

Prédire l'humidité troposphérique en fonction de l'organisation de la convection et de la circulation de grande échelle

Félix Langot

LMD - UVSQ/Paris-Saclay

14 avril 2021

- **But du stage** : développer un modèle théorique simple pour quantifier l'effet de l'organisation de la convection et de la circulation de grande échelle sur l'humidité de la troposphère
- Utilisation de simulations CRMs → vérifier les hypothèses du modèle + évaluer son réalisme.
- Différentes distributions de l'humidité relative (RH) dans la troposphère, dues à :
 - l'agrégation de la convection : fait baisser la RH
 - l'ascendance : humidifie la troposphère(TOBIN, BONY et Remy ROCA 2012)

- **Cloud-Resolving Model (CRM)** : Permet de simuler des nuages convectifs avec une résolution allant de la dizaine de mètre à plusieurs kilomètres sur un espace limité en 4D (temps+espace).
- **Simulation en équilibre radiatif-convectif (RCE)** :
 - Simulation avec une boîte doublement périodique, typiquement utilisé pour étudier le climat tropical
 - Fixation de la température de surface + saturation de l'air à la surface comme c'est le cas au-dessus de l'océan.
 - Inclusion de l'énergie solaire qui évapore l'eau.
 - Redistribution de l'énergie par les équations de la mécanique des fluides, les radiation et la thermodynamique qui génèrent un cycle hydrologique avec des précipitations pour équilibrer l'évaporation.

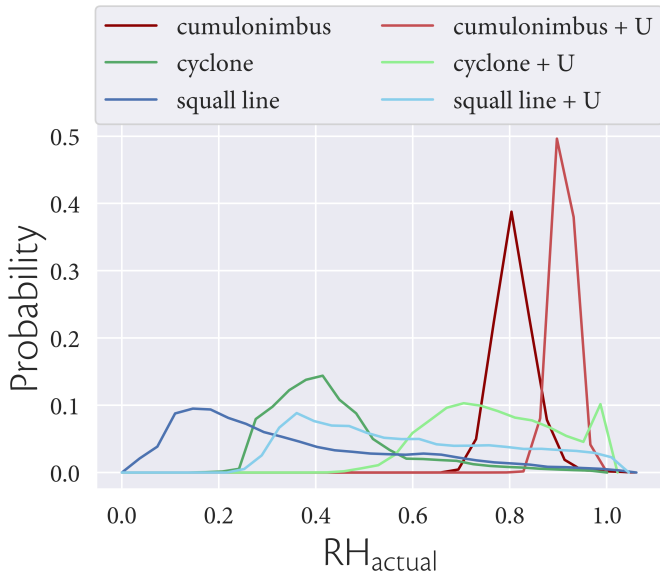
- **Pourquoi et comment représenter la circulation de grande-échelle :**
 - Impacte l'humidité de l'atmosphère par advection mais aussi l'organisation de la convection (DUFAUX 2021), qui à son tour modifie la RH.
 - Représenter l'ascendance de grande échelle → ajout d'un terme d'advection verticale d'humidité et de température.
- **Obtention de différents types d'organisation :** On ajoute au RCE un forçage différent en fonction du type d'organisation que l'on veut favoriser
 - Cumulonimbus isolés : RCE
 - Cyclones : RCE + Coriolis
 - Ligne de grain : RCE + cisaillement de vent

- Effets vérifiés par le CRM SAM, avec lequel on peut calculer la RH simulée d'une parcelle troposphérique sur un domaine de 95x95 km

$$RH_{actual} = \frac{q_v}{q_{sat}} \Big|_{z_{parcel}=5km}$$

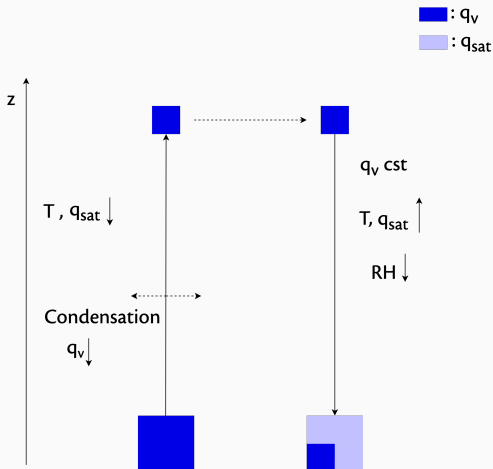
avec q_v l'humidité spécifique et q_{sat} l'humidité spécifique de saturation, en g/kg.

