

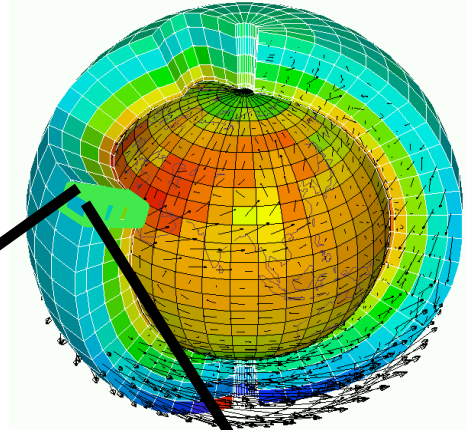
# Comment améliorer le contenu physique des modèles grande-échelle par le biais des simulations haute résolution?

**Fleur Couvreur, Catherine Rio, Frédéric Hourdin**

*Centre National de Recherches Météorologiques*

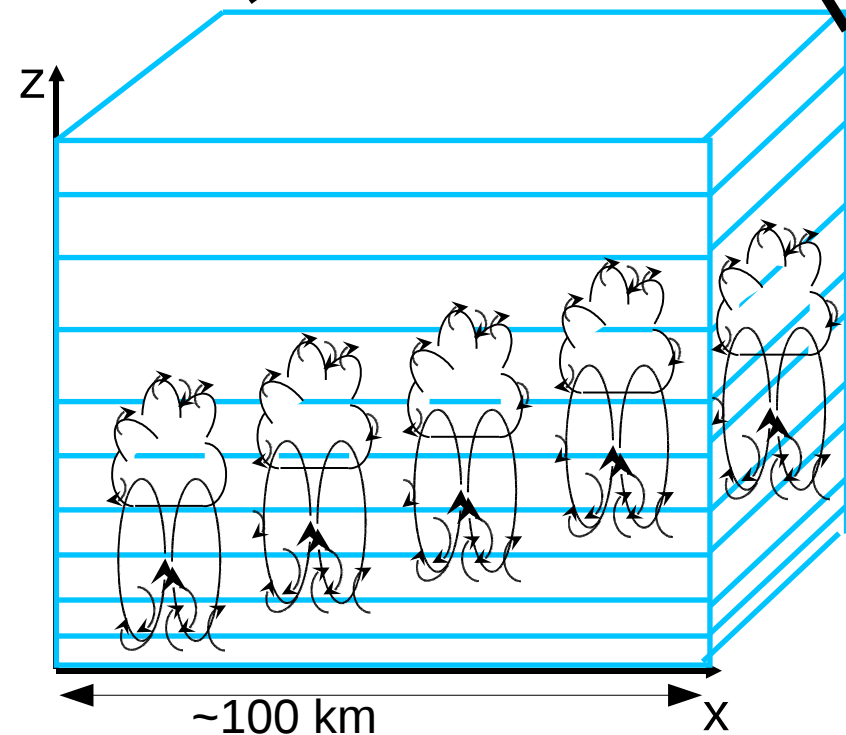
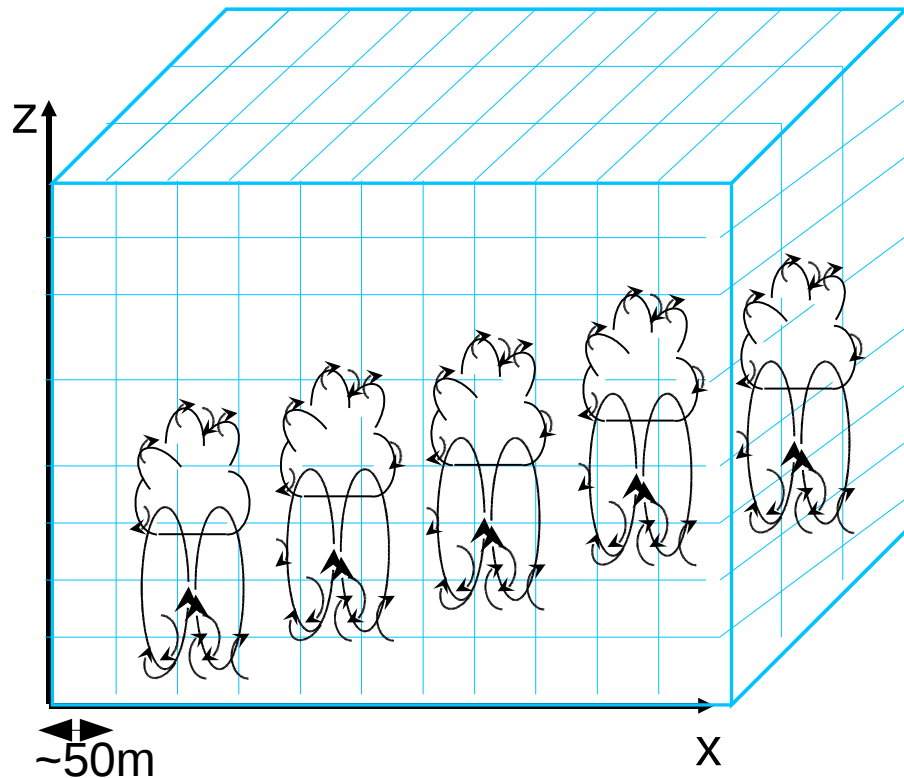
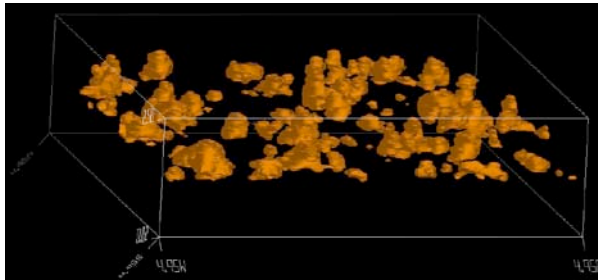
*Laboratoire de Météorologie Dynamique*

