

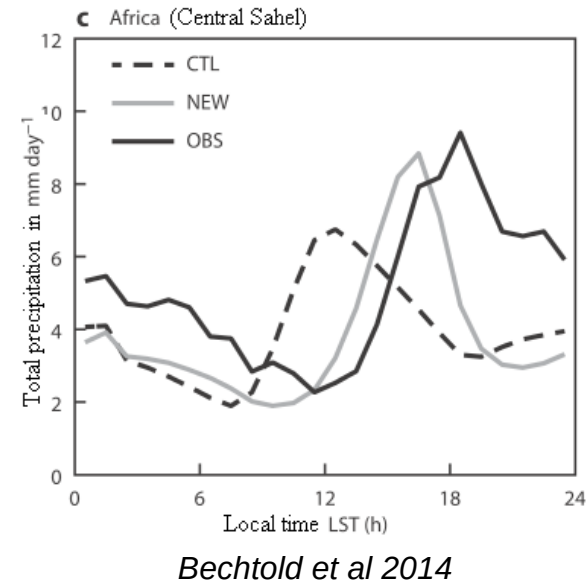


Comparer la mémoire de la convection dans différents schémas en fixant l'état de grande échelle

Maxime Colin, Steven Sherwood, Yi-Ling Hwong

Quelques problèmes des GCMs

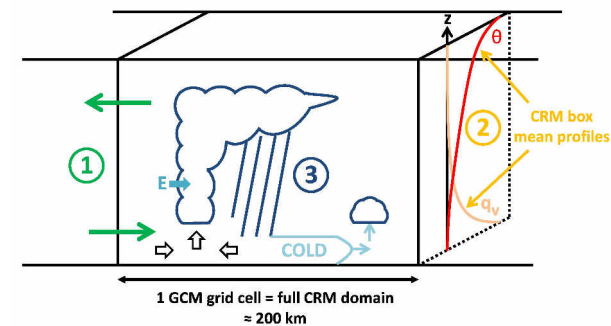
- Il pleut trop souvent, trop faiblement (*Stephens et al 2010, Hourdin et al 2020*)
- Problème du cycle diurne (*Rio et al 2009, Bechtold et al 2014*).
- Un défi de taille: capturer une bonne organisation spatiale de la convection.
- Un entrainement faible donne un meilleur état moyen, mais un entrainement élevé donne une meilleure variabilité.
- Malgré d'importantes améliorations...
 - Invitation à repenser certains aspects de la convection.



L'hypothèse “diagnostique”

- On considère habituellement que $C(x,t) = f[\xi(x,t)]$
avec C = activité convective à la position x , à l'instant t
 ξ = conditions environnementales, de grande échelle, à (x,t)
- C'est une hypothèse naturelle pour
 - Les paramétrisations traditionnelles
 - L'analyse des observations: pour généraliser des relations
- Valide tant que les échelles sont suffisamment grandes
- Mais moins bien valide si on augmente la résolution

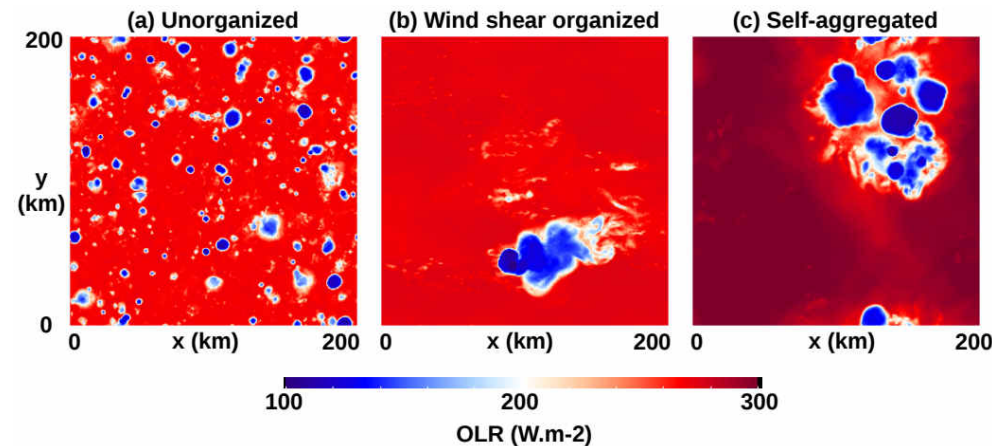
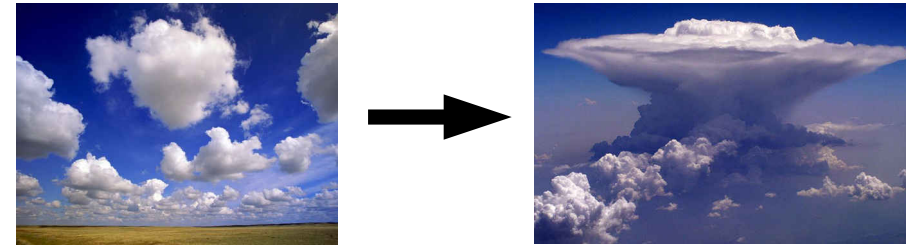
→ Comment dépasser ce problème ?



- ① Synoptic-state memory (interaction between several GCM grid cells)
- ② Macro-state memory (one GCM grid cell, mean profiles in the CRM box)
- ③ Micro-state memory (sub-grid for a GCM, resolved for the CRM)

La mémoire de la convection

- C'est quand, pour des conditions de grande échelle (**macro-état**) données, la convection dépend de sa propre **histoire** (**micro-état**).
- De nombreux processus peuvent apporter de la mémoire.
- La mémoire liée aux processus de petite échelle provient des structures de MSE (thermodynamique) dans les basses couches (*Colin et al 2019*).
- Elle augmente avec l'organisation spatiale
- *Daleu et al 2020*: la mémoire de la convection est visible à des échelles plus petites que 25 km pour de la convection désorganisée sur continent
- Déjà ajoutée dans de nombreux modèles. Mais pas de consensus ?



Colin et al 2019

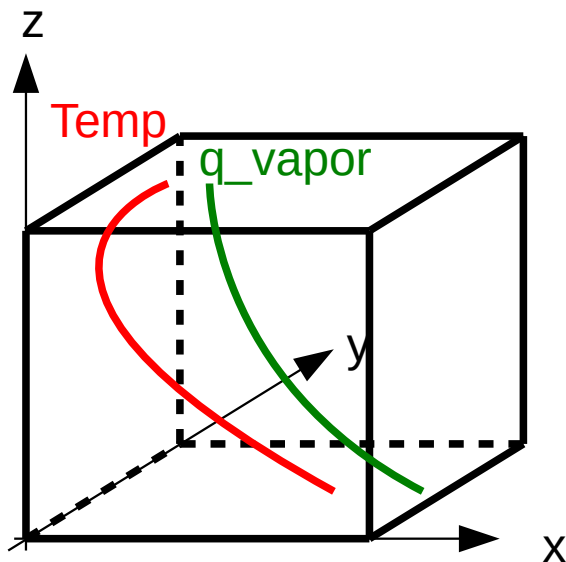
Formulation du problème

- On veut étudier la mémoire de petite échelle, sans être perturbé par l'influence de la grande échelle

$$C(x, t) = f[\xi(x, t)]$$

- Dans quelle mesure la convection est-elle déterminée par autre chose que les variables d'état de grande échelle (thermodynamiques, vents) ?

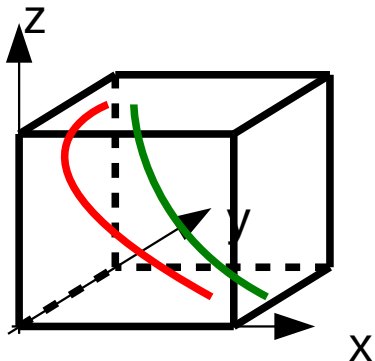
→ travailler à état de grande échelle fixé



Simulations CRM idéalisées: méthode

- Modèle WRF en RCE sur océan
- Domaine: 200 km * 200 km
- Résolution = 1km : convection profonde résolue
- Rayonnement interactif, Schéma de couche-limite actif
- Temperature de surface de la mer = 302 K
- Pas de rotation
- Conditions aux limites doublement périodiques

- On rajoute un terme de relaxation (strong nudging) sur les valeurs moyennes de (T,q,u,v) vers des profils-cibles calculés depuis le RCE: on contrôle l'état moyen (grande échelle).
→ un peu comme un WTHG (au lieu de WTG)

