

Paramétrisation des courants de densité, humidité et ondes de gravité.

Jean-Yves GRANDPEIX, Jean-Philippe LAFORE

L.M.D. et CNRM

**Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère ;
23-26 Janvier 2012 ; Toulouse, France**

Objectifs

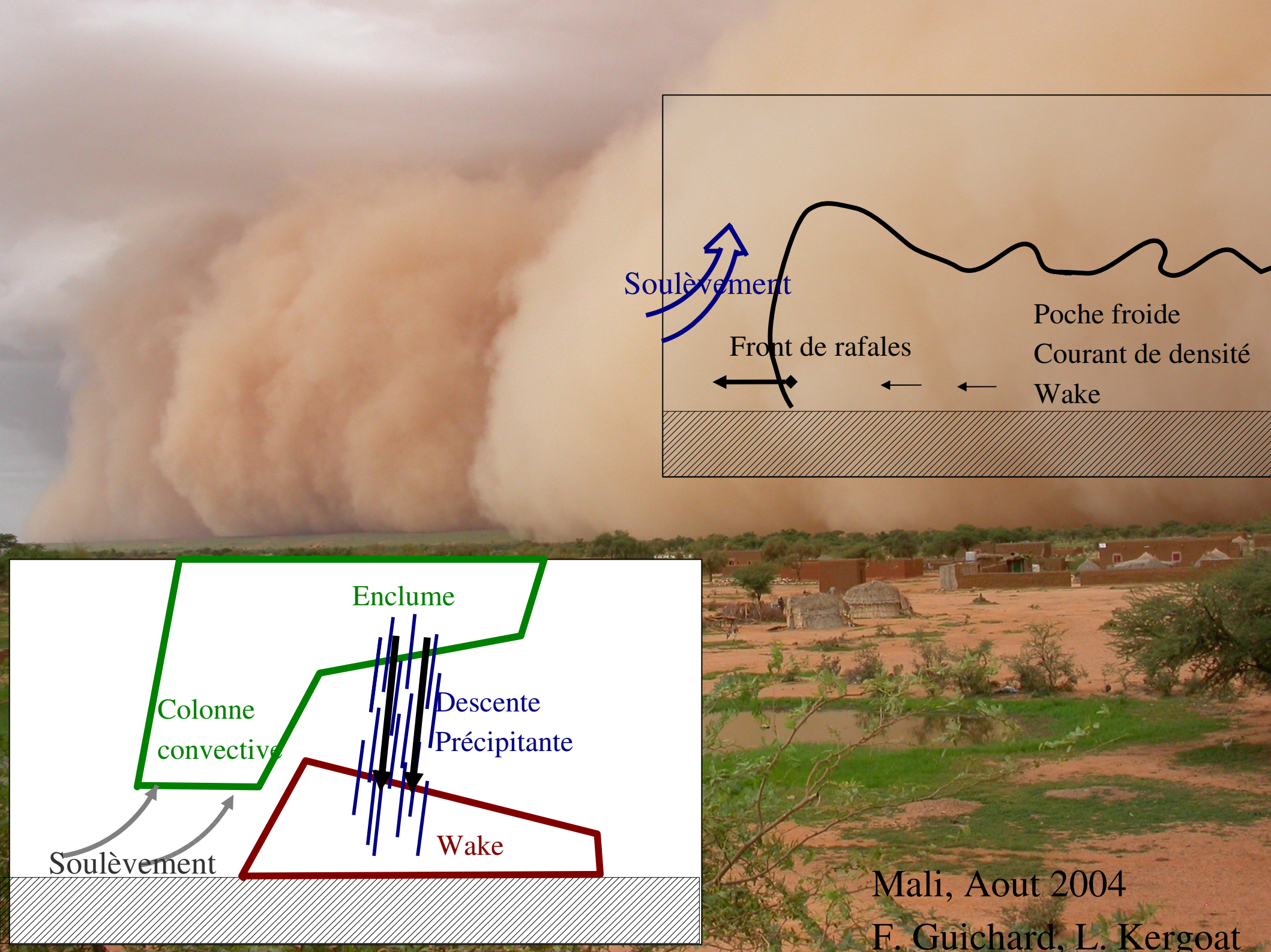
Affiner la représentation de l'effet de la convection profonde sur l'humidité.