**Couvreur & al., Rio & al., soumis à BLM**



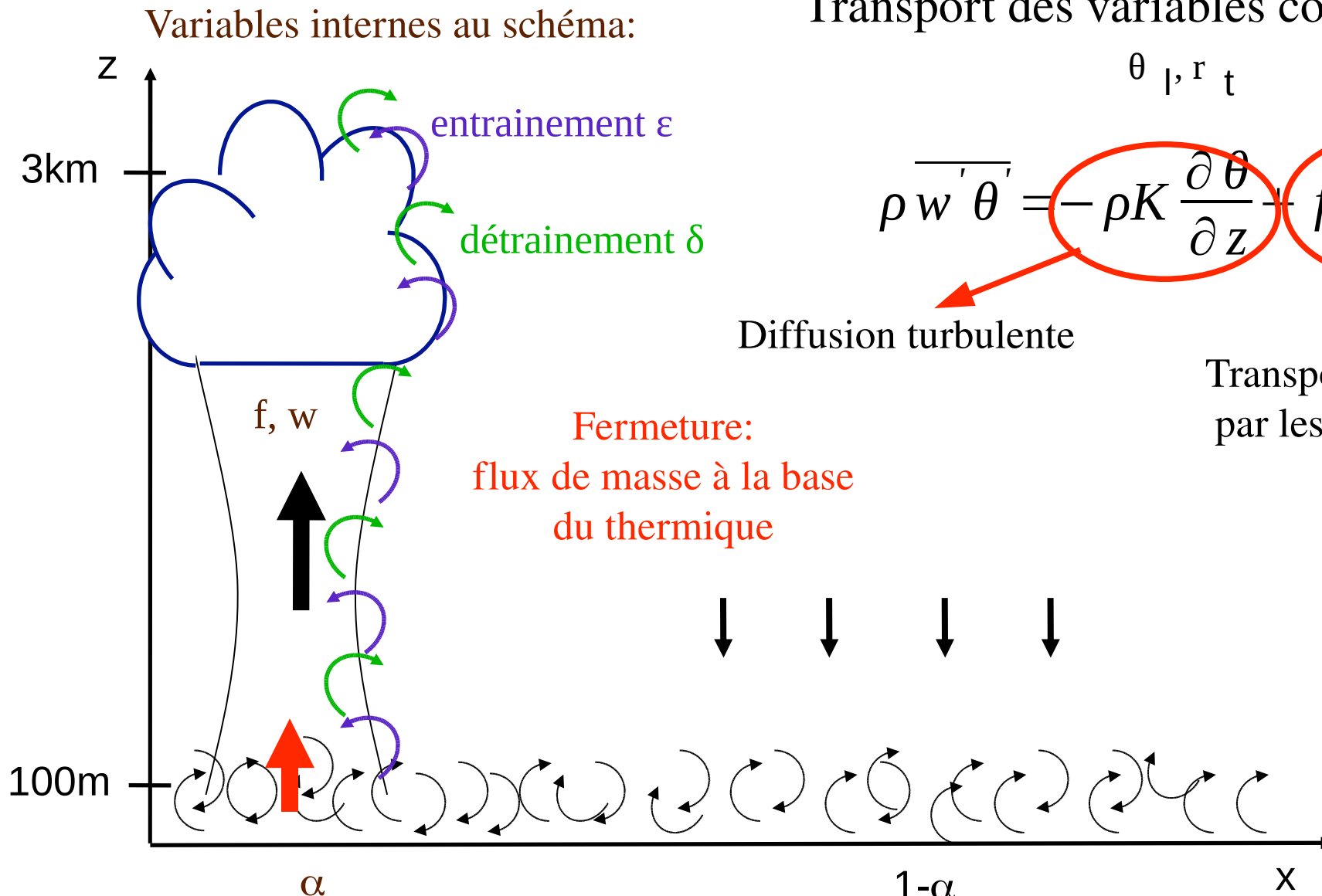
à leur paramétrisation

Des processus résolus...



# Le modèle du thermique nuageux

Rio & Hourdin, JAS, 2008



Transport des variables conservatives:

$$\rho \overline{w' \theta'} = -\rho K \frac{\partial \theta}{\partial z} - f(\theta_a - \theta)$$

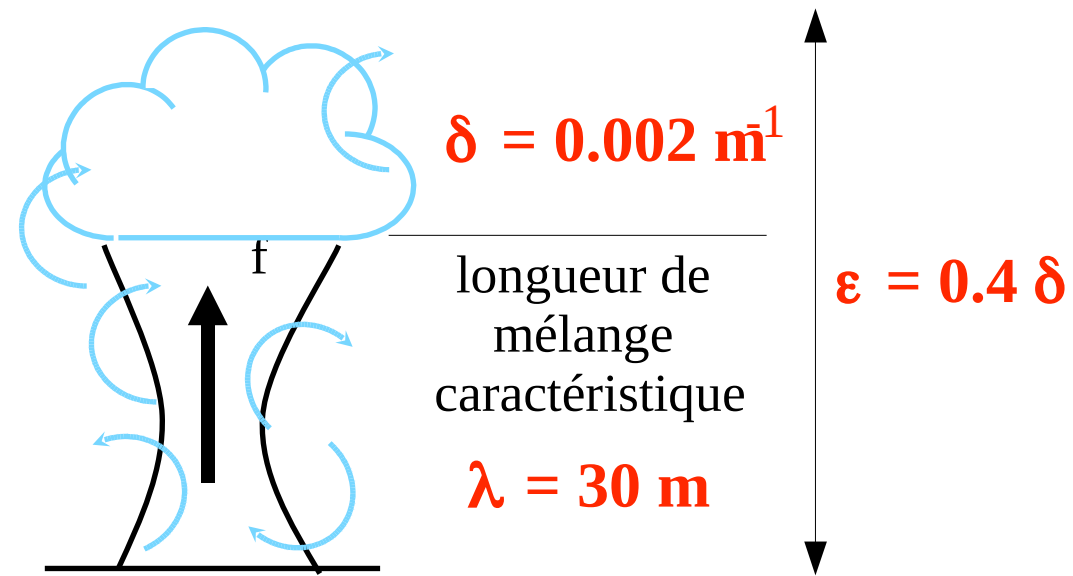
Diffusion turbulente

Transport non local  
par les thermiques

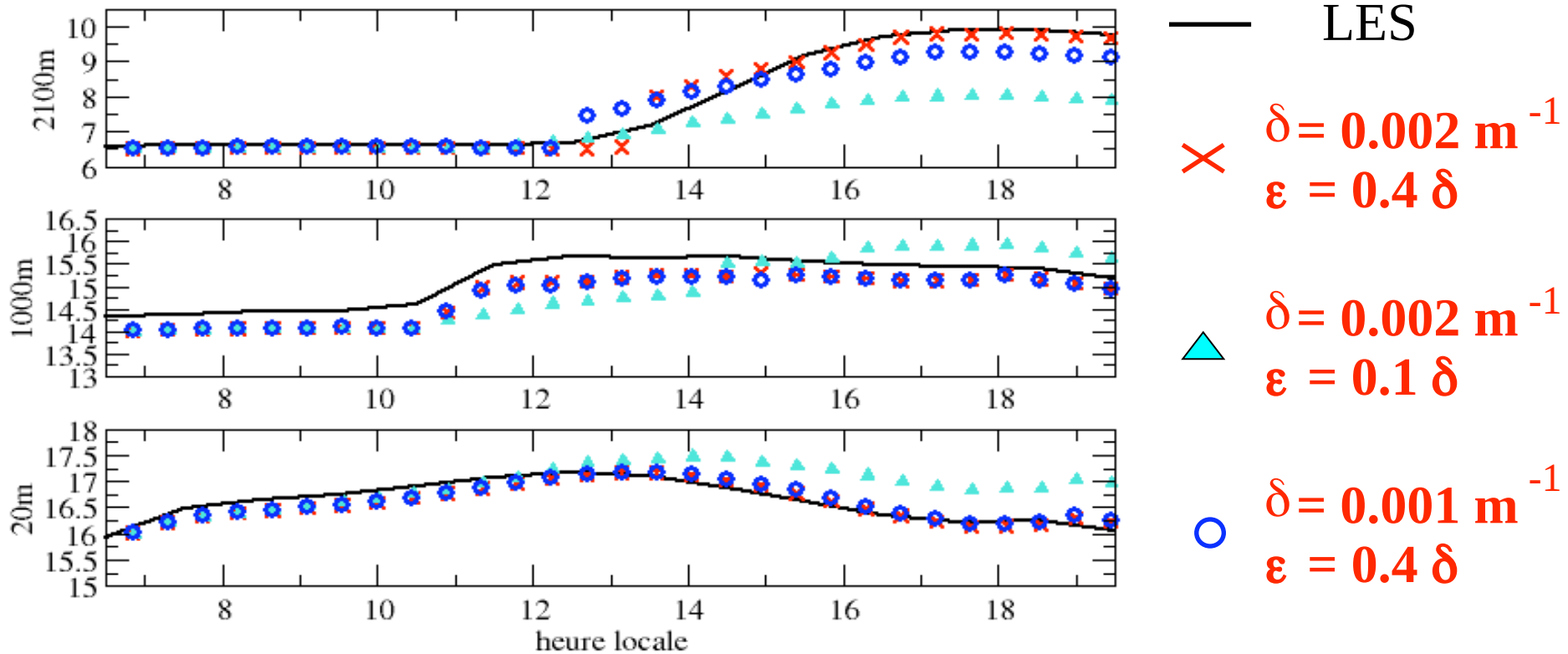
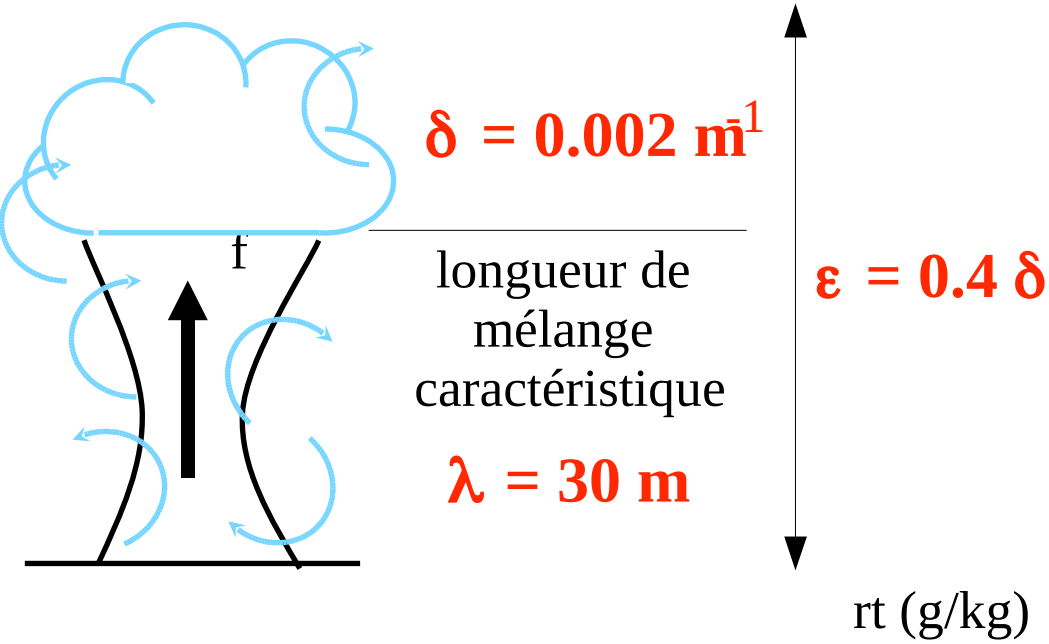
Fermeture:  
flux de masse à la base  
du thermique