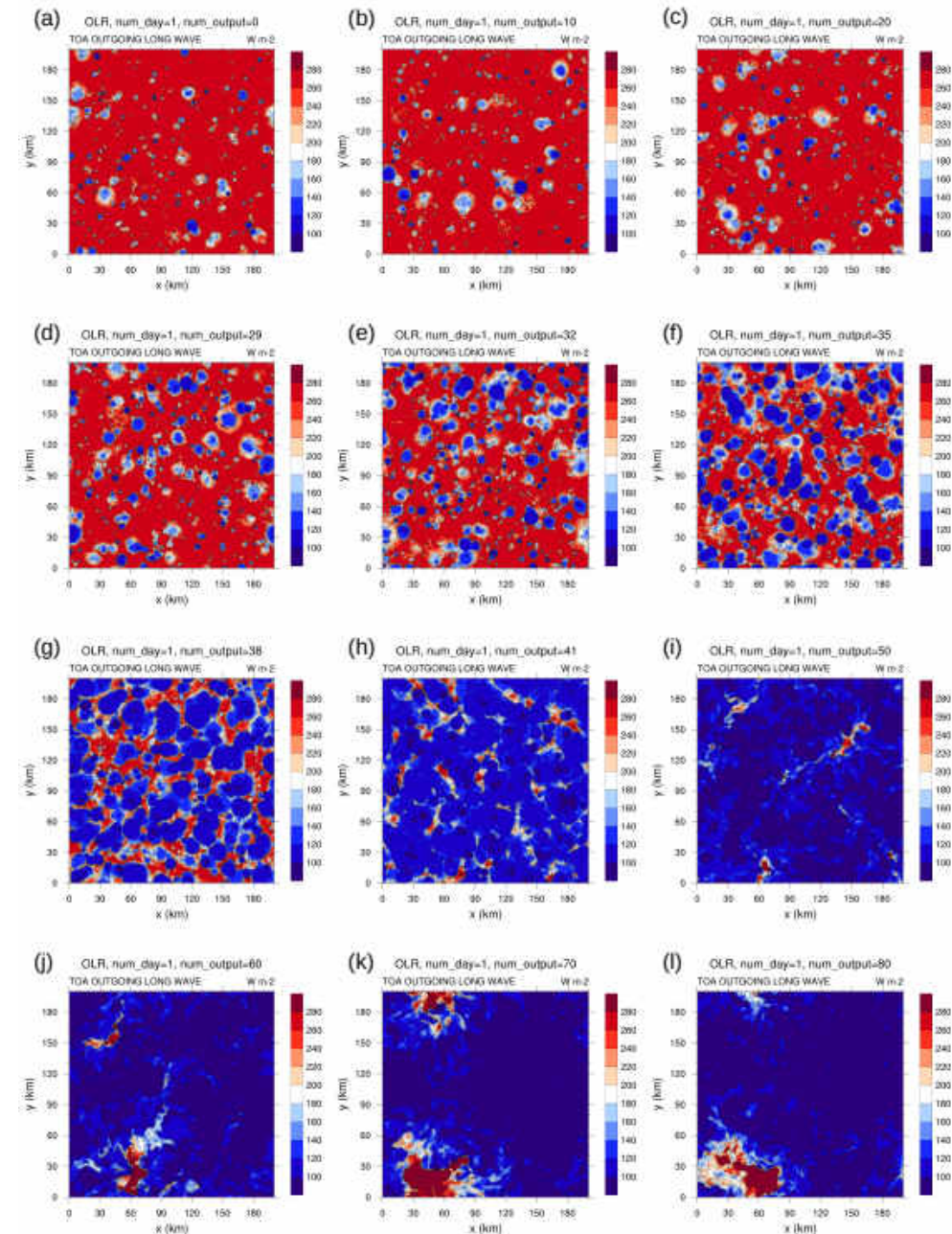
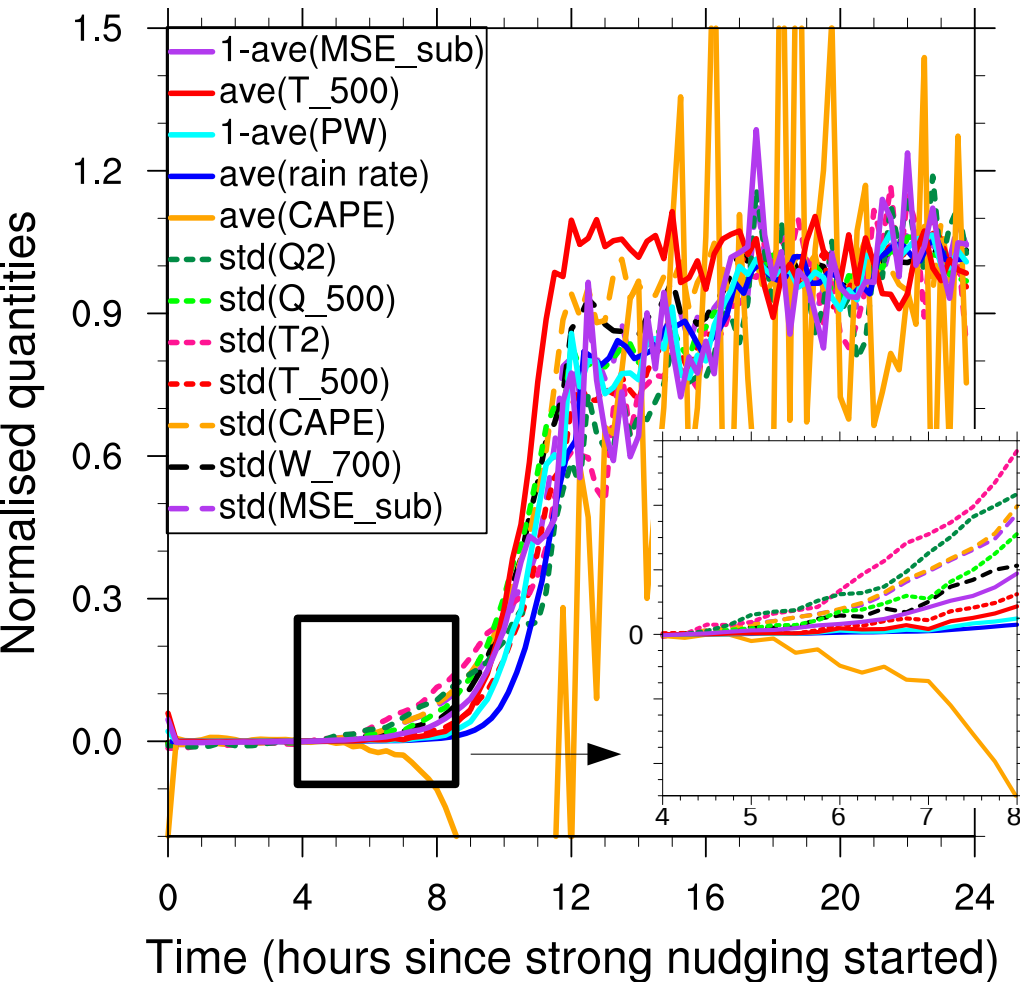


$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -\frac{1}{\tau} (\overline{\mathbf{u}} - \overline{\mathbf{u}}_{target})$$

- On répète sur une dizaine de membres.

Simulations CRM idéalisées: résultats

- On observe que cette situation est instable
- 2 cas: croissance exponentielle, ou décroissance exponentielle

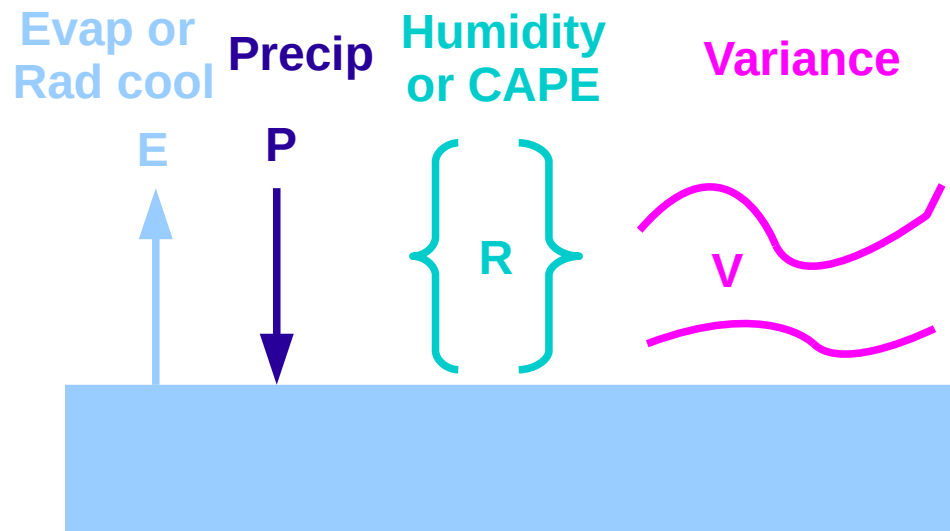


Modèle prédateur-proie de la convection

Modèle à 3 variables, dont 2 pronostiques (avec mémoire).

