

# Des détails qui comptent : vers une insensibilité de la simulation de la couche limite convective au pas de temps

3 octobre 2023

Frédéric Hourdin

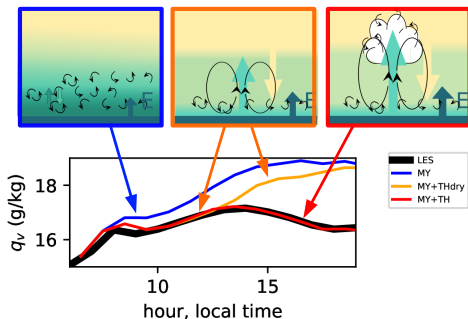
**I. Contexte**

**II. Identification d'un problème**

**III. Test de différentes solutions**

**IV. Conclusions et suite**

## I. Contexte



**Figure : Evolution de l'humidité à 10m**  
cas Arm cumulus,  
dans une LES et dans des simulations SCM  
(Single Column Model) LMDZ avec :  
(MY) diffusion turbulente seule  
(ED+THdry) diffusion turbulente + ther-  
miques "secs"  
(ED+MF) avec dégagement de chaleur  
latente dans le thermique (ED+MF).

- Reprise d'une figure de Rio et al. [1] démontrant l'importance du mélange vertical turbulent et convectif pour l'umidité de surface.
- Depuis, l'importance de l'assèchement de la couche de surface par les thermiques dans le contrôle de l'évaporation et des SST des simulations couplées a été démontré [2,3]

[1] C. Rio and F. Hourdin, 2008, A thermal plume model for the convective boundary layer : Representation of cumulus clouds, *J. Atmos. Sci.* 65 :407—425

[2] F. Hourdin, A. Gainusa-Bogdan, P. Braconnot, J.-L. Dufresne, A.-K. Traore and C. Rio, Air moisture control on ocean surface temperature, hidden key to the warm bias enigma, 2015, *GRL.*, doi : 10.1002/ 2015GL066764

[3] F. Hourdin, C. Rio, A. Jam, A.-K. Traore and I. Musata, Convective boundary layer control of the sea surfacetemperature in the tropics, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12, <https://doi.org/10.1029/2019MS001988>