Combinaison des approches diffusives et en flux de masse: Chatfield, JGR (1987), Hourdin & al., JAS (2002), Soares & al., QJRMS (2004), Siebesma & al., JAS (2007), Neggers & al., JAS (2009), Pergaud & al., BLM (2009)

# La prescription des taux de mélange



# La prescription des taux de mélange



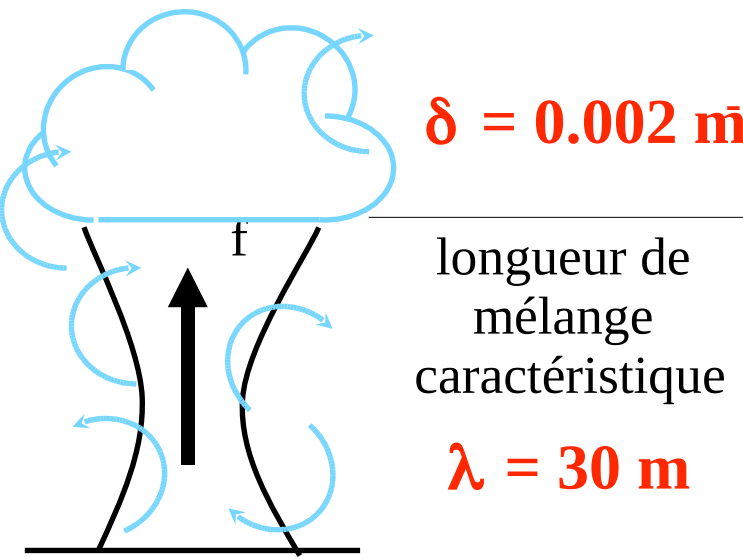
# La prescription des taux de mélange

Considérations géométriques



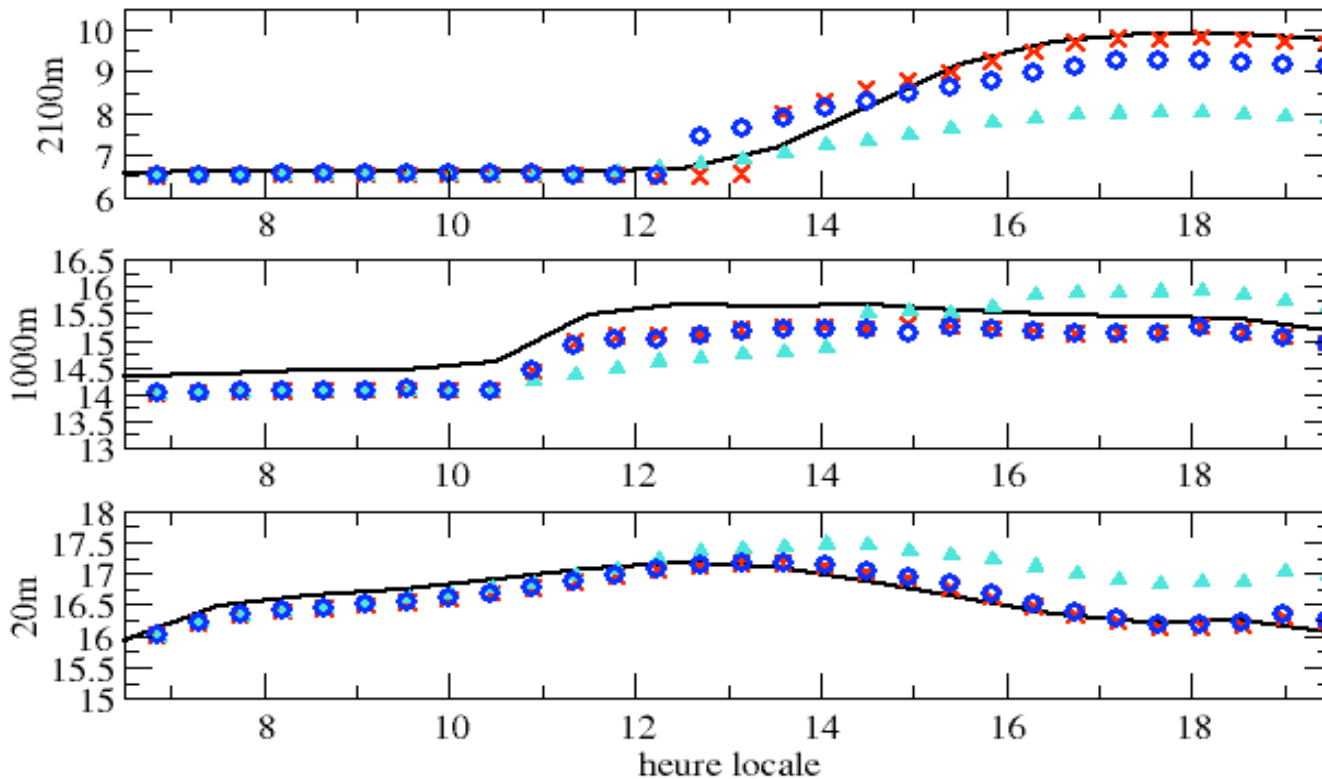
Formulation physique

Comment évaluer les variables internes à la paramétrisation?