En particulier, mieux représenter l'effet des courants de densités engendrés par l'évaporation des pluies convectives et des ondes de gravité qu'ils engendrent.

Plan de l'exposé :

- Le modèle des Wakes (= courants de densité)
- Rôle des ondes de gravité.
- Quelques résultats préliminaires
- Conclusion

Le modèle des Wakes



Soulèvement

Front de rafales

Poche froide

Courant de densité

Wake

Enclume

Colonne
convective

Descente
Précipitante

Wake

Soulèvement

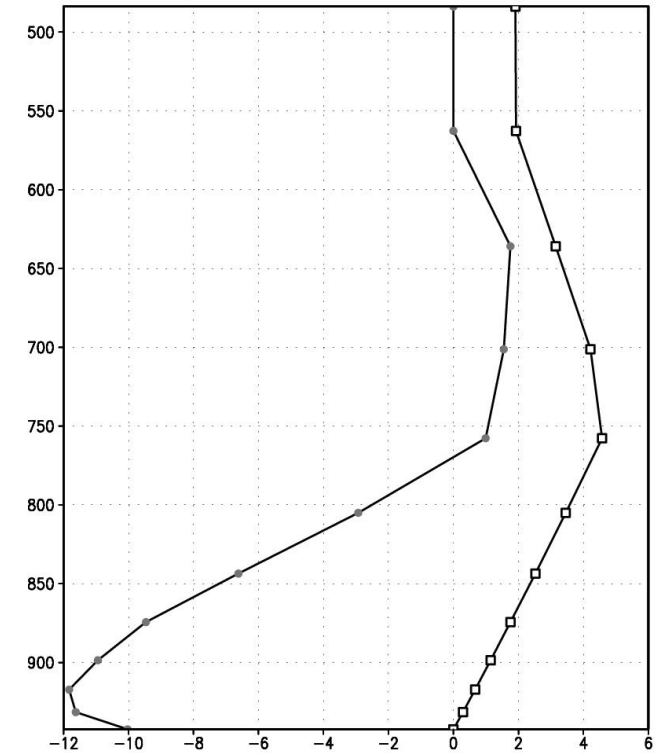
Mali, Aout 2004

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)

