

La nouvelle paramétrisation des courants de densité du LMD et du CNRM

Jean-Yves GRANDPEIX, Jean-Philippe LAFORE,
Romain ROEHRIG, Frédérique CHÉRY

L.M.D. et CNRM

**Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère ;
26-28 Janvier 2010 ; Toulouse, France**

Objectifs

Deux aspects importants de la convection nuageuse profonde ne sont pas simulés correctement dans les Modèles de Circulation Générale (GCMs) :

1. Le cycle diurne de la convection.
2. La propagation de la convection.

⇒ **Obstacles majeurs à la confrontation entre simulations climatiques et observations satellites.**

Objectif : apporter un premier élément de réponse à ce problème.

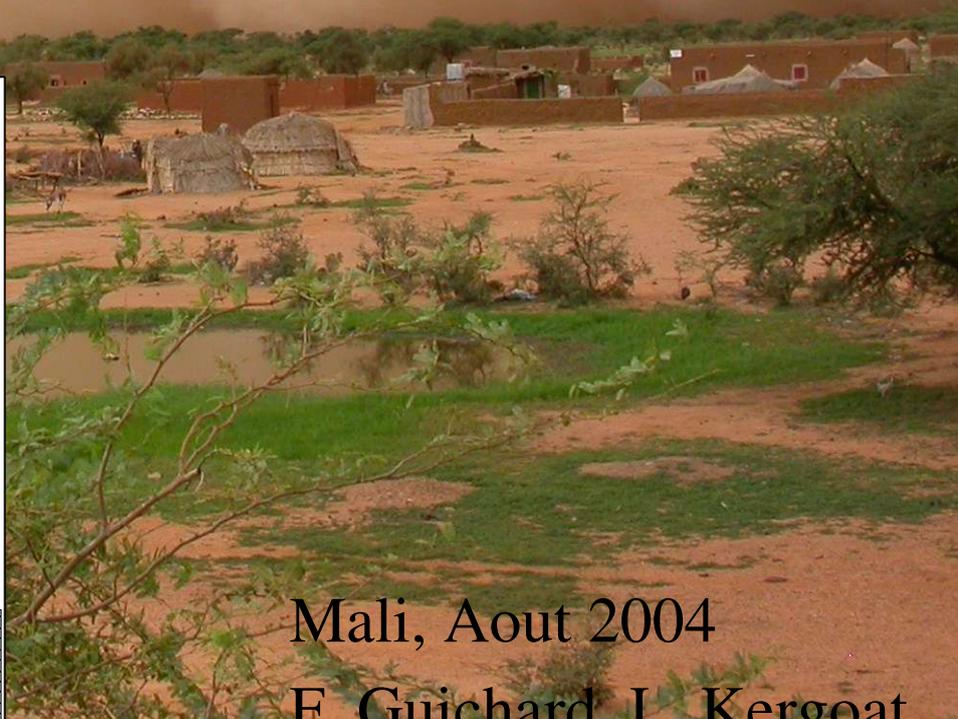
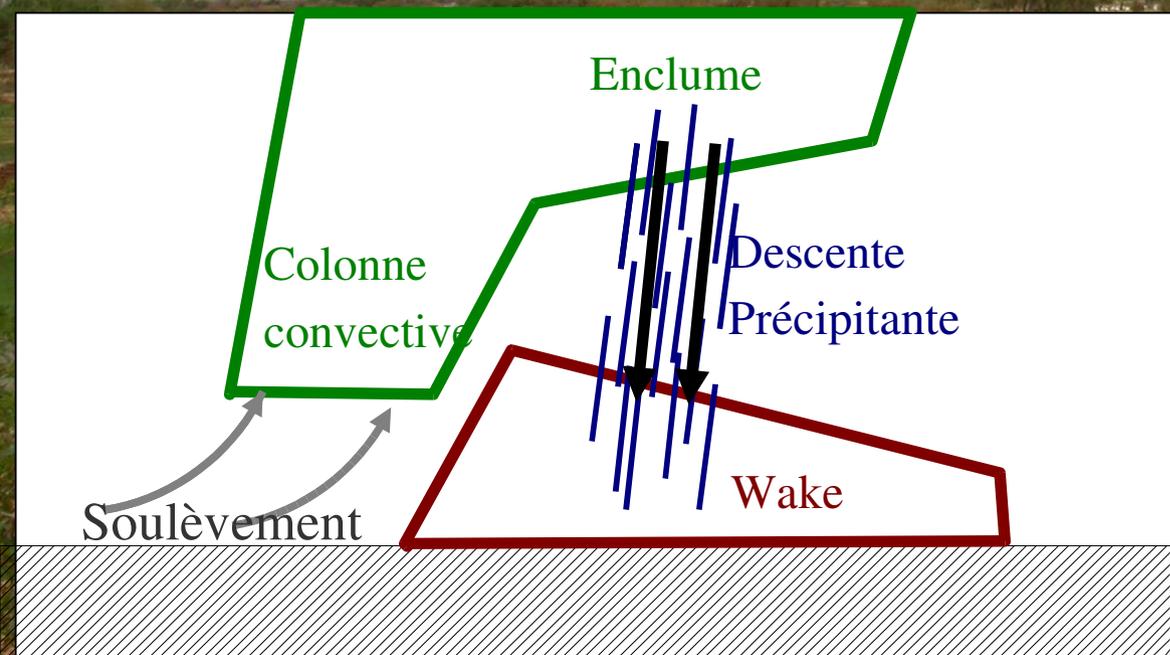
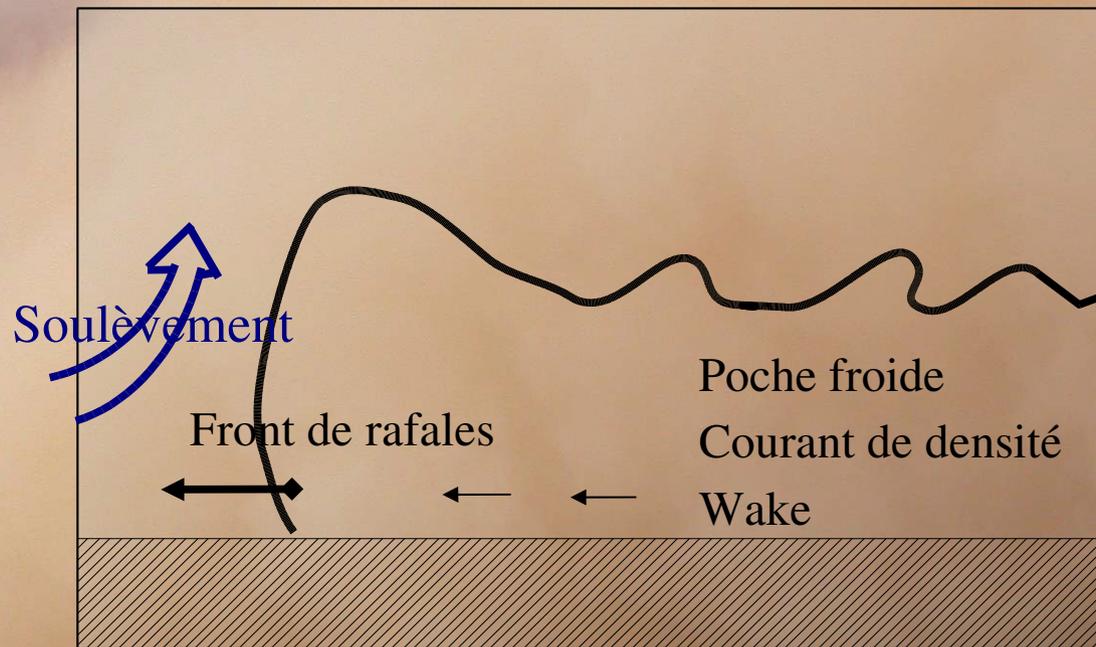
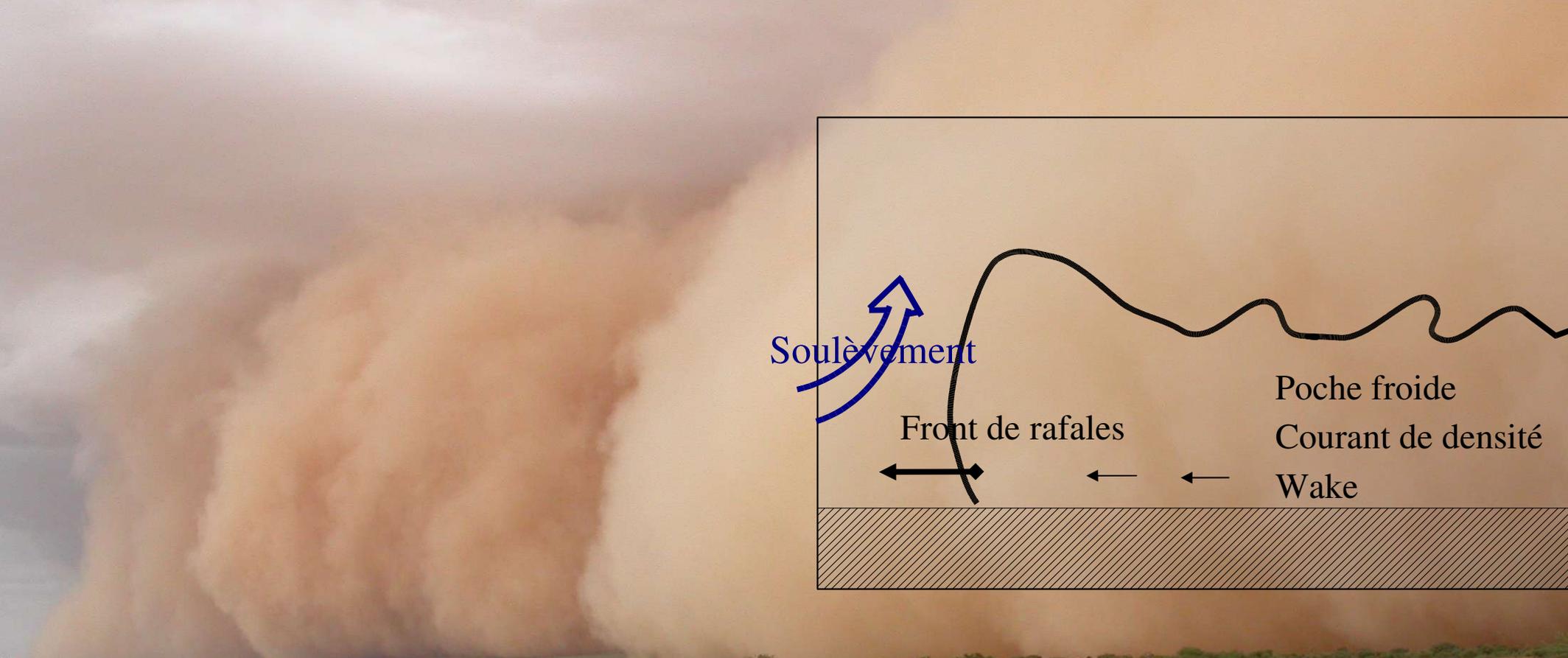
Plan de l'exposé :