$\epsilon = 0.4 \delta$

rt (g/kg)



- LES
- ×  $\delta = 0.002 \text{ m}^{-1}$   
 $\epsilon = 0.4 \delta$
- ▲  $\delta = 0.002 \text{ m}^{-1}$   
 $\epsilon = 0.1 \delta$
- $\delta = 0.001 \text{ m}^{-1}$   
 $\epsilon = 0.4 \delta$

## Une formulation continue des taux de mélange

$$\varepsilon = \max\left(0, \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \left(\frac{B}{W_u^2} - b\right)\right) + c_1$$

$$\delta = \max\left(0, -\beta_2 \left(\frac{B}{W_u^2} - b\right)\right) + c_2$$

**Equation de la vitesse verticale**

$$\frac{1}{2} \frac{\partial W_u^2}{\partial z} = \frac{B - bW_u^2}{1 + \beta_1}$$

# Une formulation continue des taux de mélange

Effet de l'accélération  
dans le panache

$$\varepsilon = \max\left(0, \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \left(\frac{B}{w_u^2} - b\right)\right) + c_1$$

$$\delta = \max\left(0, -\beta_2 \left(\frac{B}{w_u^2} - b\right)\right) + c_2$$

Effet de la décélération dans le panache

**Equation de la vitesse verticale**

$$\frac{1}{2} \frac{\partial w_u^2}{\partial z} = \frac{B - bw_u^2}{1 + \beta_1}$$

Prise en compte indirecte  
des forces de pression

# Une formulation continue des taux de mélange

Effet de l'accélération  
dans le panache

Effet du frottement

$$\varepsilon = \max\left(0, \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \left(\frac{B}{w_u^2} - b\right)\right) + c_1$$

$$\delta = \max\left(0, -\beta_2 \left(\frac{B}{w_u^2} - b\right)\right) + c_2$$

Effet de la décélération dans le panache

**Equation de la vitesse verticale**

$$\frac{1}{2} \frac{\partial w_u^2}{\partial z} = \frac{B - b w_u^2}{1 + \beta_1}$$

Frottements

Prise en compte indirecte  
des forces de pression



# Une formulation continue des taux de mélange

Effet de l'accélération  
dans le panache

Effet du frottement

$$\varepsilon = \max\left(0, \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \left(\frac{B}{w_u^2} - b\right)\right) + c_1$$

$$\delta = \max\left(0, -\beta_2 \left(\frac{B}{w_u^2} - b\right)\right) + c_2$$

Effet des structures  
petite échelle

Effet de la décélération dans le panache

## Equation de la vitesse verticale

$$\frac{1}{2} \frac{\partial w_u^2}{\partial z} = \frac{B - b w_u^2}{1 + \beta_1}$$

Frottements

Prise en compte indirecte  
des forces de pression

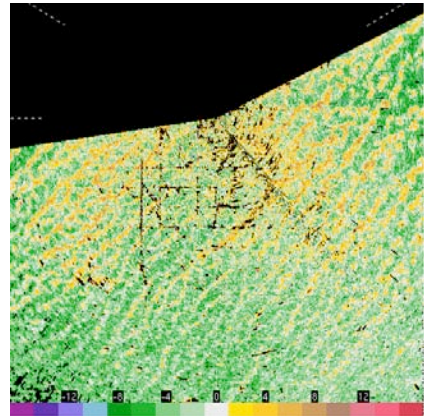
# Résolution explicite des structures par LES

IHOP case : Couvreur et al. (2005)

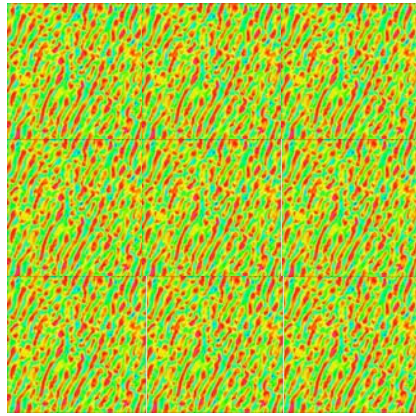
CBL continentale en ciel clair

Radar observations

LES

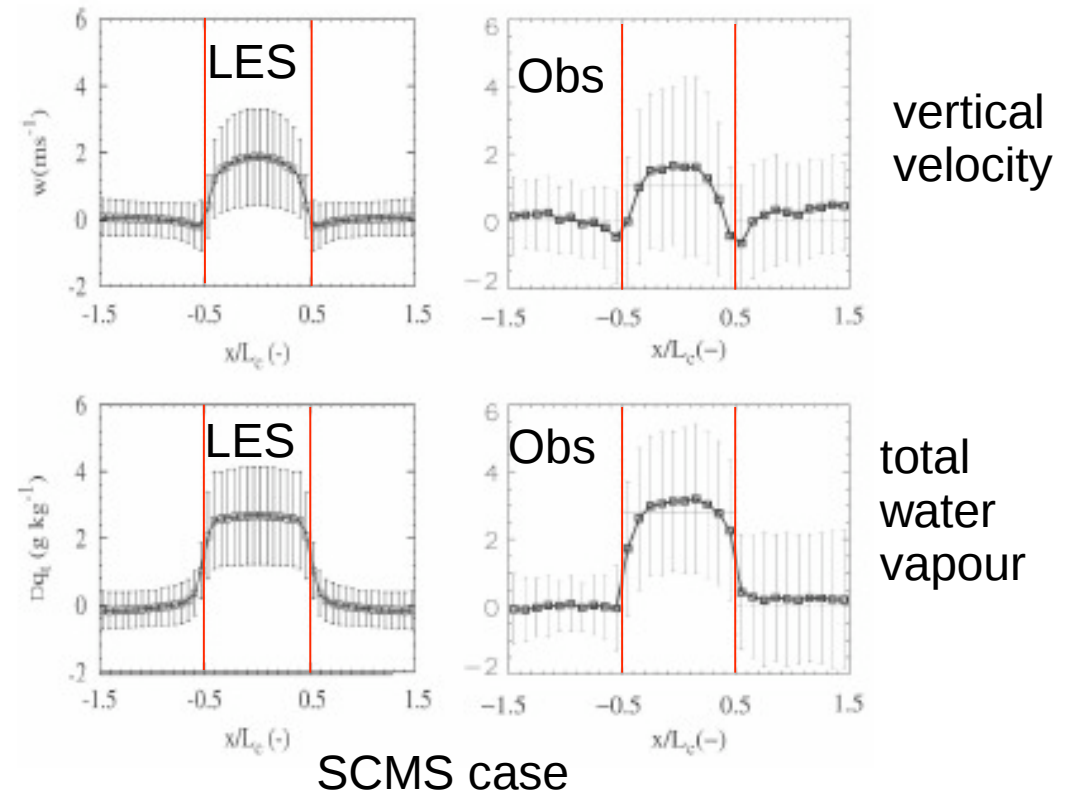


30 km



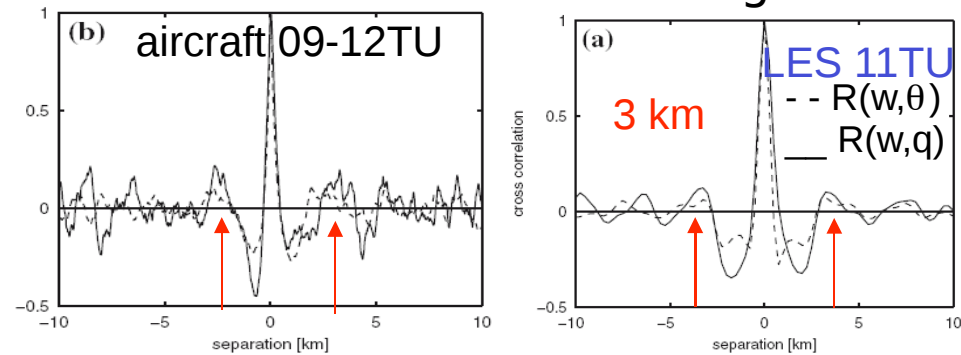
30 km

Horizontal distribution at the cloud-edge  
(Heus et al 2008)



