

Equilibre radiatif-convectif sur une surface continentale

Nicolas Rochetin

*Postdoc GMME/MOANA jusqu'à Juin 2015
sous la direction de*

*Fleur Couvreur
&
Françoise Guichard*

*Le travail présenté ici a été réalisé lors du dernier postdoc à l'Université de Columbia (USA)
sous la direction de Pierre Gentine*

*Radiative-Convective Equilibrium over a Land Surface:
Rochetin N., Lintner B., Findell K., Sobel A. and Gentine, J. Clim, Décembre 2014*

L'équilibre radiatif-convectif

L'ERC global

- La convection agit en complément du rayonnement pour assurer l'équilibre énergétique au sommet de l'atmosphère:

$$\overline{\Phi}_{\text{NET,RAD}}^{\text{TOA}} = \overline{\Phi}_{\text{NET}}^{\text{SFC}} \Leftrightarrow \overline{\Phi}_{\text{LAT}} + \overline{\Phi}_{\text{SENS}} = - \overline{\Phi}_{\text{RAD}}$$

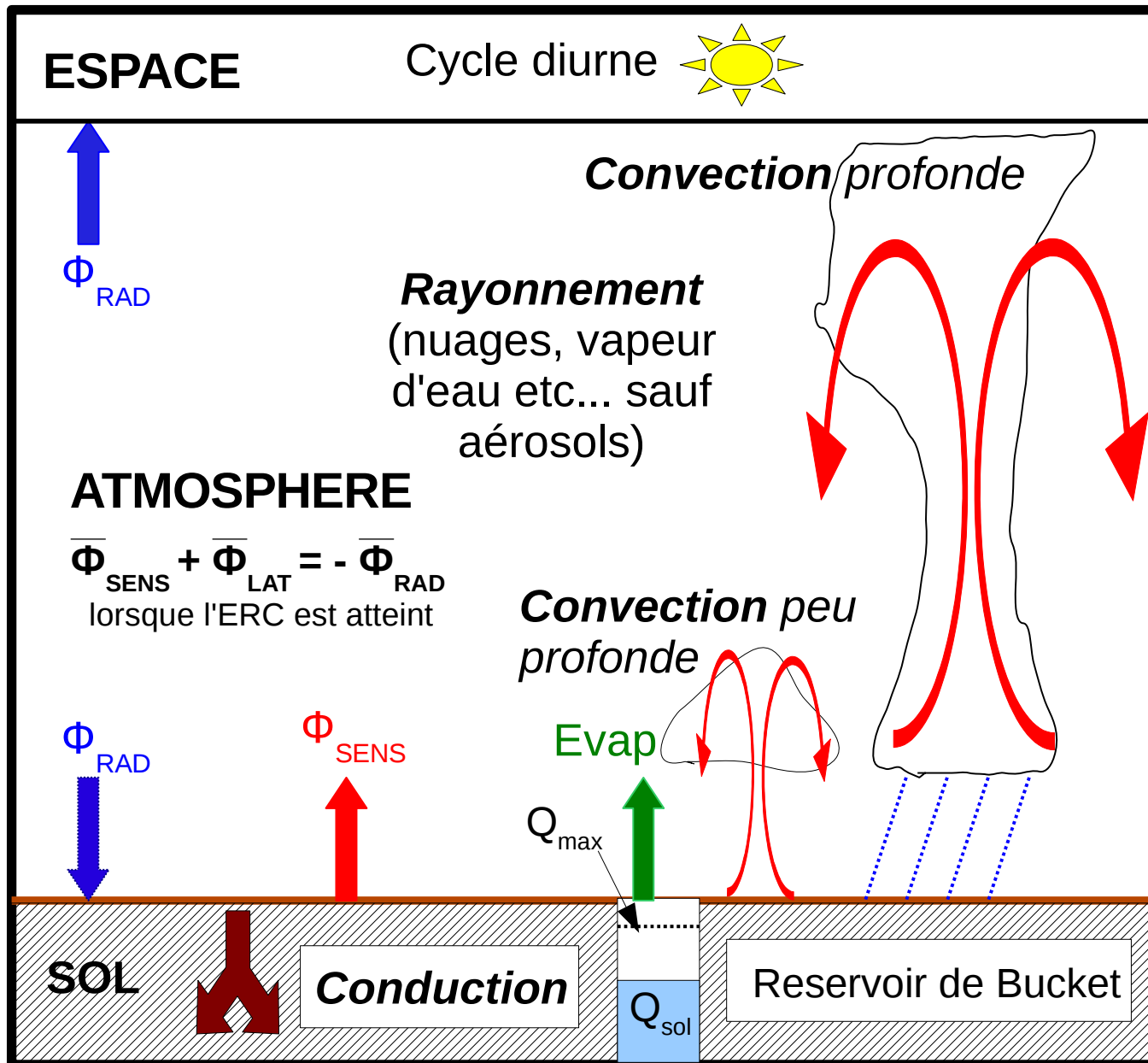
- **Approche idéalisée** du climat tropical --> Expériences de sensibilité de la convection tropicale
 - À la SST
 - Au rayonnement
 - Au cisaillement de vent
- **Pas de couplage avec la surface** dans la plupart des cas (surface océanique avec SST prescrite)
 - Exceptions avec couplage en T_s uniquement (pas d'hydrologie):
 1. Renno et Emanuel, 1997 -> Swamp model à la surface ($C_{p,\text{sol}} = 0$ et nappe d'eau à la surface)
 2. Prigent et al., 2011 -> LMDZ en mode unicolonne avec évap prescrite et guidage de T_{ground}
 3. Schlemmer et Hohenegger 2012 -> Guidage de T_{ground} et T_{TOA}