- Les courants de densité, éléments manquant des schémas convectifs actuels.
- Le modèle des Wakes.
- Quelques propriétés.
- Conclusion

Les courants de densité au coeur des systèmes convectifs

- Dans la plupart des GCMs (et dans LMDZ4/AR4) la convection profonde est fonction uniquement des variables de grande échelle (hypothèse du quasi-équilibre) \implies les structures convectives convectives élémentaires (Systèmes convectifs méso-échelle [MCS], lignes de grains) n'ont pas d'existence propre.
- Le comportement autonome de la convection profonde (cycle diurne et propagation) montre qu'il y a une mémoire quelque part.
- **Proposition : Les courants de densité (= wakes = poches froides = cold pools = density currents) constituent l'éléments clef de cette mémoire.**

Le modèle des Wakes



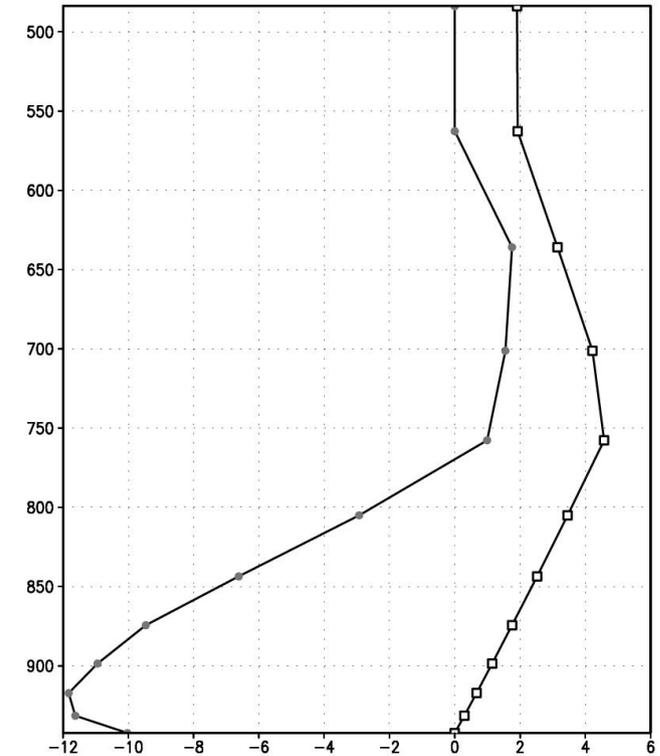
Mali, Aout 2004

F. Guichard, L. Kergoat

La paramétrisation

- Représentation d'une partie d'un espace infini où des poches froides identiques (rayon r , hauteur h_w) sont réparties de façon homogène avec une densité D_{wk} .
- Variables d'état : la fraction surfacique des poches $\sigma_w = \frac{S_w}{S_t}$ ($\sigma_w = \pi r^2 D_{wk}$), les écarts de température et d'humidité $\delta\theta(p)$ et $\delta q(p)$ entre poche et environnement.
- Vitesse d'étalement : C_* telle que $C_*^2 \simeq WAPE$ (Wake Potential Energy) ; $WAPE = \int_{p_{top}}^{p_{surf}} R_d \delta T_v \frac{dp}{p}$
- Les profils de $\delta\theta$ et de δq sont gérés par des équations de conservation de la masse, de l'énergie et de l'eau prenant en compte l'advection verticale, la turbulence et les changements de phase.
- Les termes turbulents et de changement d'états sont supposés déterminés par le schéma de convection profonde.
- Le profil de $\delta\omega$ est linéaire entre le sol et le sommet de la poche (échange net nul à travers la frontière de la poche) et raccordé linéairement à 0 entre le sommet et une altitude fixe arbitraire (environ 4000 m).