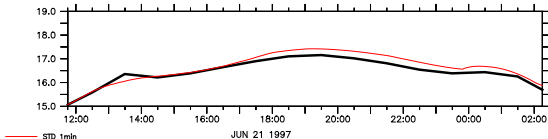
## II. Identification d'un problème

### Humidité spécifique à 10m (g/kg), LMDZ6A, $\delta t=1\text{min}$

X (km) : 0  
Y (km) : 0  
Z : 1

PyFerret (optimized) Ver:7.5  
NOAA/PUELL TMAP  
02-OCT-2023 18:53:19

DATA SET: LES

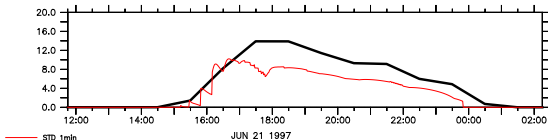


Qv (g/kg) 10m LES

X (km) : 0  
Y (km) : 0  
Z : 0.5 to 160.5

PyFerret (optimized) Ver:7.5  
NOAA/PUELL TMAP  
02-OCT-2023 18:53:19

DATA SET: LES



Couverture nuageuse (max sur z de la fraction), LES

Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utils/nebmaxQv.sh

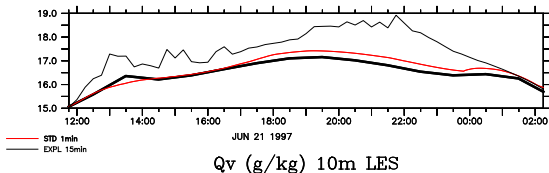
## II. Identification d'un problème

### Humidité spécifique à 10m (g/kg), schéma explicite en temps, $\delta t=15\text{min}$

X (km) : 0  
Y (km) : 0  
Z : 1

PyFerret (optimised) Ver:7.5  
NOAA/PUELL TMAP  
02-OCT-2023 18:03:28

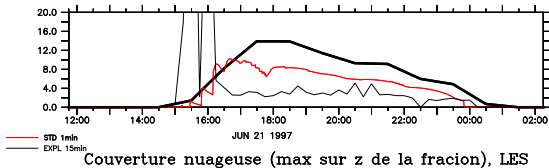
DATA SET: LES



X (km) : 0  
Y (km) : 0  
Z : 0.5 to 160.5

PyFerret (optimised) Ver:7.5  
NOAA/PUELL TMAP  
02-OCT-2023 18:03:28

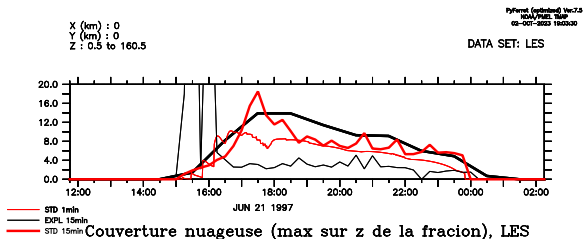
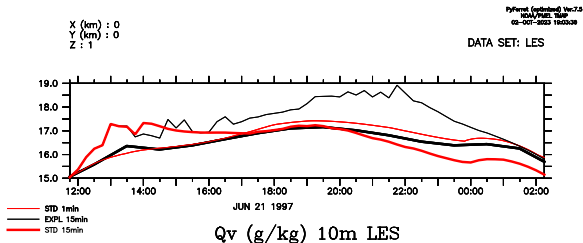
DATA SET: LES



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utils/nebmaxQv.sh

## II. Identification d'un problème

### Humidité spécifique à 10m (g/kg), schéma implicite en temps, $\delta t=15\text{min}$ (LMDZ6A)



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utils/nebmaxQv.sh

## II. Identification d'un problème

### On constate :

- Le schéma d'advection implicite en temps pour les descentes des thermiques réduit bien les oscillations
- Le schéma implicite avec  $\delta t = 15\text{min}$  assèche trop la surface et crée davantage de cumulus

### Remarques :

- Il faudrait  $\delta t \simeq 1\text{s}$  si la couche limite diffuse était traitée avec un schéma explicite en temps.
- Pour les thermiques, avec des vitesses ascendantes de 2 m/s sur 10% de la maille, la subsidence compensatoire s'effectue avec des vitesses de  $\simeq 0.2$  m/s. Il faudrait donc  $\delta t < 500$  s (8 min) pour respecter le CFL d'advection avec une couche de 100 m.
- Le modèle a été tuné avec un pas de temps long (10min en 1D et 15min en 3D) ce qui peut expliquer qu'on ait un meilleur accord avec les LES pour la couverture nuageuse à 15min.

### Première hypothèse :

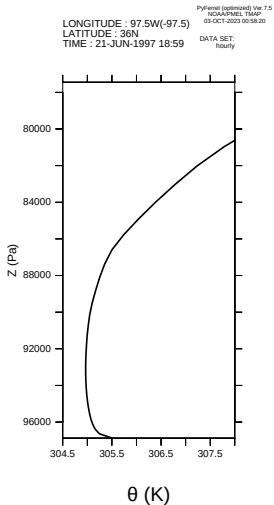
C'est le schéma implicite lui même qui est trop diffusif. Mais non.

### Finalement :

C'est les caractères séquentiel de l'appel aux paramétrisations physique qui pose problème. Les flux de masse sont surestimés → surestimation du transport d'air sec vers le bas.

## II. Identification d'un problème

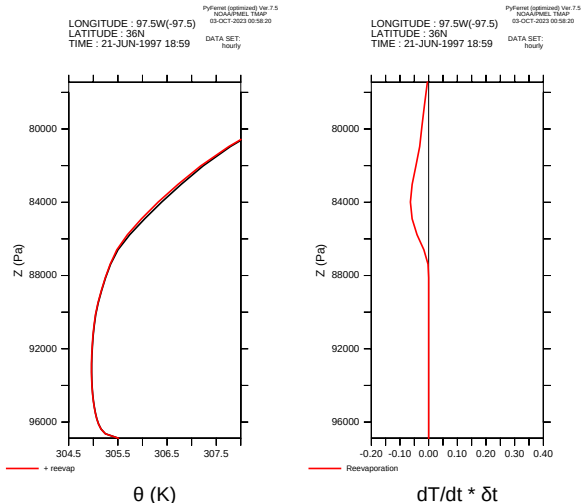
### Température potentielle $\theta$ au démarrage d'un pas de temps de 15min



