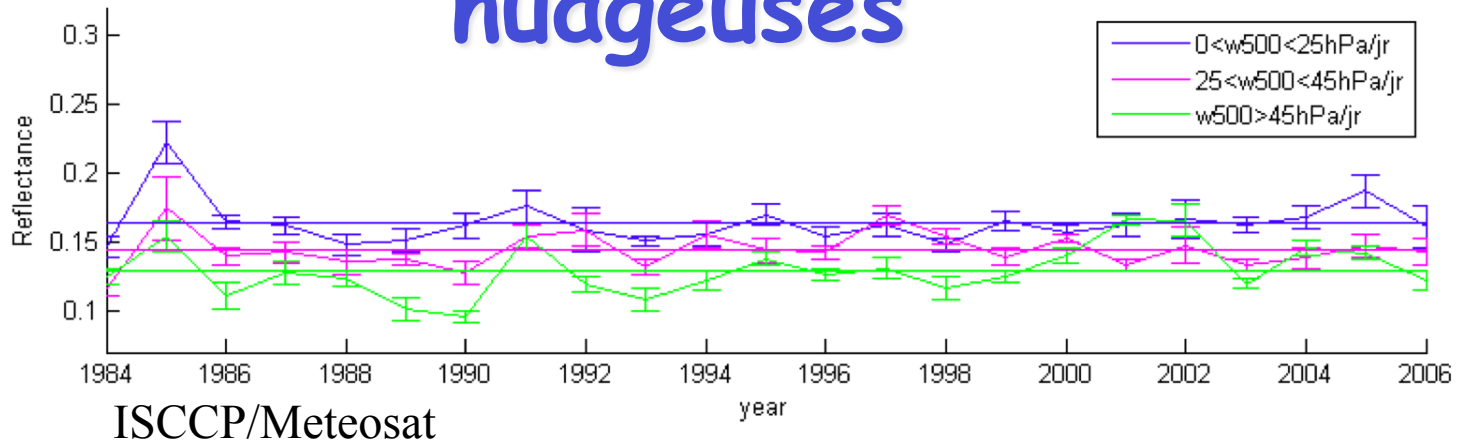
Depuis le sol et l'espace par télédétection passive uniquement

Premier exercice d'inter-comparaison des climatologies nuageuses en cours: GEWEX CA

... 25 ans d'observations satellites... c'est long, mais c'est court par rapport à la durée des modes lents de variation naturelle du climat