Ecart de température (K) et de vitesse (Pa/s)



Evolution des variables de grande échelle

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t \bar{\theta} = (\partial_t \bar{\theta})_{LS} + \frac{Q_R + Q_1^{bl} + Q_1^{cv} + Q_1^{wk}}{C_p} \\ \\ \frac{Q_1^{wk}}{C_p} = +(\partial_t \sigma_w - e_w) \delta\theta \quad : \text{Etagement et entraînement} \\ \\ \quad \quad \quad -\sigma_w(1 - \sigma_w) \delta\omega \partial_p \delta\theta \quad : \text{Advection différentielle} \end{array} \right.$$

Evolution des variables des Wakes

$$\partial_t \delta\theta = -\bar{\omega} \partial_p \delta\theta + \frac{\delta Q_1^{\text{cv}} + \delta Q_1^{\text{wk}}}{C_p} - \frac{k_{\text{gw}}}{\tau_{\text{gw}}} \delta\theta$$

$$\text{where } \tau_{\text{gw}} = \frac{\sqrt{\sqrt{\sigma_w}(1-\sqrt{\sigma_w})}}{4Nz\sqrt{D_{\text{wk}}}}$$

is the damping time by gravity waves

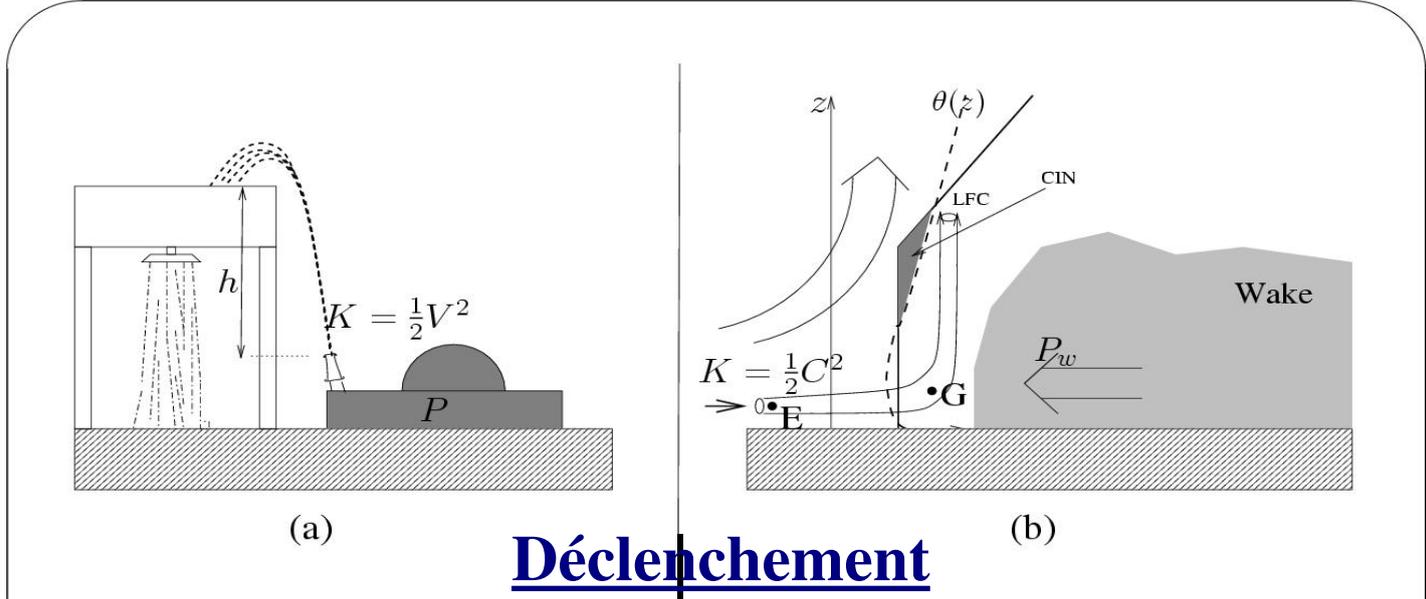
$$\frac{\delta Q_1^{\text{wk}}}{C_p} = -\frac{e_w}{\sigma_w} \delta\theta \quad : \text{Entraînement}$$

$$-\delta\omega \partial_p \bar{\theta} \quad : \text{advection différentielle de } \bar{\theta}$$

$$-(1 - 2\sigma_w) \delta\omega \partial_p \delta\theta \quad : \text{advection différentielle de } \delta\theta$$

Couplage Wakes - Convection

Couplage de la convection avec les processus sous-nuageux: ALE & ALP; 1



Au moins 2 variables:

- **ALE = Available Lifting Energy.**
- **ALP = Available Lifting Power.**

Déclenchement

La **douche est déclenchée** quand $K > gh$ ($K = ALE = Available Lifting Energy$).

La **convection se déclenche** quand l'énergie cinétique maximale K ($K = ALE$) de l'air incident sur le front de rafales excède l'inhibition convective: **ALE > |CIN|**

Fermeture

La pompe (puissance P) fournit un débit M . Une fraction k (le rendement du moteur) de P est utilisée par le jet.

Les poches fournissent une puissance P_w . Une fraction k (l'efficacité de soulèvement des poches) de P_w sert à soulever des courants ascendants de débit M :

- franchir l'inhibition => puissance $M |CIN|$
- vitesse à LFC = w_B => puissance $1/2 M w_B^2$
- dissipation => puissance $3/2 M w_B^2$

Fermeture:

puissance du jet $M K = k P (= ALP)$

Fermeture: **$M (|CIN| + 2 w_B^2) = k P_w (= ALP)$**

Couplage de la convection avec les processus sous-nuageux: ALE & ALP; 2

Plus généralement, la paramétrisation convective est couplée aux processus sous-nuageux via les 2 variables :
ALE (pour le déclenchement) et ALP (pour la fermeture)..

$$\mathbf{ALE = \sup(ALE_{PBL}, ALE_{ORO}, ALE_{WK})}$$

$$\mathbf{ALP = ALP_{PBL} + ALP_{ORO} + ALP_{WK}}$$

ALE (Available Lifting Energy) (J/kg)

ALE = ordre de grandeur de l'énergie cinétique des courants ascendants les plus rapides (taille : qq 100 m à 1 km).

