

Bilan sur les tropiques de l'hydratation de la stratosphère par la convection très profonde



Thibaut Dauhut et Cathy Hohenegger
CNRM (Toulouse) & Max Planck Institute for Meteorology (Hambourg)

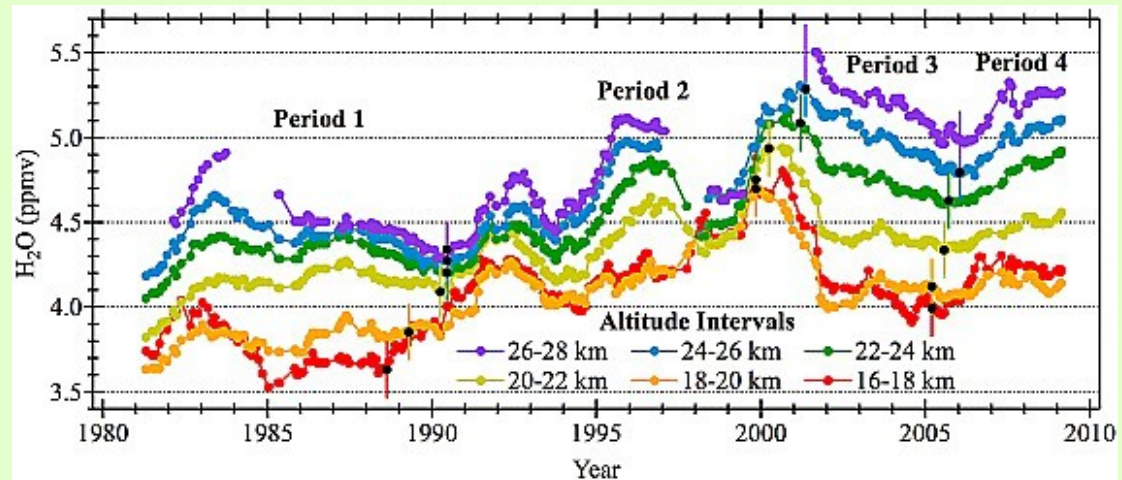
Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère – 9 mars 2021

Vapeur d'eau en stratosphère

- un puissant gaz à effet de serre
- un précurseur d'espèces destructrices de l'ozone

“an important driver of decadal global surface climate change” *Solomon et al., 2010*

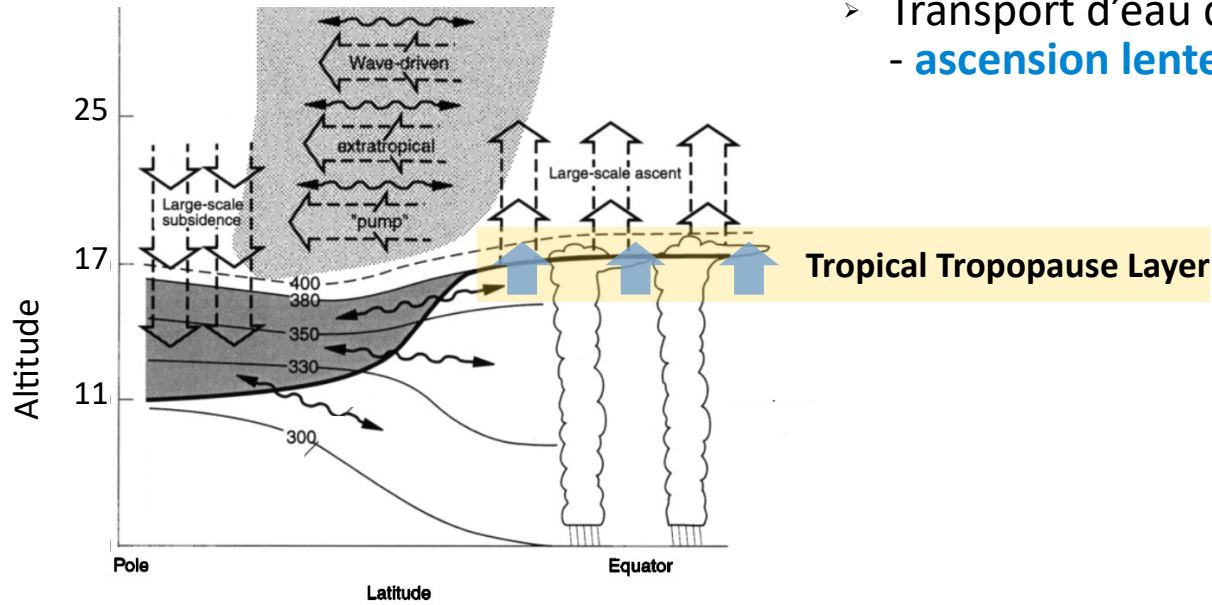
Augmentation inexplicquée de ~ 1 ppmv
(+25%) pendant 1980–2010



mesures ballon au-dessus de Boulder

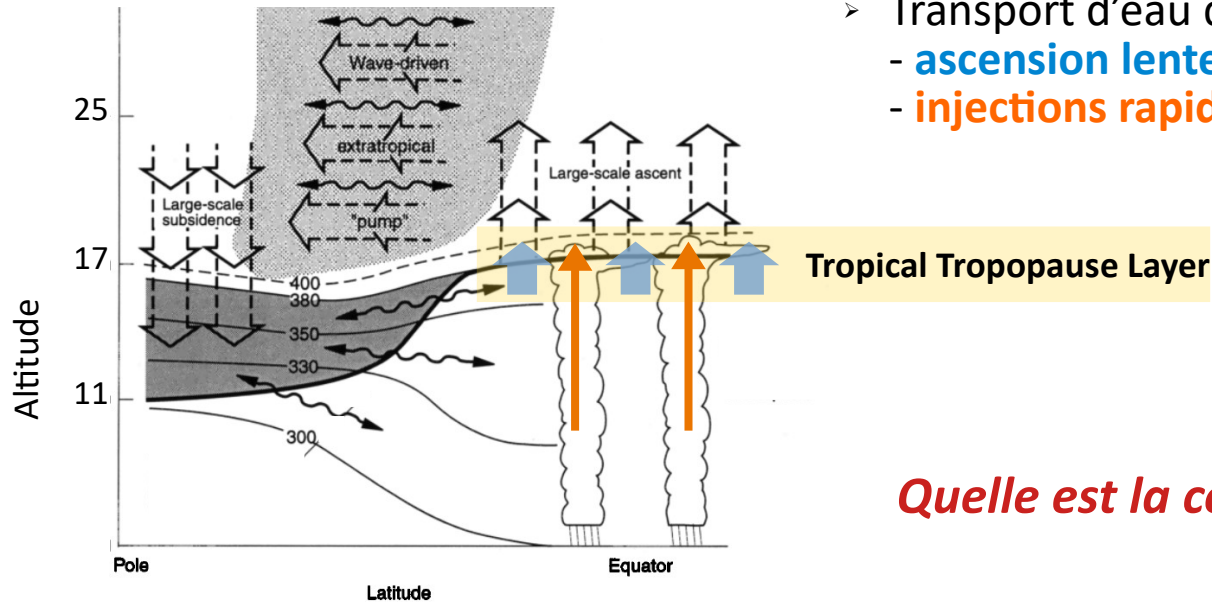
Hurst et al., 2011

Les sources d'eau en basse stratosphère



- Transport d'eau depuis la troposphère tropicale par - **ascension lente de grande échelle due au rayonnement**