Images créées avec `/LMDZ/PHYNEW1/src/utils/profs.sh`

## II. Identification d'un problème

### Température potentielle $\theta$ après ajout de la réévaporation

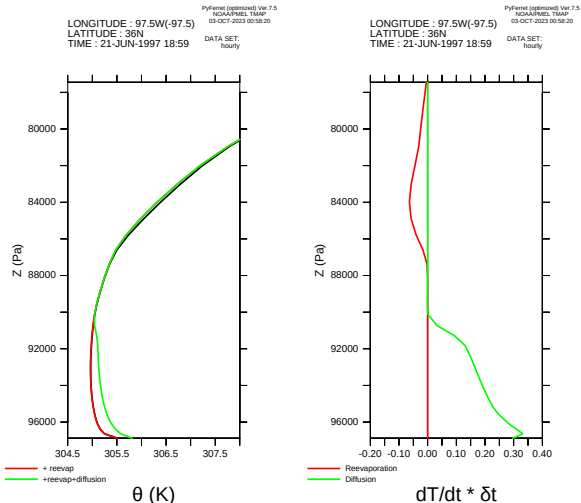


Après réévaporation, on se retrouve avec les variables dites "de Betts", conservées dans le transport de couche limite : température potentielle liquide  $\theta_l$  et au totale  $Q_t$ .

La couche nuageuse est légèrement plus froide (légère déstabilisation)



### Température potentielle $\theta$ après ajout de la diffusion turbulente

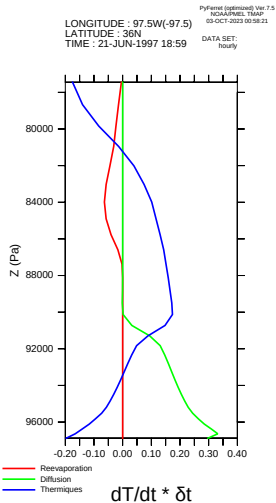
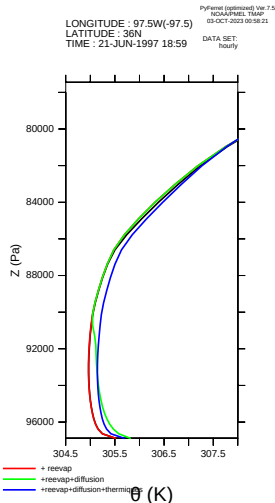


En chauffant la "couche limite de surface" (CLS), on déstabilise bien encore davantage la couche limite induisant une surestimation des flux de masse (non montré) ;

Images créées avec `/LMDZ/PHYNEW1/src/utils/profs.sh`

## II. Identification d'un problème

### Après ajout de la diffusion turbulente



Les thermiques viennent prendre le relais de (et compenser) la diffusion turbulente en transportant la chaleur depuis la couche de surface vers la couche limite mélangée et le bas de la troposphère libre (entraînement sommitale).

#### La solution proposée

- 1) conserver le caractère séquentiel et les variables de Betts pour le transport
- 2) utiliser, pour le calcul des propriétés des thermiques, les température et humidité :
  - **NEW1** avant réévaporation (i.e. au début du pas de temps)
  - **NEW2** entre la réévaporation et la diffusion

Si on appelle

- $\theta_{env}$  et  $Q_{env}$  la température potentielle et l'humidité intermédiaires ainsi définie et utilisée dans l'environnement de la convection
- $\theta_{seri}$  et  $Q_{seri}$  la température potentielle et l'humidité après réévaporation et diffusion  
on peut écrire de façon formelle :

$$(e, d, f) = F(\theta_{env}, Q_{env}) \quad F : \text{routine thermcell\_plume*} \quad (1)$$

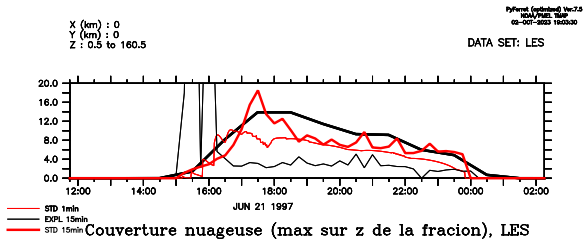
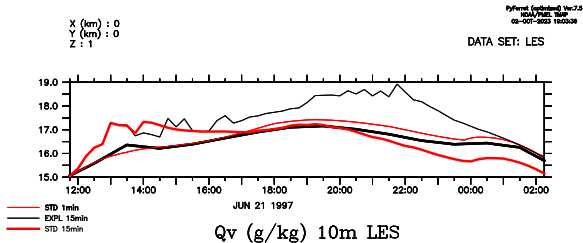
$$\frac{\partial(\theta_{seri}, Q_{seri})}{\partial t} = G(e, d, f, \theta_{seri}, Q_{seri}) \quad G : \text{routine thermcell\_dq} \quad (2)$$

où  $e$ ,  $d$  et  $f$  sont l'entraînement, le déentraînement et le flux de masse des thermiques.