- Couche limite : $ALE \simeq (\frac{1}{2}w^2)_{max}, \simeq (\frac{1}{2}w^2)_{Thermals}$.
- Effet thermique de l'orographie : ALE est estimée à partir de l'énergie potentielle de la couche de surface.
- Courants de densité : $ALE = \frac{1}{2}C_*^2$, (C_* = vitesse du front de rafales).

ALP (Available Lifting Power)(W/m^2)

- PBL:

$$ALP = \frac{1}{2}\overline{\rho w^3} \quad (\simeq \text{qq } 0.01 \text{ W/m}^2)$$

- Courants de densité:

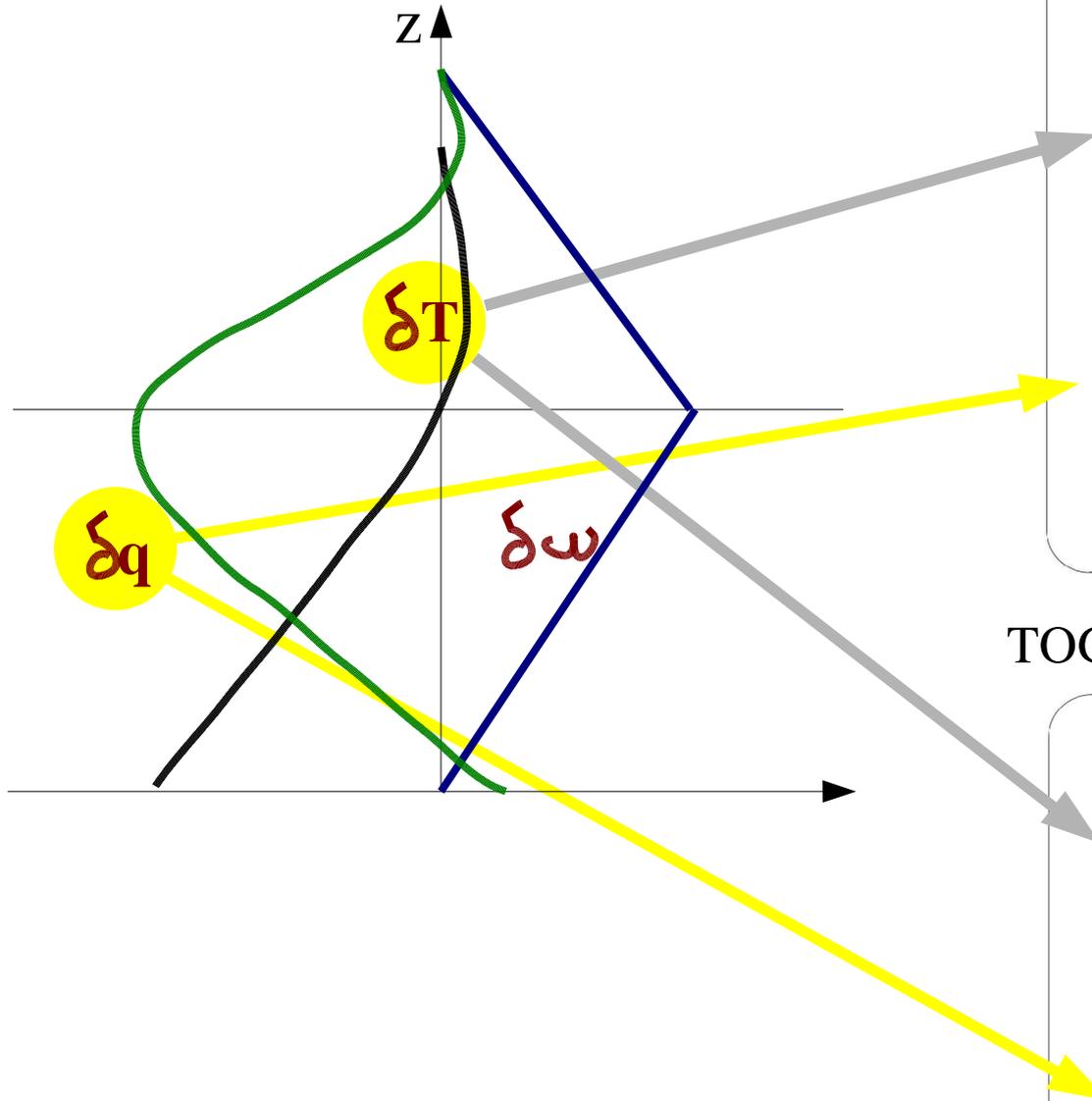
$$ALP = h_w \Gamma_w \frac{1}{2} \rho c_*^3 \quad (\Gamma_w = \text{long. front de rafales / m}^2)$$

$(\simeq \text{qq } 0.1 \text{ W/m}^2)$

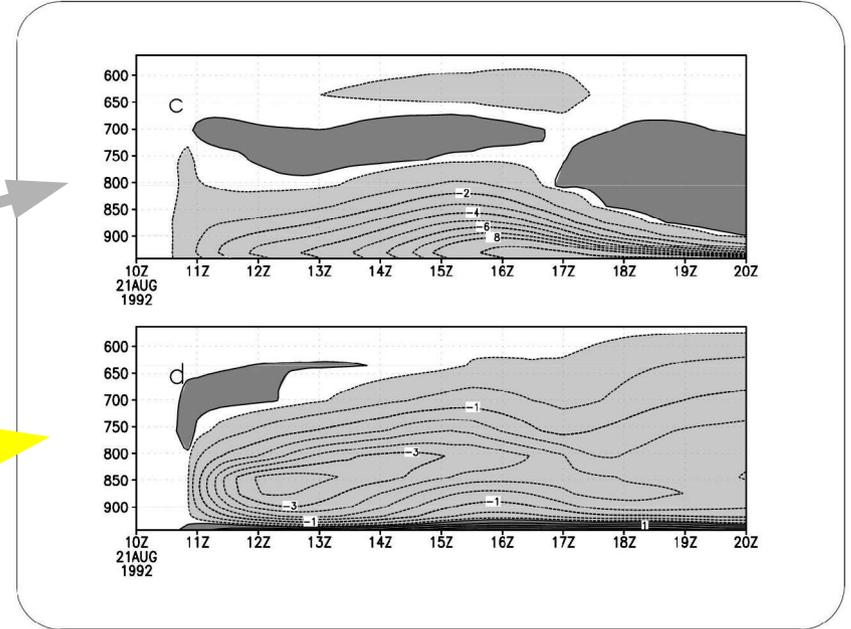
- Orographie:

$$ALP = - \int_{top}^{base} \vec{D} \cdot \vec{V} dp \quad (\simeq \text{qq } 0.1 \text{ W/m}^2)$$