$$\frac{\partial R}{\partial t} = E - P$$
$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\alpha_{damp} V + \alpha_{vp} P + \varepsilon_V$$
$$P = \alpha_p R V \varepsilon_P$$

- **Prédateur:** V (micro-état)
- **Proie:** R (macro-état)



Modèle prédateur-proie de la convection

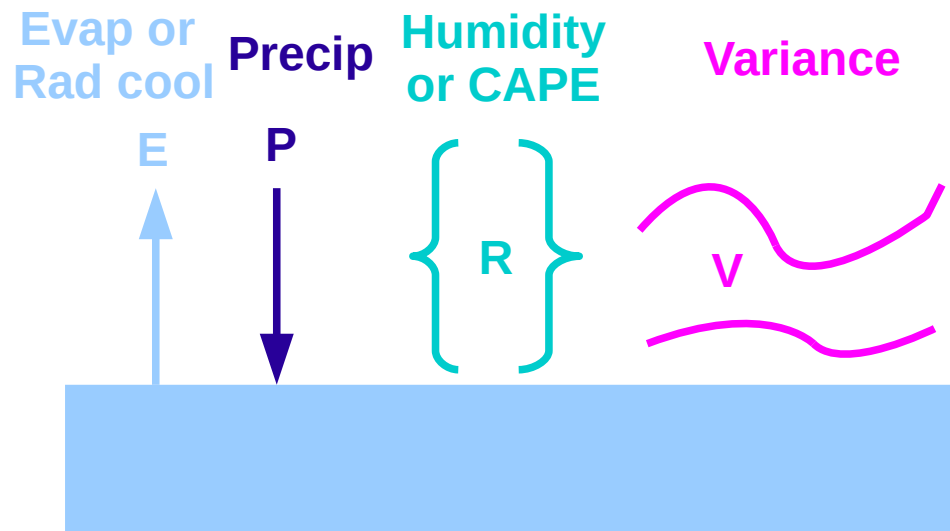
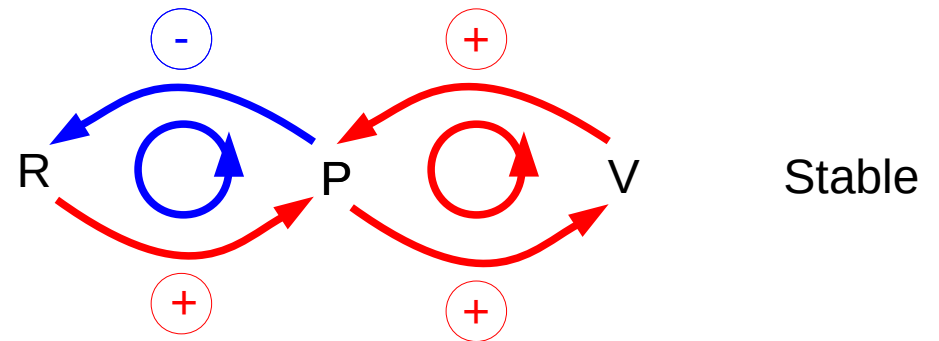
Modèle à 3 variables, dont 2 pronostiques (avec mémoire).

$$\frac{\partial R}{\partial t} = E - P$$

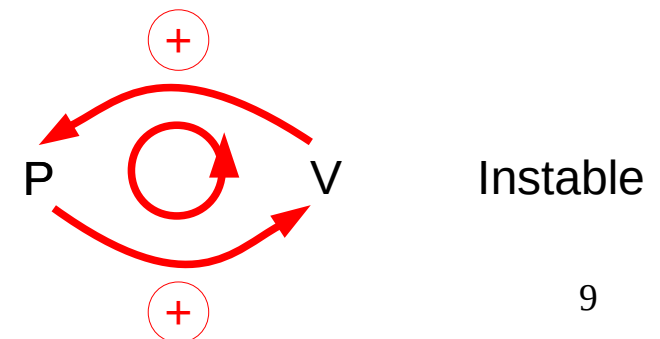
$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\alpha_{damp} V + \alpha_{vp} P + \varepsilon_V$$

$$P = \alpha_p R V \varepsilon_P$$

- Simulations de contrôle (RCE)



- Etat de grande échelle (macro-état) fixé $\frac{\partial R}{\partial t} = 0$



Modèle prédateur-proie de la convection

Modèle à 3 variables, dont 2 pronostiques (avec mémoire).

$$\frac{\partial R}{\partial t} = E - P$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\alpha_{damp} V + \alpha_{vp} P + \varepsilon_V$$

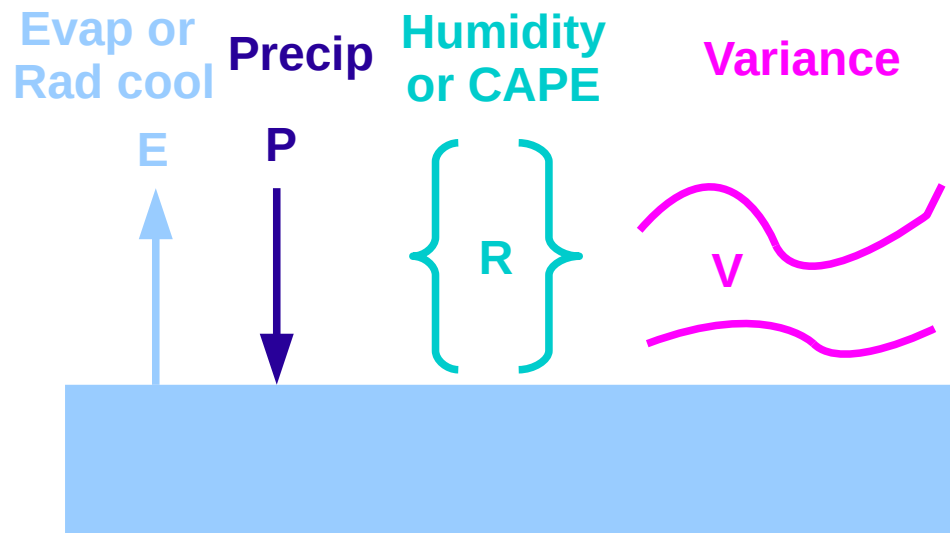
$$P = \alpha_p R V \varepsilon_P$$

- Pour un état de grande échelle fixé:

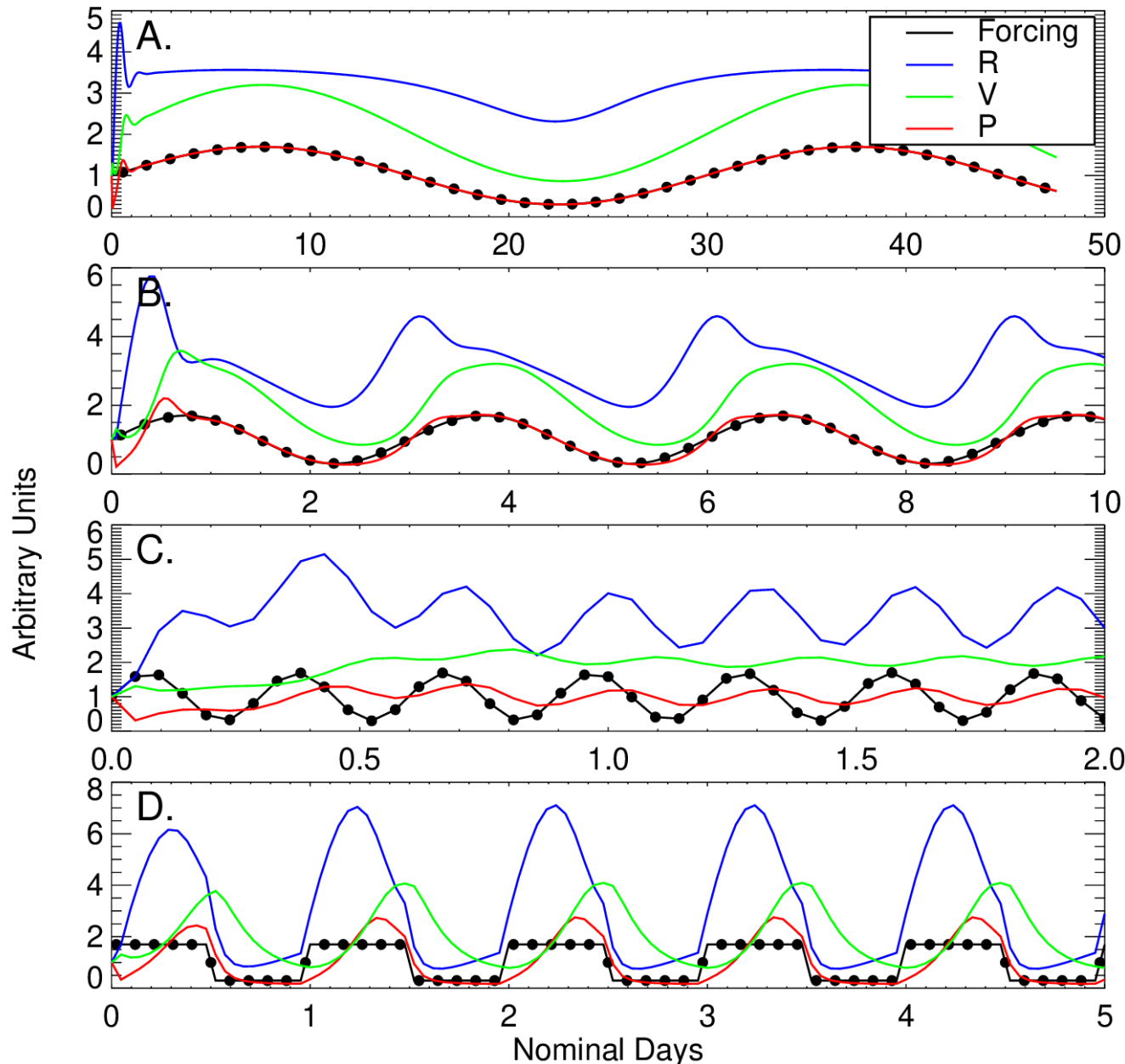
$$\frac{\partial R}{\partial t} = 0 \quad \text{donc il reste 2 équations}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \alpha_{vp} \alpha_p (R_0 - R_{RCE}) V \rightarrow \text{solution exp}$$