La configuration standard LMDZ6A (**STD**) correspond au cas  $(\theta_{env}, Q_{env}) = (\theta_{seri}, Q_{seri})$ .

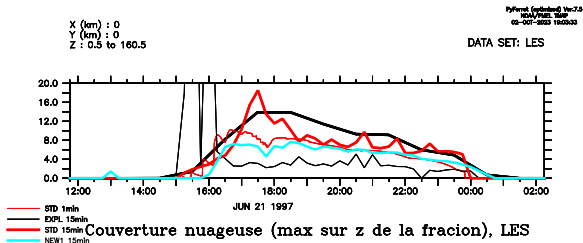
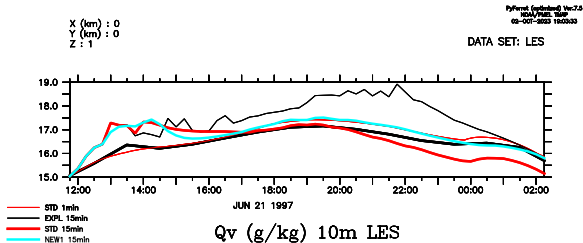
### III. Test de différentes solutions

## Humidité spécifique à 10m, $\delta t=15\text{min}$ , avec le schéma STD



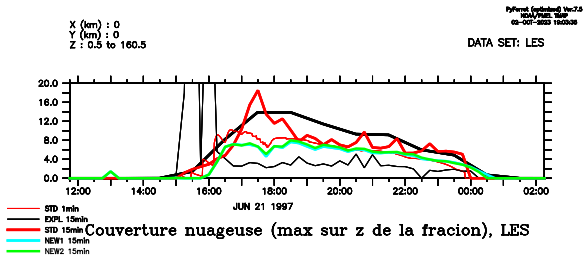
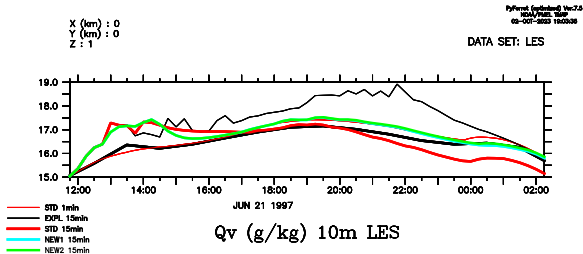
Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utills/nebmaxQv.sh

## Humidité spécifique à 10m, $\delta t=15\text{min}$ , avec le schéma NEW1



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utills/nebmaxQv.sh

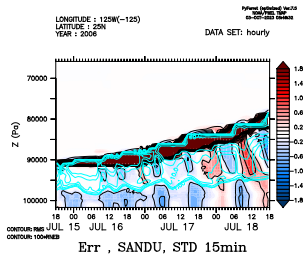
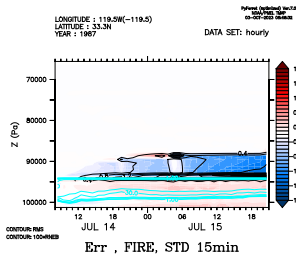
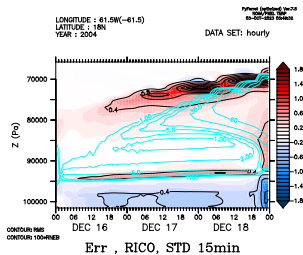
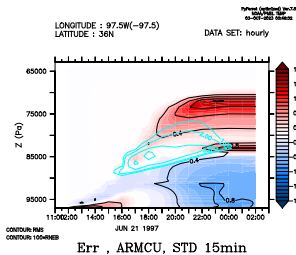
## Humidité spécifique à 10m, $\delta t=15\text{min}$ , avec le schéma NEW2