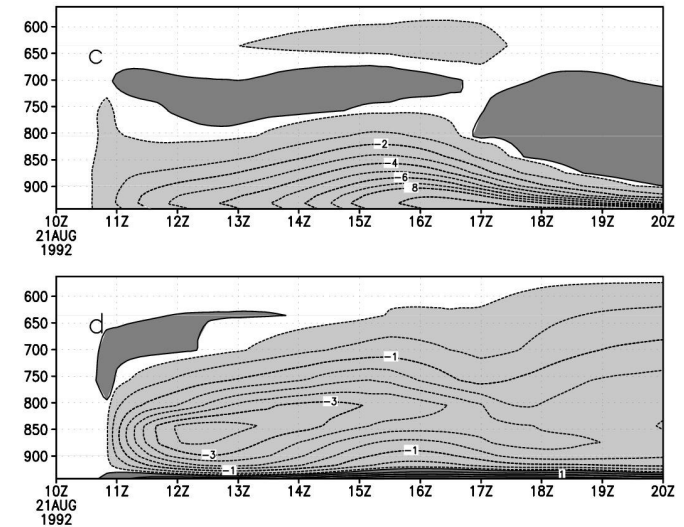
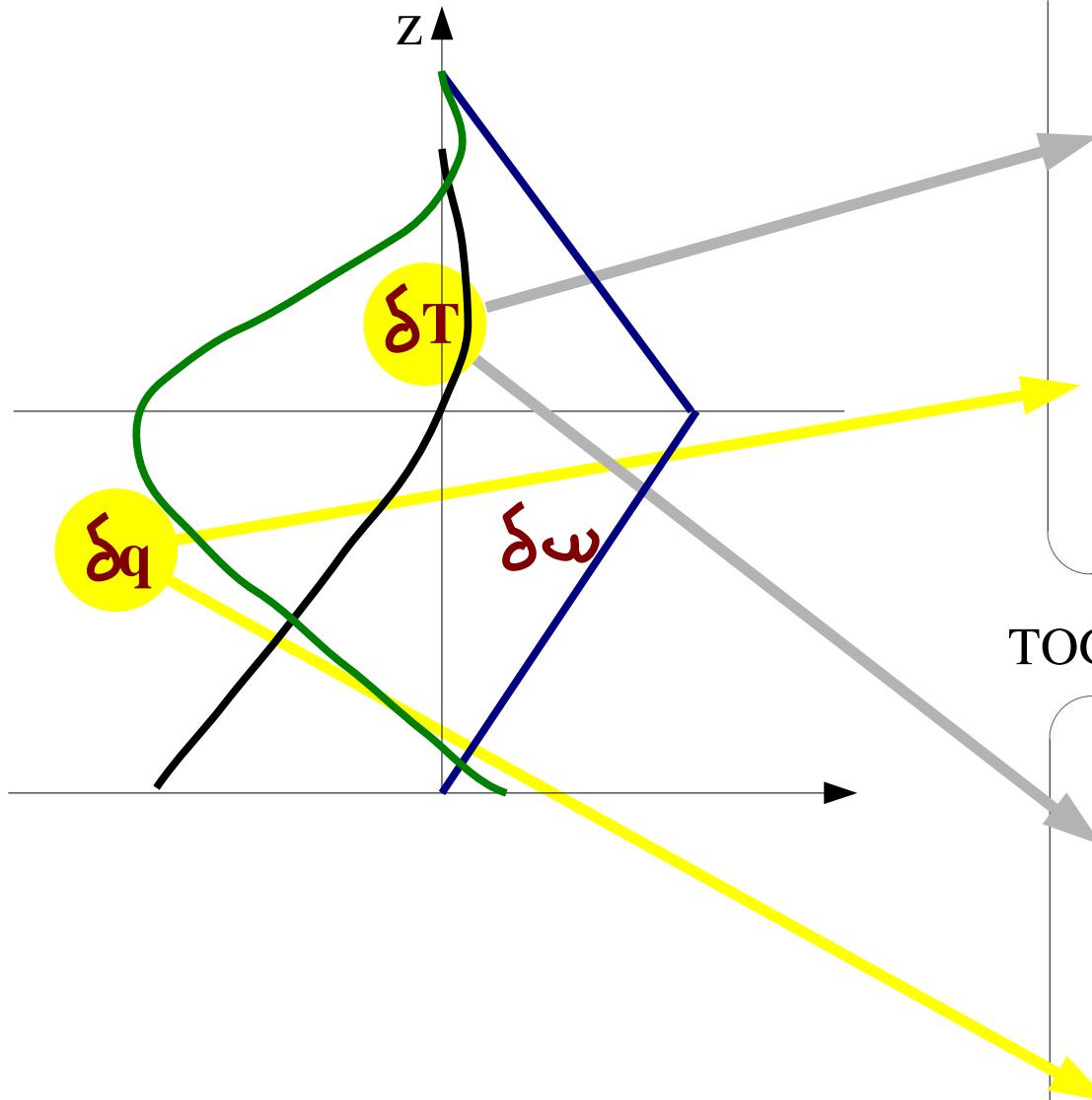