Introduction



Comment prédire les distributions de RH ?

- Pour tenter de prédire les distributions de RH , on utilise le modèle d'advection-condensation (PIERREHUMBERT, BROGNIEZ et Rémy ROCA 2007; VALLIS 2017)



Comment prédire les distributions de RH ?

- L'humidité spécifique d'une parcelle q_v reste constante en l'absence de saturation (et donc de condensation)
- On dispose de l'humidité spécifique de saturation q_{sat} en fonction de l'altitude grâce au modèle SAM
- On peut donc prédire la RH de la troposphère à partir de l'altitude de dernière saturation de la parcelle

Comment prédire les distributions de *RH*?

Comment le modèle met en évidence les relations entre la *RH* et la circulation de grande échelle/l'organisation de la convection?

→ L'ascendance modifie la vitesse de subsidence de l'environnement, donc modifie le temps de descente de la parcelle. Si temps de descente augmente, la probabilité de rencontrer un nuage augmente.

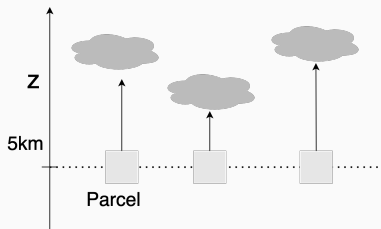
→ L'organisation joue sur la distribution des nuages, donc sur la probabilité d'en rencontrer un. Si les nuages sont très regroupés, la probabilité d'en rencontrer sur tout le domaine baisse.

Pour expliquer ça, ça serait utile de citer Sherwood 2006 et ses 2 échelles de temps.

Altitude de dernière saturation - Approche statique

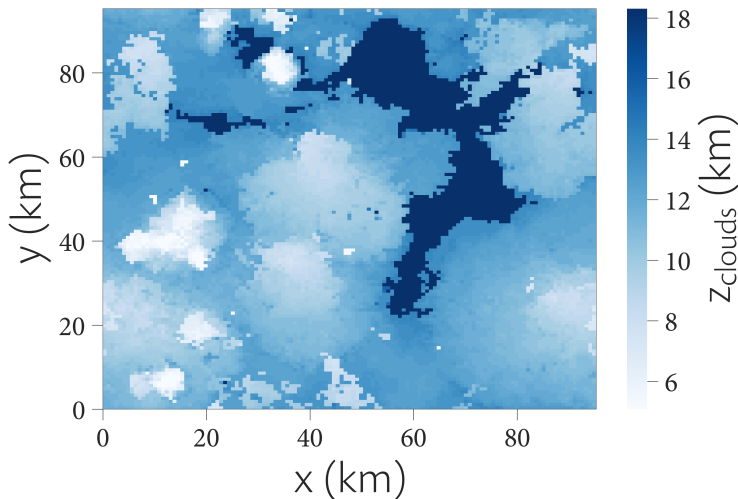
Comment trouver l'altitude de dernière saturation d'une parcelle se situant dans la troposphère ?

- **Hypothèse statique** : L'altitude de dernière saturation d'une parcelle troposphérique correspond à l'altitude du nuage le plus proche au-dessus de la parcelle.
- SAM : rapports de mélange d'eau et de glace (*water mixing ratio*, *ice mixing ratio*) q_c, q_i
→ Détection des nuages
 - Si $q_c + q_i > 10^{-6}$ alors le point de grille est dans un nuage (RISI, MULLER et BLOSSEY 2021)



Altitude de dernière saturation - Approche statique

On peut donc mesurer l'altitude du nuage le plus proche de chaque point de grille à chaque pas de temps des simulations



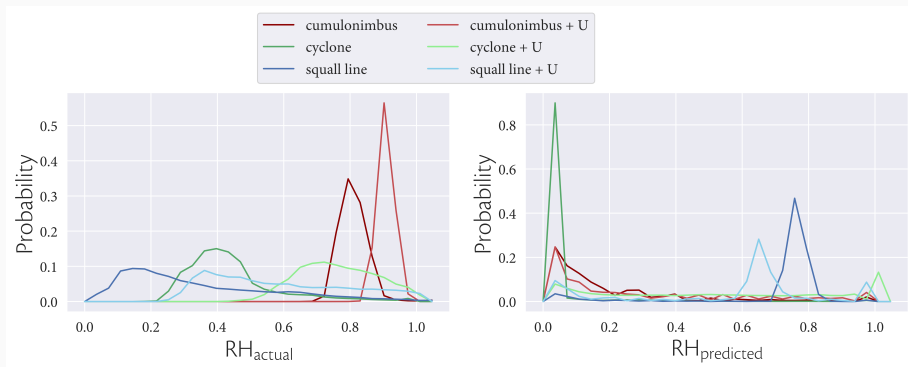
L'humidité relative prédite RH_p peut ensuite être calculée en fonction de q_{sat} seulement :