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utills/nebmaxQv.sh

### III. Test de différentes solutions

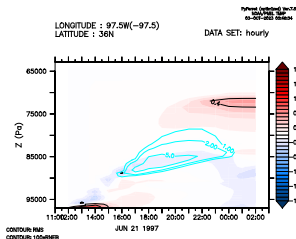
## Erreur sur l'humidité spécifique $Q_v$ (g/kg), $\delta t=15\text{min}$ vs $\delta t=1\text{min}$ , schéma STD



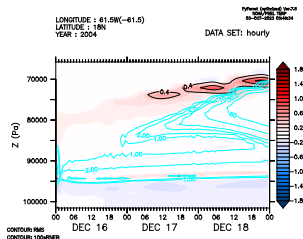
Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utls/TQv.sh

### III. Test de différentes solutions

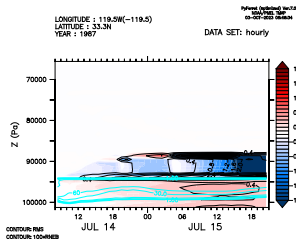
## Erreur sur l'humidité spécifique $Q_v$ (g/kg), $\delta t=15\text{min}$ vs $\delta t=1\text{min}$ , schéma NEW1



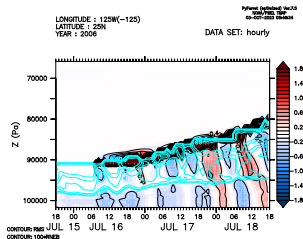
Err , ARMCU, NEW1 15min



Err , RICO, NEW1 15min



Err , FIRE, NEW1 15min



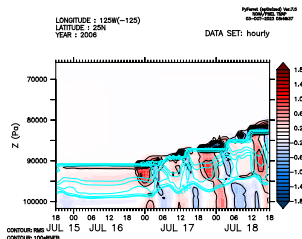
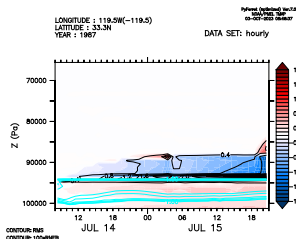
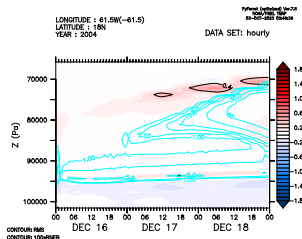
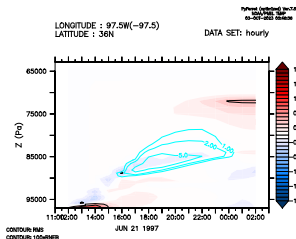
Err , SANDU, NEW1 15min

Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utils/TQv.sh



### III. Test de différentes solutions

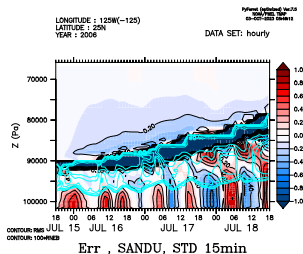
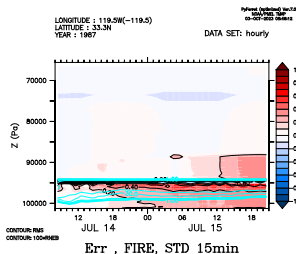
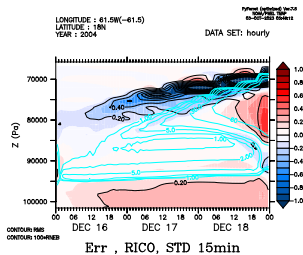
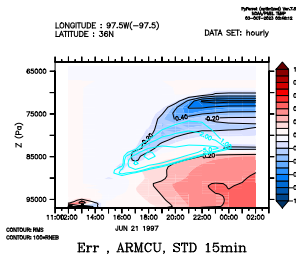
## Erreur sur l'humidité spécifique $Q_v$ (g/kg), $\delta t=15\text{min}$ vs $\delta t=1\text{min}$ , schéma NEW2



