

Nuages, Circulation et Sensibilité Climatique: Quels enjeux? Quelles observations?

Sandrine Bony

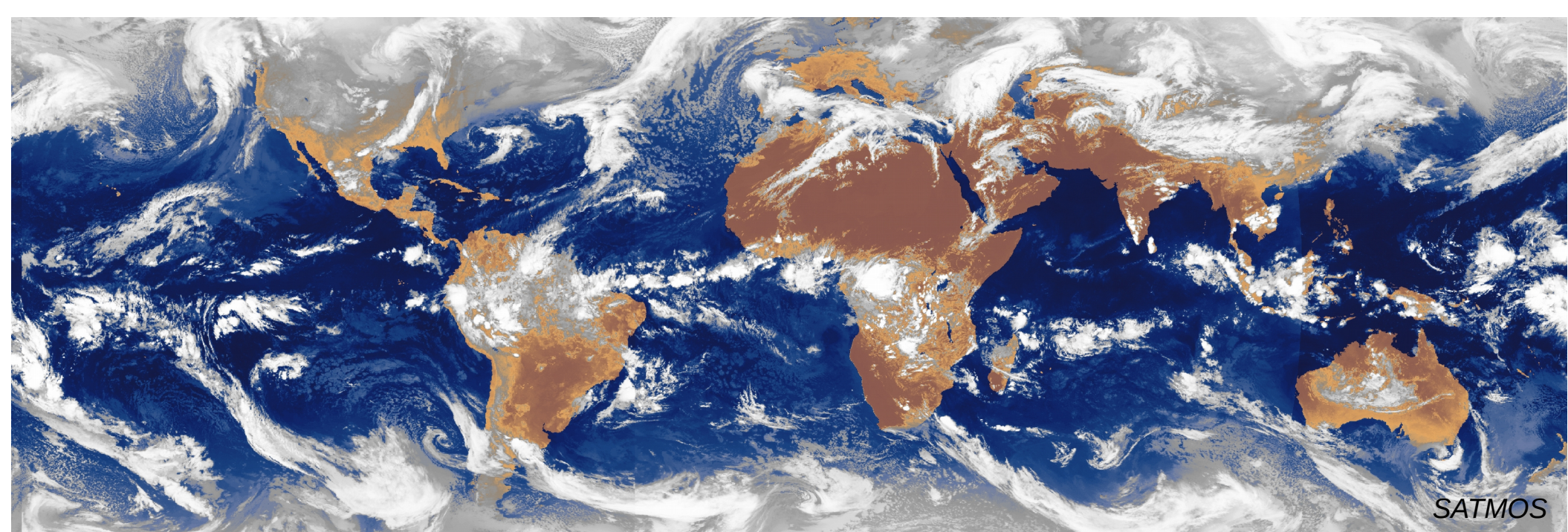
Directrice de Recherche au CNRS

LMD/IPSL, Sorbonne Universités, Paris



Clouds, Circulation and Climate Sensitivity

Our inability to provide robust assessments of global and regional climate changes stems to a large extent from our limited understanding of how clouds, circulation and climate interact



A Grand Challenge of the World Climate Research Programme



Clouds, Circulation and Climate Sensitivity:

1. What controls the position, strength and variability of storm tracks?
2. What controls the position, strength and variability of tropical rain belts?
3. What role does convection play in cloud feedbacks?
4. What role does convective aggregation play in climate?

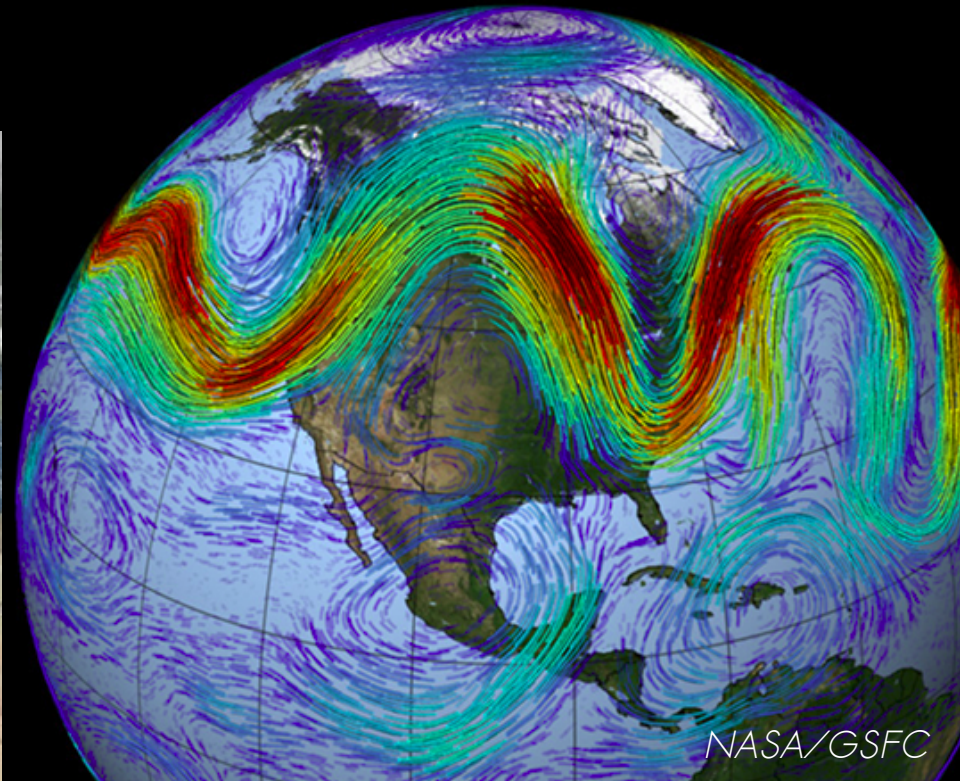
Take-home messages

- Rôle crucial des interactions entre vapeur d'eau, nuages, rayonnement et circulation dans la dynamique du climat et du changement climatique
- Importance de la dimension verticale des observations atmosphériques, notamment dans les basses couches de l'atmosphère

Trois illustrations....

1. Storm tracks: what controls their position, strength and variability?

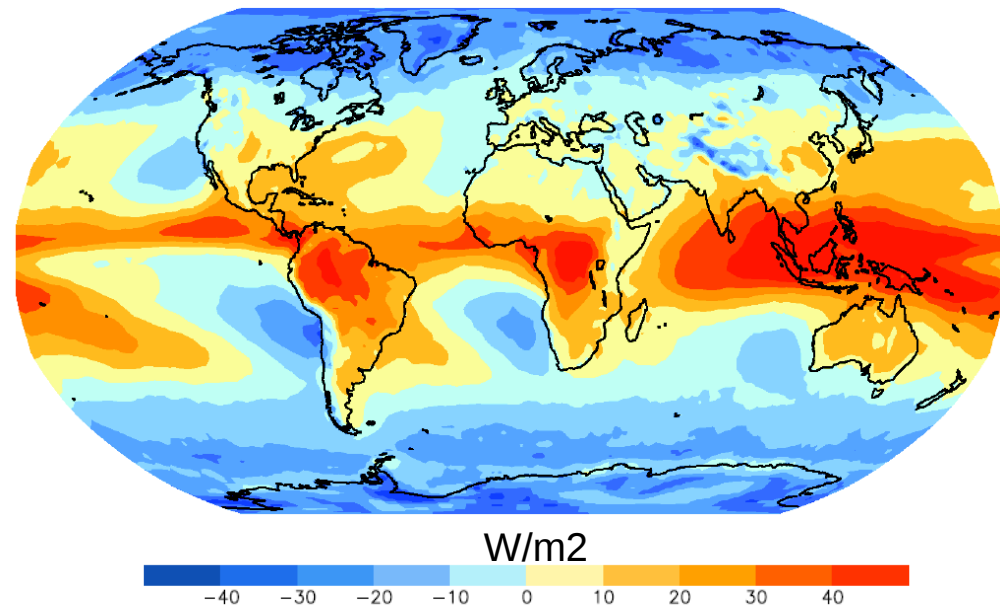
- A key issue for understanding and predicting extra-tropical weather and climate
- A critical issue for anticipating future regional climate changes and impacts