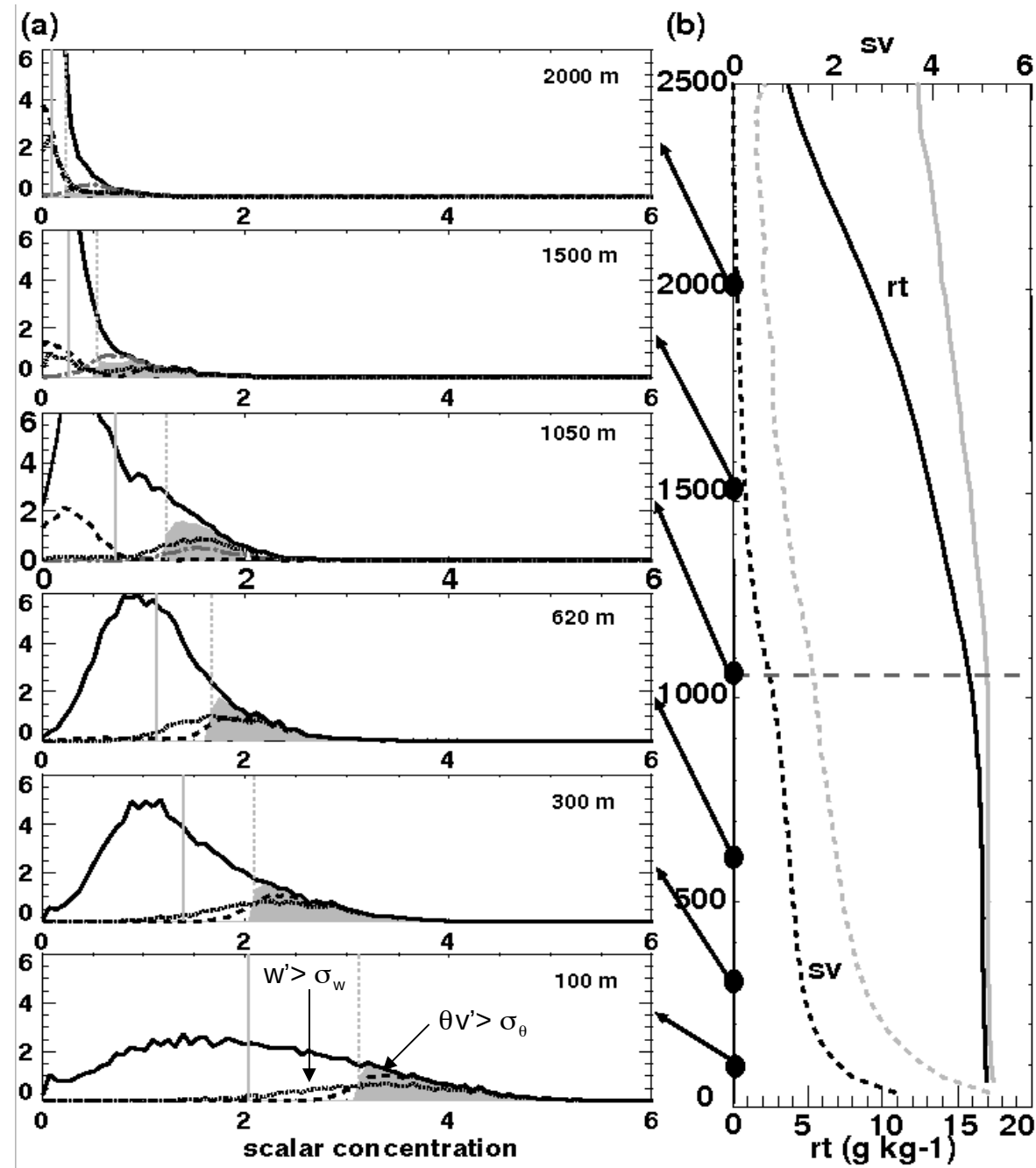
HAPEX Sahel: Lothon et al. (2007)

CL africaine sans nuage



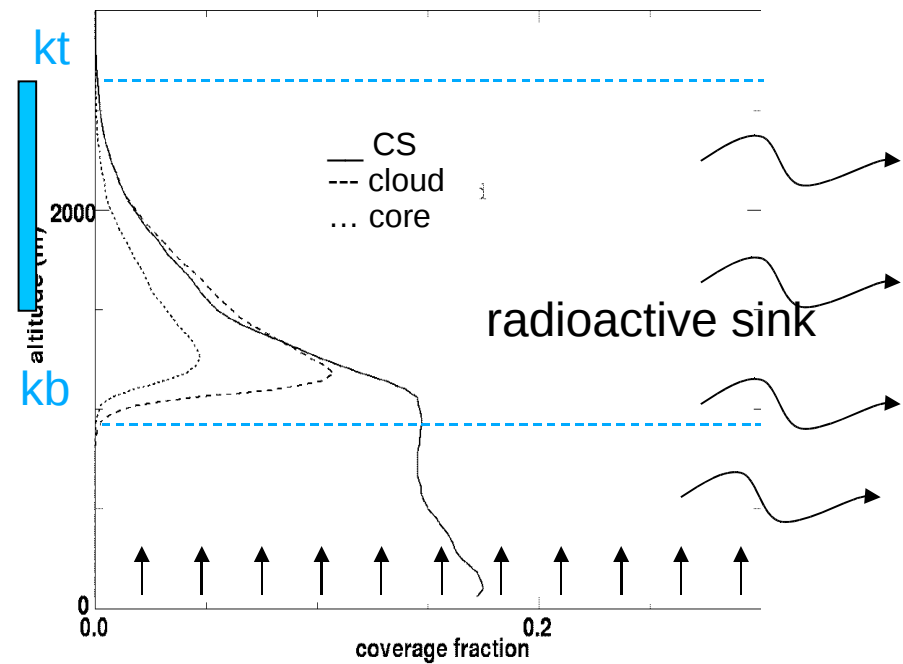
- LES outil adapté pour l'étude des structures cohérentes (nuages, thermiques)
- Fournit champs 4D, faible sensibilité aux paramétrisations