$$RH_p = \frac{q_{sat}(z_{clouds})}{q_{sat}(z_{parcel})}$$

où z_{clouds} est l'altitude des nuages les plus proches de la troposphère au-dessus des points de grille à $z_{parcel} = 5km$, l'altitude choisie dans la troposphère

Altitude de dernière saturation - Approche statique

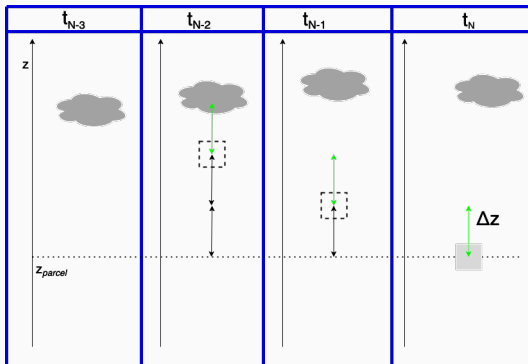
On peut comparer la distribution obtenue avec cette méthode à la distribution réelle de la RH



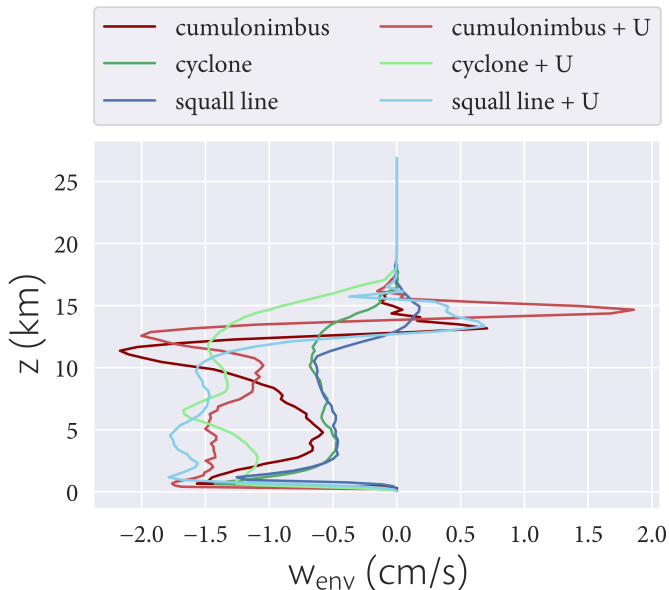
→ La RH ne peut pas être prédite par un modèle statique.

Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

- **Approche dynamique :**
On considère le mouvement vertical d'une parcelle au-dessus de la troposphère.
- SAM fournit la vitesse verticale w , depuis laquelle on peut déduire w_{env} , la vitesse en dehors des nuages.

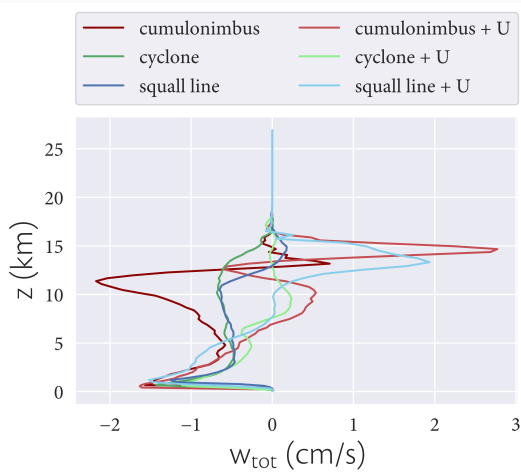


Altitude de dernière saturation - Approche dynamique



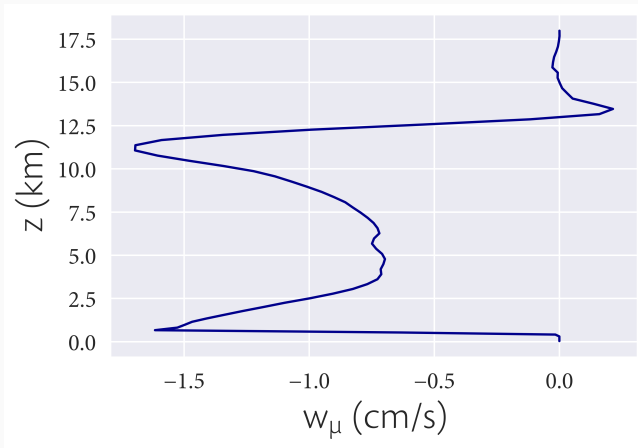
Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