On se propose de l'utiliser en mode “continental” avec le GCM LMDZ en mode 1D:

- **Diffusion thermique dans le sol**
- **Hydrologie simplifiée avec quantité d'eau totale finie $Q_{\text{TOT}} = \text{cte}$**

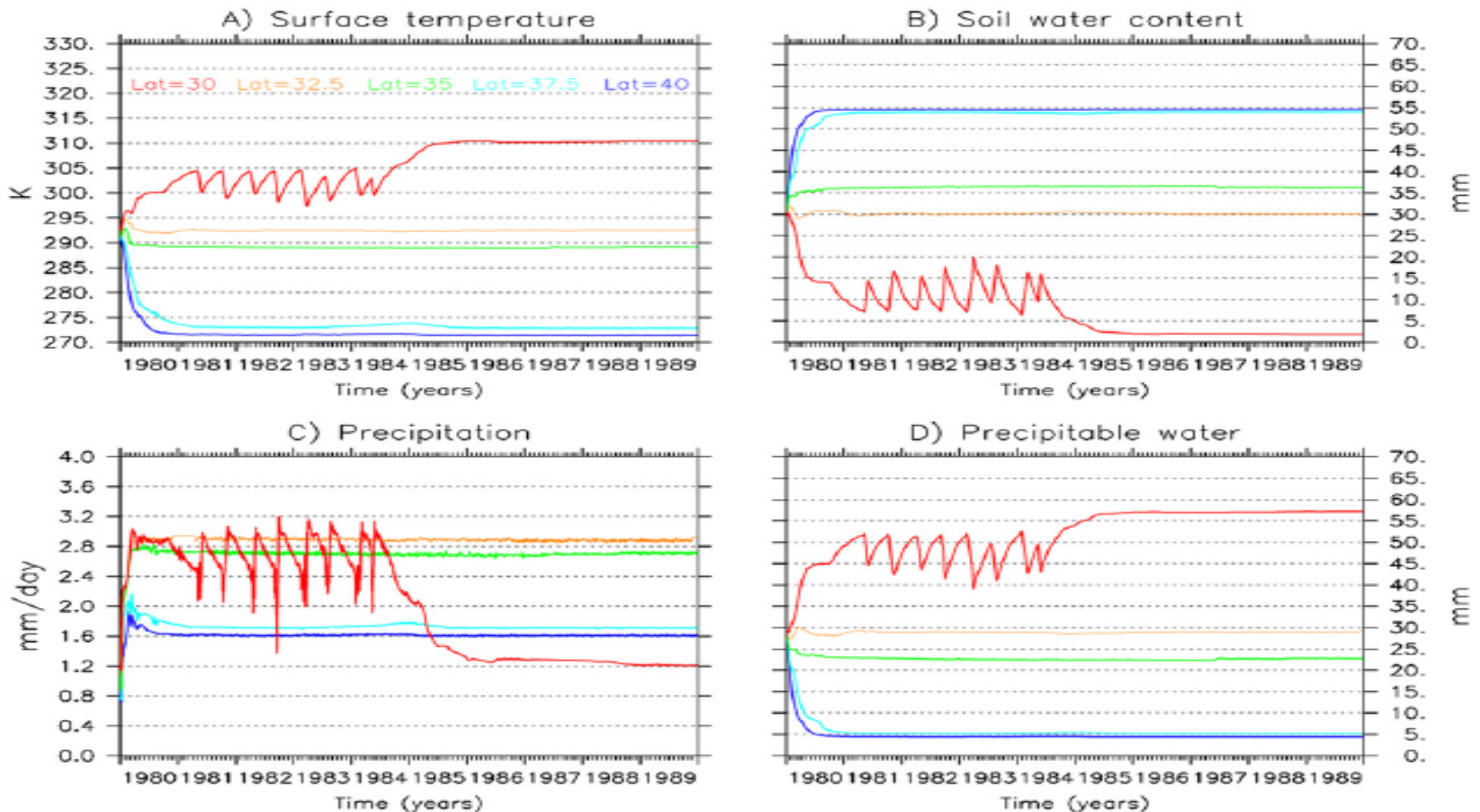
L'Equilibre radiatif-convectif continental