- Le modèle prédateur-proie reproduit plusieurs comportements du CRM:
 - Oscillations après homogénéisation
 - Macro-état fixé
- Les équations relient la mémoire directement aux hétérogénéités non résolues
- Les hétérogénéités de petite échelle nourrissent la convection



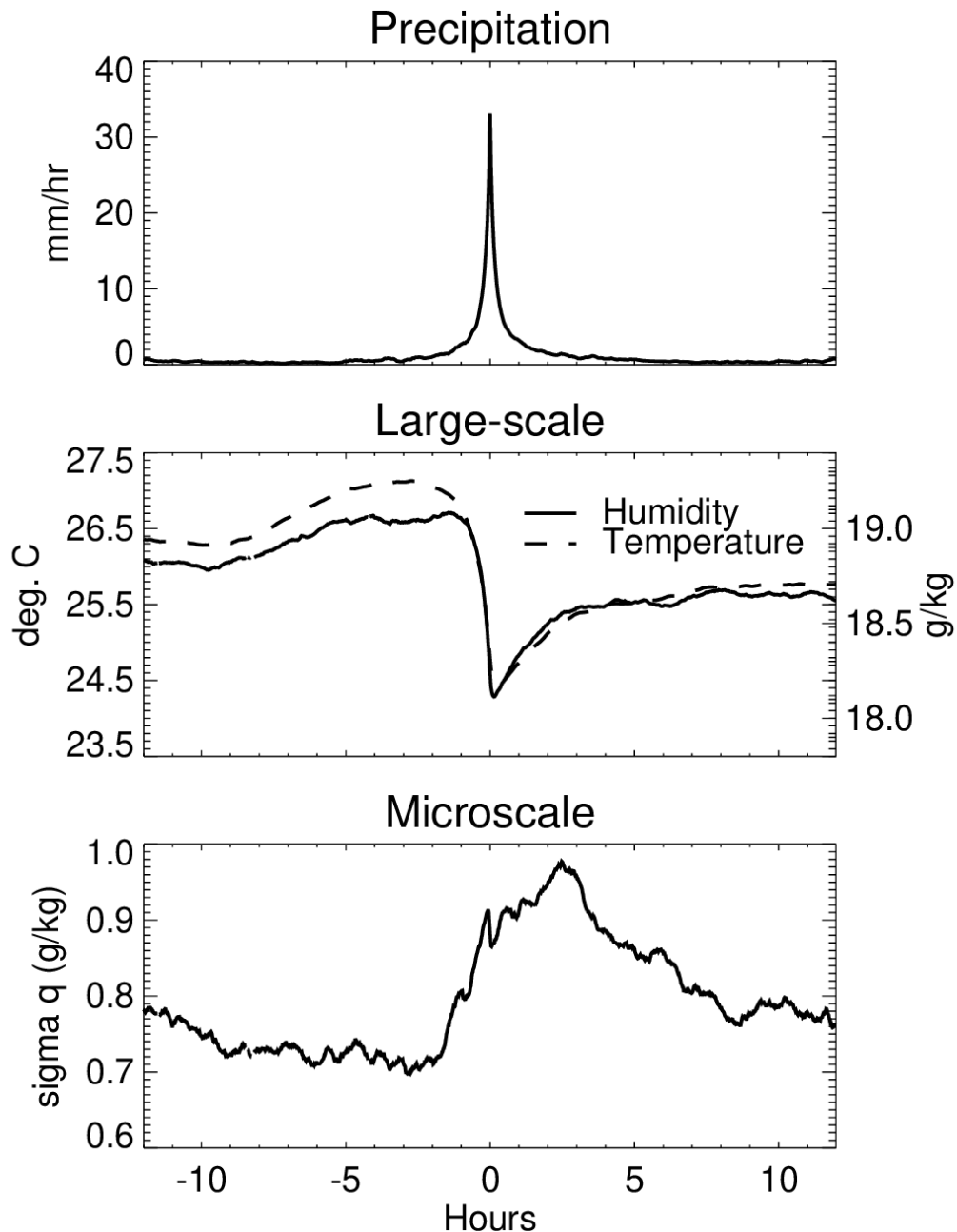
Modèle prédateur-proie de la convection: ondes



- On force par une onde de période variée.
- Quasi-équilibre pour des échelles longues et moyennes. P en phase avec le forçage (car R en avance, V en retard)
- Pour des échelles courtes, P retardé
- Pour un forçage "cycle diurne", R atteint son max vers midi, P vers la fin de journée

Modèle prédateur-proie de la convection: obs

- On retrouve les relations de décalage temporel entre R, V, P dans les observations ARM.



Simulations SCM idéalisées: méthode

- Question: Est-ce que ces comportements se retrouvent dans les GCM ?
- Modèles LMDZ, WRF, CAM en 1D: RCE sur océan (“convective playground”)
- Tester différentes paramétrisations, et différentes formulations (ex: LMDZ)
- On fixe directement l’état de grande échelle (au lieu de faire de la relaxation). Deux méthodes possibles:
 - Fixer toutes les variables de grande échelle, en laissant libres les variables qui représentent des structures non résolues (δT_{wak} , δq_{wak} , σ_{wak} , D_w dans LMDZ)
 - Fixer uniquement (T,q,u,v) à des profils-cibles calculés depuis le RCE
- Stratégie générale:
 1. Laisser chaque simulation trouver son état RCE
 2. En déduire les profils-cibles à imposer
 3. Simulation à état de grande échelle fixé
- Problèmes possibles si la convection n’est pas déclenchée dans le profil-cible.

Simulations SCM idéalisées: méthode

Courtesy of
Yi-Ling Hwong

Variables d'entrée
des schémas (état
de grande échelle,
macro-état)

	KFETA <input type="checkbox"/>	NTIEDTKE	NSAS	BMJ	CAMZM	GF
T	x	x	x	x	x	x
TH	x			x	x	
QV	x	x	x	x	x	x
QC		x	x			
QI		x	x			
P	x	x	x	x	x	x
U	x	x	x		x	x
V	x	x	x		x	x
W	x	x	x			x
RHO	x	x	x	x		x
DZ8W	x	x	x	x	x	x
PI	x	x	x	x	x	x
HFX		x	x		x	x
QFX		x	x		x	x
PBLH			x		x	
KPBL				x	x	x
HT					x	x

Mais aussi:

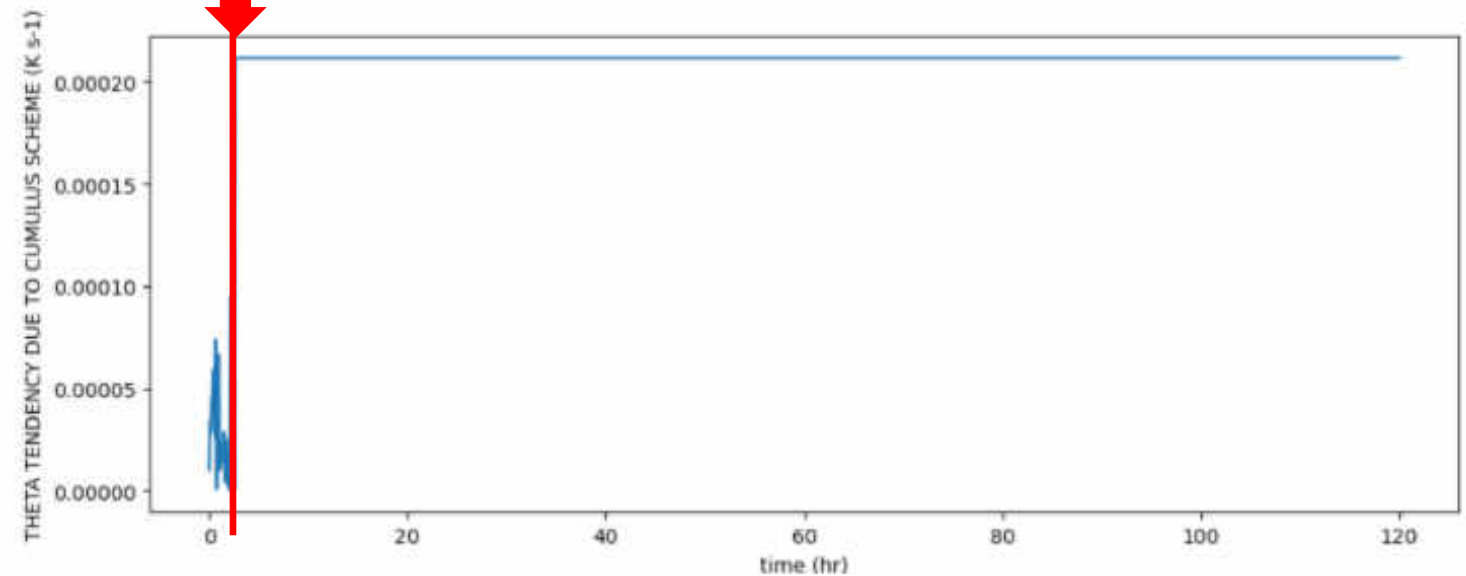
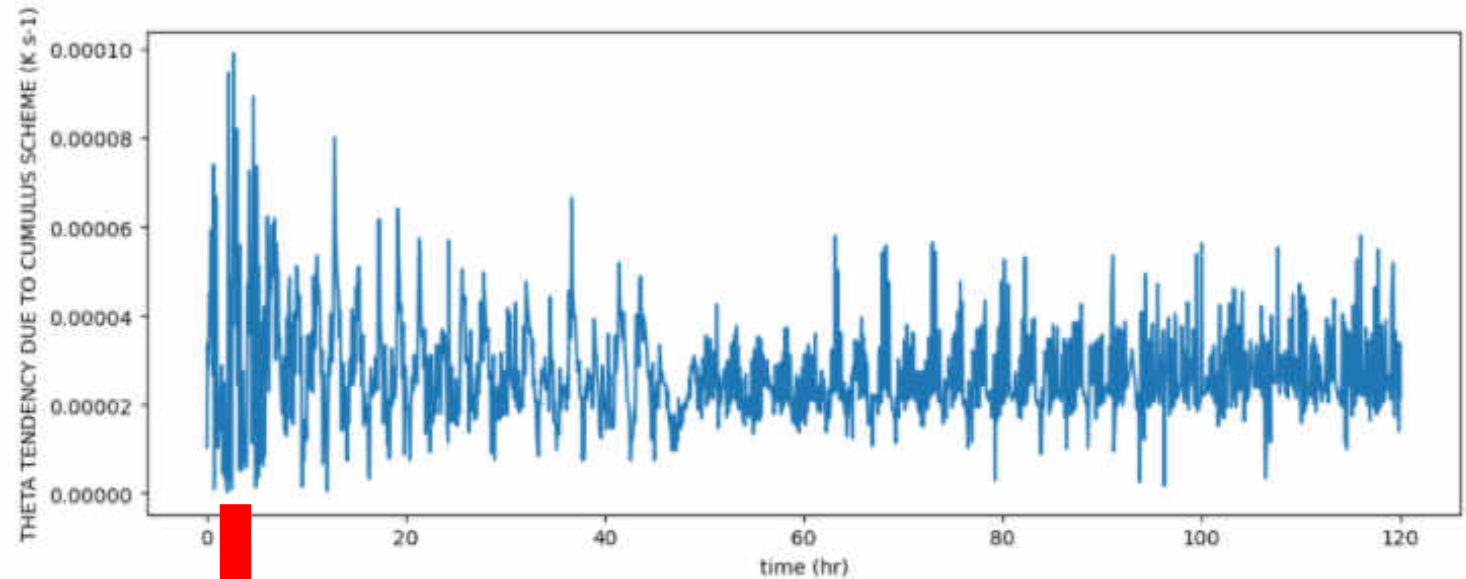
- NTIEDTKE: rthften, rqvften (total advective potential temperature and moisture tendencies)
- CAMZM: TKE_PBL, z, CLDFRA, MAVAIL (soil moisture availability), Psfc, TSK, U*

Simulations SCM idéalisées: 1ers résultats

Convective Theta tendencies

WRF - New Tiedtke (NTIEDTKE)

RCE (CTRL)

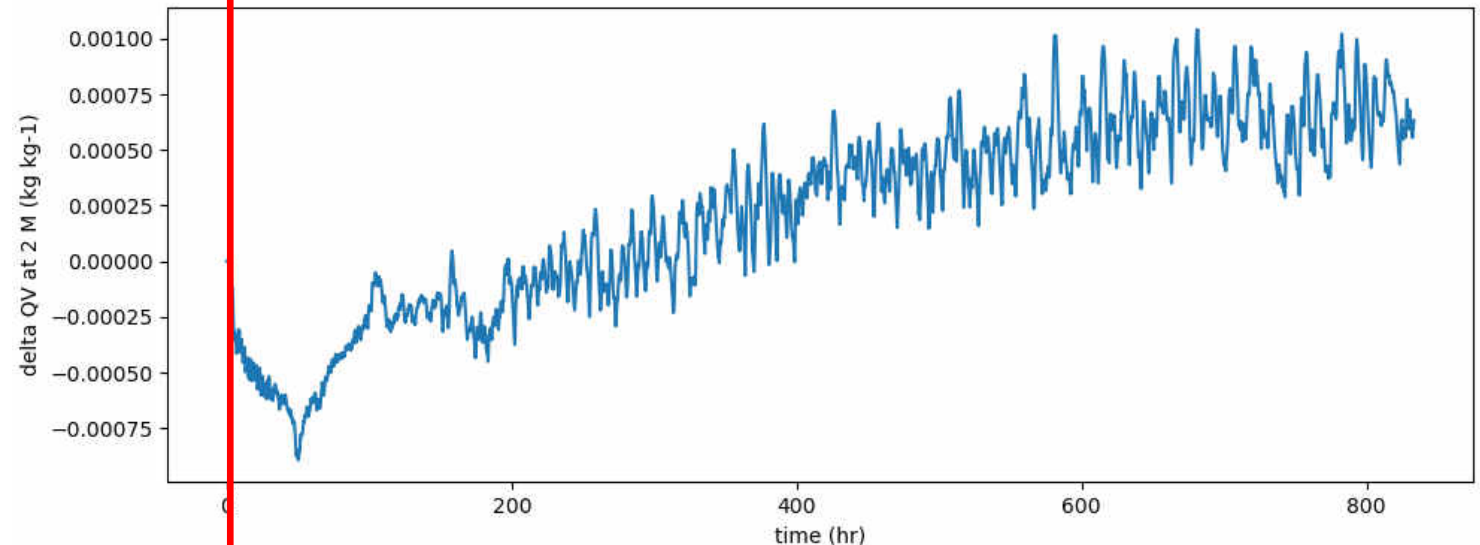
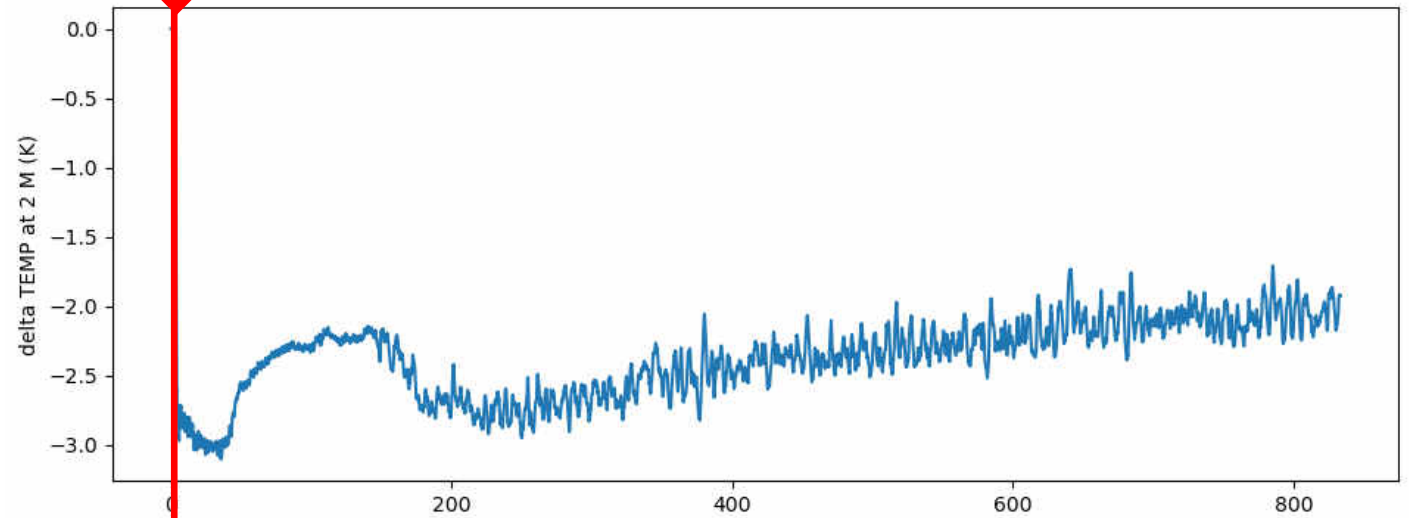
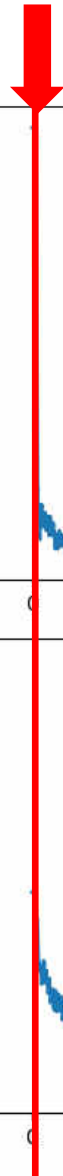