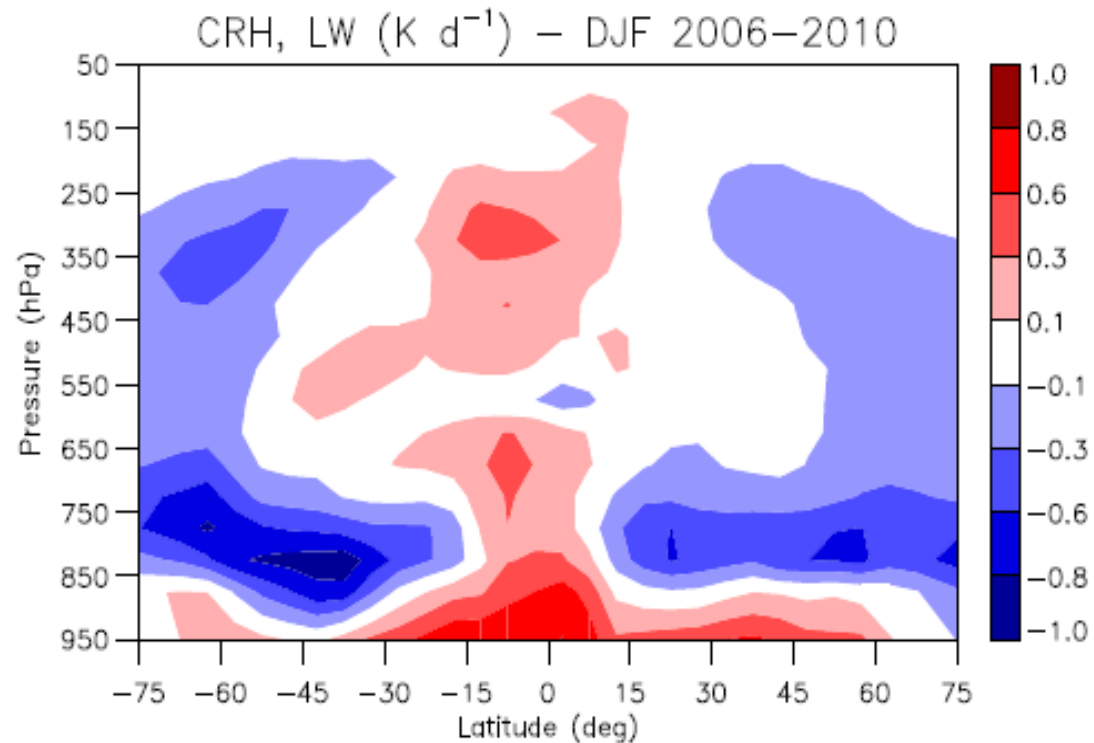
Atmospheric cloud-radiative effects

Vertically-integrated cloud-radiative heating
derived from CERES

$$CRE_{ATM} = CRE_{TOA} - CRE_{SFC}$$



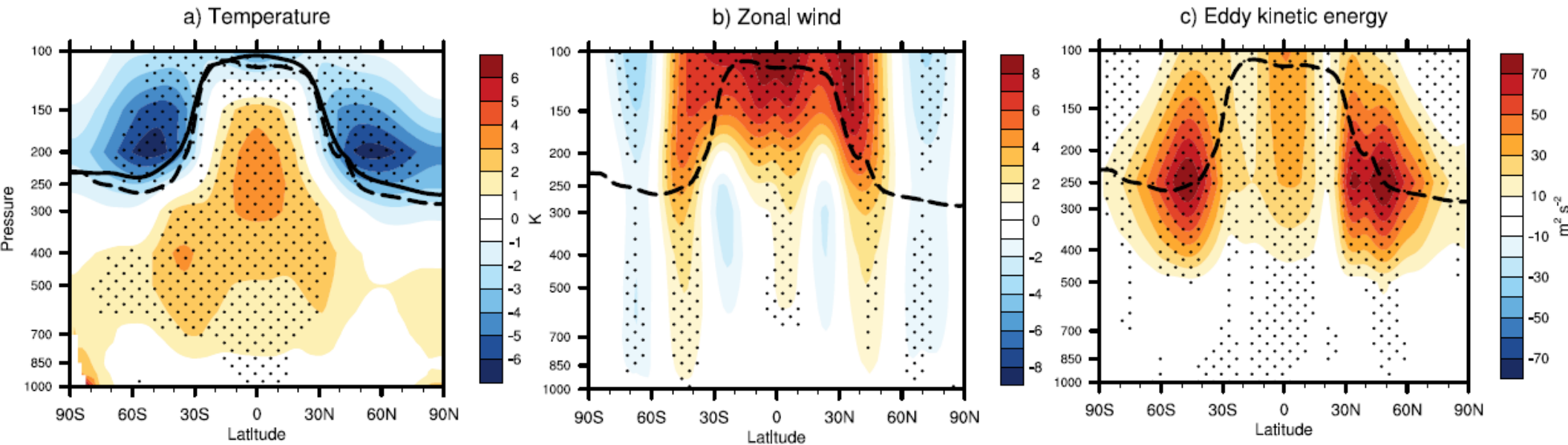
Vertical distribution of LW cloud-radiative heating
derived from CloudSat/CALIPSO



Cloud-radiative effects within the troposphere critically affect the large-scale circulation

Impact of atmospheric cloud-radiative effects on circulation

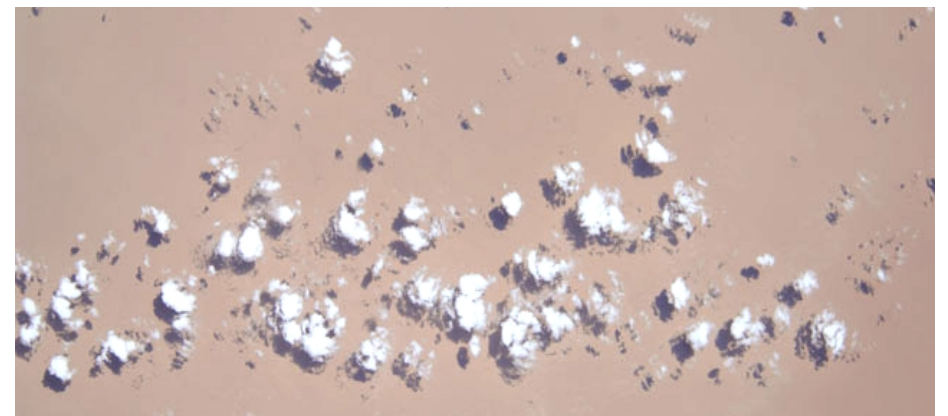
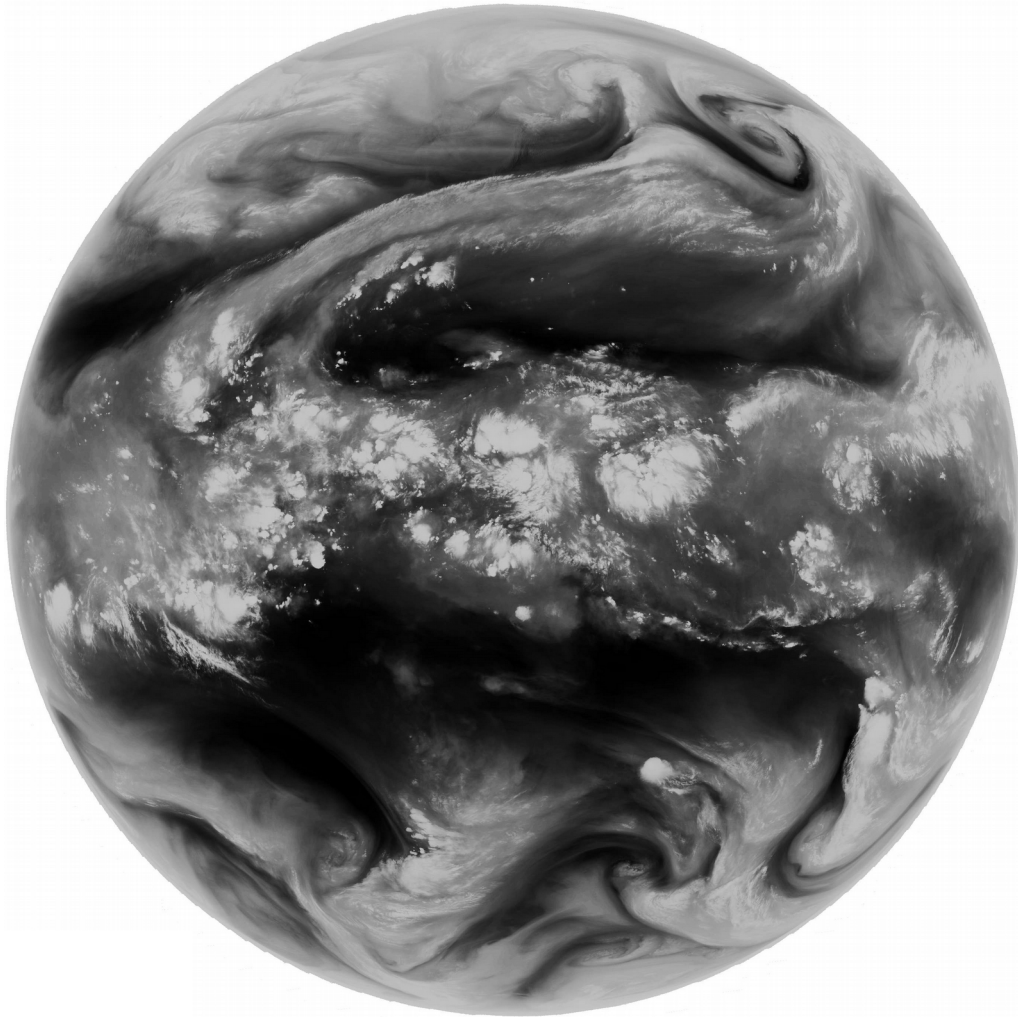
(numerical experiment with the IPSL model: clouds ON - clouds OFF)