LMDZ 1D en ERC continental



- **Plan infini : pas d'échange avec l'extérieur**
- **Sol:**
 - Evapotranspiration $\beta = 2Q_{\text{SOL}}/Q_{\text{MAX}}$ où $Q_{\text{MAX}} = 150 \text{ mm}$
 - Effusivité $\epsilon_{\text{SOL}} = 2000 \text{ J.K}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-0.5}$
 - Albedo $\alpha_{\text{SFC}} = 0.19$
 - $\Phi_{\text{COND}} \rightarrow 0$ en profondeur
- **Paramètres de forçage:**
 - Latitude λ
 - Eau totale Q_{TOT} **conservée** (pas de ruissellement)
- **Conditions initiales:**
 - Température initiale dans le sol $280 < T_0 < 320 \text{ K}$ avec $\Delta T_0 = 10$
 - Quantité d'eau initiale dans le sol $5 < Q_0 < 45 \text{ mm}$ avec $\Delta Q_0 = 10$
 - Profil tropical avec $W = 25 \text{ kg.m}^{-2}$

Expérience de sensibilité à la latitude avec $\{Q_0=35\text{mm} - T_0=280\text{K}\}$: séries temporelles des moyennes journalières

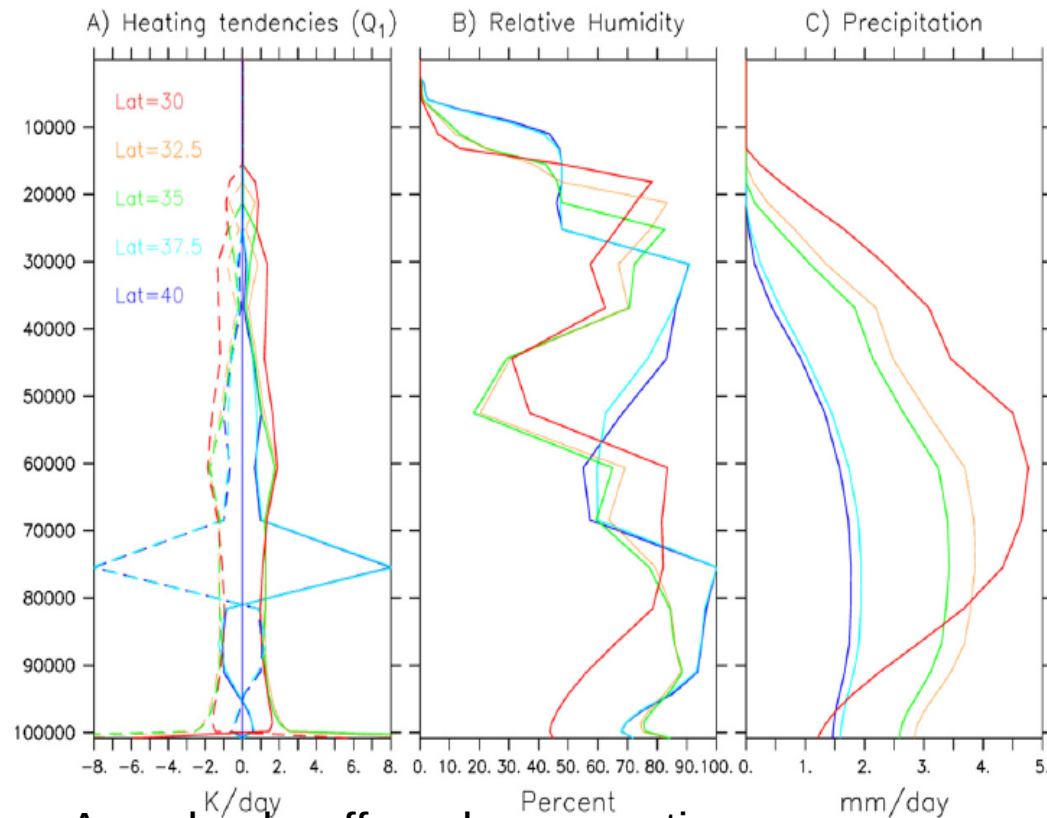


Comportement **non linéaire** du système couplé sol-atmosphère

- Regroupement autour de **3 groupes d'ERC distincts** pour 5 latitudes, chacun défini par une solution $\{T_s, Q_{sol}\}$

Expérience de sensibilité à la latitude avec $\{Q_0=35\text{mm} - T_0=280\text{K}\}$: profils verticaux moyens à l'équilibre

Profils moyens à l'ERC



• Avec le chauffage la convection

- Monte plus
- plus intense --> Max {Prec(z)} plus élevé
- Rôle important de la réévaporation des pluies dans l'ERC

Cycle diurne moyen de la fraction nuageuse

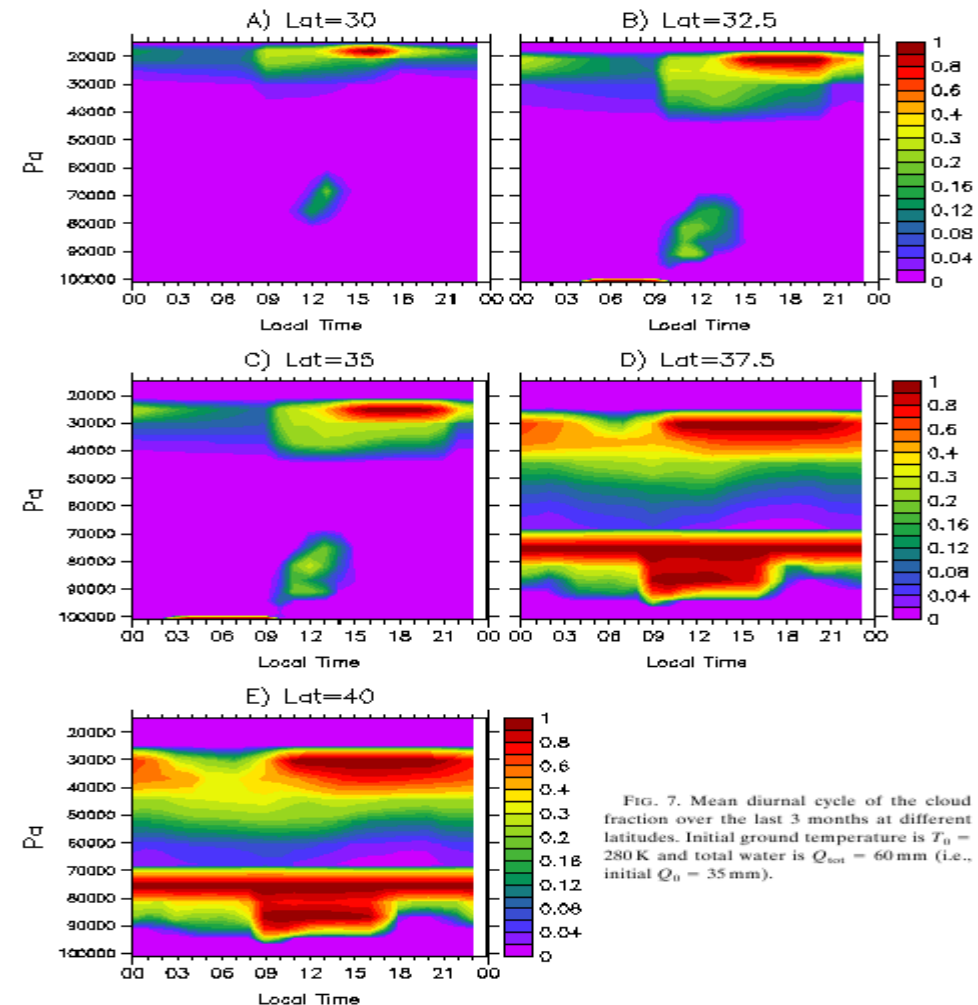


FIG. 7. Mean diurnal cycle of the cloud fraction over the last 3 months at different latitudes. Initial ground temperature is $T_0 = 280\text{K}$ and total water is $Q_{\text{tot}} = 60\text{mm}$ (i.e., initial $Q_0 = 35\text{mm}$).