# Un échantillonnage conditionnel pour caractériser les thermiques de la surface au sommet des nuages

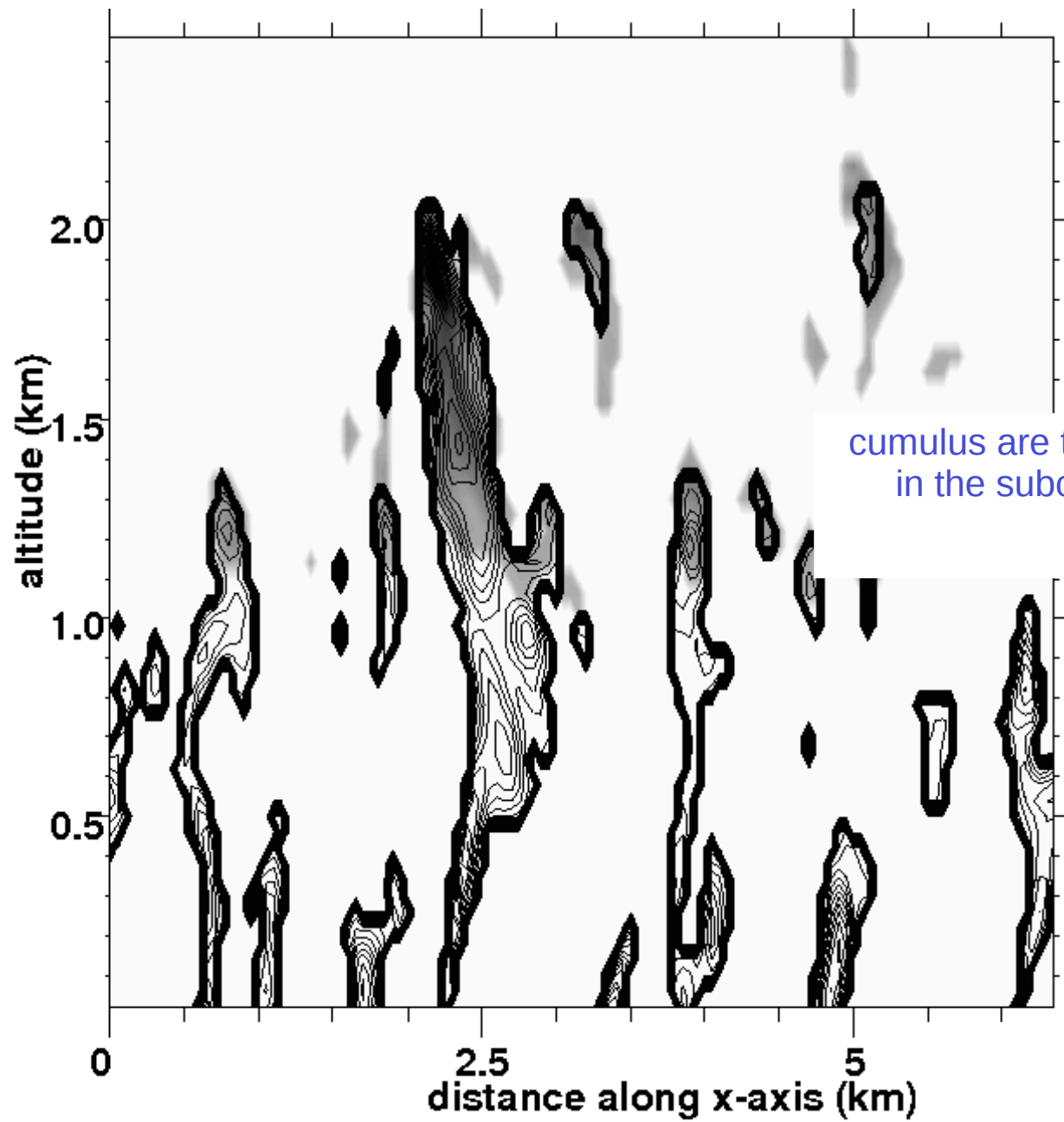


$$s' > \sigma_s + w > 0$$

$$+ rc > 0 \quad (kb + 1/4hc \rightarrow kt)$$

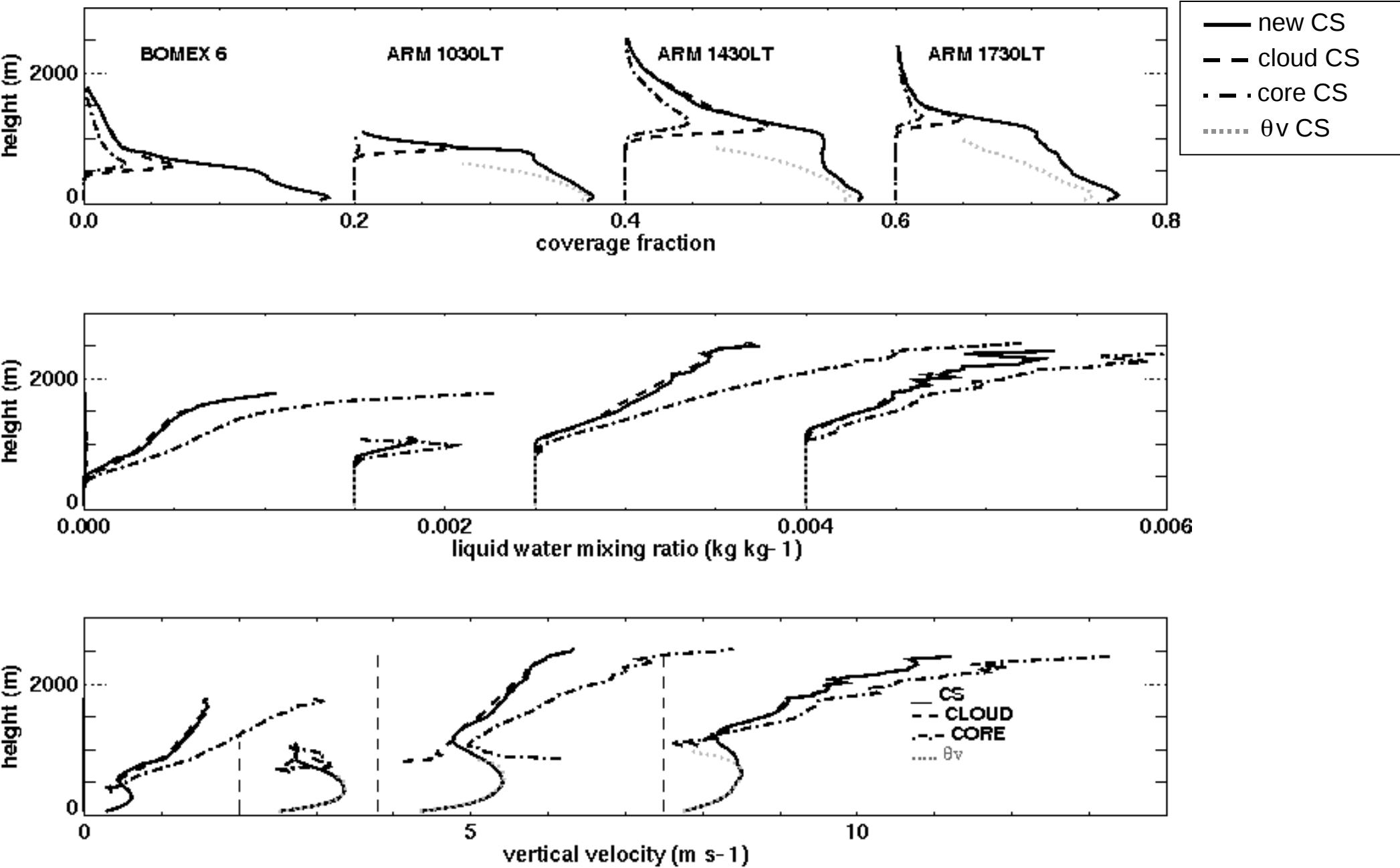


# Exemple de sélection par le CS



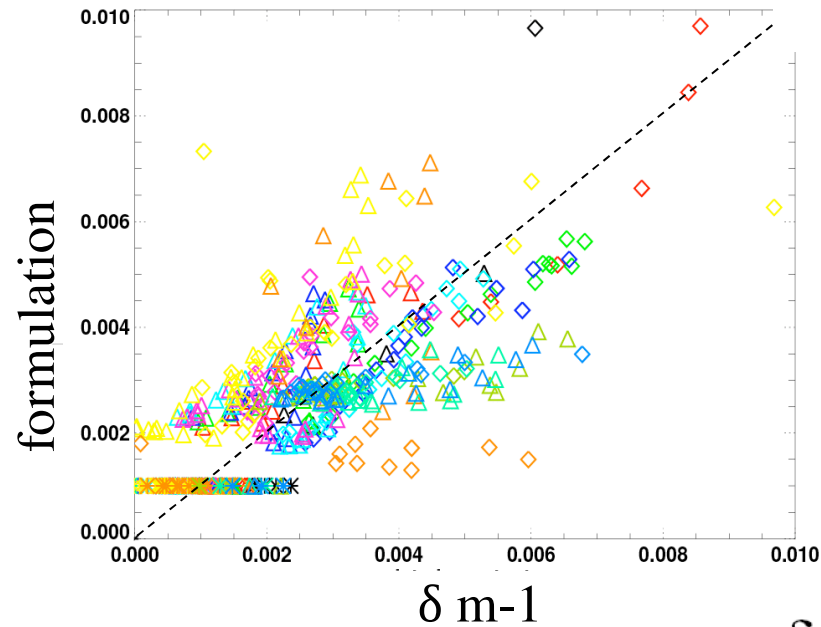
