

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.

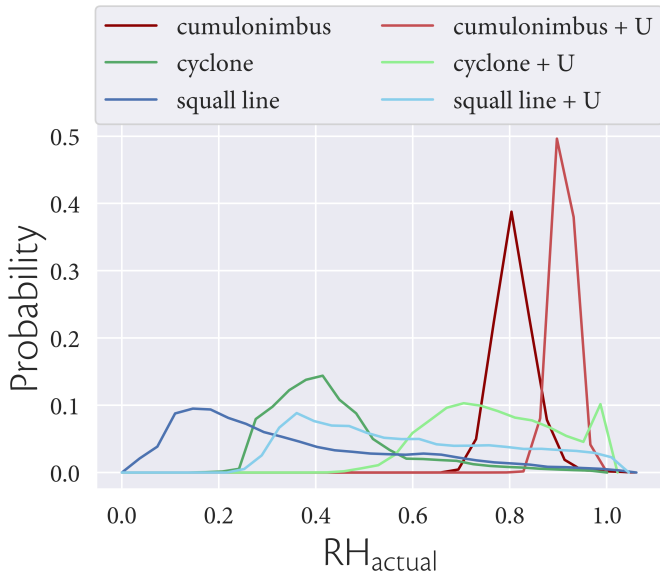
- **Pourquoi et comment représenter la circulation de grande-échelle :**
 - Impacte l'humidité de l'atmosphère par advection mais aussi l'organisation de la convection (DUFAUX 2021), qui à son tour modifie la RH.
 - Représenter l'ascendance de grande échelle → ajout d'un terme d'advection verticale d'humidité 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



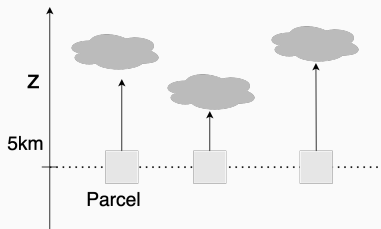
Comment prédire les distributions de RH ?

- Pour tenter de prédire les distributions de RH , on utilise le modèle d'advection-condensation (PIERREHUMBERT, BROGNIEZ et Rémy ROCA 2007; VALLIS 2017)
 - 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.
- Deux approches essayées jusqu'à présent : statique et dynamique simplifiée

Altitude de dernière saturation - Approche statique

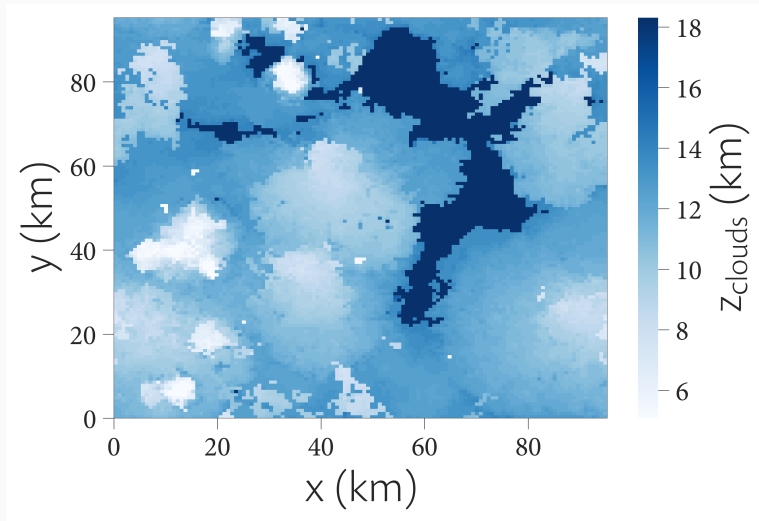
Comment trouver l'altitude de dernière saturation d'une parcelle se situant dans la troposphère ?

- **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



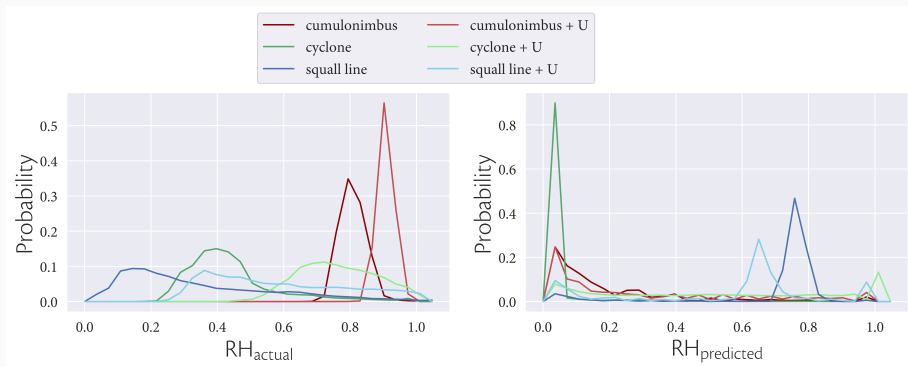
L'humidité relative prédite RH_p peut ensuite être calculée en fonction de q_{sat} seulement :

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

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

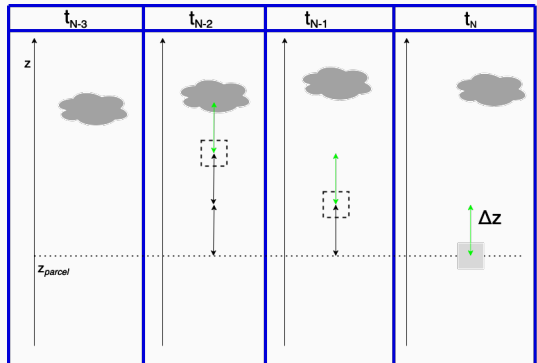
On peut comparer la distribution obtenue avec cette méthode à la distribution réelle de la RH