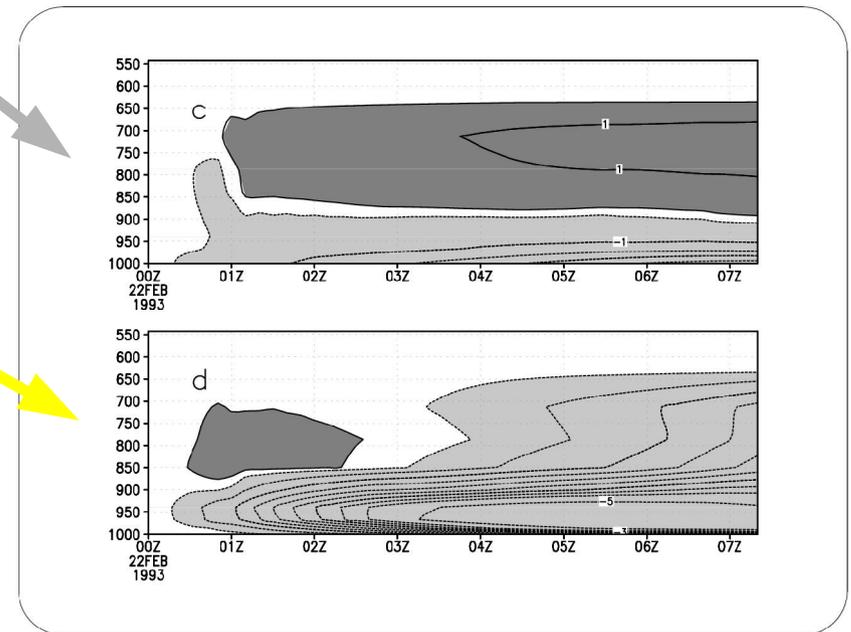
Simulated wake properties



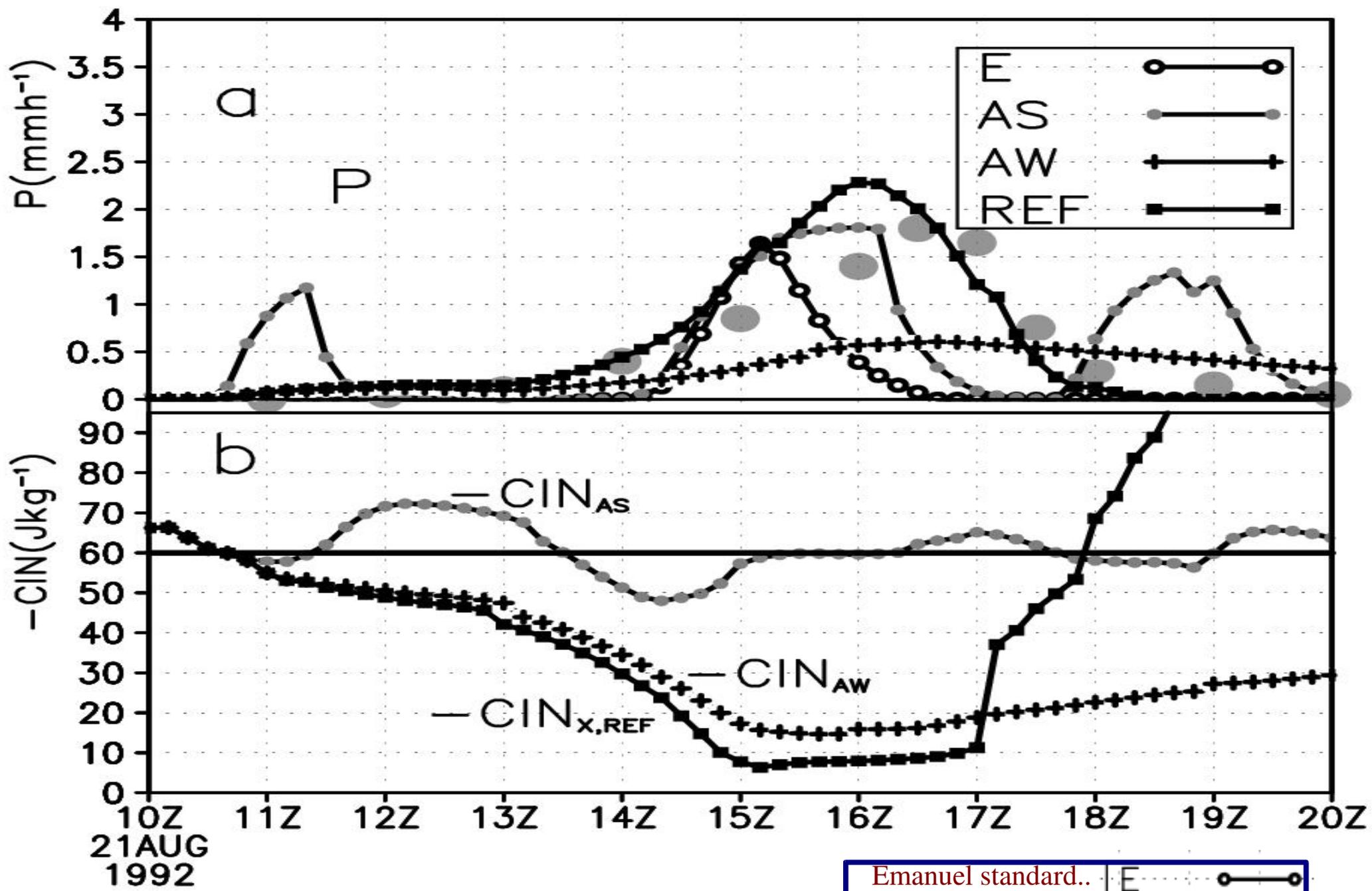
HAPEX92: 21 Aug 1992 squall line case



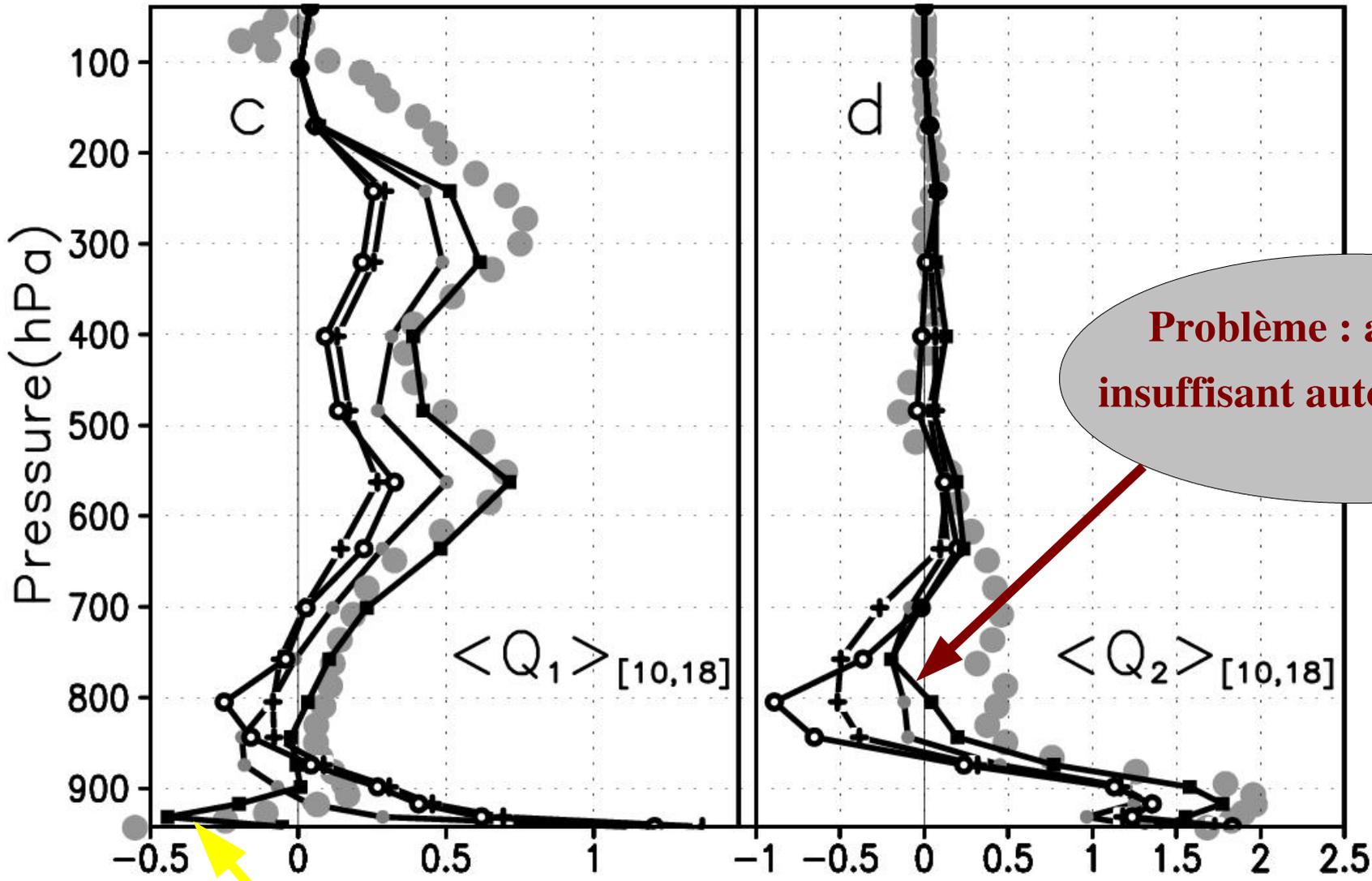
TOGA-COARE: 22 Feb 1993 squall line case



Confrontation aux résultats de Meso-NH sur le cas HAPEX92



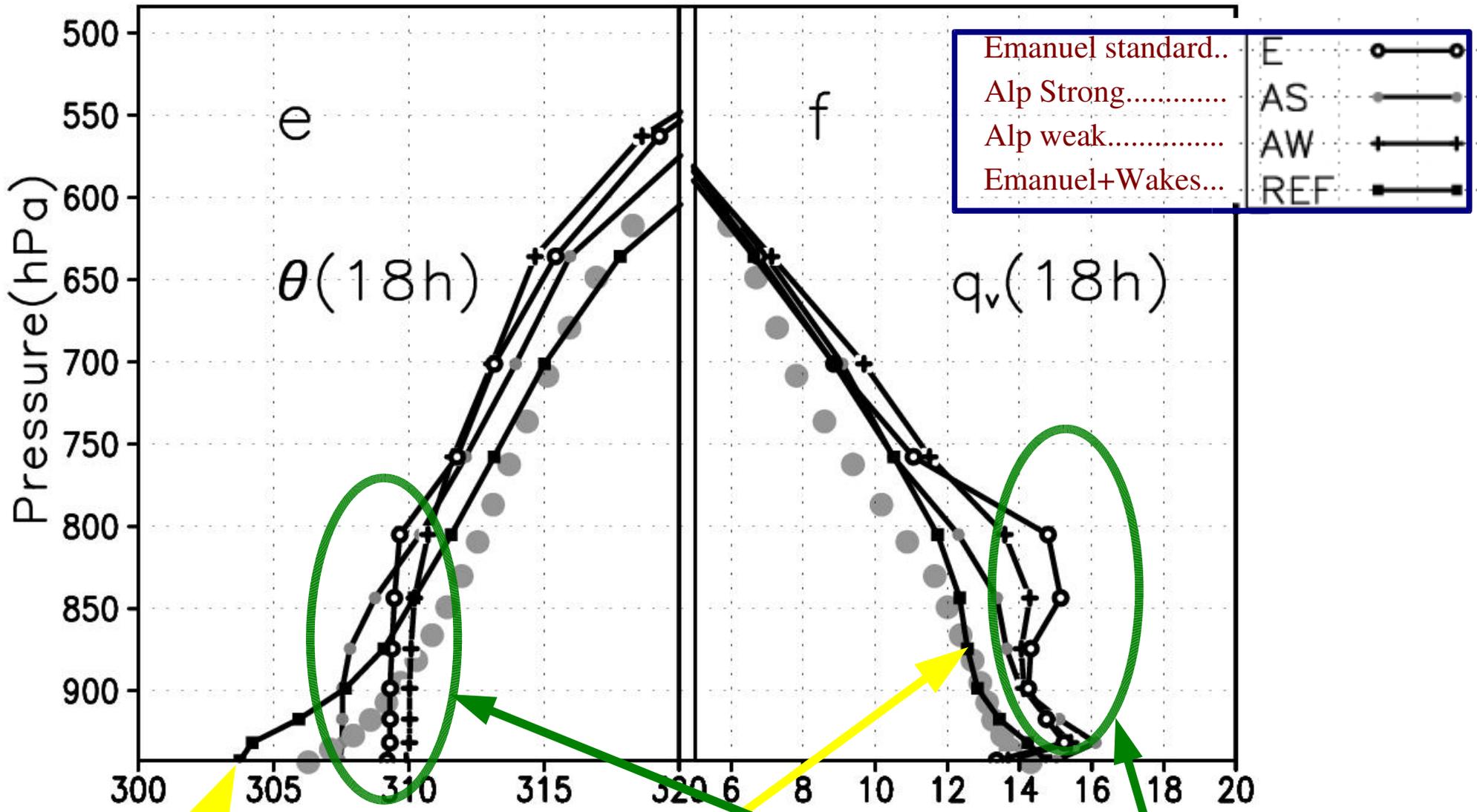
Emanuel standard..	E	
Alp Strong.....	AS	
Alp weak.....	AW	
Emanuel+Wakes...	REF	



**Problème : assèchement
insuffisant autour de 700 hPa**

**Seule la simulation avec "wakes"
donne le fort refroidissement simulé
par le CRM au voisinage de la surface**

Emanuel standard..	E	○—○
Alp Strong.....	AS	●—●
Alp weak.....	AW	+—+
Emanuel+Wakes...	REF	■—■