Images créées avec `/LMDZ/PHYNEW1/src/utils/TQv.sh`

### III. Test de différentes solutions

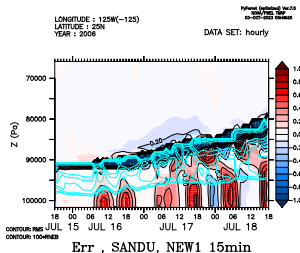
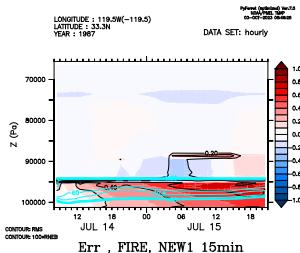
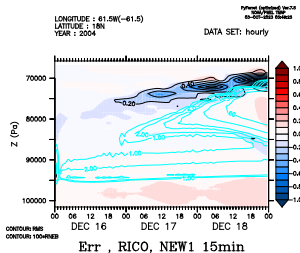
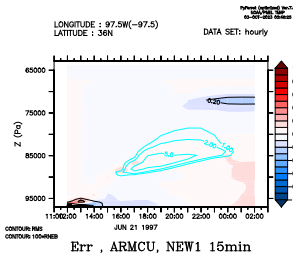
## Erreur sur la température T (K), $\delta t=15\text{min}$ vs $\delta t=1\text{min}$ , schéma STD



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utils/TQv.sh

### III. Test de différentes solutions

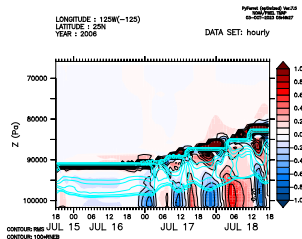
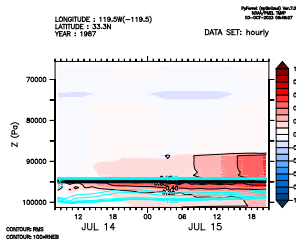
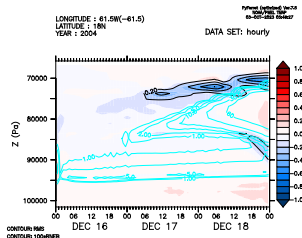
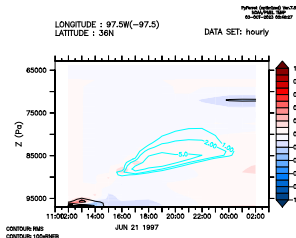
## Erreur sur la température $T$ (K), $\delta t=15\text{min}$ vs $\delta t=1\text{min}$ , schéma NEW1



Images créées avec `/LMDZ/PHYNEW1/src/utils/TQv.sh`

### III. Test de différentes solutions

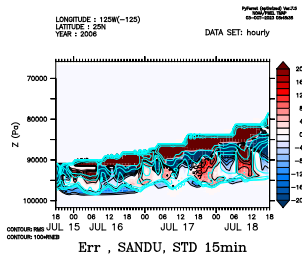
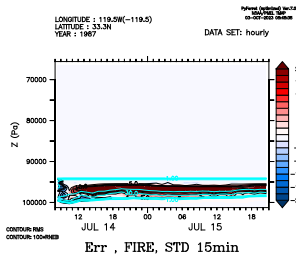
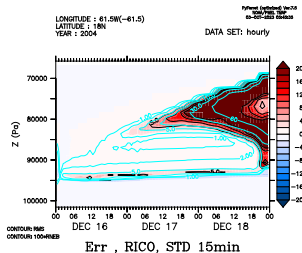
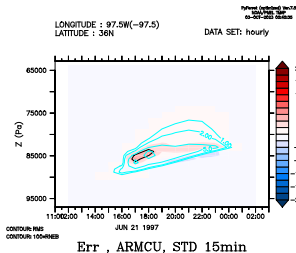
## Erreur sur la température T (K), $\delta t=15\text{min}$ vs $\delta t=1\text{min}$ , schéma NEW2



Images créées avec `/LMDZ/PHYNEW1/src/utils/TQv.sh`

### III. Test de différentes solutions

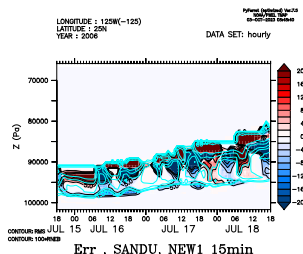
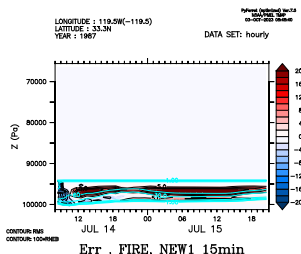
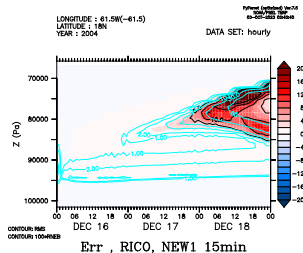
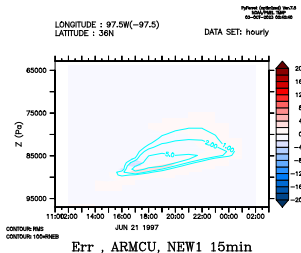
## Erreur sur la fraction nuageuse $f_{\text{cloud}}$ (%), schéma STD