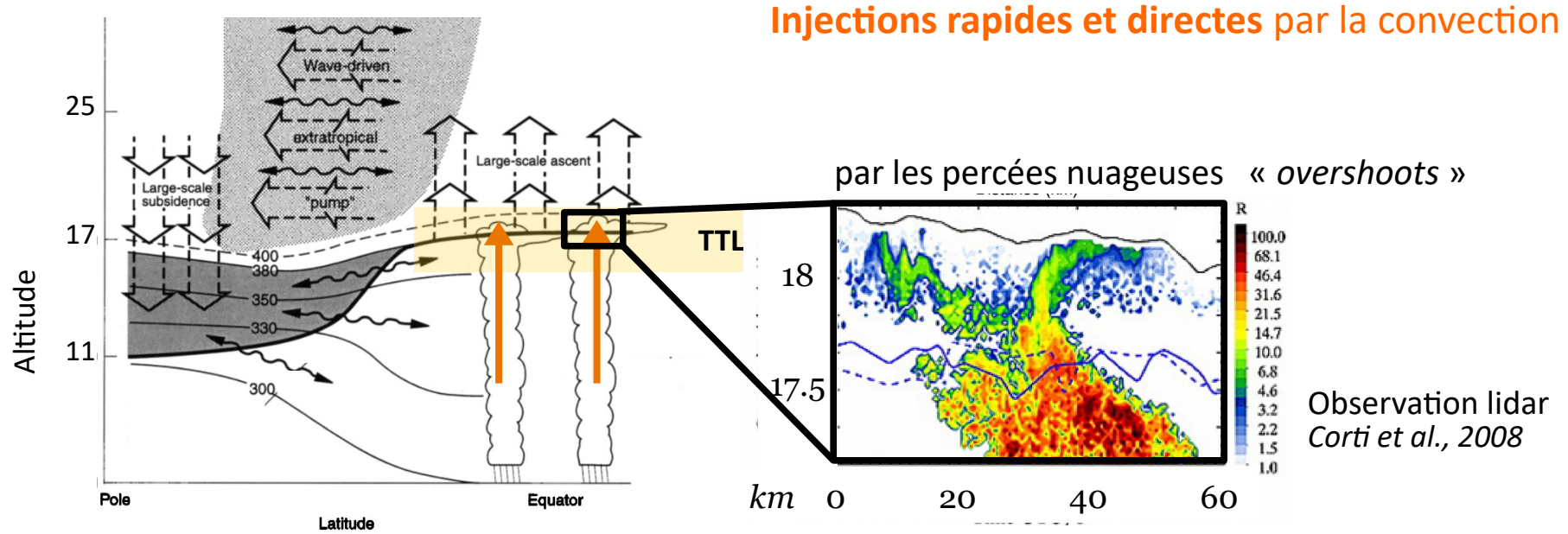
Les sources d'eau en basse stratosphère



- Transport d'eau depuis la troposphère tropicale par
 - ascension lente de grande échelle due au rayonnement
 - injections rapides et directes par la convection

Quelle est la contribution de la convection ?

Les sources d'eau en basse stratosphère



Injections rapides et directes par la convection

par les percées nuageuses « overshoots »

Observation lidar
Corti et al., 2008

Holton et al., 1995

Transport en phase **glace** par de larges et puissantes ascendances
Mélange turbulent forme des poches humides, rapidement diluées

Dauhut et al., 2016, 2017

Dauhut et al., 2018, Lee et al., 2019

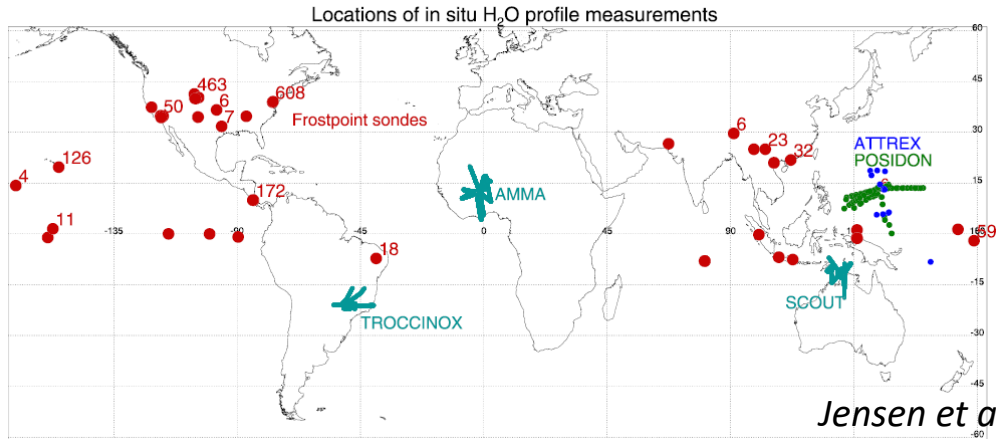
un paradoxe

- ✓ Multiples observations d'**hydratation au sommet de sys. convectifs très profonds**

Corti et al., 2008, Khaykin et al., 2009...

- x Mais un impact sur le champ d'humidité qui **semble limité à grande échelle**

Fueglistaler et al., 2005



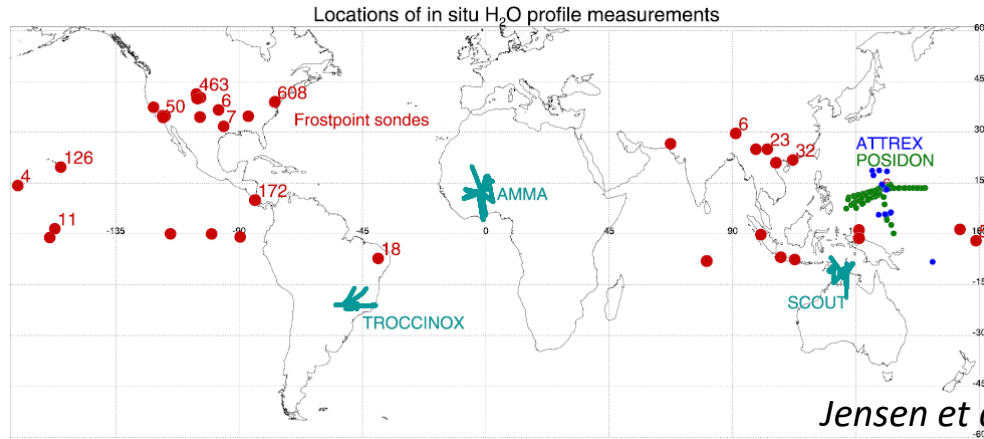
un paradoxe

- ✓ Multiples observations d'**hydratation au sommet de sys. convectifs très profonds**

Corti et al., 2008, Khaykin et al., 2009...