GrADS: COLA/IGES

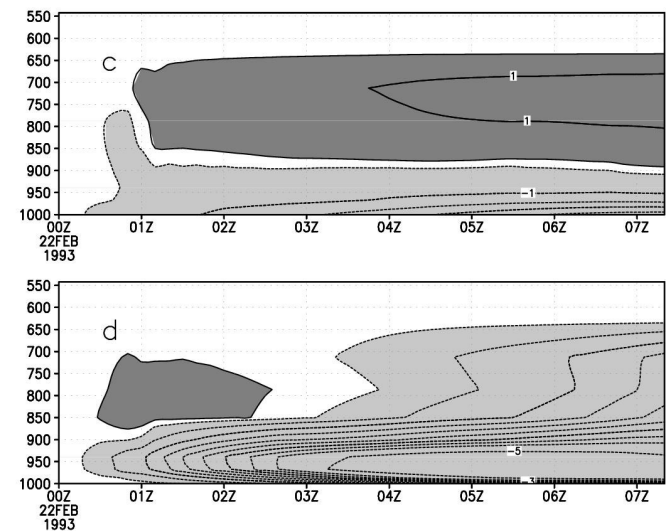
200

Simulated wake properties

HAPEX92: 21 Aug 1992 squall line case



TOGA-COARE: 22 Feb 1993 squall line case

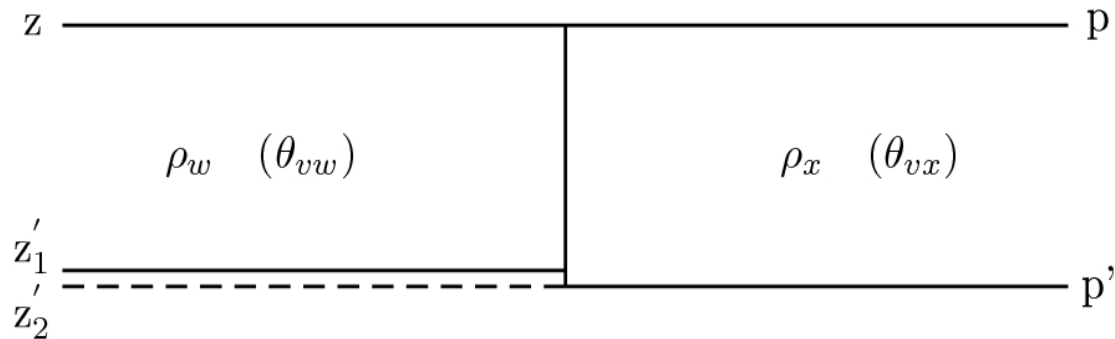


Evolution des variables des Wakes

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t \delta \theta = -\bar{\omega} \partial_p \delta \theta + \frac{\delta Q_1^{\text{cv}} + \delta Q_1^{\text{wk}}}{C_p} - \frac{k_{\text{gw}}}{\tau_{\text{gw}}} \delta \theta \\ \text{where } \tau_{\text{gw}} = \frac{\sqrt{\sqrt{\sigma_w}(1-\sqrt{\sigma_w})}}{4Nz\sqrt{D_{\text{wk}}}} \\ \text{is the damping time by gravity waves} \\ \\ \partial_t \delta q_v = -\bar{\omega} \partial_p \delta q_v - \frac{\delta Q_2^{\text{cv}} + \delta Q_2^{\text{wk}}}{L_v} \end{array} \right.$$

where N is the Brunt-Väisälä frequency and z the altitude; δQ_1^{cv} , δQ_1^{wk} (δQ_2^{cv} , δQ_2^{wk}) are the differential heat sources (moisture sinks) due to convection and wakes. k_{gw} , the gravity wave efficiency, is a tunable parameter.

Pourquoi des ondes de gravité

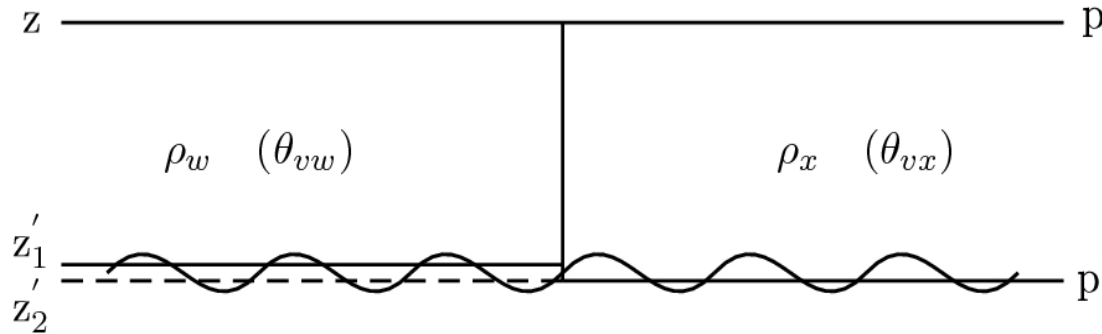


Hypothèse : sommet de la couche à une altitude uniforme z .

Conséquence : altitude de la base dans la zone (w) (z'_w) plus élevée que dans la zone (x) (altitude z'_x).

Si le fluide est stratifié, il va y avoir émission d'ondes de gravité qui vont tendre à rétablir en moyenne l'uniformité horizontale de la masse volumique et de la pression.

Pourquoi des ondes de gravité



Fréquence de ces ondes : fréquence de Brunt-Väisälä N .

Hypothèse : mode le plus efficace = mode le plus profond, $\implies$ longueur d'onde $\lambda = 4 z$, vitesse de propagation $C_{gw} = 4 z N$.