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utils/TQv.sh

### III. Test de différentes solutions

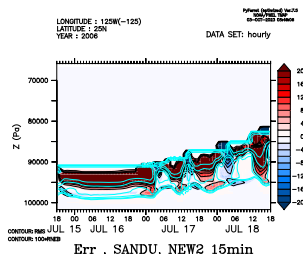
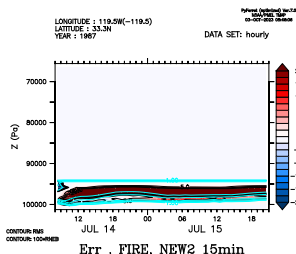
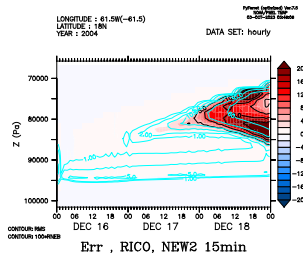
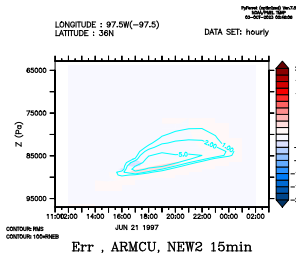
## Erreur sur la fraction nuageuse $f_{\text{cld}}$ (%), schéma NEW1



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utlis/TQv.sh

### III. Test de différentes solutions

## Erreur sur la fraction nuageuse $f_{\text{cld}}$ (%), schéma NEW2



Images créées avec /LMDZ/PHYNEW1/src/utills/TQv.sh

### Principaux résultat :

- Erreurs aux pas de temps longs d'un ordre de grandeur significatif pour le climat.
- Le schéma implicite en temps sur l'advection dans les subsidences compensatoires des thermiques stabilise en le modèle ET n'est pas en cause dans les erreurs.
- **Le caractère séquentiel de la physique fait qu'on passe des profils de  $\theta$  plus instables au "modèle du thermique" si les pas de temps sont grands, conduisant à une surestimation des flux de masse et un assèchement et un chauffage excessif de la surface.**
- **En utilisant, pour calculer les caractéristiques des panaches thermiques, des températures et humidités qui n'ont pas encore vu la diffusion turbulente et/ou la réévaporation, on réduit considérablement la sensibilité au pas de temps en dehors de la couche nuageuse, tant pour la température que pour l'humidité.**
- Même dans la couche nuageuse, le schéma NEW2 améliore plutôt température et humidité. Plus ambigu pour les nuages : NEW1 mieux que NEW2 sur les stratocumulus.

### Remarques :

- Il est possible qu'on voit une compensation d'erreur sur les couvertures nuageuses consécutive au processus de tuning (réalisé avec des pas de temps longs).
- Si on peut accepter dans l'absolu des compensations d'erreur lors du tuning, on fait le maximum s'en défaire (réflexion au cœur de la thèse de Maelle).
- Réécriture d'un `physiqex_mod.F90` de  $\simeq 700$  lignes inspiré du portage de la physique de mesoNH. Convergence `physiqex_mod.F90`  $\rightarrow$  `physiqex_mod.F90` facilitée par `replay equip.sh`.



### Suite :

- Instruire la question de la sensibilité au pas de temps de la partie diffuse qui domine probablement au tout début de la simulation (travaillé dans l'atelier TKE).
- Instruire la question de la sensibilité au pas de temps de la partie nuageuse (incluant lscp.F90).
- Le réchauffement et l'assèchement de la couche de surface rendaient sans doute plus difficile le tuning (on avait besoin de tolérances plus lâches). Expériences 1D de tuning en cours.
- Regarder l'effet d'une simulation modifiée et retunée sur les flux en surface sur océan "en forcé" et les températures de surface de l'océan "en couplé".
- Reprendre l'atelier sur la paramétrisation de panaches descendants (downdrafts) autour des ascendances thermiques. Le fait que le modèle soit déjà trop sec à cause de flux de masse surestimés rendaient impossible d'identifier une amélioration du modèles après introduction des downdrafts.