- x Mais un impact sur le champ d'humidité qui **semble limité à grande échelle**

Fueglistaler et al., 2005



Jensen et al., 2020

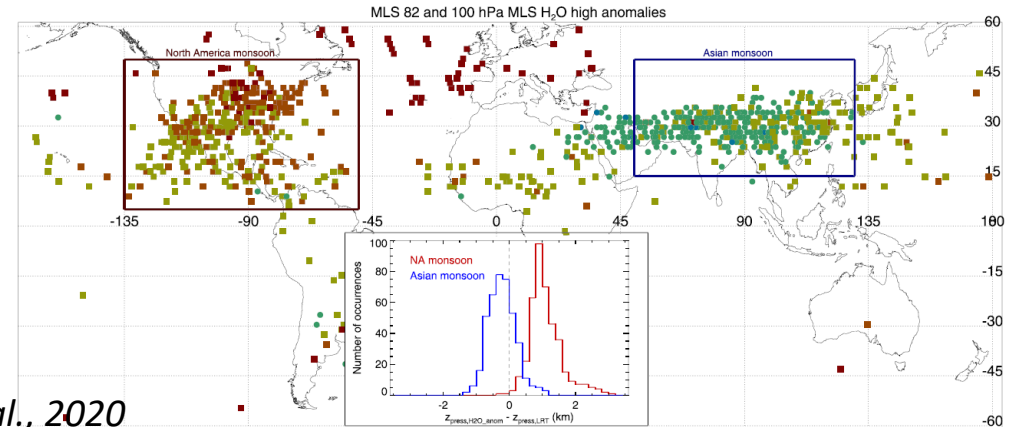
et un débat toujours d'actualité

- ✓ Forte activité convective pendant El-Niño peut produire une anomalie humide de la stratosphère sur ~ un an

Avery et al., 2017

- x Anomalies au sommet des sys. convectifs tropicaux sont de faible amplitude dans les observations

Jensen et al., 2020



Les anomalies humides sont-elles un bon indicateur de l'hydratation par la convection ?

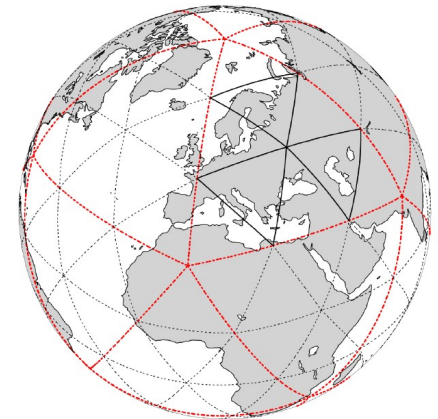
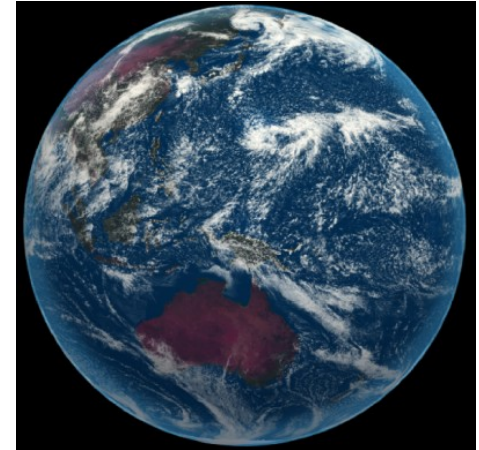
Nouvelles perspectives avec les modèles globaux à convection explicite

Projet DYAMOND : simulations globales pendant 40 jours
1^{er} août au 9 septembre 2016

ICON **dx = 2.5 km** **dz ~ 600 m à la tropopause**
7,6 Milliards de points

Conditions initiales et de surface : Analyses de l'ECMWF

- Aucune paramétrisation de la convection
- Schéma microphysique à 1 moment 5 hydrométéores :
pluie, eau liquide nuageuse, glace nuageuse, neige, grésil
- Représentation de la turbulence avec TKE prognostique
- Flux de surface interactifs



ICON

Convection profonde résolue sur tout le globe

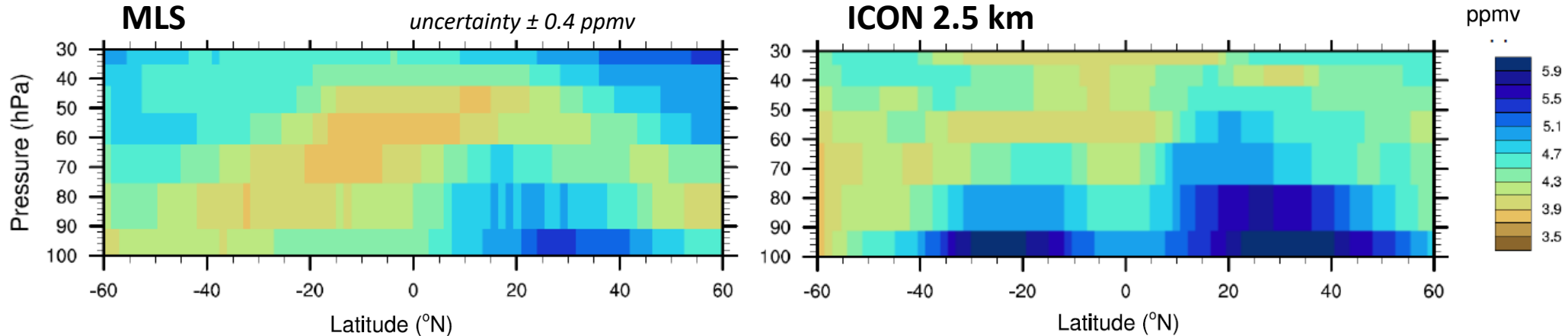


Volume rendering using path tracing

Opacity depends on $\log[(\text{cloud ice}) \times 2.5 + (\text{cloud water})]$

Rober et al. IEEE Computer Graphics and Application (2021)