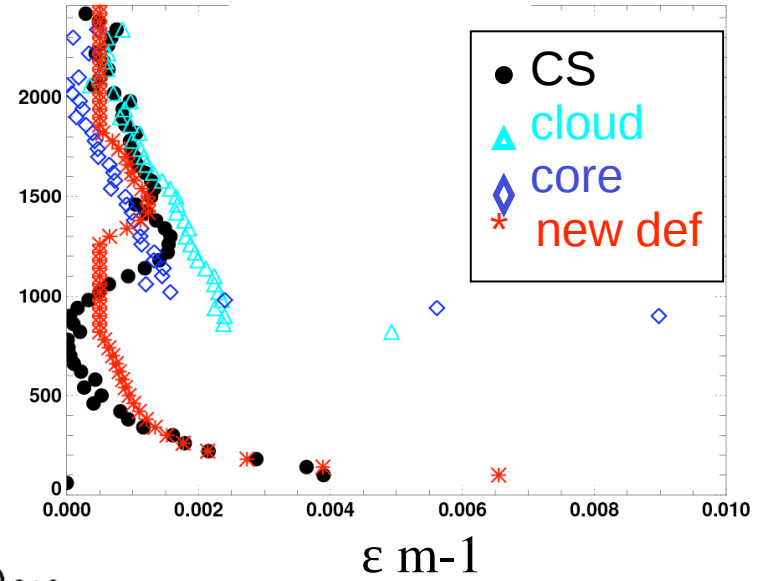
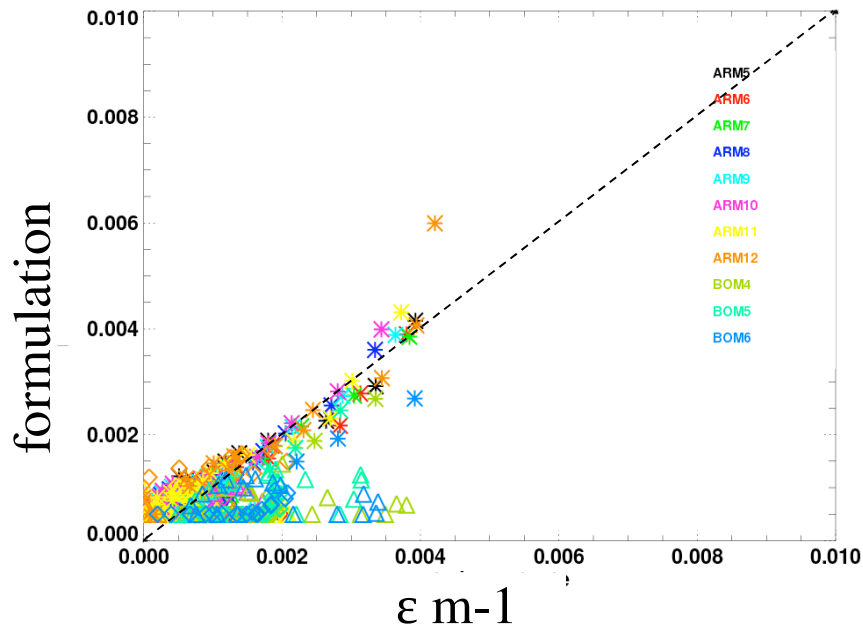
cumulus are the saturated, visible part of updrafts rooted in the subcloud layer...LeMone and Pennell (1976)

# Evaluation de l'échantillonnage pour CL avec cumulus



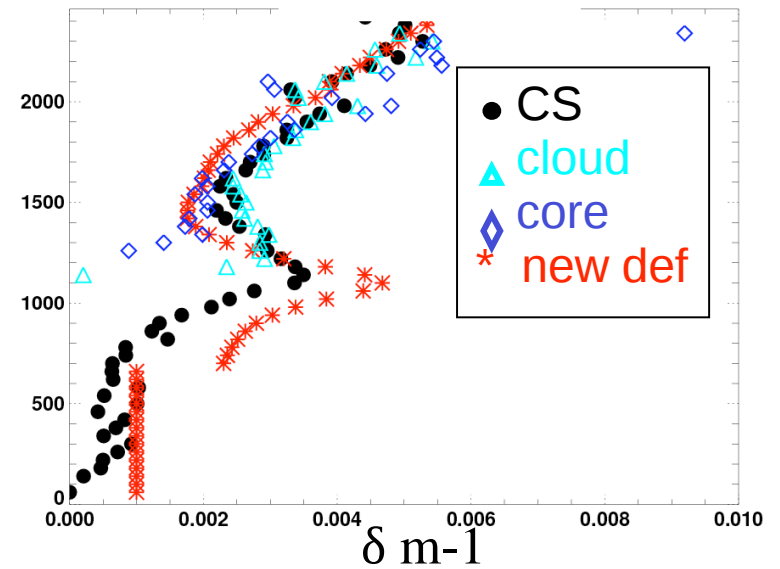
# Validation de la formulation dans la LES