- Increase of the meridional temperature gradient in the upper troposphere and lower stratosphere
- Lifting of the tropopause
- Strengthening of the mid-latitude jets
- Increase (by 30%!) of the eddy kinetic energy in the extratropics

2. Organization of tropical convection

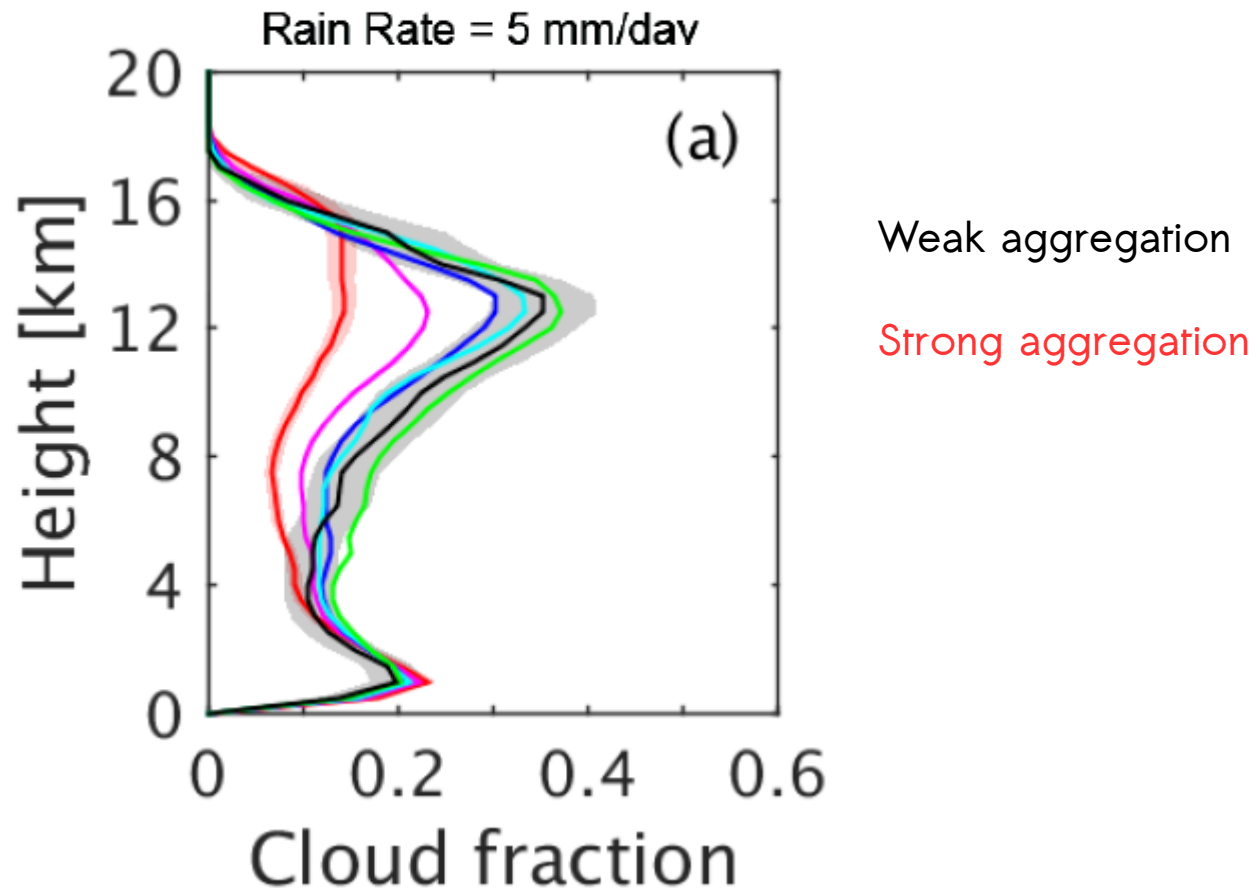
- A large diversity of mesoscale and synoptic organizations
- Does it matter for the large-scale?



Convective aggregation & clouds (as seen by Calipso/CloudSat)

For given domain-averaged precipitation and large-scale forcings :

more convective aggregation \longleftrightarrow more clear-sky
less anvil clouds
slightly more low clouds

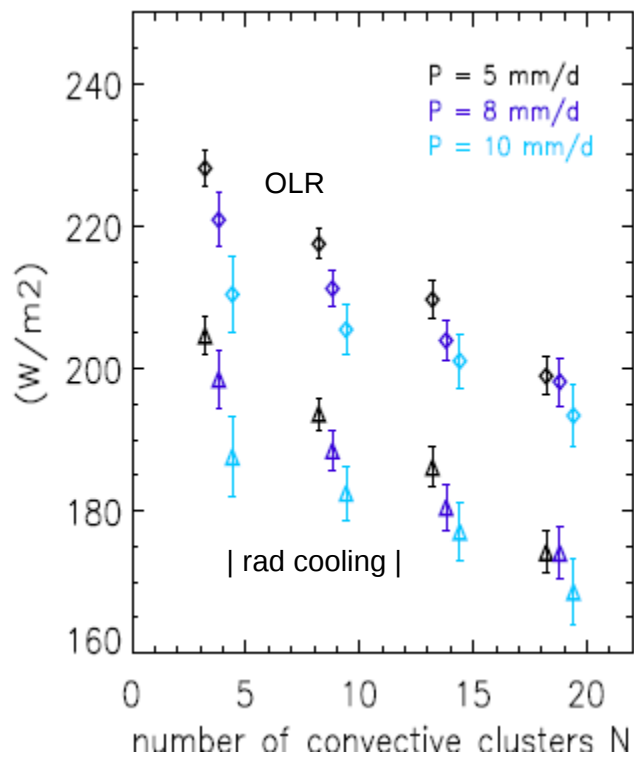


Convective aggregation & radiation

For given domain-averaged precipitation and LS forcings :

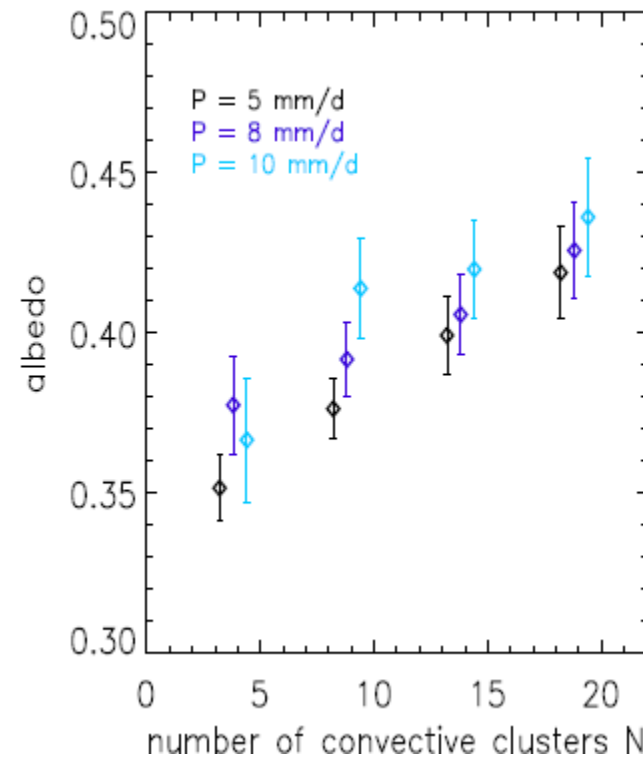
more convective aggregation \longleftrightarrow more radiative cooling,
more OLR, less albedo