# Les « longues » séries temporelles nuageuses

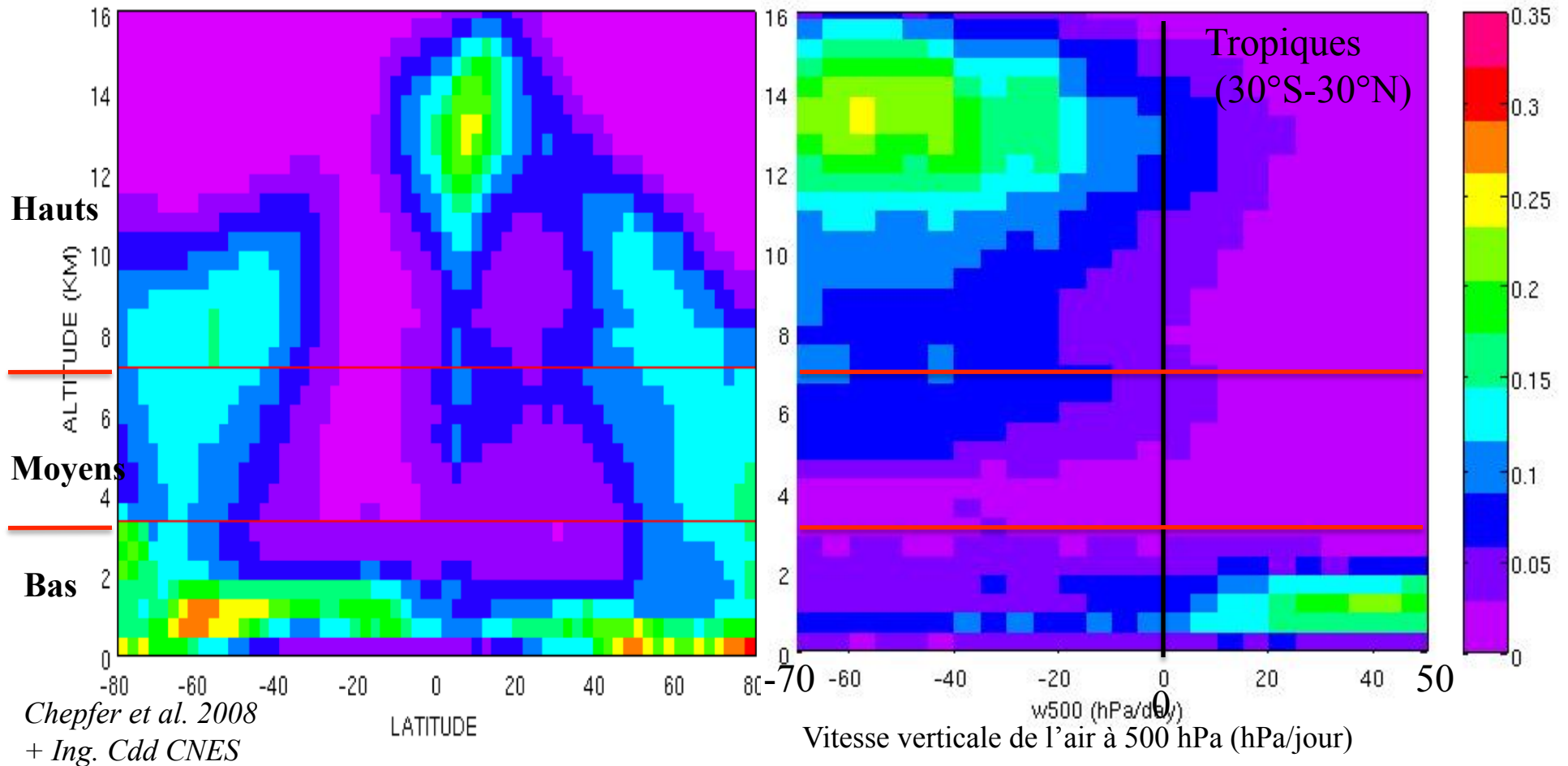


Courtesy M. Chiriaco

Demain:

des « longues » séries temporelles nuageuses spatiales lidar

*Fraction nuageuse Calipso-GOCCP*



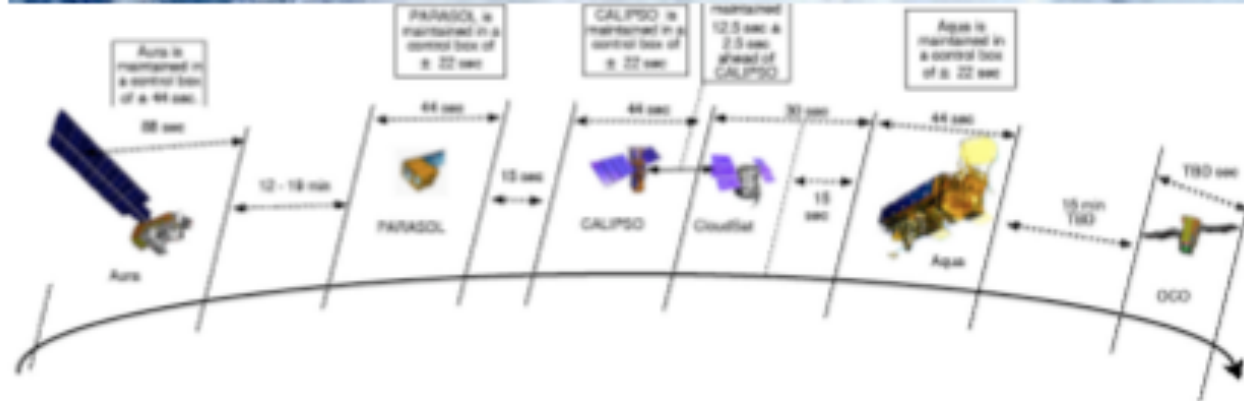
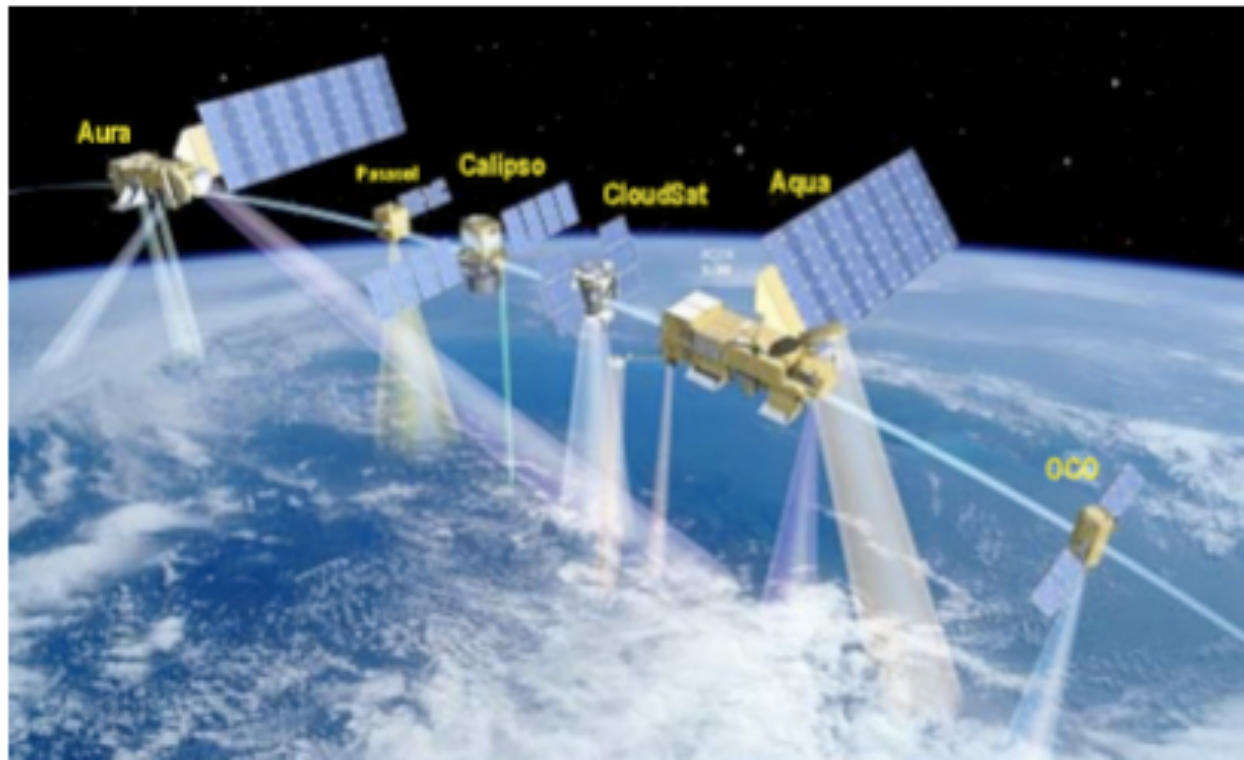
- Téléd. Active: Les premières observations de la structure verticale des nuages à l'échelle globale
- Changement de référentiel ( $w_{500}$ ) : du « descriptif » au « représentatif » ( **variation pluri-annuelles** )