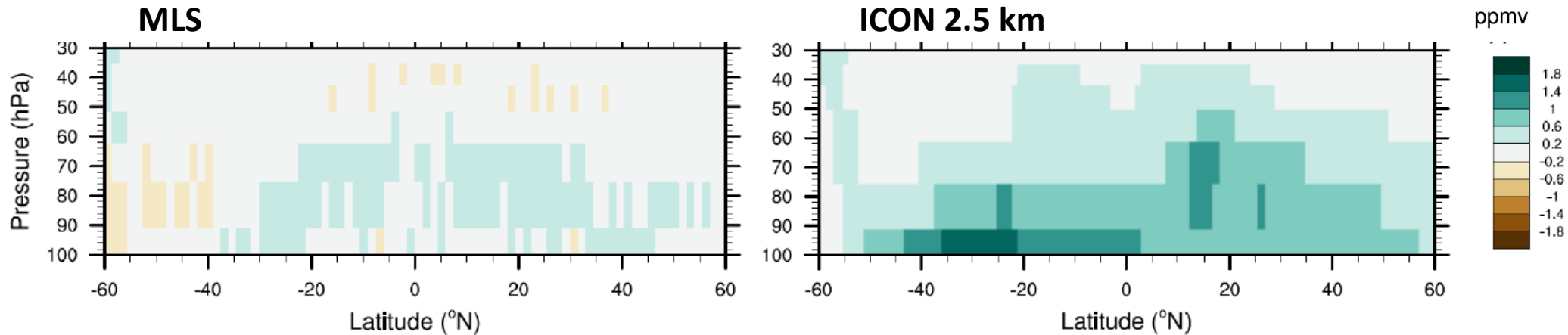
Champ d'humidité en stratosphère



1^{ère} étape : interpolation sur une grille à $0,1^{\circ}$ de résolution

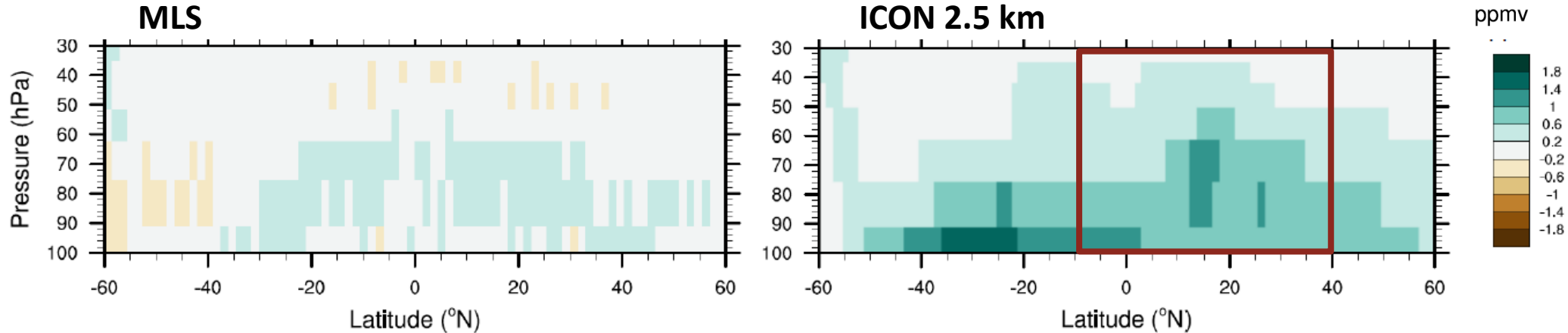
Hydratation de la stratosphère

entre le 1^{er} août et le 9 septembre 2016



Hydratation de la stratosphère

entre le 1^{er} août et le 9 septembre 2016



Let's do the water vapour budget in that region

Décomposition du bilan de vapeur d'eau *en termes de convergence de flux d'humidité*

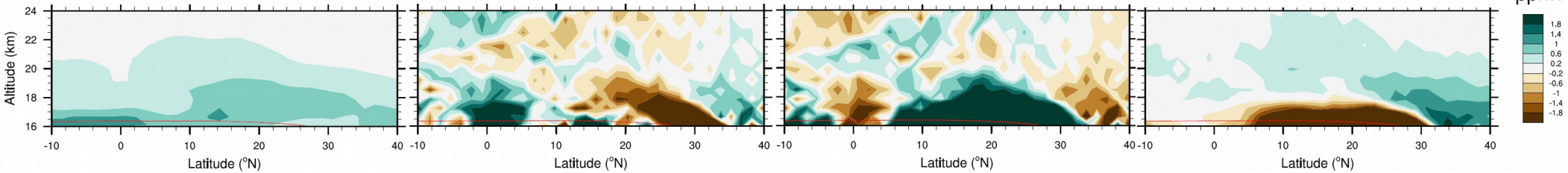
$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = - \left(\frac{\partial u \rho q}{\partial x} + \frac{\partial v \rho q}{\partial y} \right) - \frac{\partial w \rho q}{\partial z} + s$$

Tendance nette

Convergence horizontale

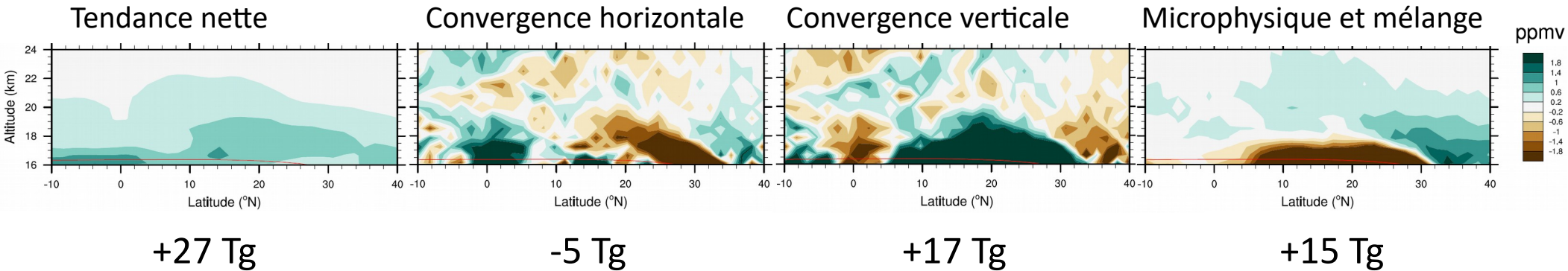
Convergence verticale

Microphysique et mélange



Décomposition du bilan de vapeur d'eau *en termes de convergence de flux d'humidité*

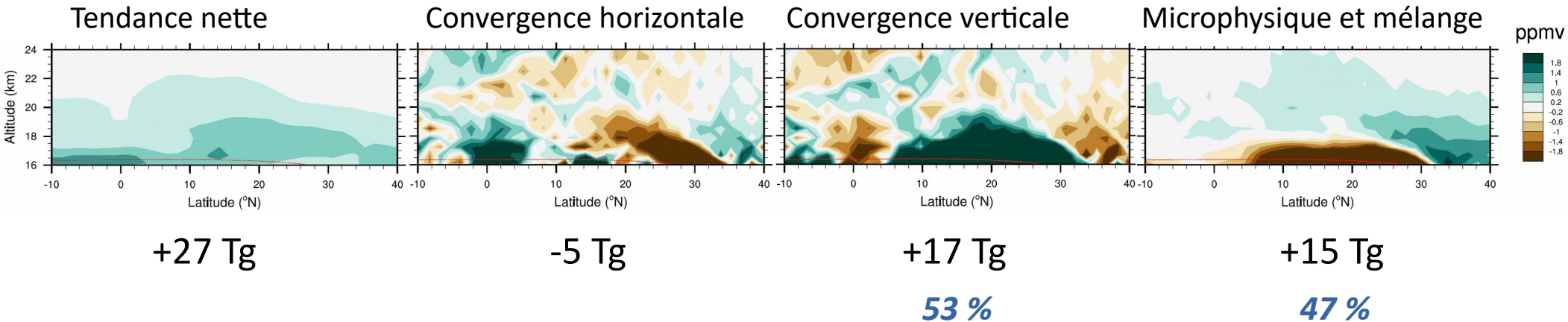
$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = - \left(\frac{\partial u \rho q}{\partial x} + \frac{\partial v \rho q}{\partial y} \right) - \frac{\partial w \rho q}{\partial z} + s$$