Macro-état fixé

Courtesy of Yi-Ling Hwong

Simulations SCM idéalisées: 1ers résultats

WRF - New Tiedtke (NTIEDTKE)



δT_2
(Macro-état fixé)

δQ_2
(Macro-état fixé)

Courtesy of Yi-Ling Hwong

Conclusion

1. Méthode de RCE avec état de grande échelle fixé (aux valeurs RCE).
2. CRM: croissance ou décroissance exponentielle de la convection. L'état RCE est donc instable ici, et ne suffit pas à prédire l'évolution de la convection (mémoire)
3. Modèle prédateur-proie: une rétroaction positive via les hétérogénéités de petite échelle, une rétroaction négative via l'état moyen de grande échelle
4. Ce petit modèle simpliste avec mémoire et effets sous-maille capture raisonnablement l'effet des ondes de grande échelle
5. Cette configuration pourrait être un test SCM supplémentaire pour les paramétrisations: sont-elles sensibles à autre chose qu'aux profils moyens₁₇ de grande échelle (notamment l'histoire de la convection)?

Just South of Darwin, Australia



Just South of Darwin, Australia

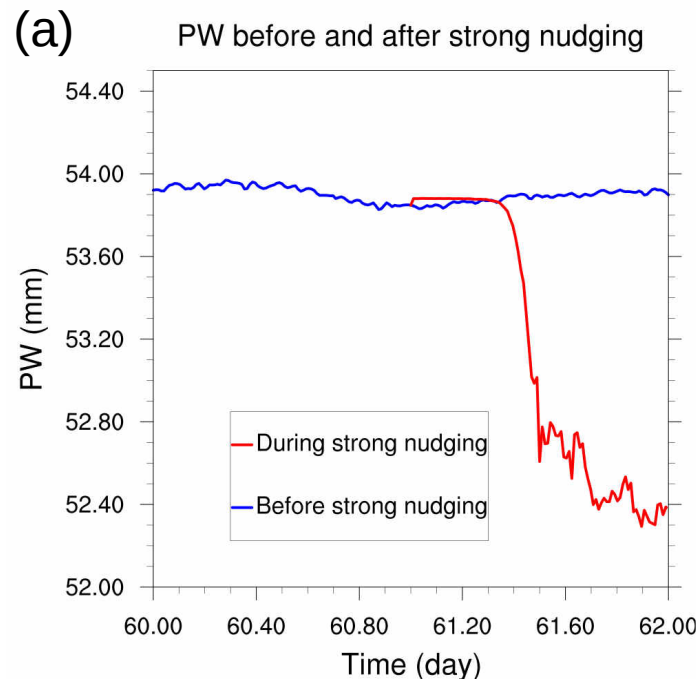


Just South of Darwin, Australia

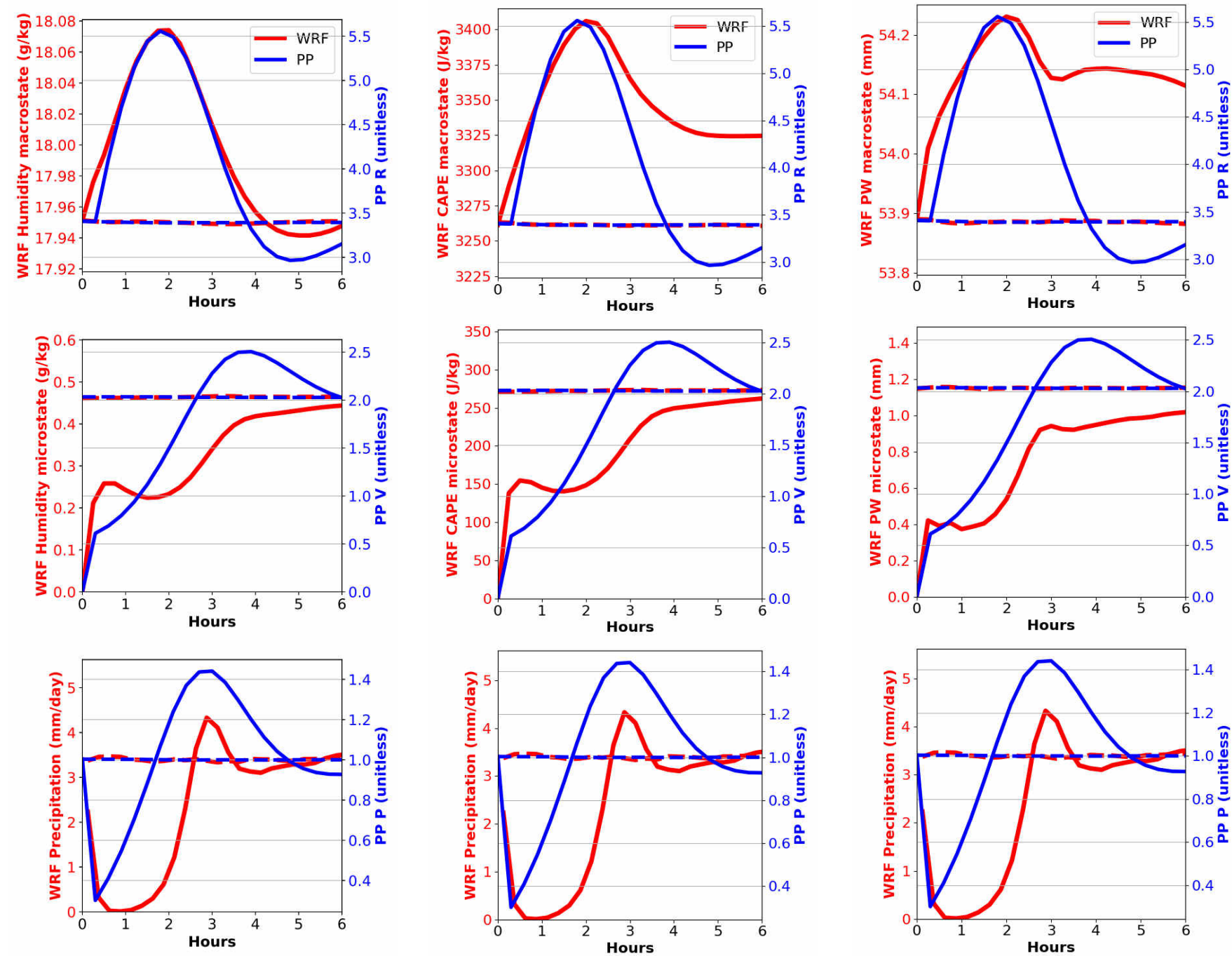


Simulations CRM idéalisées: résultats

- On observe que cette situation est instable
- 2 cas: croissance exponentielle, ou décroissance exponentielle
- La relaxation est très efficace pendant 6-8h, mais elle échoue au-delà
- Effet des termes de relaxation
- Instabilité qui croît à partir des variances thermodynamiques dans les basses couches