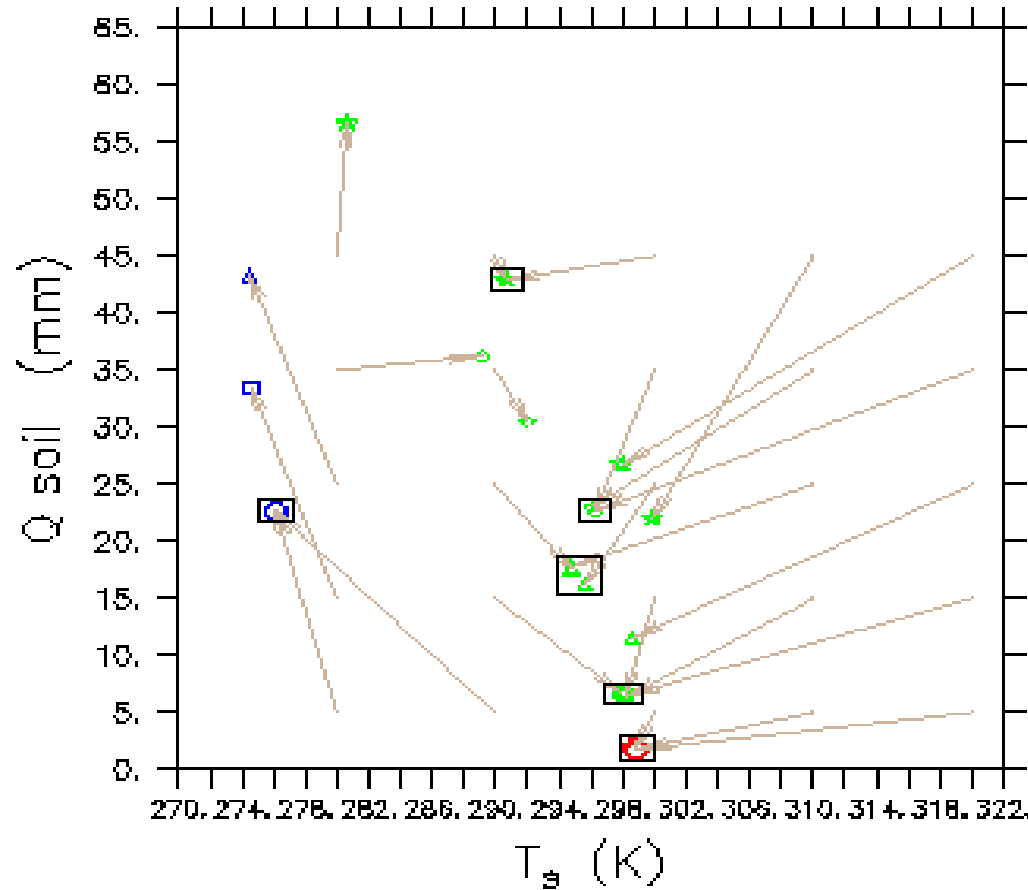
Chacun des 3 groupes d'équilibres peut être défini par un profil