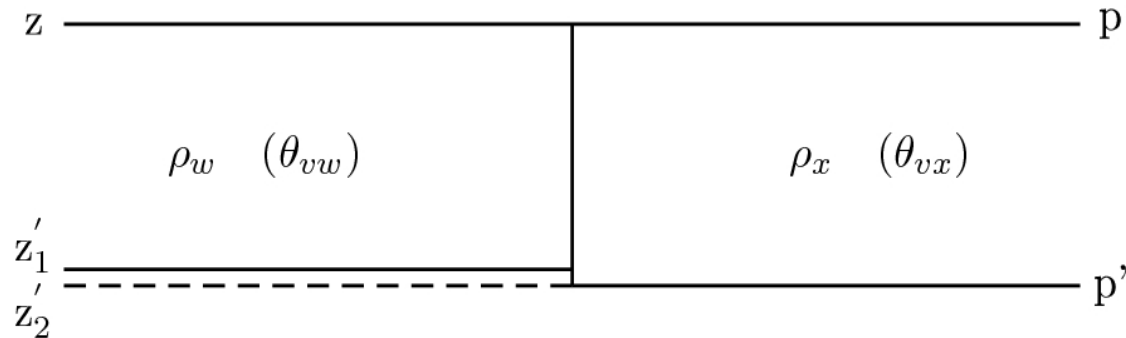
Diamètre des poches $\simeq \sqrt{\sigma_w / D_{wk}}$.

Distance entre poches $\simeq \sqrt{(1 - \sigma_w) / D_{wk}}$.

Approximation : temps d'uniformisation $\simeq$ moyenne géométrique entre les temps de parcours dans (w) et dans (x) :

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

Déplacements associés aux ondes de gravité



En moyenne : déplacement $\Delta_w z$ dans (w) et $\Delta_x z$ dans (x) $\longrightarrow$ déplacement différentiel $\delta(\Delta z)$.

Conservation de la masse $\implies \sigma_w \Delta_w z + (1 - \sigma_w) \Delta_x z = 0$,

$\Delta_w z = (1 - \sigma_w) \delta(\Delta z)$ et $\Delta_x z = -\sigma_w \delta(\Delta z) \dots$

Déplacements en z et fluide stratifié $\implies$ variations des variables d'état :

$$\begin{cases} \Delta(\delta\theta_v) &= -\delta(\Delta z) \partial_z [\bar{\theta}_v + (1 - 2\sigma_w) \delta\theta_v] \\ \Delta(\delta\theta) &= -\delta(\Delta z) \partial_z [\bar{\theta} + (1 - 2\sigma_w) \delta\theta] \\ \Delta(q_v) &= -\delta(\Delta z) \partial_z [\bar{q}_v + (1 - 2\sigma_w) \delta q_v] \end{cases}$$

Tendances

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \Delta(\delta\theta_v) & = & -\delta(\Delta z)\partial_z[\bar{\theta}_v + (1-2\sigma_w)\delta\theta_v] \\ \Delta(\delta\theta) & = & -\delta(\Delta z)\partial_z[\bar{\theta} + (1-2\sigma_w)\delta\theta] \\ \Delta(q_v) & = & -\delta(\Delta z)\partial_z[\bar{q}_v + (1-2\sigma_w)\delta q_v] \end{array} \right.$$