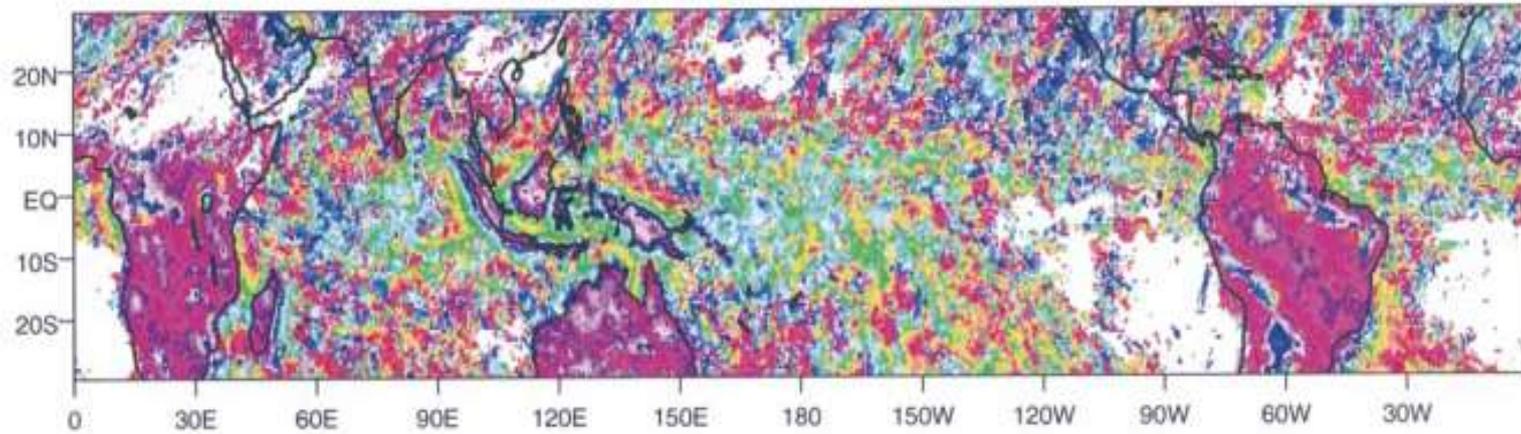
Seule la simulation avec "wake" donne une stratification conforme aux résultats du CRM.

Les autres simulations laissent une couche limite bien mélangée

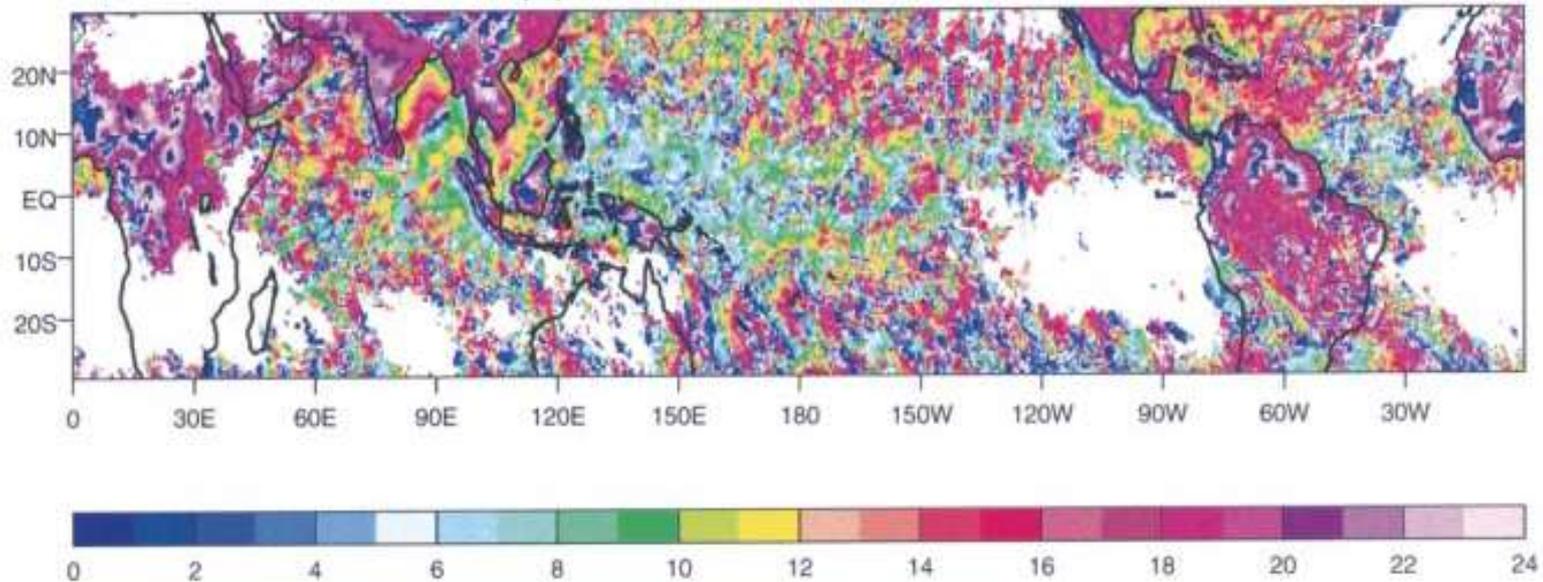
Conclusion et perspectives

- Les courants de densité sont un élément clef du processus de convection profonde.
- Le modèle des Wakes mis en oeuvre dans LMDZ4 simule des courants de densité en accord raisonnable avec les observations.
- Le schéma convectif d'Emanuel, couplé au modèle des Wakes avec la fermeture-déclenchement en Ale et Alp, permet de simuler une convection profonde autonome.
- Prochaines étapes : (1) couche limite différenciée ; (2) prise en compte du cisaillement ; (3) dynamique de population.
- La représentation de la propagation des poches froides d'une maille à une autre constituera le pas décisif vers la représentation du cycle de vie des systèmes convectifs.

(c) Estimated precipitation: DJF



(d) Estimated precipitation: JJA



Observations : CLAUS

(Yang & SLINGO, 2001, MWR, 129, 784-801)