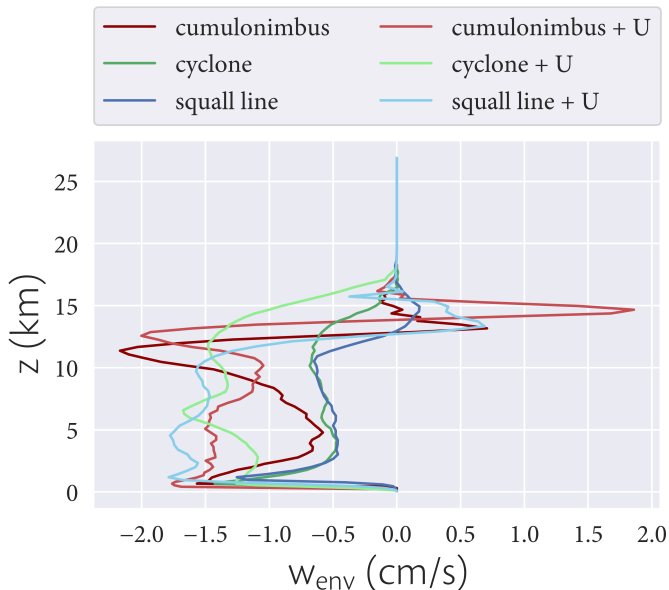
→ La RH ne peut pas être prédite par un modèle statique.

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.

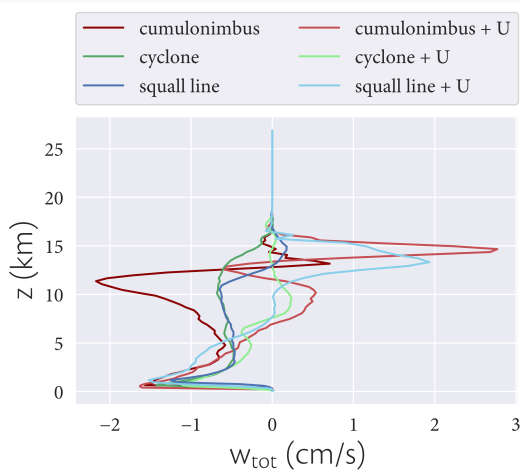


Altitude de dernière saturation - Approche dynamique



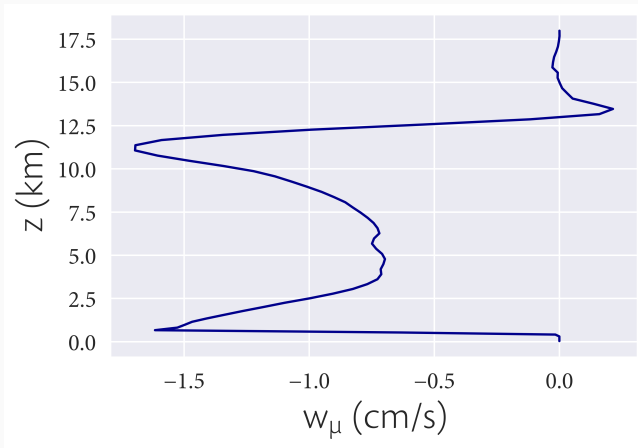
Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

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 :



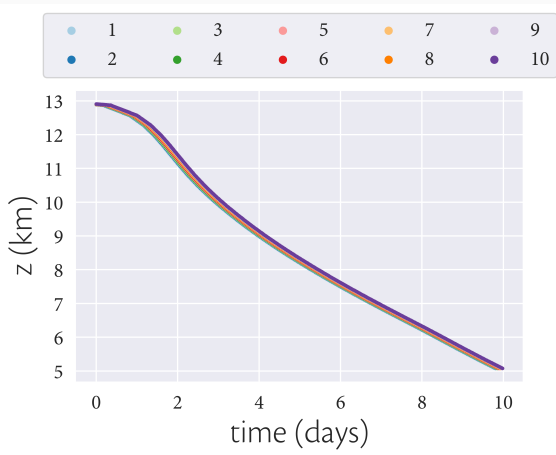
Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

- 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



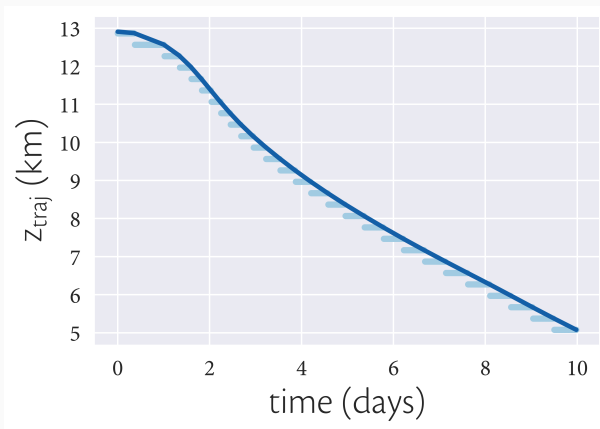
Altitude de dernière saturation - Approche dynamique

- 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.