# Les synergies instrumentales

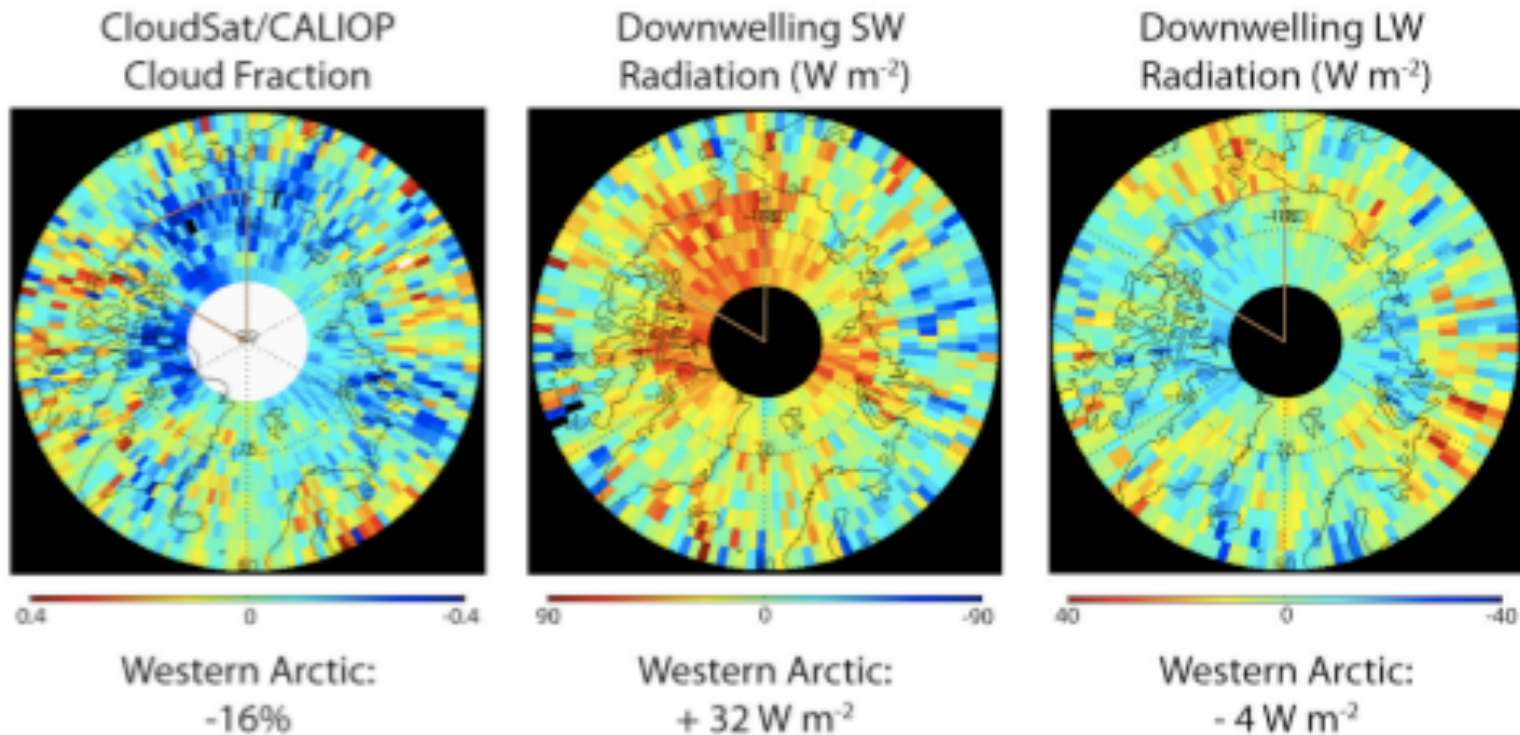
Dans les observatoires au sol depuis 10 à 15 ans

Dans l'espace depuis 2006

# Les synergies instrumentales



# Les nuages polaires: enjeu pour la fonte des neiges



Différence de rayonnement 2007-2006 susceptible de faire fondre 0.3 de glace de mer ou d'augmenter la couche de mélange océanique de 2.4 K

# L'avenir pour l'observation des nuages

- Mégha-tropic, Earth-Care, Ace
- Ce que l'on ne sait pas mesurer suffisamment bien:
  - La vapeur d'eau dans la haute troposphère
  - Le cycle diurne des nuages
  - Les précipitations intermittentes
  - ...



# Bibliographie

- Meteorology Today, C. D. Ahrens
- Essentials of Meteorology C. D. Ahrens
- Microphysics of Clouds and Precipitation, A. R. Pruppacher and D.J. Klett
- Cloud Dynamics, R. A. Houze
- An Introduction to Dynamic Meteorology, J. R. Holton
- Aerosols-Cloud-Climate Interactions, P. V. Hobbs
- Radiative transfer in the Atmosphere, J. Lenoble
- Scattering by non spherical particles, Van de Hulst
- Clouds in the perturbed climate system, J. Heintzenberg and R. J. Charlson
- Parametrization of Subgrid Physical Processes, Seminar Proceeding ECMWF 2008, chapters by R. Forbes, S. Bony
- Summer school WAVACS, presentations Schiller, Sherwood, Roca, Peter



Thank you for your attention