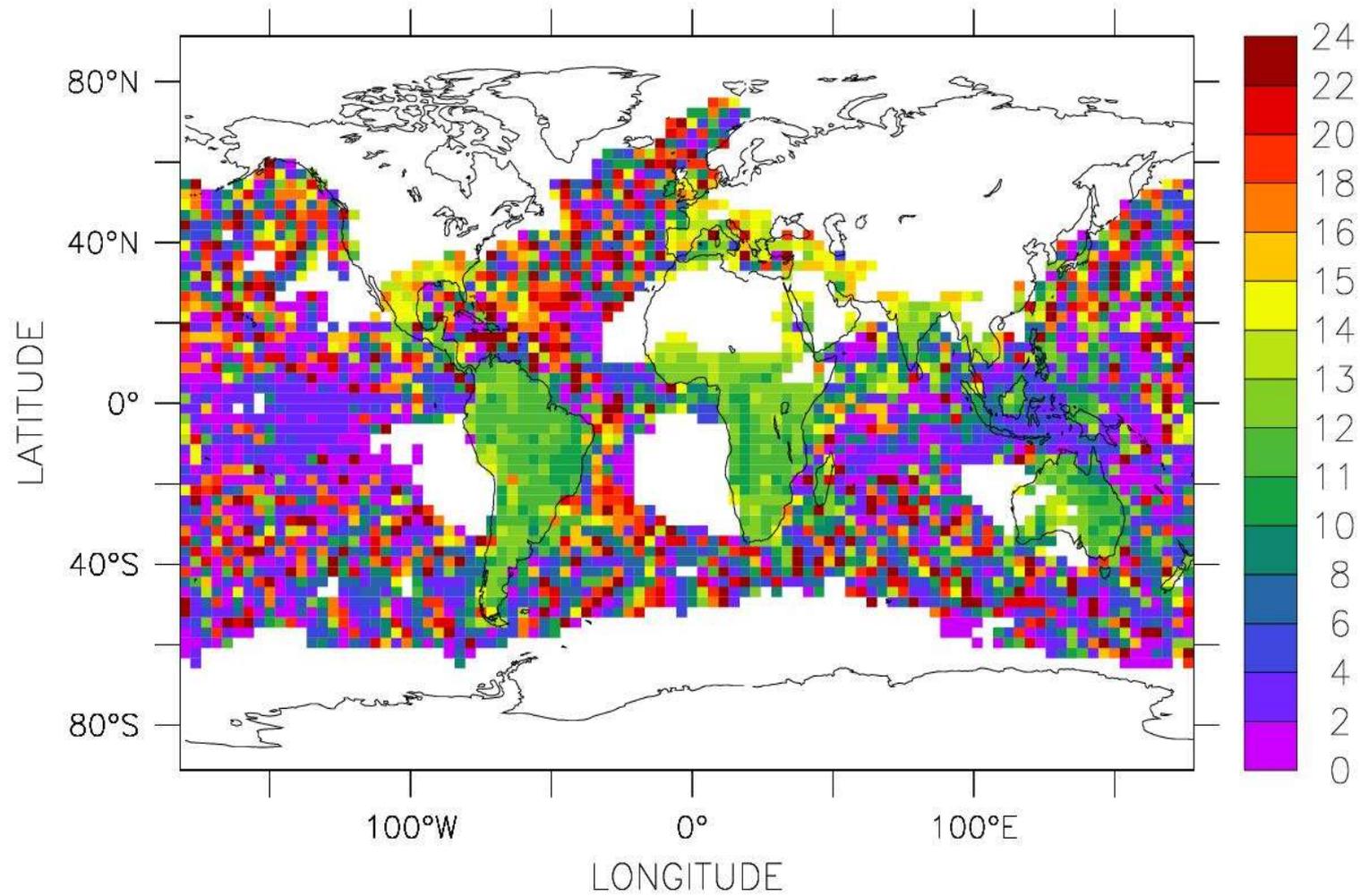


Figure 1: Simulated time of maximum convective precipitation in January; LMDZ4/AR4 physics.

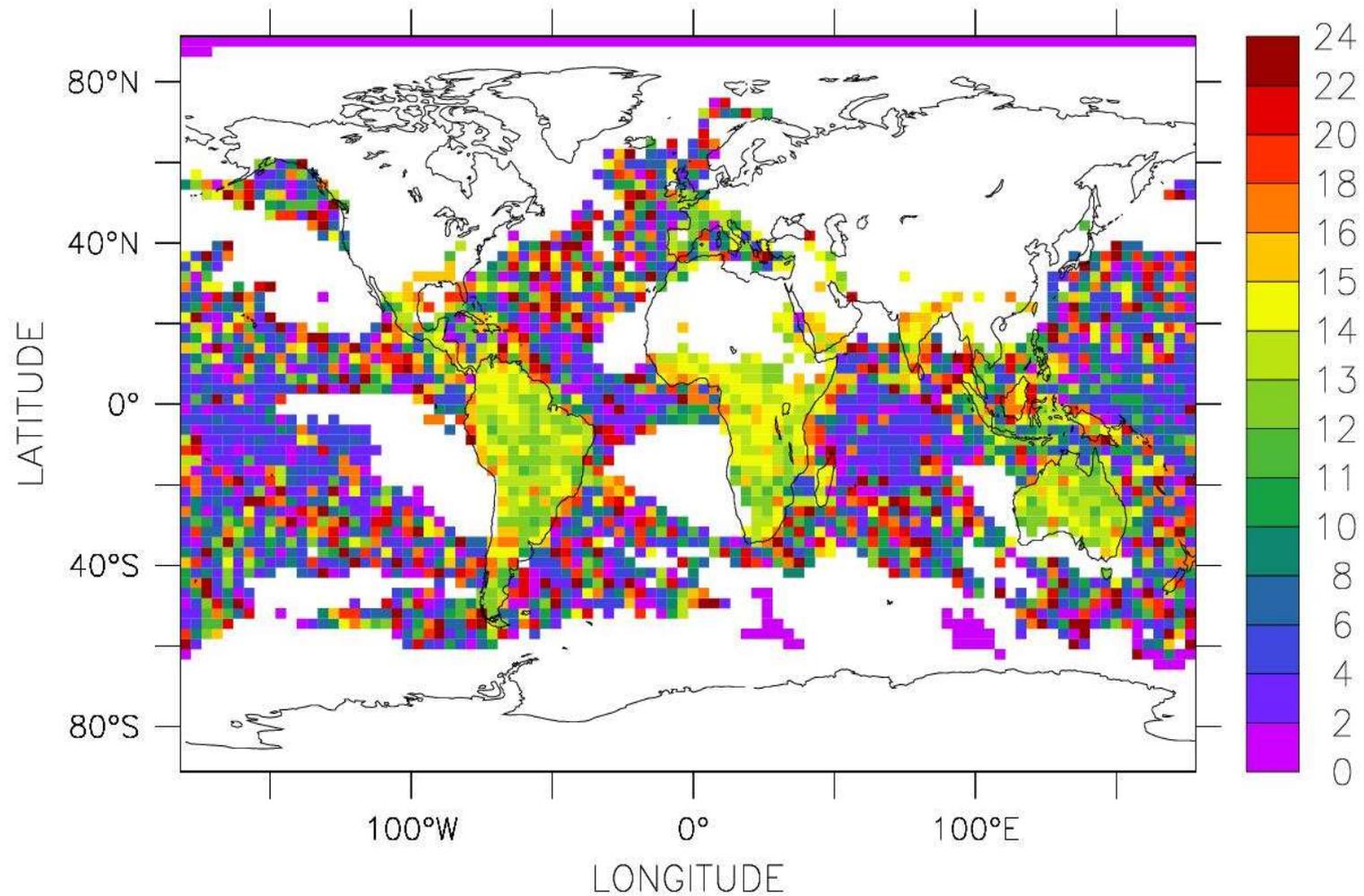


Figure 2: Simulated time of maximum convective precipitation in January; LMDZ4/new physics.