Simulations avec ascendance : vitesse verticale totale dans l'environnement $w_{tot} = w_{env} + w_{LS}$, où w_{LS} est l'ascendance imposée. Vitesse totale des parcelles dans l'environnement :



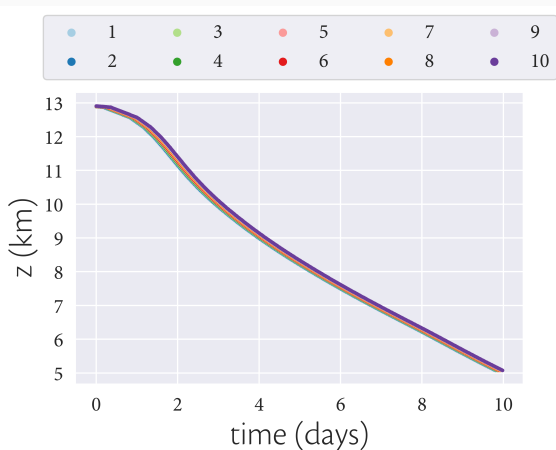
Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

- On se concentre premièrement sur la simulation de cumulonimbus sans ascendance
- Le pas de temps est réduit à 30min
- Le profil de vitesse est le suivant



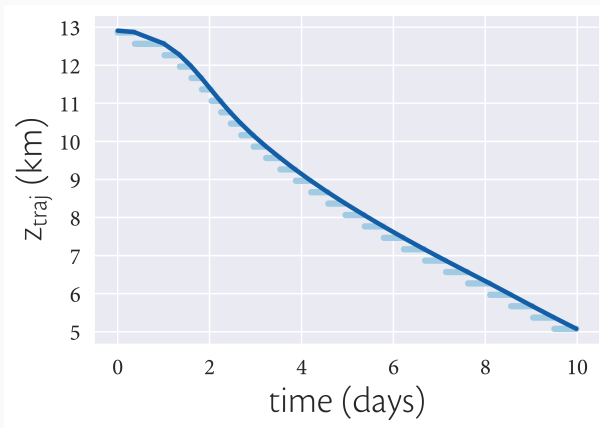
Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

- On choisit 10 parcelles étant à l'altitude z_{parcel} aux 10 derniers pas de temps.
- On remonte le temps et on trace la trajectoire de la parcelle, gouvernée par w_μ .



Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

- La trajectoire est discrétisée pour correspondre aux altitudes du modèle et ainsi permettre d'associer des valeurs q à chaque altitude traversée par la parcelle.
- La trajectoire discrétisée sous-estime systématiquement l'altitude de la parcelle





DUFAUX, Clarisse (2021). « Rapport de stage de licence 3 : l'impact de l'ascendance de grande échelle sur l'organisation de la convection ». fr. Report. Paris.



PIERREHUMBERT, Raymond T., Hélène BROGNIEZ et Rémy ROCA (2007). « On the Relative Humidity of the Atmosphere ». eng. In : The Global Circulation of the Atmosphere. Sous la dir. de Tapio SCHNEIDER, Adam H. SOBEL et CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Princeton : Princeton Univ. Press. ISBN : 978-0-691-12181-9.



RISI, Camille, Caroline MULLER et BLOSSEY (2021). « Rain Evaporation, Snow Melt and Entrainment at the Heart of Water Vapor Isotopic Variations in the Tropical Troposphere, According to Large-Eddy Simulations and a Two-Column Model ». In : Journal of Advances in Modeling Earth Systems.



TOBIN, Isabelle, Sandrine BONY et Remy ROCA (oct. 2012).

« Observational Evidence for Relationships between the Degree of Aggregation of Deep Convection, Water Vapor, Surface Fluxes, and Radiation ». In : Journal of Climate 25.20, p. 6885-6904. ISSN : 08948755. DOI : 10.1175/JCLI-D-11-00258.1.



VALLIS, Geoffrey K (2017). Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. en. Second. Cambridge University Press.