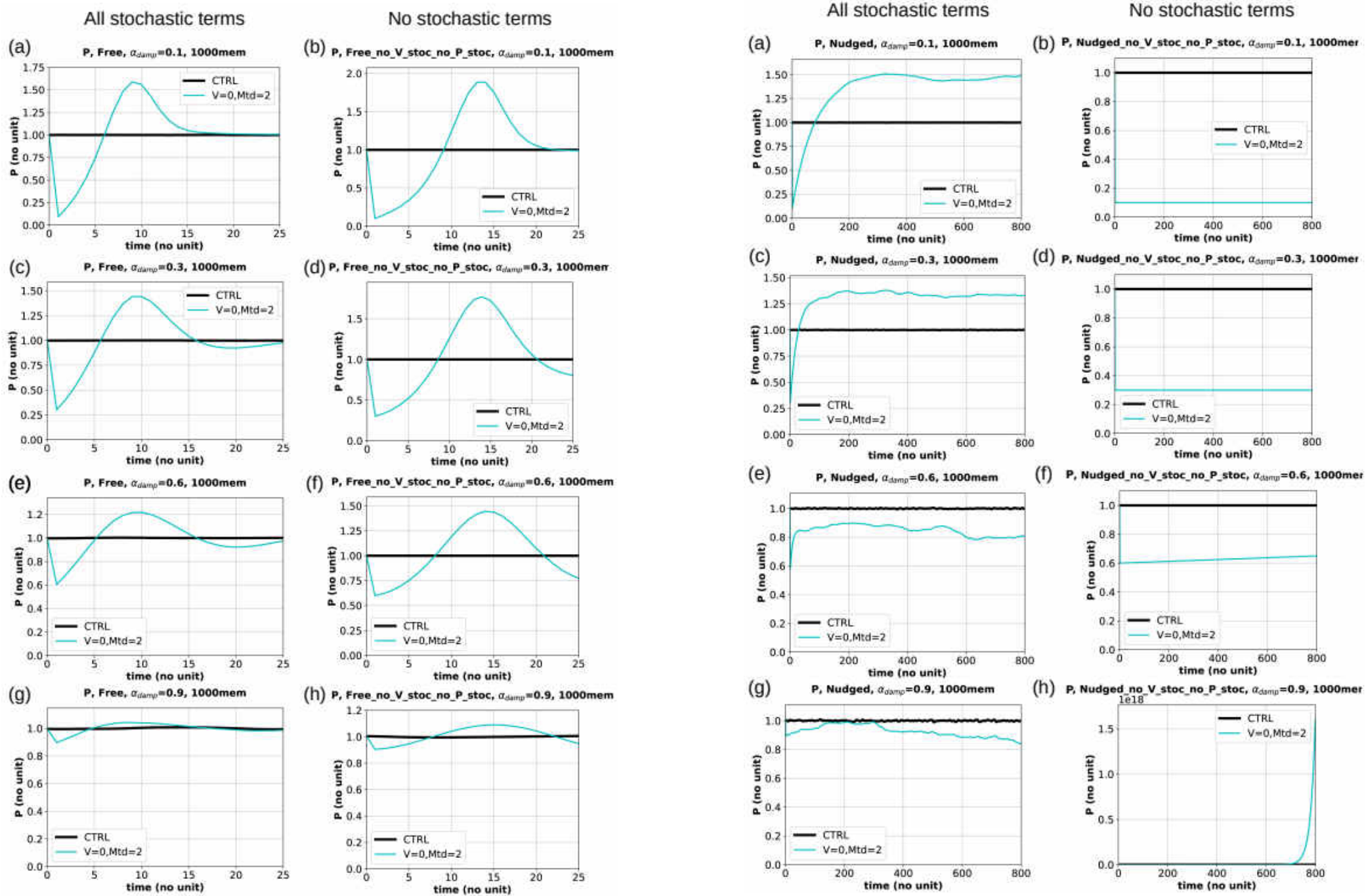
Predator-prey model of convection with memory



Colin and Sherwood 2021
(in revision)

Predator-prey model of convection with memory

Colin and Sherwood 2021 (in revision)

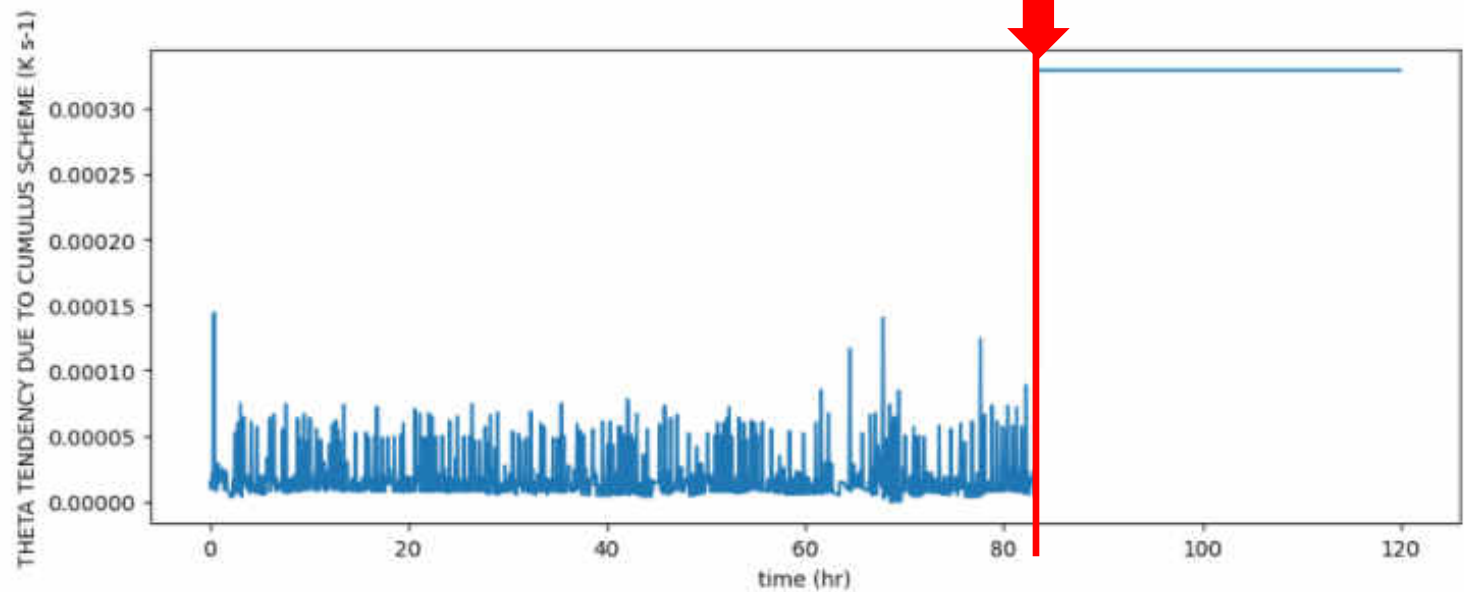
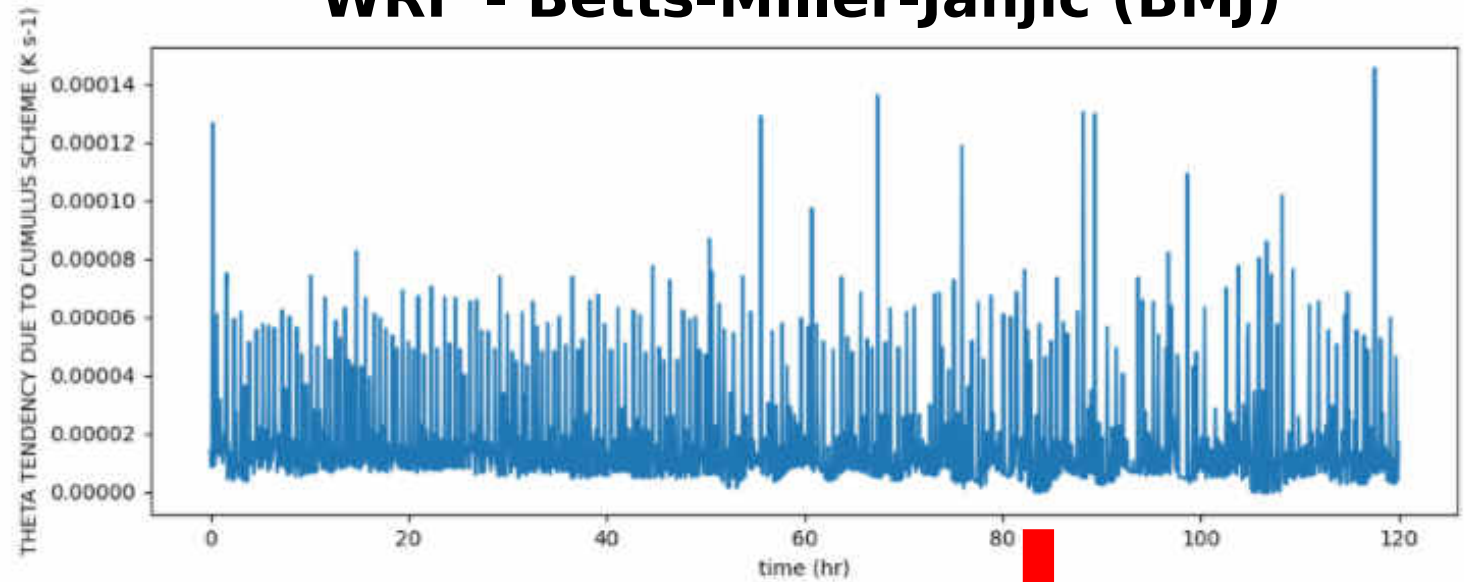