OLR & radiative cooling
(NOAA, ISCCP-FD or METEOSAT)

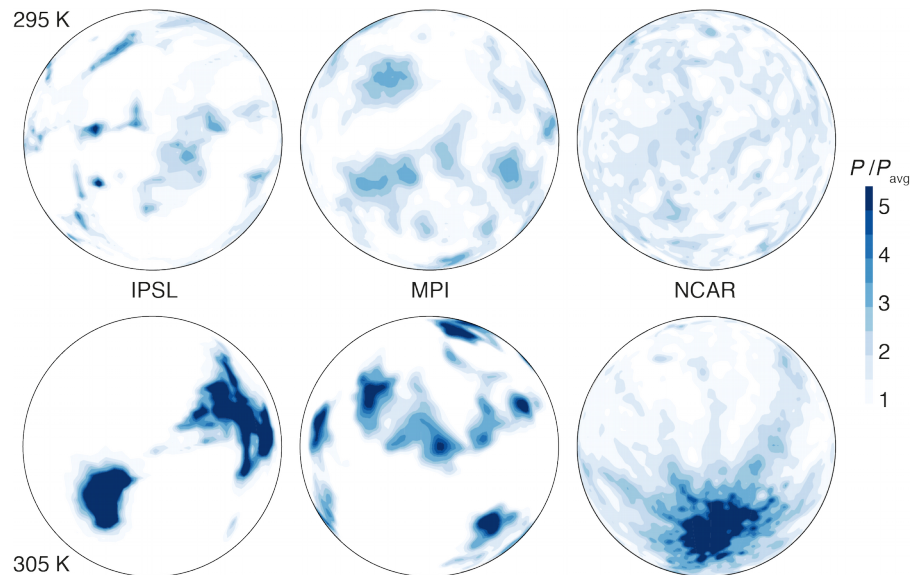
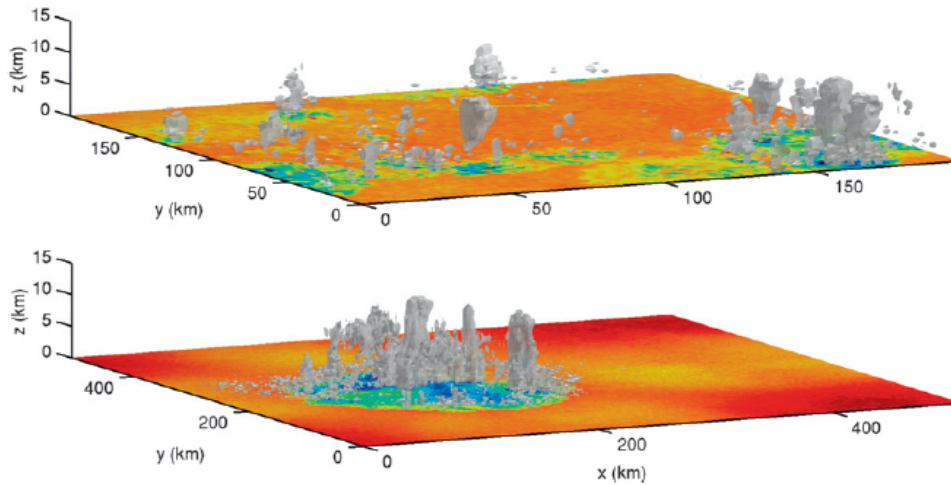


← aggregation

planetary albedo
(ISCCP-FD)

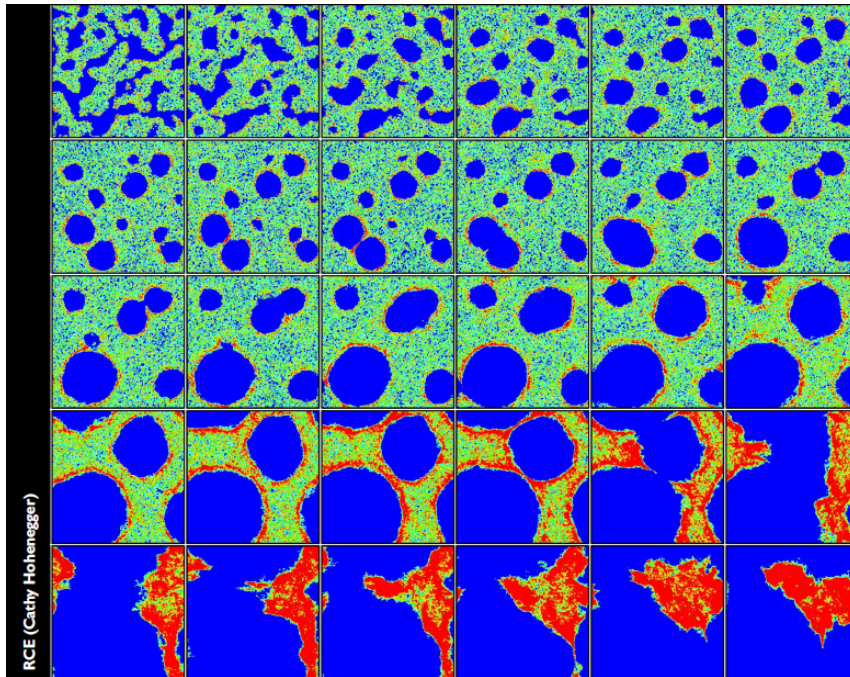


Auto-agrégation de la convection



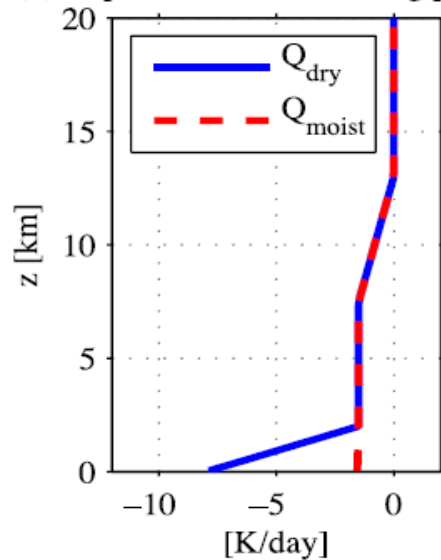
- Dans certaines conditions, l'atmosphère s'organise spontanément en zones sèches et humides, conduisant au phénomène d'auto-agrégation de la convection.
- Impact sur la grande échelle (humidité, nuages, bilan radiatif, circulation, etc).
- Rôle potentiellement important dans nombre de phénomènes: cyclones tropicaux, oscillations intra-saisonnières de l'atmosphère tropicale (MJO), structure de l'ITCZ, sensibilité climatique, etc

Key role of radiative processes in convective aggregation



Areas associated with a strong radiative cooling in the lower troposphere (due to a strong vertical humidity gradient and/or low-level clouds) can generate a shallow circulation and a dry patch that expands and triggers the clumping of convection.