- Thermodynamique
- Nuageux

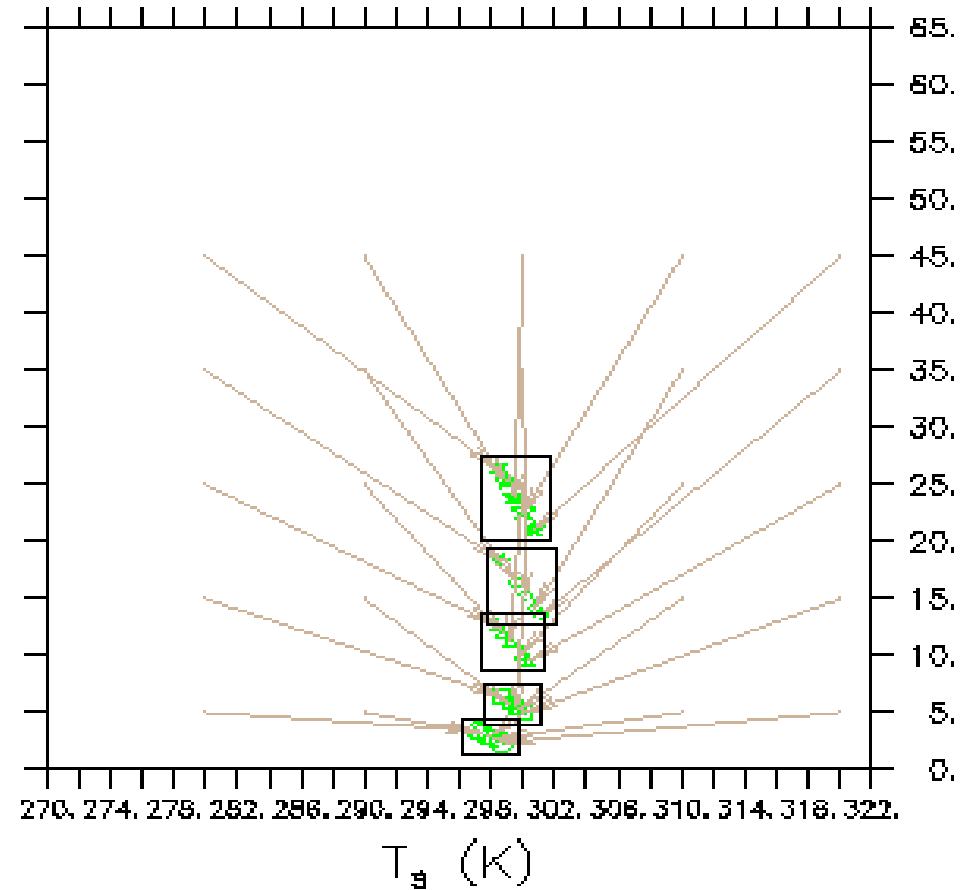
Equilibres multiples et rôle des nuages ($\lambda = 35^\circ$)

Vecteurs Etat initial -> Etat final pour 25 états initiaux {To,Qo}

A) Clouds



B) No clouds



Le couplage nuage/rayonnement est l'élément clé de la non-linéarité du système couplé sol-atmosphère (dans le cadre de cette expérience avec LMDZ1D)

➤ **Sans l'effet radiatif des nuages on n'a pas d'équilibres multiples**

➔ Plus précisément les **nuages bas** ($P_{\text{TOP}} < 600$ hPa)

Bilan et discussion

Résultats

- Outil idéalisé qu'on peut complexifier à gré pour l'étude de la **convection continentale incluant un couplage avec la surface (thermique, hydrologique et dynamique de végétation)**.
- L'ERC continental est atteint à l'échelle du mois mais l'équilibre sol-atmosphère nécessite plusieurs mois ou années (état stationnaire).
- L'ERC continental vérifié à l'**échelle diurne**
- Présence d'une **variabilité interne** pour le système couplé sol-atmosphère et associée à des **équilibres multiples**
 - Le **couplage nuage bas / rayonnement** semble en être la condition nécessaire (càd en gros la présence des 2 phases de l'eau dans l'atmosphère)