Entre 17 et 23 km d'altitude

Décomposition du bilan de vapeur d'eau *en termes de convergence de flux d'humidité*

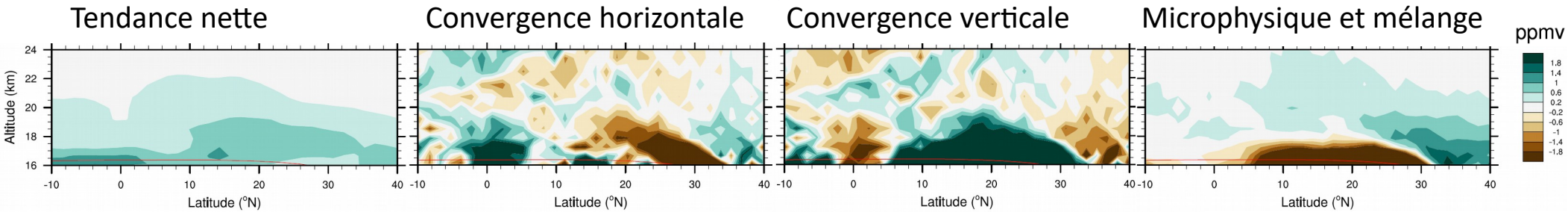
*Apport de vapeur d'eau en basse stratosphère tropicale
+ 32 Tg (pendant la période simulée)*



Entre 17 et 23 km d'altitude

Décomposition du bilan de vapeur d'eau *en termes de convergence de flux d'humidité*

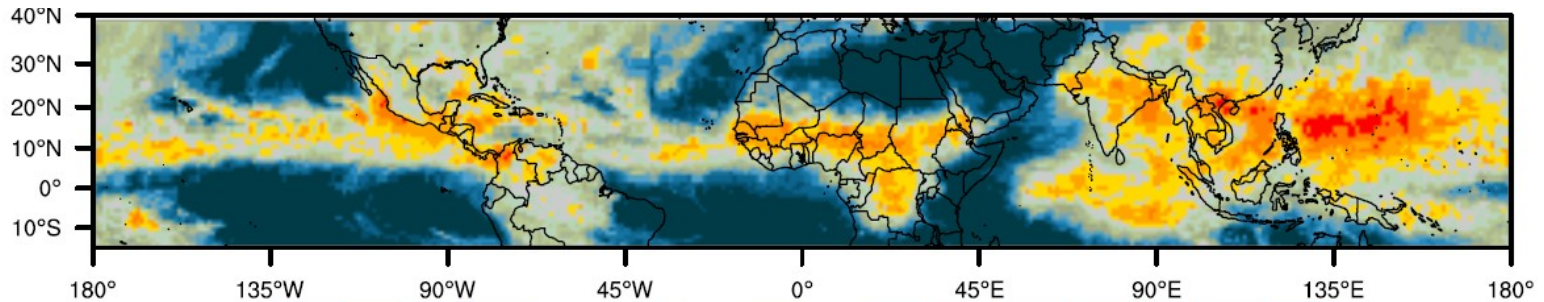
*Apport de vapeur d'eau en basse stratosphère tropicale
+ 32 Tg (pendant la période simulée)*



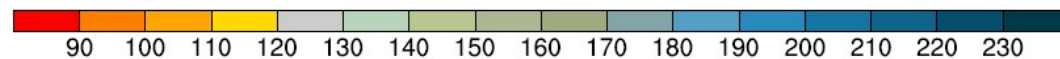
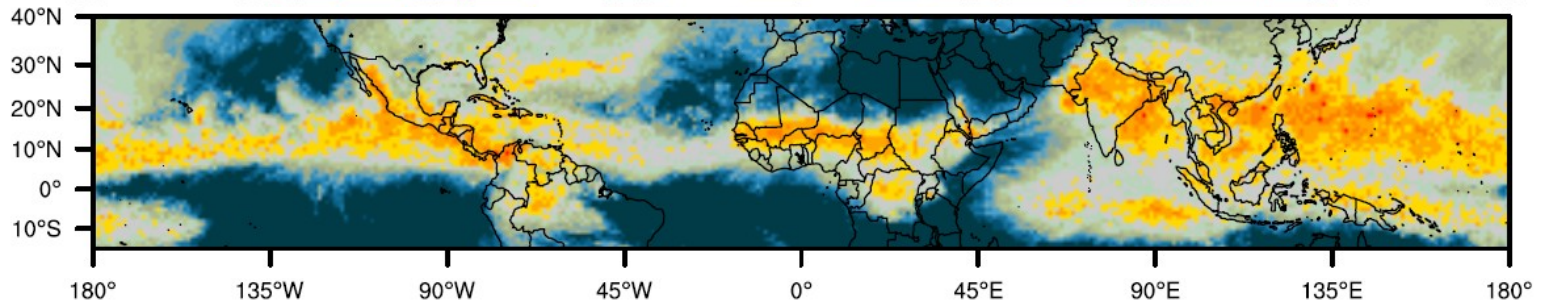
Quelle est la contribution de la convection à l'hydratation?