(h) Imposed radiative cooling profiles

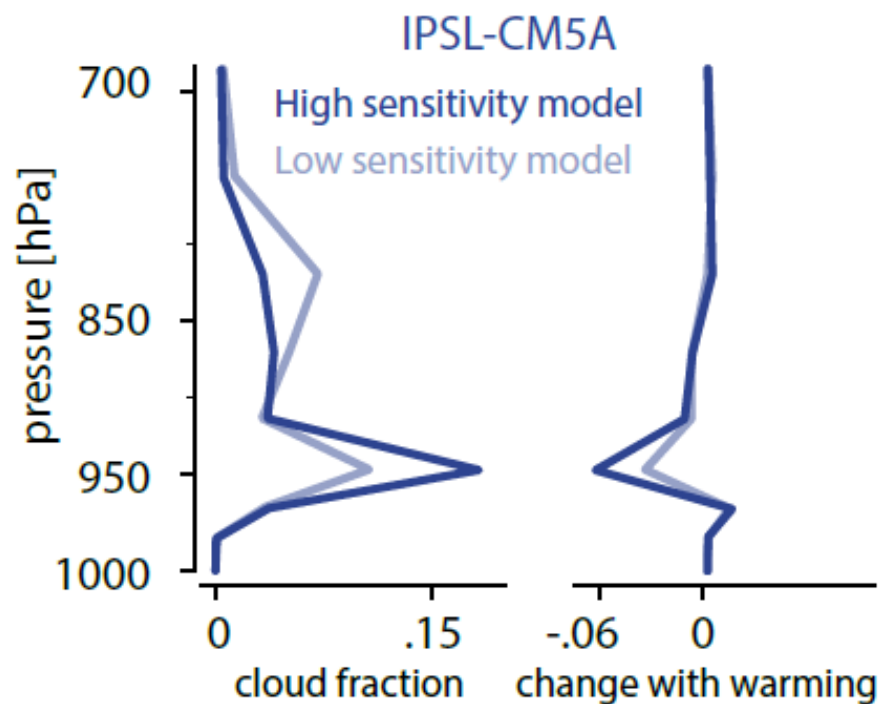


Once triggered, the radiative warming of the mid-troposphere by deep clouds plays a key role in the maintenance of convective aggregation.

3. Clouds & Climate Sensitivity



Most climate models (GCMs) produce a positive low-cloud feedback, but the strength of this feedback is very uncertain

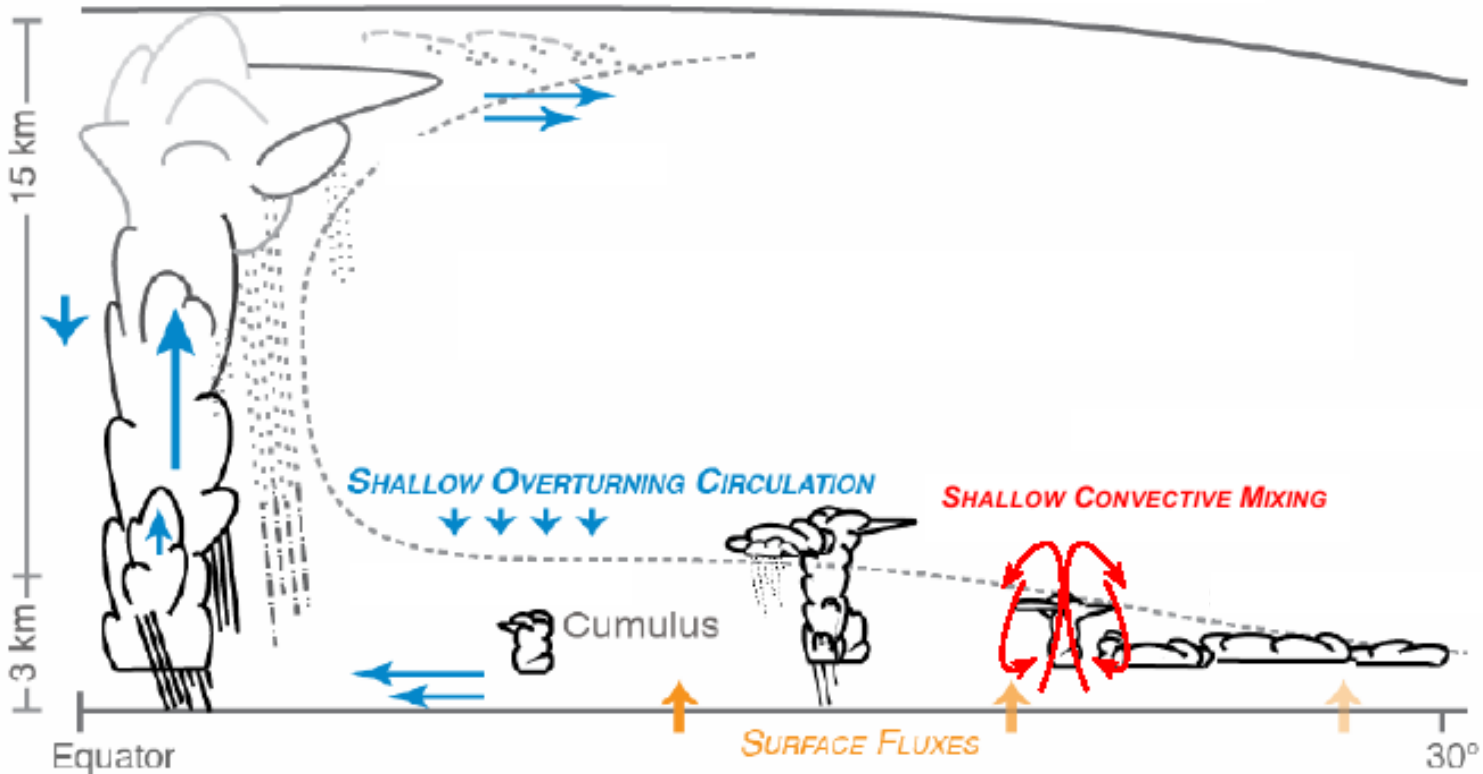


In GCMs, global warming leads to a dessication of shallow clouds at their base, at a rate that depends on the strength of convective mixing in the lower troposphere

Large-Eddy Simulation (LES) models also predict a positive low-cloud feedback, but it is generally weaker, and it results mostly from changes in cloud fraction at the inversion level (around 1.5 - 2 km or 800 hPa)

e.g. Vial et al. 2013, 2016; Sherwood et al. 2014; Brient et al. 2016, Stevens et al. 2016 Rieck et al., JAS (2012), Bretherton (2015); Vogel et al, JAMES (2016), Vial et al. (submitted)

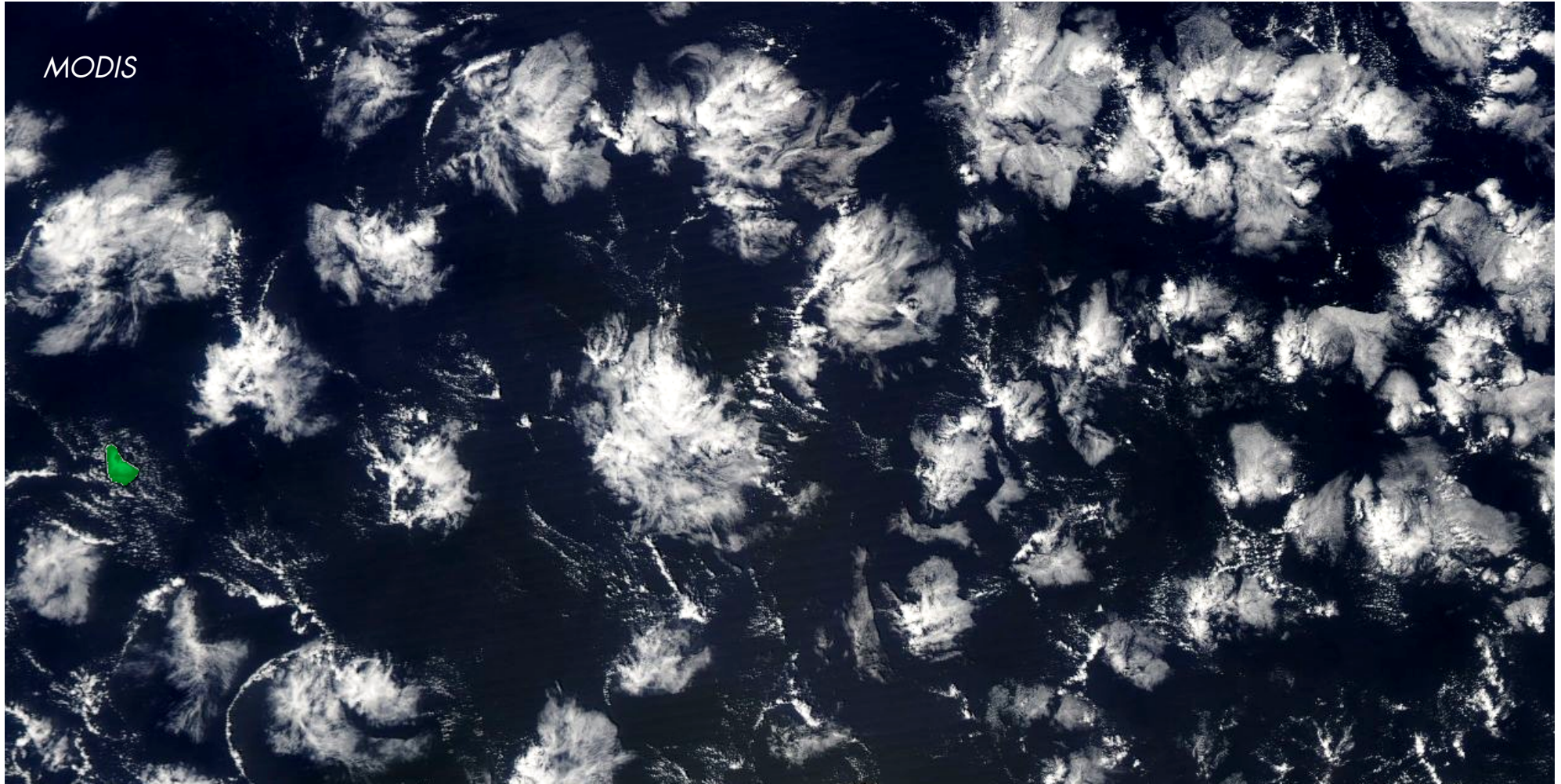
Reducing the uncertainty in climate sensitivity requires to understand what controls the response of shallow cumulus clouds to environmental changes