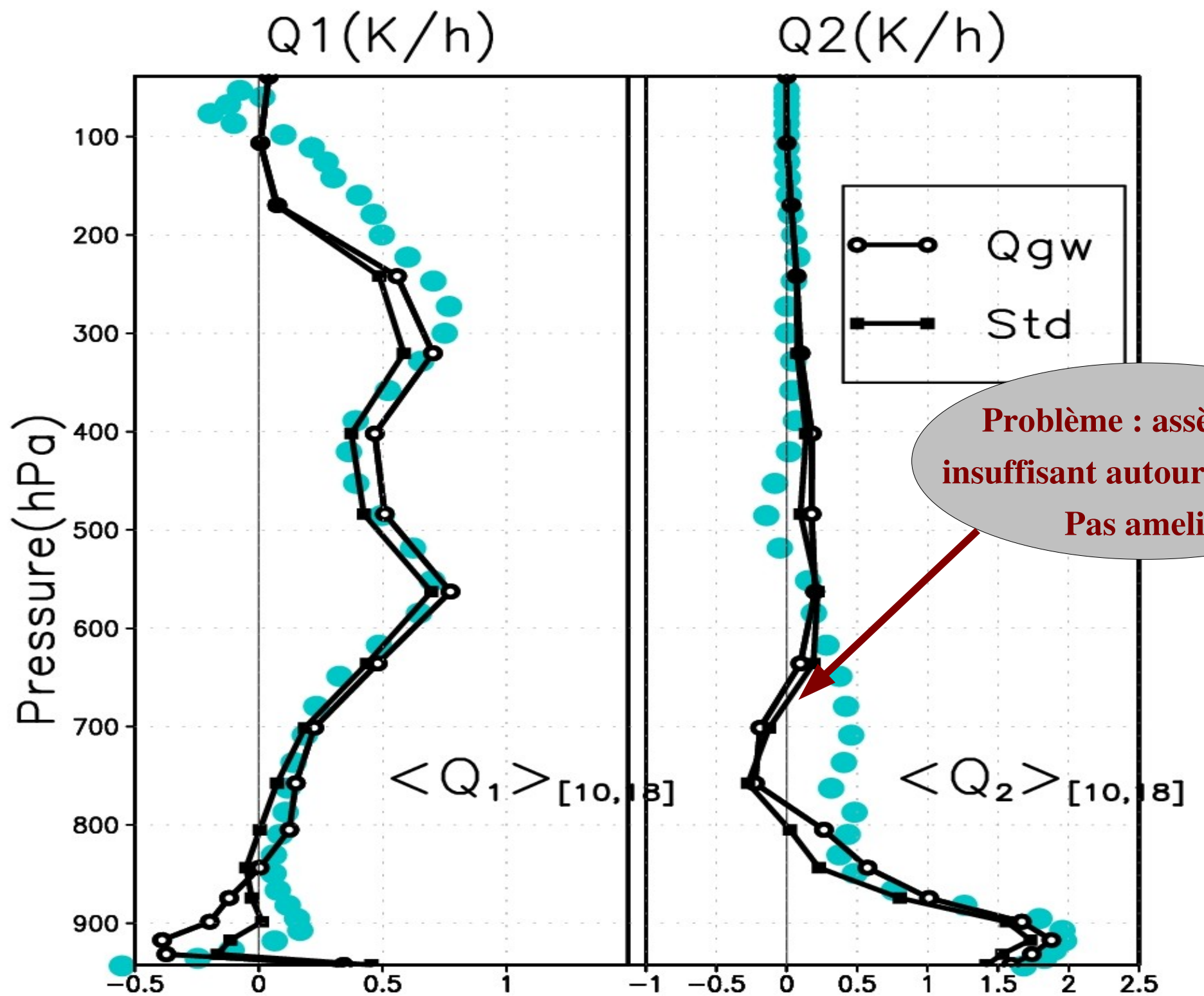
L'effet des ondes de gravité est de relaxer $\delta\theta_v$ vers zéro ($\longrightarrow$, pour un intervalle de temps dt , $\Delta(\delta\theta_v) \simeq -\frac{k_{\text{gw}}}{\tau_{\text{gw}}} dt \delta\theta_v$) via un déplacement différentiel $\delta(\Delta z) \longrightarrow$ effets sur $\delta\theta$ et dq_v :