Distribution des systèmes convectifs les plus profonds

CERES



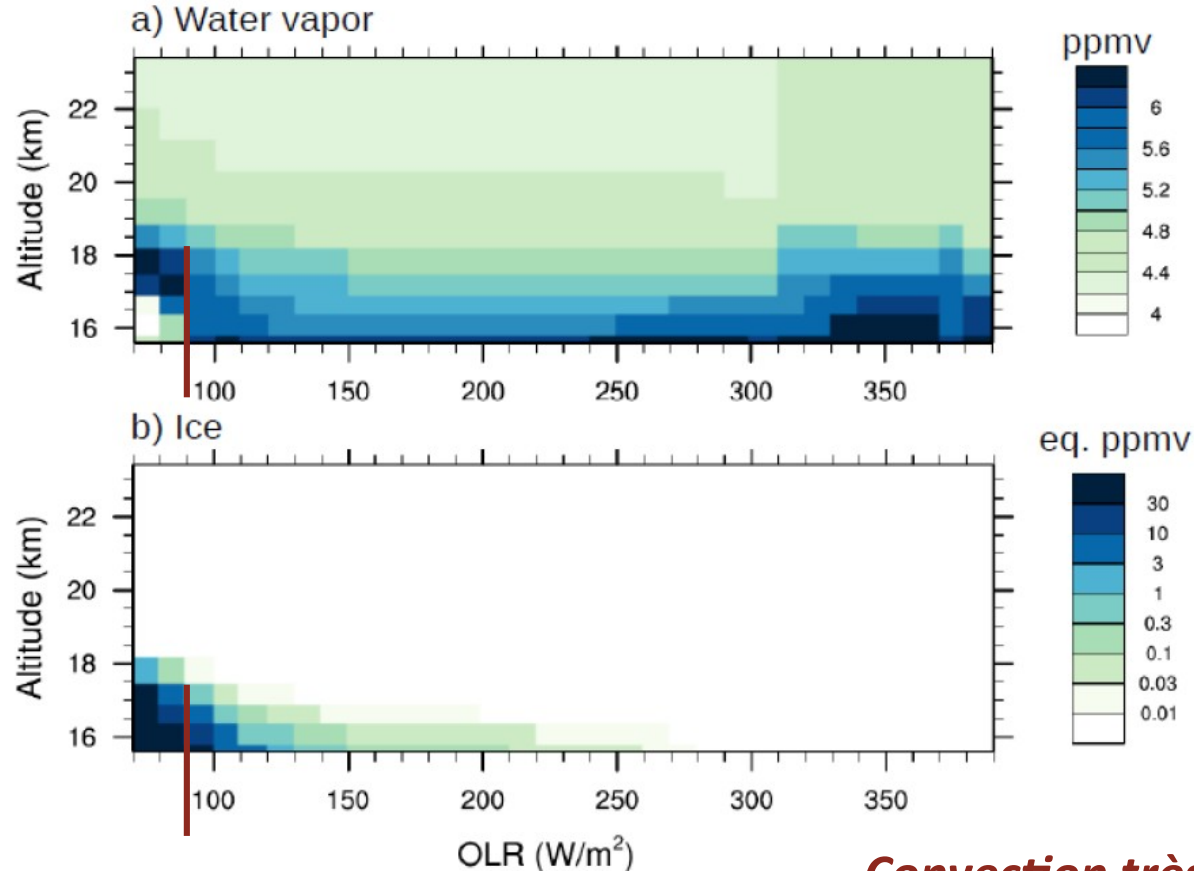
ICON 2.5 km



1st percentile of Outgoing Longwave Radiation - OLR (W/m²)

Moyenne conditionnelle basée sur l'OLR

Bande de latitude : $[-10, 40]^\circ N$



Convection très profonde: régions $< 90 W/m^2$

Contribution des régions avec $OLR < 90 \text{ W/m}^2$ à l'hydratation de la stratosphère

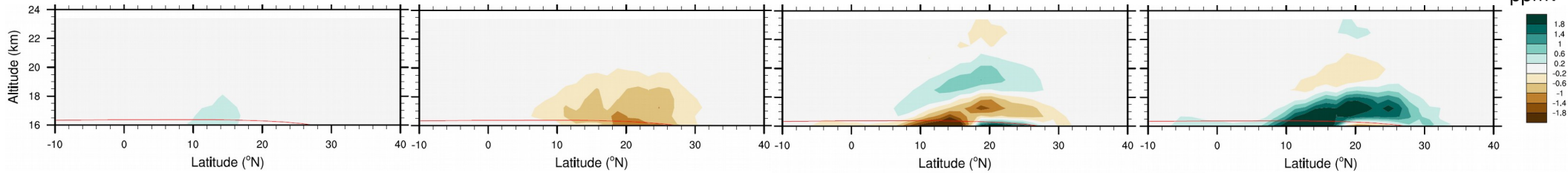
$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = - \left(\frac{\partial u \rho q}{\partial x} + \frac{\partial v \rho q}{\partial y} \right) - \frac{\partial w \rho q}{\partial z} + s$$

Tendance nette

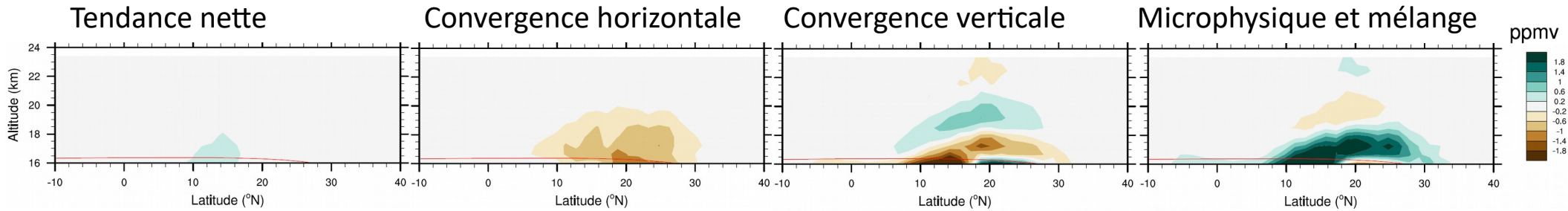
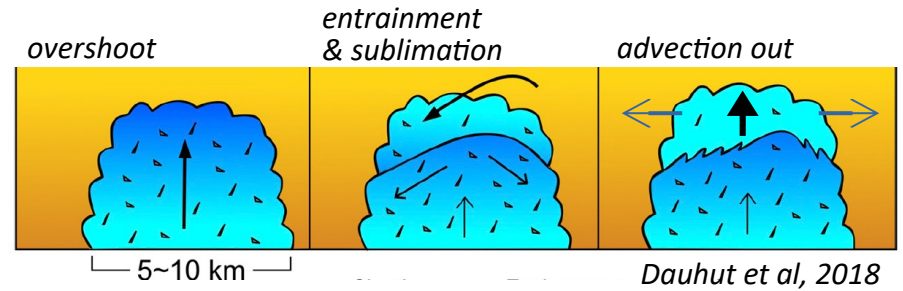
Convergence horizontale

Convergence verticale

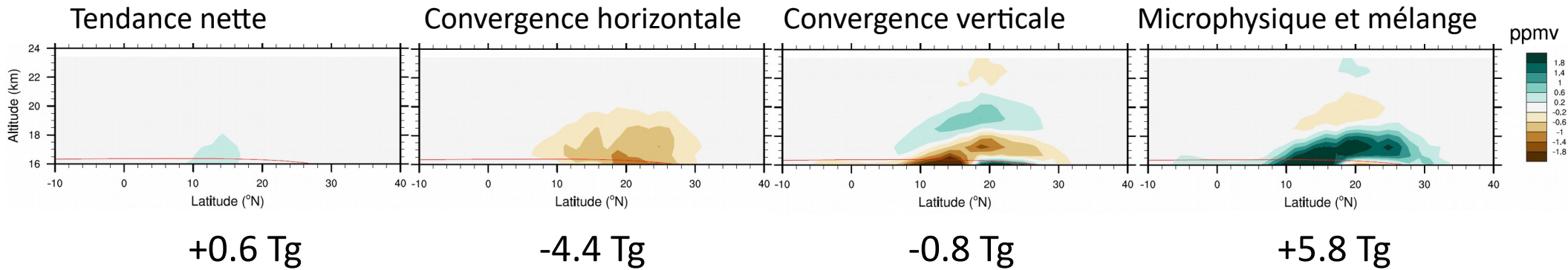
Microphysique et mélange



Contribution des régions avec $OLR < 90 \text{ W/m}^2$ à l'hydratation de la stratosphère