The physical mechanisms that control the shallow-Cu clouds in models have not been tested observationally.

Impact de l'organisation à méso-échelle?

Flower pattern of shallow cumulus clouds (cloud top < 2-3 km)



↔
20 km

- Organization forcée radiativement?
- Impact des changements d'organisation sur la sensibilité du climat?

Take-home messages

- Rôle crucial des interactions entre vapeur d'eau, nuages, rayonnement et circulation dans la dynamique du climat et du changement climatique
- Importance de la dimension verticale des observations atmosphériques, notamment dans les basses couches de l'atmosphère

Besoin d'observations de la structure verticale de l'atmosphère

- Distribution verticale des nuages
 - besoin bonne détection des différents types de nuages (e.g. cirrus vs enclumes, petits cumulus)
 - combinaison lidar/radar: quelle suite à l'A-Train (Calipso/CloudSat) et à EarthCARE?
 - estimation de la précipitation et du contenu en eau des nuages bas:
 - besoin d'une combinaison radars multi-fréquences et radiomètres?

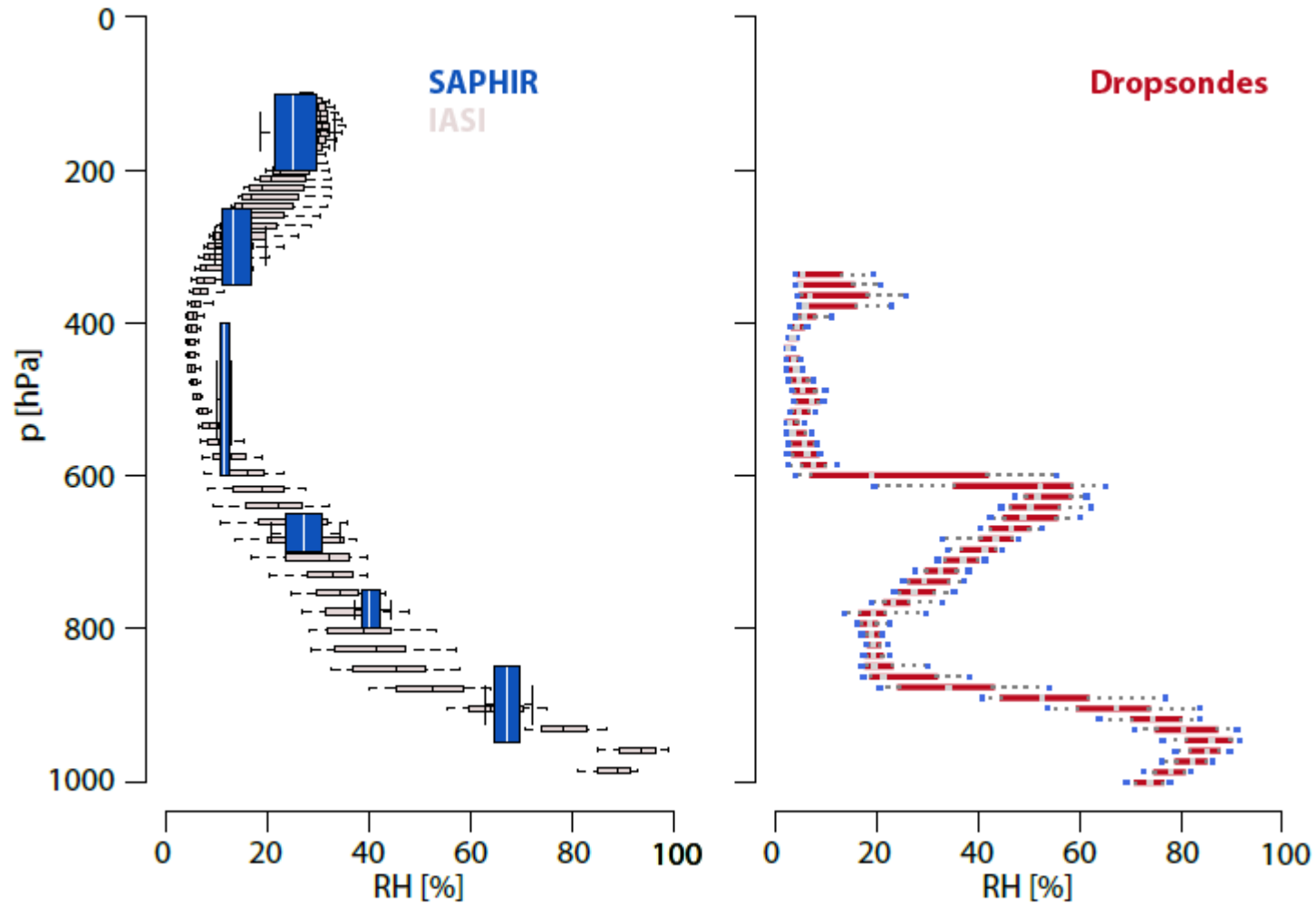
Besoin d'observations de la structure verticale de l'atmosphère

- **Distribution verticale des nuages**
 - besoin bonne détection des différents types de nuages (e.g. cirrus vs enclumes, petits cumulus)
 - combinaison lidar/radar: quelle suite à l'A-Train (Calipso/CloudSat) et à EarthCARE?
 - estimation de la précipitation et du contenu en eau des nuages bas:
besoin d'une combinaison radars multi-fréquences et radiomètres?
- **Profils de taux de chauffage radiatif**
 - essentiel pour contraindre la circulation (assimilation dans les modèles NWP?)
 - observations de la distribution verticale des nuages requise

Besoin d'observations de la structure verticale de l'atmosphère

- **Distribution verticale des nuages**
 - besoin bonne détection des différents types de nuages (e.g. cirrus vs enclumes, petits cumulus)
 - combinaison lidar/radar: quelle suite à l'A-Train (Calipso/CloudSat) et à EarthCARE?
 - estimation de la précipitation et du contenu en eau des nuages bas:
besoin d'une combinaison radars multi-fréquences et radiomètres?
- **Profils de taux de chauffage radiatif**
 - essentiel pour contraindre la circulation (assimilation dans les modèles NWP?)
 - observations de la distribution verticale des nuages requise
- **Distribution verticale de la vapeur d'eau**
 - particulièrement dans les régions de fort gradient vertical (e.g. zones d'alizés)
 - particulièrement dans la basse troposphère (premiers 500 m, précision ~0.2 g/kg)
 - lidar vapeur d'eau dans l'espace?