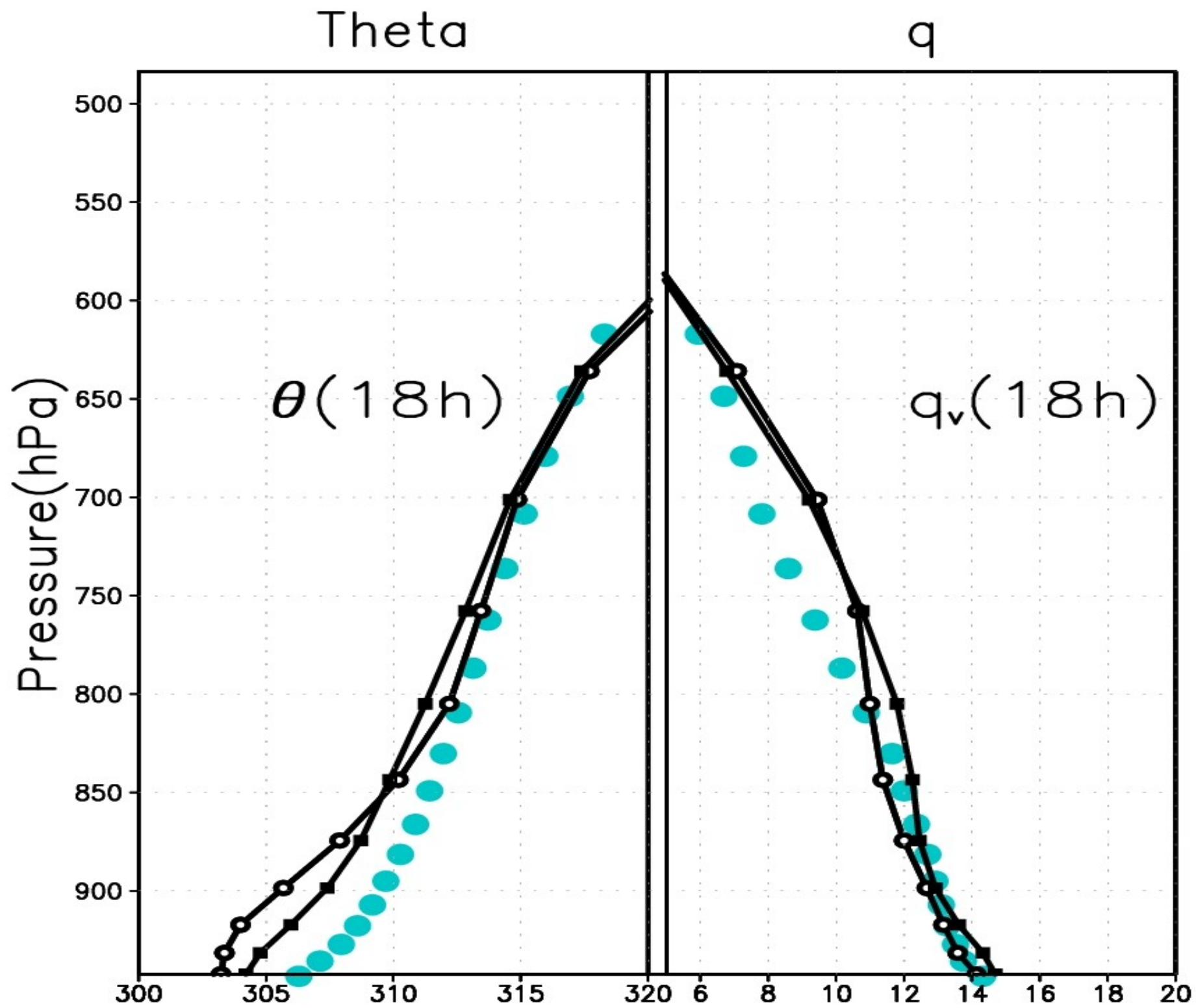
$$\left\{ \begin{array}{lcl} (\partial_t \delta\theta_v)_{\text{gw}} & = & -\frac{k_{\text{gw}}}{\tau_{\text{gw}}} \delta\theta_v \\ (\partial_t \delta\theta)_{\text{gw}} & = & (\partial_t \delta\theta_v)_{\text{gw}} \frac{\partial_z[\bar{\theta} + (1-2\sigma_w)\delta\theta]}{\partial_z[\bar{\theta}_v + (1-2\sigma_w)\delta\theta_v]} \\ (\partial_t q_v)_{\text{gw}} & = & (\partial_t \delta\theta_v)_{\text{gw}} \frac{\partial_z[\bar{q}_v + (1-2\sigma_w)\delta q_v]}{\partial_z[\bar{\theta}_v + (1-2\sigma_w)\delta\theta_v]} \end{array} \right.$$

Difficultés

- On a maintenant un gradient vertical au dénominateur (alors que la fréquence N apparaissait au numérateur dans les anciennes formules) !
 $\implies$ régularisation de ces expressions [à faire].
- Le facteur $1 - 2\sigma_w$ change de signe pour $\sigma_w = 1/2$.
 $\implies$ (peut-être) domaine $\sigma_w > 1/2$ interdit.

Confrontation aux résultats de Meso-NH sur le cas HAPEX92





Conclusions

Rôles des ondes de gravité :

- Lissage des températures : diminution de δT .
- accroissement de δq .

Les ondes de gravité ont vraiment un effet sur l'humidité. Mais il reste du travail pour le représenter.