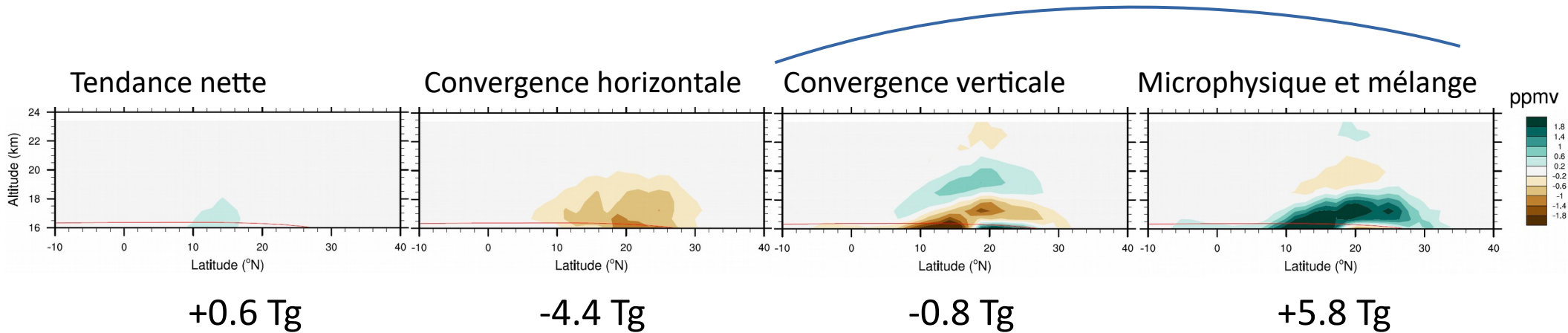


Contribution des régions avec $OLR < 90 \text{ W/m}^2$ à l'hydratation de la stratosphère



Contribution des régions avec $OLR < 90 \text{ W/m}^2$ à l'hydratation de la stratosphère

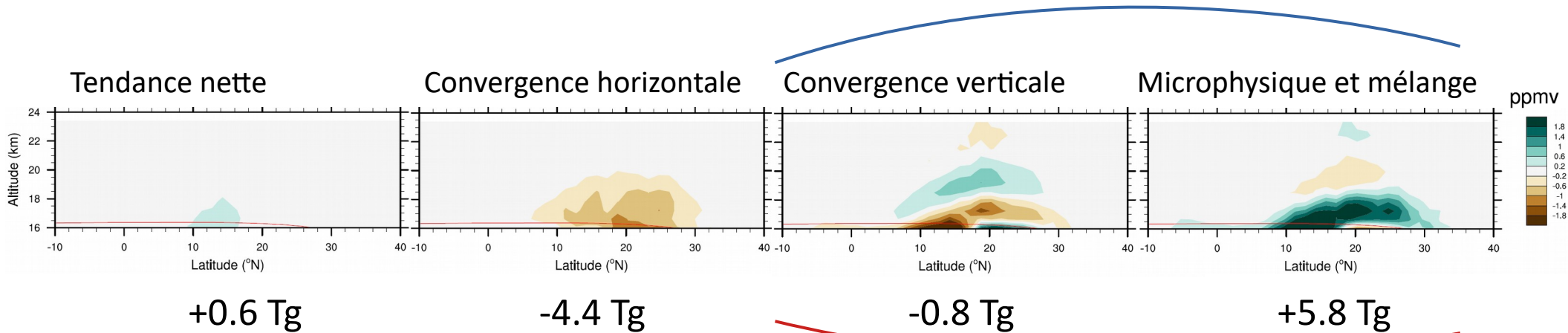
*Apport de vapeur d'eau en basse stratosphère tropicale
+ 5 Tg (pendant la période simulée)*



Fort contraste avec l'augmentation limitée de l'humidité au sommet des systèmes

Contribution des régions avec $OLR < 90 \text{ W/m}^2$ à l'hydratation de la stratosphère

*Apport de vapeur d'eau en basse stratosphère tropicale
+ 5 Tg (pendant la période simulée)*



16 % de l'apport de vapeur d'eau dans la région

Conclusions

A l'échelle des tropiques, entre le 1^{er} août et le 9 sept. 2016

- Apport d'eau provient à 53 % de l'advection verticale résolue
et à 47 % des processus non-résolus (microphysique et mélange)
- Flux horizontaux exportent l'humidité vers les moyennes latitudes

Contribution de la convection très profonde : 16 % de l'apport d'eau

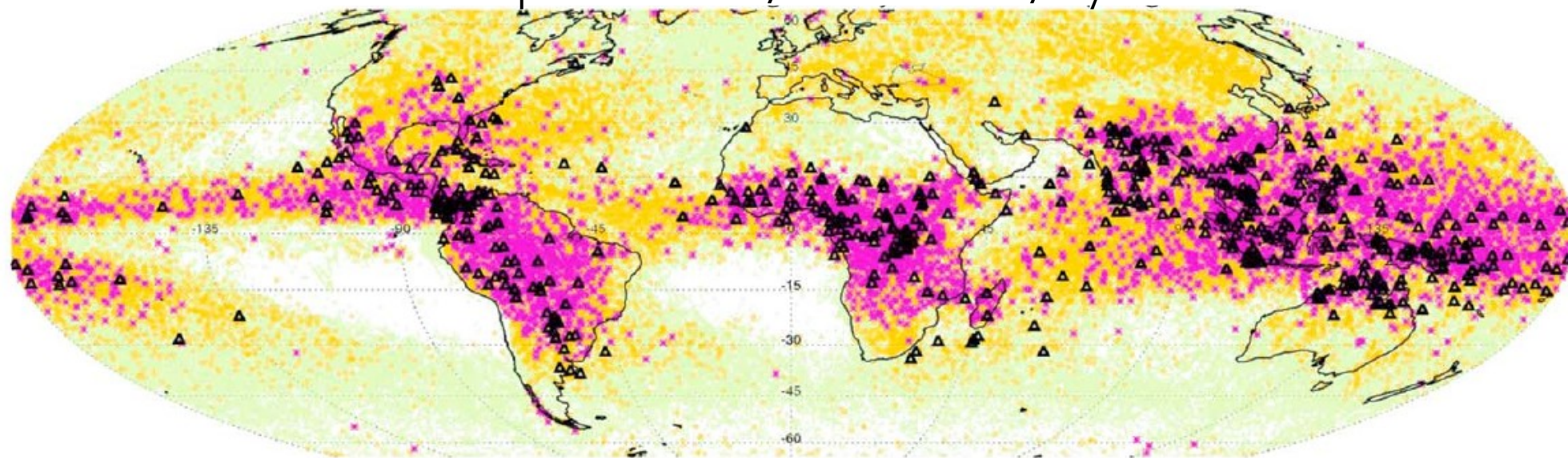
- les systèmes très profonds échantillonnés grâce à un seuil sur OLR
- fort contraste avec l'augmentation locale de l'humidité qui reste limitée

Quelle contribution sur de plus longues périodes ?