Simulations SCM idéalisées: 1ers résultats

Convective Theta tendencies

WRF - Betts-Miller-Janjic (BMJ)

RCE (CTRL)



Courtesy of Yi-Ling Hwong

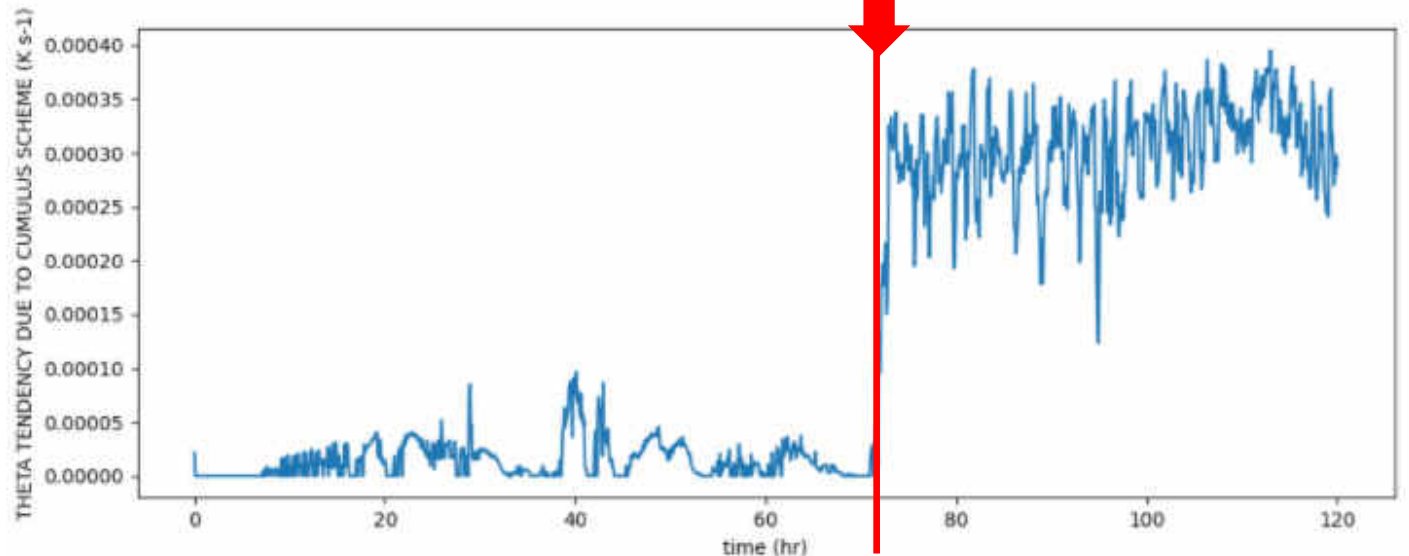
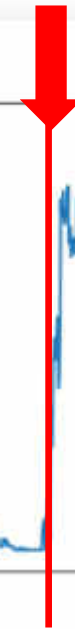
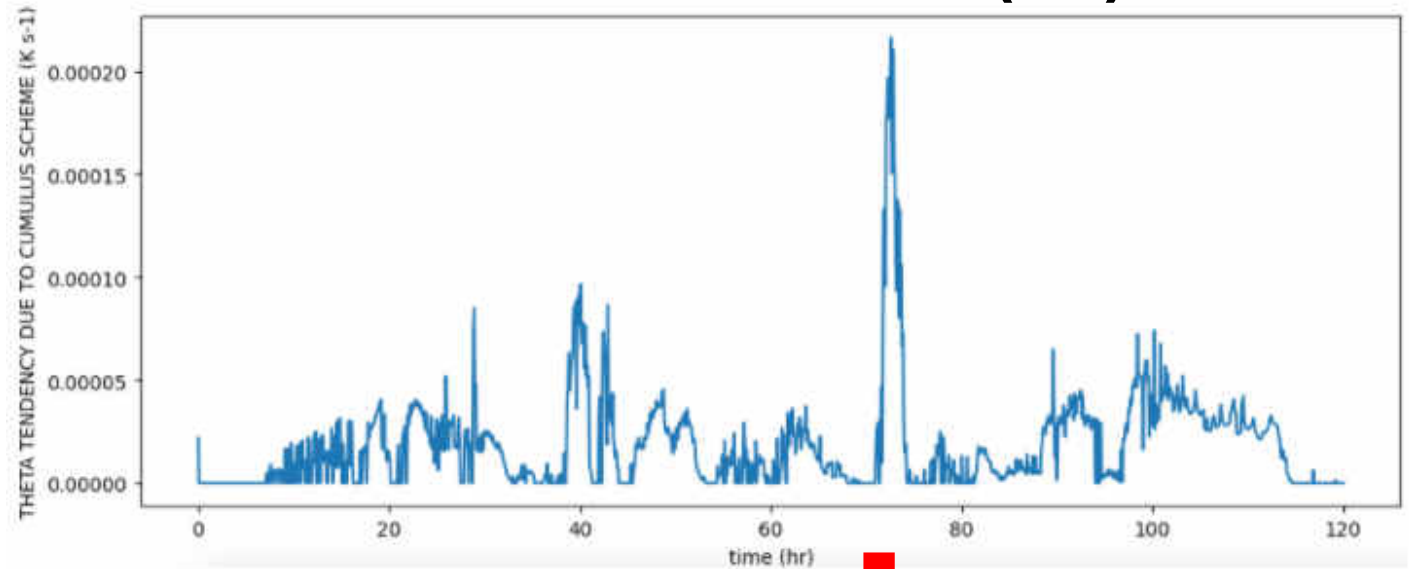
Macro-état fixé

Simulations SCM idéalisées: 1ers résultats

Convective Theta tendencies

WRF - Grell-Freitas (GF)

RCE (CTRL)



Macro-état fixé

Courtesy of Yi-Ling Hwong

References

- Bechtold, P., N. Semane, P. Lopez, J.-P. Chaboureau, A. Beljaars, and N. Bormann, 2014: Representing equilibrium and nonequilibrium convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71 (2), 734–753, doi:10.1175/JAS-D-13-0163.1.
- Colin, M., S. Sherwood, O. Geoffroy, S. Bony, and D. Fuchs, 2019: Identifying the sources of convective memory in cloud-resolving simulations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 76 (3), 947–962, doi:10.1175/JAS-D-18-0036.1.
- Colin, M. and S. Sherwood, 2021: Atmospheric convection as an unstable predator-prey process with memory. *Journal of the Atmospheric Sciences* (under revision)
- Daleu, C. L., R. S. Plant, S. J. Woolnough, A. J. Stirling, and N. J. Harvey, 2020: Memory properties in cloud-resolving simulations of the diurnal cycle of deep convection. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12 (8), doi:10.1029/2019MS001897
- Hourdin, F., Rio, C., Grandpeix, J.-Y., Madeleine, J.-B., Cheruy, F., Rochetin, N., et al. (2020). LMDZ6A: The atmospheric component of the IPSL climate model with improved and better tuned physics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12, e2019MS001892. <https://doi.org/10.1029/2019MS001892>
- Rio, C., F. Hourdin, J.-Y. Grandpeix, and J.-P. Lafore, 2009: Shifting the diurnal cycle of parameterized deep convection over land. *Geophysical Research Letters*, 36 (7), doi:10.1029/2008GL036779, l07809.
- Stephens, G. L., and Coauthors, 2010: Dreary state of precipitation in global models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115 (D24), doi:10.1029/2010JD014532, d24211.