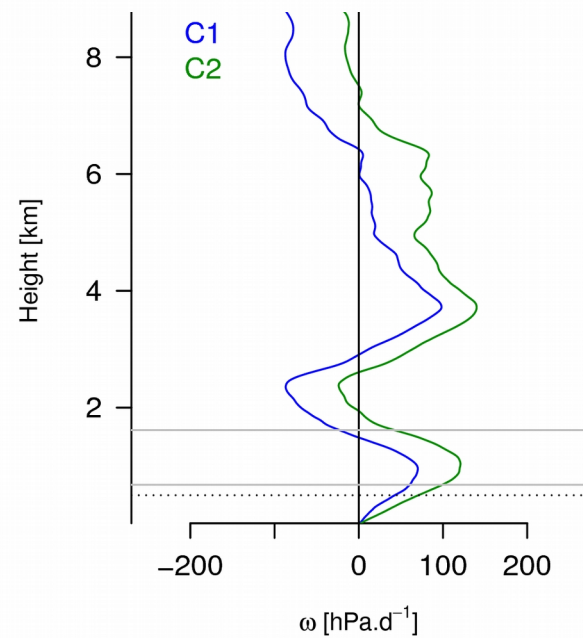
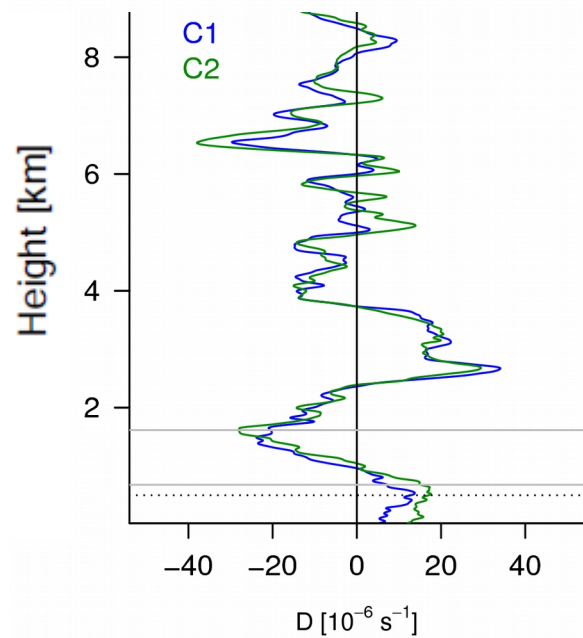
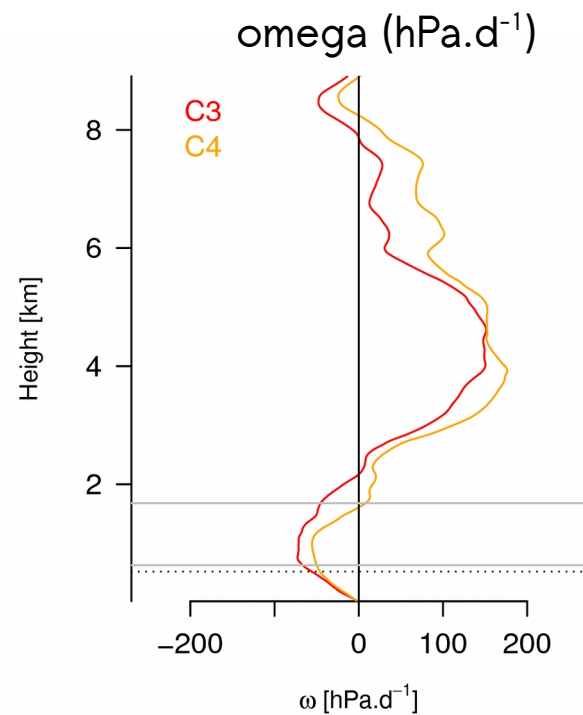
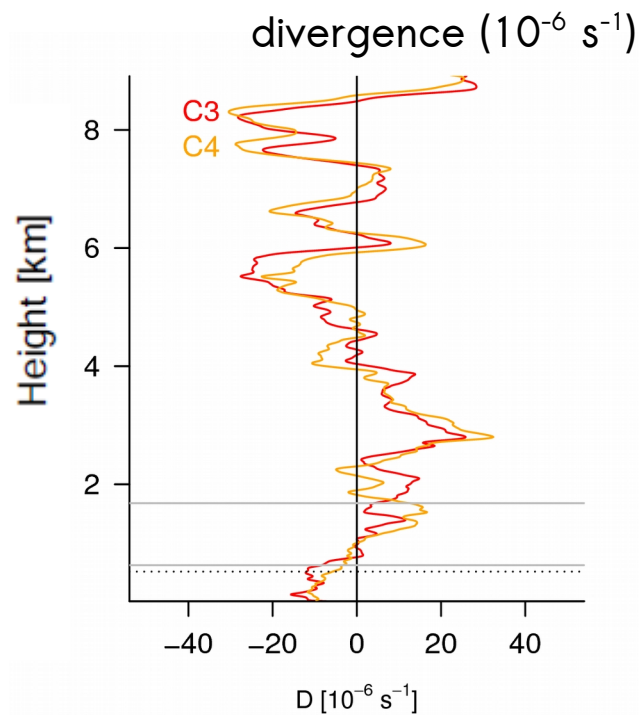
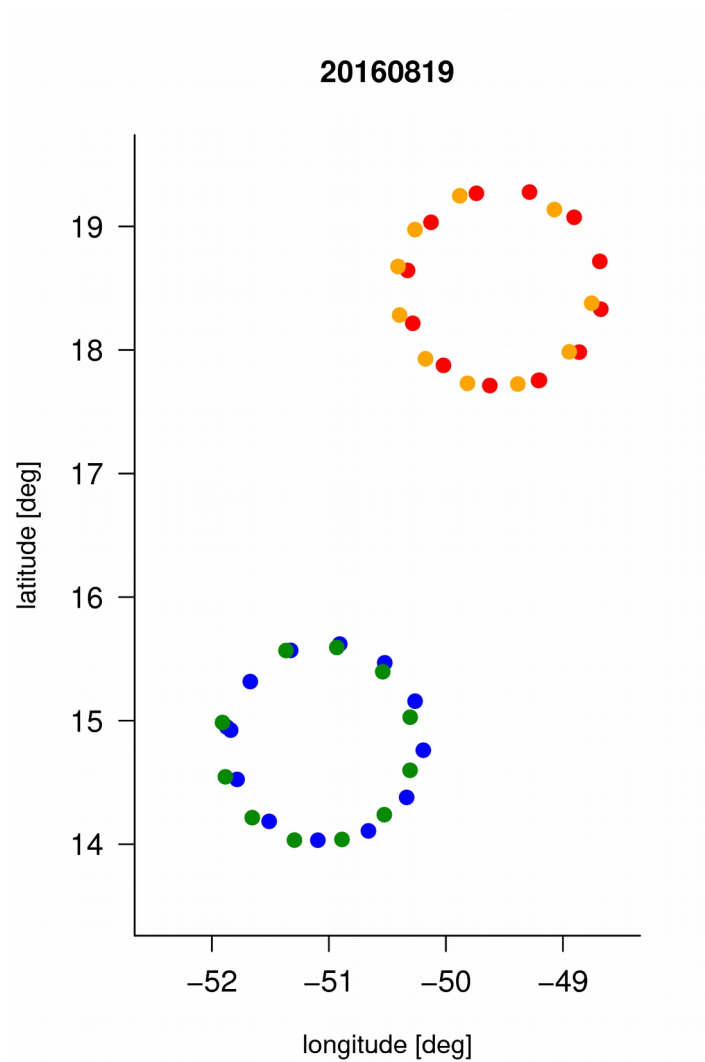
Profil de vapeur d'eau au-dessus de l'Atlantique tropical (campagne NARVAL2, Août 2016, au large de Barbados)



Besoin d'observations de la structure verticale de l'atmosphère

- **Distribution verticale des nuages**
 - besoin bonne détection des différents types de nuages (e.g. cirrus vs enclumes, petits cumulus)
 - combinaison lidar/radar: quelle suite à l'A-Train (Calipso/CloudSat) et à EarthCARE?
 - estimation de la précipitation et du contenu en eau des nuages bas:
besoin d'une combinaison radars multi-fréquences et radiomètres?
- **Profils de taux de chauffage radiatif**
 - essentiel pour contraindre la circulation (assimilation dans les modèles NWP?)
 - observations de la distribution verticale des nuages requise
- **Distribution verticale de la vapeur d'eau**
 - particulièrement dans les régions de fort gradient vertical (e.g. zones d'alizés)
 - particulièrement dans la basse troposphère (premiers 500 m, précision ~0.2 g/kg)
 - lidar vapeur d'eau dans l'espace?
- **Profils de vent**
 - profil de vitesse verticale de grande échelle complexe