ARM 14:30LT

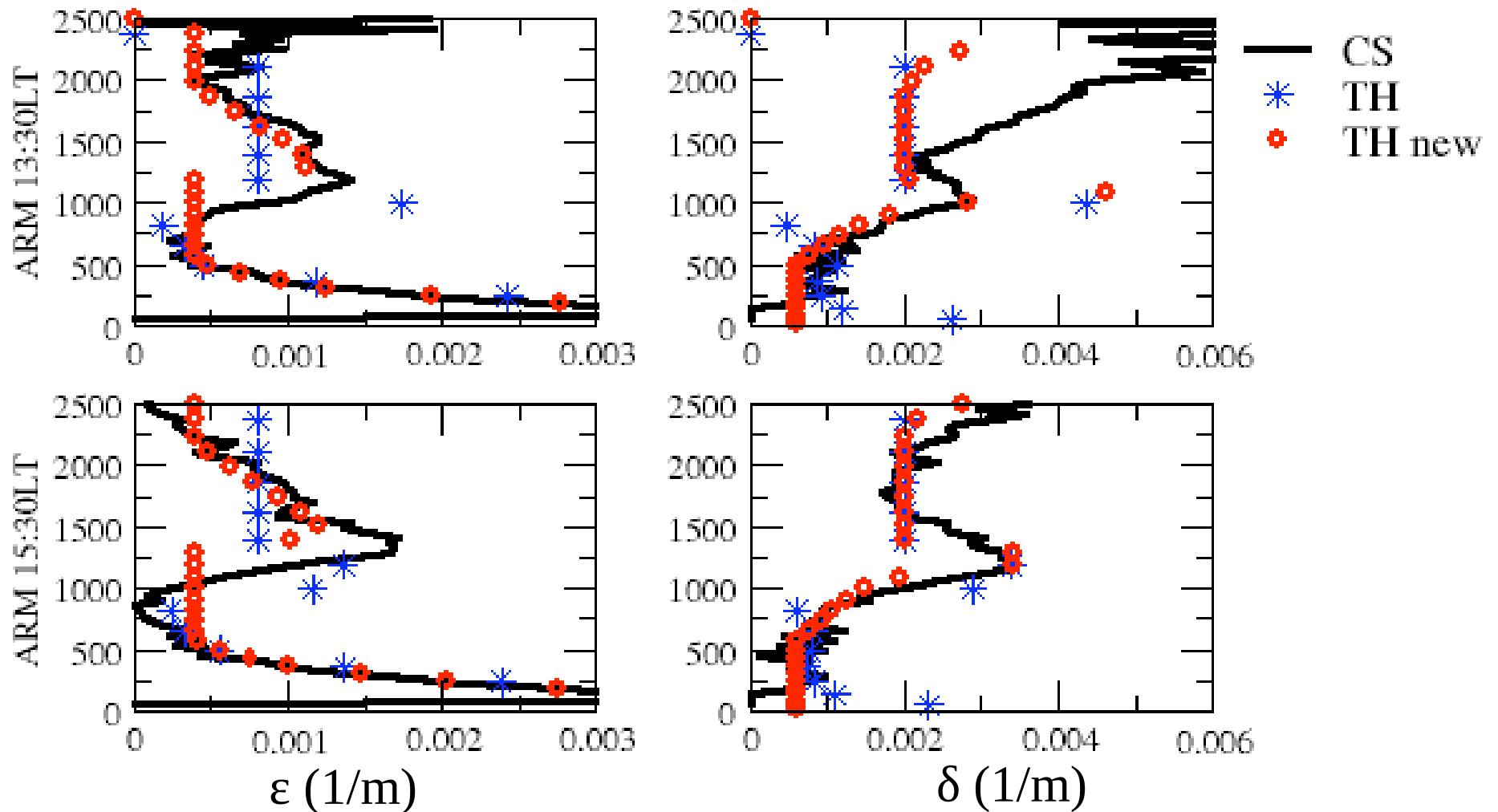


$$\epsilon = \frac{1}{\psi - \psi_u} \frac{\partial \psi_u}{\partial z}$$

$$\delta = \frac{-1}{f} \frac{\delta f}{\delta z} + \epsilon$$

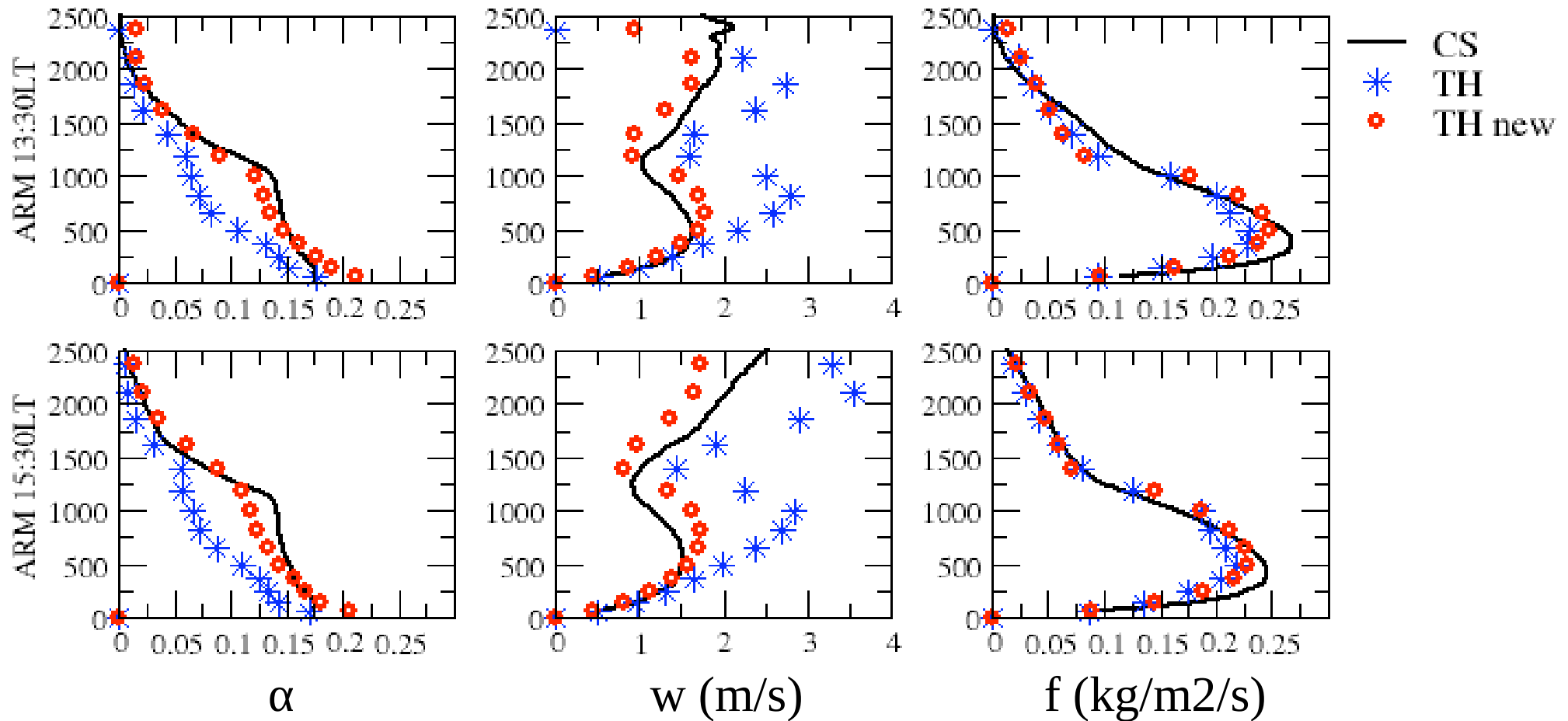


# Introduction de la formulation dans le modèle du thermique



- › Décroissance du taux d'entrainement près de la surface et de la base au sommet des nuages
  - › Augmentation du taux de détrainement sous la base et le sommet des nuages

# Caractéristiques des thermiques



- Meilleure représentation de la vitesse verticale et de la fraction couverte par les thermiques



# Conclusions

- Analyse conditionnelle permettant de sélectionner les thermiques de la surface au sommet des nuages dans les LES: un nouvel outil prometteur pour l'évaluation et l'amélioration des paramétrisations des thermiques de couche limite.
- Formulation continue des taux de mélange entre thermiques et environnement qui permet une meilleure représentation des variables internes au modèle du thermique.
- Même méthodologie pour d'autres processus physiques à paramétrer ?  
dry tongues, impact des structures petite échelle sur le mélange...