Quelle sensibilité à la résolution verticale, au schéma microphysique à la tropopause ?

Distribution des systèmes convectifs très profonds ▲

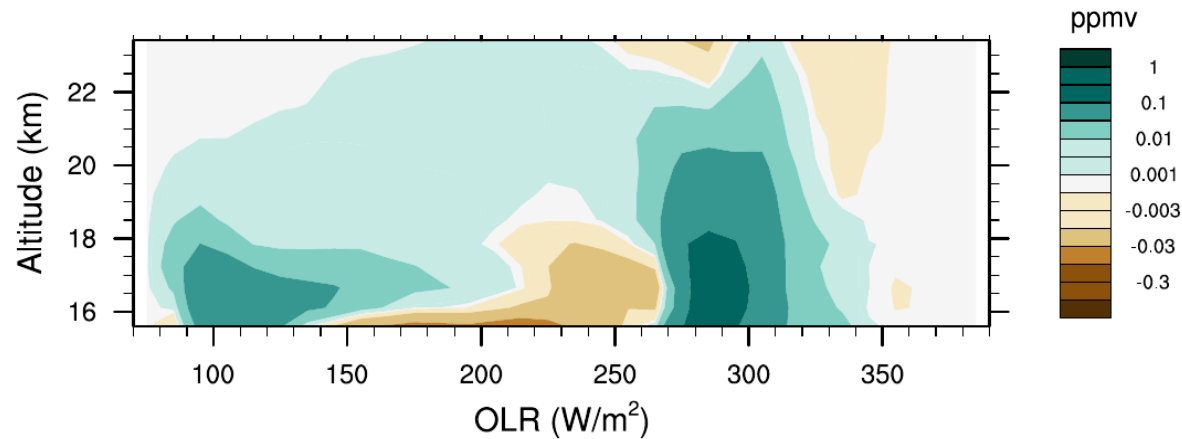
Precipitation Radar, GPM satellite, 1 year



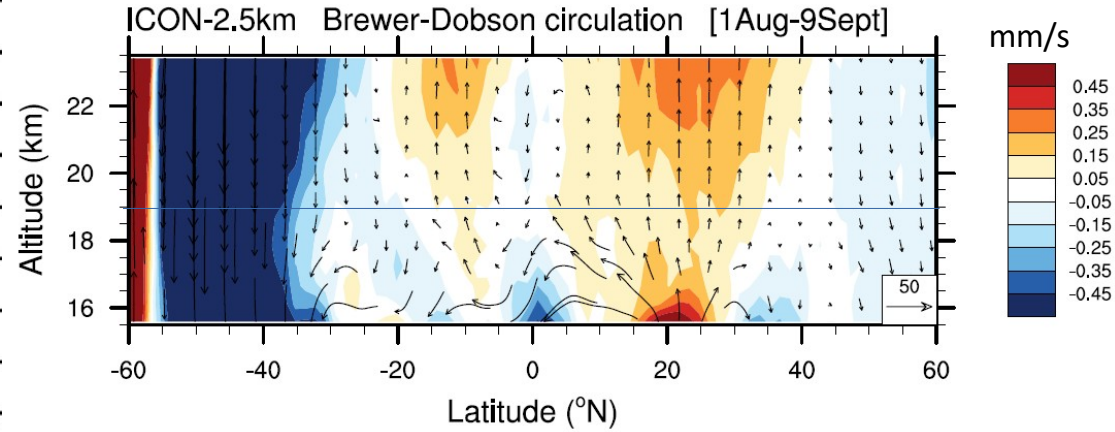
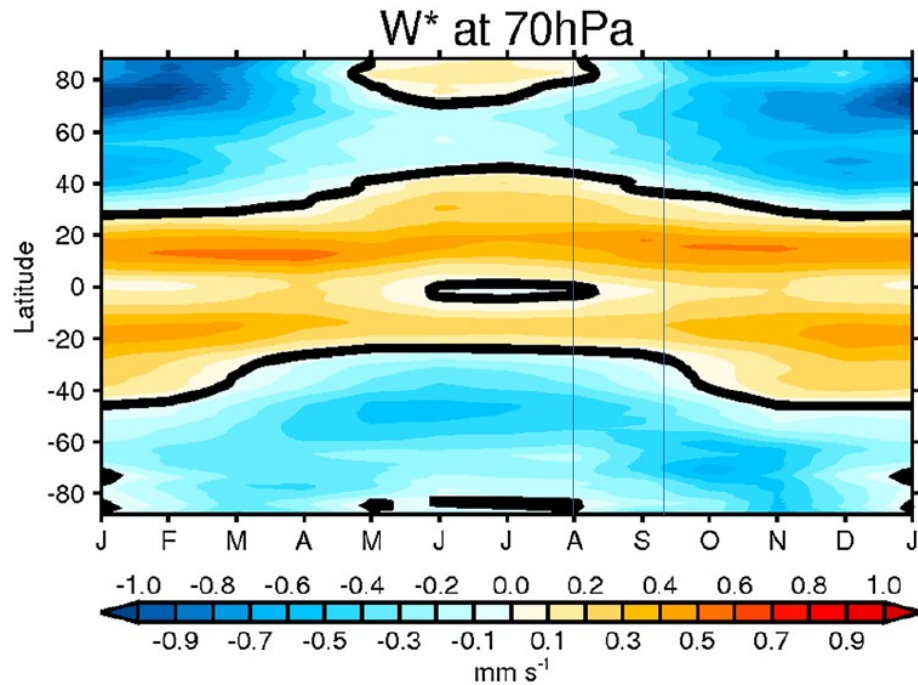
Liu et Zipser, 2015

Contribution à l'hydratation de la stratosphère dans $[-10, 40]^\circ\text{N}$, et en fonction de l'OLR

$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = - \left(\frac{\partial u \rho q}{\partial x} + \frac{\partial v \rho q}{\partial y} \right) - \frac{\partial w \rho q}{\partial z} + s$$



Circulation de Brewer-Dobson



Mean residual vertical velocities w^* at 70 hPa
from ERA-Interim for 1989–2009.

Butchart, 2014