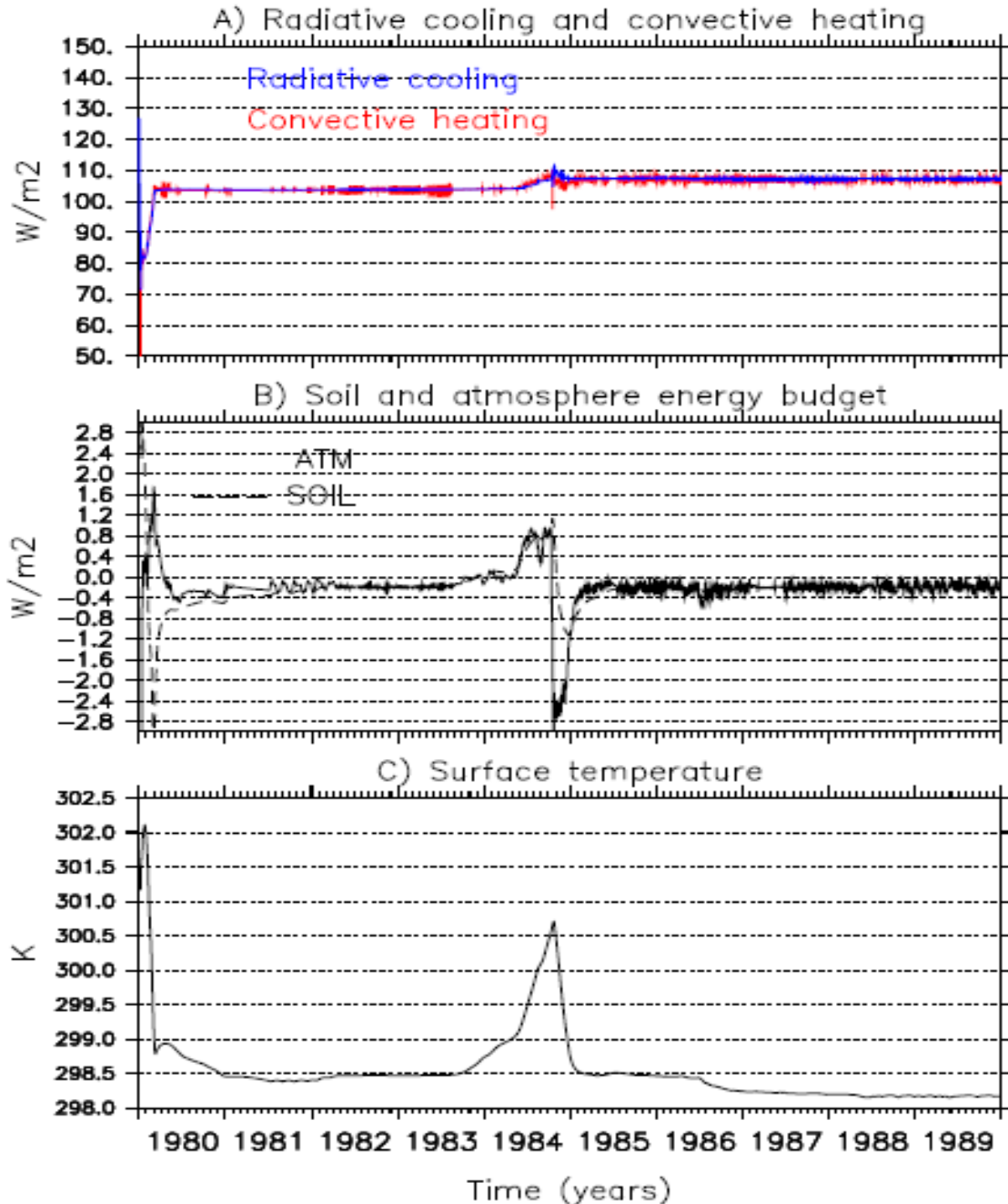
Perspectives:

- Le rôle exact des nuages dans cette expérience doit être précisé. Est-ce leur influence sur le rayonnement shortwave ou longwave qui est critique ?
- L'ERC continental est-il représentatif du comportement du GCM 3D ? (Voir exposé Catherine Rio)
- Peut-il nous éclairer sur le rôle joué par les plateaux continentaux dans les tropiques ?
- La convection continentale “oscille” a des fréquences plus rapides sur continents que sur océans ? Comment cela peut influencer les modes de variabilité du climat tropical ?



Merci !

Run CTL $\{\lambda = 35^\circ - Q_0 = 15 \text{ mm} - T_0 = 300 \text{ K}\}$: série longue



• Equilibre Radiatif-Convectif:

$\tau_{ATM,ESP} \sim \text{mois}$ pour que
 $dE_{ATM}/dt \sim 0$

➤ $\overline{\Phi}_{SENS} + \overline{\Phi}_{LAT} \sim -\overline{\Phi}_{RAD}$

• Equilibre thermodynamique: régime permanent

$\tau_{SOL,ATM,ESP} \sim \text{année}$ pour que
 $dE_{SOL}/dt \sim dE_{ATM}/dt$

➤ $\overline{\Phi}_{NET,SFC} = \overline{\Phi}_{NET,TOA} \sim 0$: quasi équilibre
 au bout de quelques années selon

- Conditions initiales
- Inertie du sol
- **ET variabilité interne !**

• Variabilité interne

- On peut “sauter” d'un état d'équilibre à un autre
- Equilibre stable pour des petites perturbations