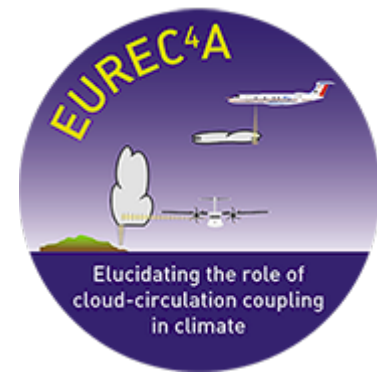
Measuring the large-scale vertical motion using dropsondes



Besoin d'observations de la structure verticale de l'atmosphère

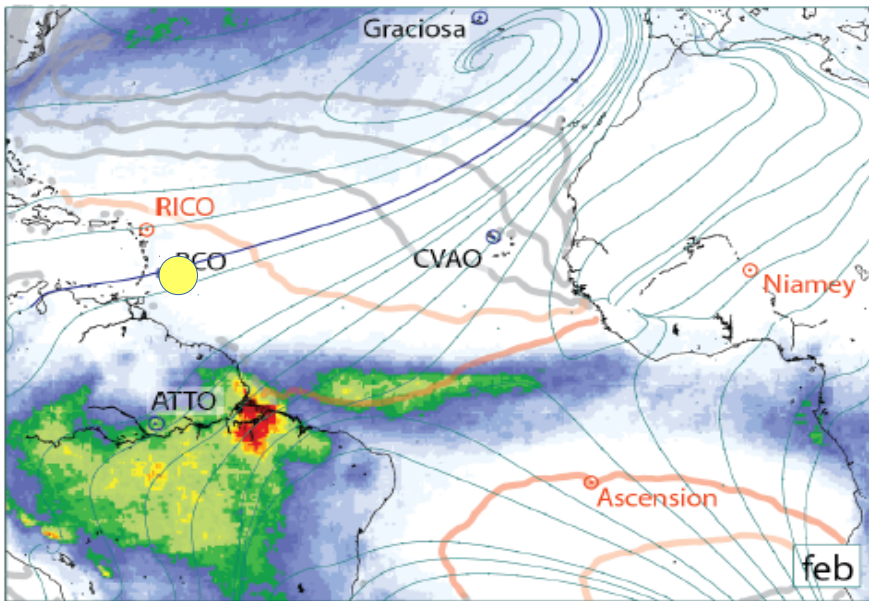
- **Distribution verticale des nuages**
 - besoin bonne détection des différents types de nuages (e.g. cirrus vs enclumes, petits cumulus)
 - combinaison lidar/radar: quelle suite à l'A-Train (Calipso/CloudSat) et à EarthCARE?
 - estimation de la précipitation et du contenu en eau des nuages bas:
besoin d'une combinaison radars multi-fréquences et radiomètres?
- **Profils de taux de chauffage radiatif**
 - essentiel pour contraindre la circulation (assimilation dans les modèles NWP?)
 - observations de la distribution verticale des nuages requise
- **Distribution verticale de la vapeur d'eau**
 - particulièrement dans les régions de fort gradient vertical (e.g. zones d'alizés)
 - particulièrement dans la basse troposphère (premiers 500 m, précision ~0.2 g/kg)
 - lidar vapeur d'eau dans l'espace?
- **Profils de vent**
 - profil de vitesse verticale de grande échelle complexe
 - ADM-Aeolus?

An opportunity: the EUREC⁴A field campaign (Elucidating the role of clouds-circulation couplings in climate)



A French-German initiative in support of the
WCRP Grand Challenge on Clouds, Circulation and Climate Sensitivity

Will take place from 20 Jan to 20 Feb 2020,
with operations based out of Barbados (13N, 55W, Atlantic trades)



Main objectives:

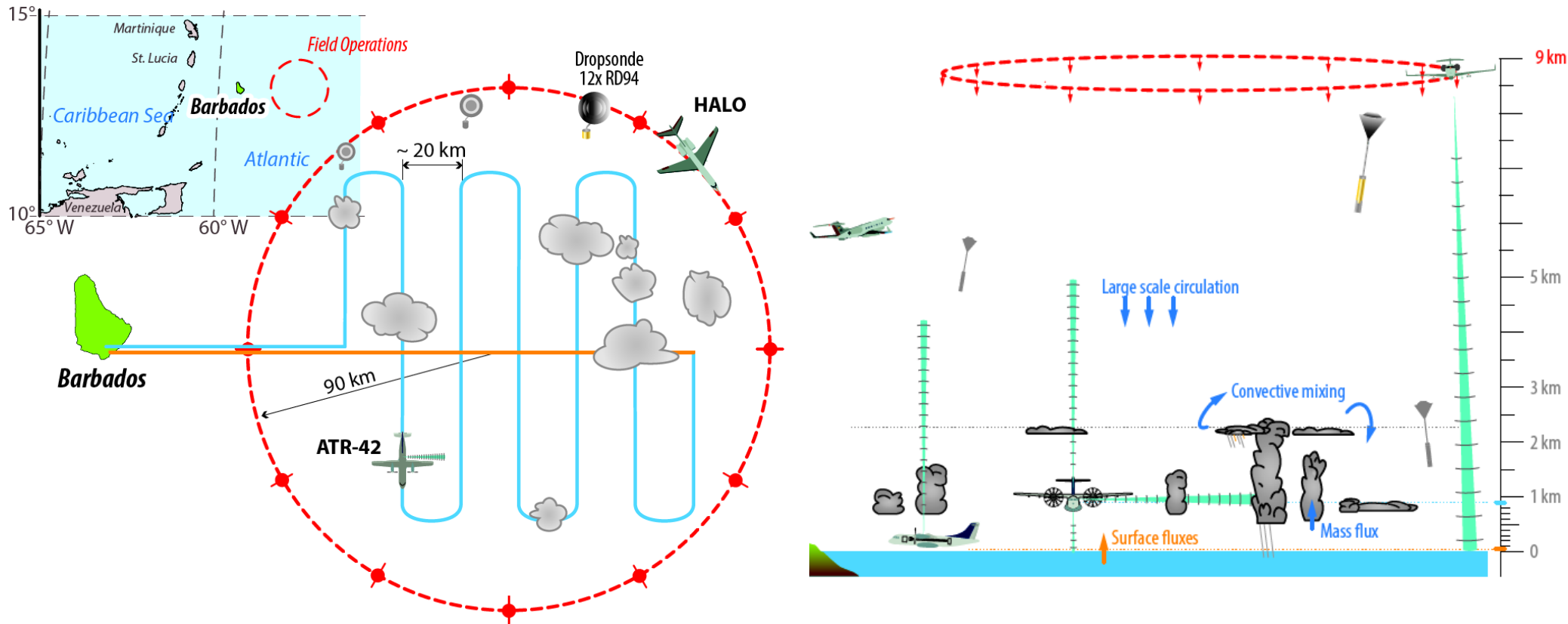
- to advance understanding of the interplay between clouds, convection, radiation and circulation, and their role in climate change
- to provide a comprehensive dataset that may be used as a benchmark for the modelling and the remote sensing of water vapor, clouds, radiation and winds (e.g. CalVal EarthCARE & ADM-Aeolus)



DFG

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

An opportunity: the EUREC⁴A field campaign (Elucidating the role of clouds-circulation couplings in climate)



Two aircraft [ATR-42 (SAFIRE) & HALO (DLR)] equipped with lidars, radars, radiometers + in-situ + dropsondes (HALO) + array of research vessels (ocean, rawinsondes) + Barbados Cloud Observatory

More information on: www.eurec4a.eu and in *Bony, Stevens et al. (submitted)*, available at: https://www.dropbox.com/s/8rlafio3oizujta/issi_eurec4a_submitted.pdf?dl=0

Take-home messages

- Rôle crucial des interactions entre vapeur d'eau, nuages, rayonnement et circulation dans la dynamique du climat et du changement climatique
- Importance de la dimension verticale des observations atmosphériques, notamment dans les basses couches de l'atmosphère
- Campagne EUREC⁴A: opportunité pour évaluer/préparer les futures missions spatiales

An aerial photograph showing a vast expanse of white, puffy cumulus clouds stretching across the horizon. The clouds are illuminated from the side, creating soft shadows and highlights. The sky above is a deep, clear blue, with some thin, wispy clouds near the horizon. The overall scene is serene and expansive.

Merci