

Vers une paramétrisation des thermiques commune à AROME et ARPEGE

Y. Bouteloup
CNRM/GAME
Météo-France and CNRS

Atelier de Modélisation de l'Atmosphère
Session DEPHY 22 janvier 2013





Plan de la présentation

- Le cadre de la prévision numérique du temps à Météo-France
- Les différences entre ARPEGE et AROME (mélange vertical sous-maille)
- Les raisons d'une convergence
- La stabilisation numérique du schéma pour ARPEGE
- Autres problèmes et solutions actuelles
- Conclusion et perspectives
- Bibliographie des articles cités

ARPEGE/ALADIN/AROME/IFS/HARMONIE

un code commun

GLOBAL (variable mesh or not) or LAM (choice made by NAMELIST)

Two dynamical cores (choice made by namelist)

Hydrostatic

Non hydrostatic

A set of physical packages (choice made by NAMELIST)

Hirlam

ALARO
3MT concept
~4km

ARPEGE
ALADIN-MF
200km → 8km

AROME
MESO-NH
2.5km

IFS
~15km

3D/4D
Variational
Algorithmic
structure

Obs
operators

OI assimilation scheme
Used only for surface

Paramétrisation du mélange vertical sous-maille dans la couche limite des modèles opérationnels de Météo-France

Tous les modèles de PNT (AROME, ARPEGE et ALADIN-MF) utilisent le concept « EDMF » (Hourdin et al 2002, Soares et al 2004, Siebesma et al 2007)

$$\overline{w'\phi'} = -K \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial z} + \frac{M_u}{\rho} (\phi_u - \bar{\phi}) \quad \text{avec} \quad K = cL_{BL89} \sqrt{TKE}$$

et
$$L_{BL89} = \left[\frac{(l_{up})^{-\frac{2}{3}} + (l_{down})^{-\frac{2}{3}}}{2} \right]^{-\frac{3}{2}}$$
 où l_{up} and l_{down} sont calculés en utilisant La flottabilité sèche (Bougeault and lacarrère 1989)

ARPEGE et ALADIN-MF

AROME

Les équations
du schéma TKE
sont les mêmes



➤ Schéma en énergie cinétique turbulente pronostique « CBR » (Cuxart et al 2000)

➤ Convection peu profonde en flux de masse « KFB » (Bechtold et al 2001)

➤ Schéma en énergie cinétique turbulente pronostique « CBR » (Cuxart et al 2000)

➤ Convection peu profonde et thermique sec en flux de masse « EDKF » (Pergaud et al 2009)

Les raisons d'une convergence et les problèmes ...

- Pas de thermique sec dans KFB
- Pas de mélange du vent dans KFB
- Approche « seamless »
- Un modèle global est un banc d'essai éprouvant pour les paramétrisations
- Par contre il utilise de grands pas de temps → T107 $\Delta t = 1800s$
- On a rencontré de gros problèmes de stabilité (explosion au bout de quelques pas de temps) même avec des pas de temps relativement petits (150s)
- La solution à ce problème de stabilité numérique est finalement venue d'une discrétisation implicite commune à la partie diffusive et à la partie flux de masse.

Traitement implicite de la partie flux de masse dans EDKF (1)

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{\psi} = \rho \overline{w'\psi'} = M(\psi_u - \bar{\psi}) \\ \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)_{MF} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} F_{\psi} \end{array} \right.$$

On résout la deuxième équation de manière implicite : $F_{\psi} = (1 - z_i)F_{\psi}^- + z_i F_{\psi}^+$

$$F_{\psi}^+ = F_{\psi}^- + \delta F_{\psi} = F_{\psi}^- + \frac{\partial F_{\psi}}{\partial \psi} \delta \psi = F_{\psi}^- - M(\tilde{\psi}^+ - \tilde{\psi}^-)$$

Ce qui donne : $\left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)_{MF} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(F_{\psi}^- - \underbrace{z_i M(\tilde{\psi}^+ - \tilde{\psi}^-)}_{\text{Correction implicite}} \right)$

J+1	$\psi(j+1)$	
J+1	_____	$F_{\psi} \quad M \quad \tilde{\psi}$	
J	$\psi(j)$	
J	_____	$F_{\psi} \quad M \quad \tilde{\psi}(j) = 0.5\psi(j) + 0.5\psi(j-1)$	
J-1	$\psi(j-1)$	

Traitement implicite de la partie flux de masse dans EDKF (2)

Ce qui donne :

$$\begin{aligned} \psi^+(j) - \psi^-(j) = & \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} \left[F_{\psi}^-(j+1) - F_{\psi}^-(j) \right. \\ & - z_i M(j+1) \left(0.5 \psi^+(j+1) + 0.5 \psi^+(j) - 0.5 \psi^-(j+1) - 0.5 \psi^-(j) \right) \\ & \left. + z_i M(j) \left(0.5 \psi^+(j) + 0.5 \psi^+(j-1) - 0.5 \psi^-(j) - 0.5 \psi^-(j-1) \right) \right] \end{aligned}$$

En regroupant les termes + à gauche on obtient le système tridiagonal suivant :

$$\begin{aligned} & \psi^+(j+1) \left[0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} z_i M(j+1) \right] \\ & + \psi^+(j) \left[1 + 0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} z_i M(j+1) - 0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} z_i M(j) \right] \\ & - \psi^+(j-1) \left[0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} z_i M(j) \right] = \psi^-(j) + \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} \left(F_{\psi}^-(j+1) - F_{\psi}^-(j) \right) \\ & \quad + 0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} z_i M(j+1) \left(\psi^-(j+1) + \psi^-(j) \right) \\ & \quad - 0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z} z_i M(j) \left(\psi^-(j) + \psi^-(j-1) \right) \end{aligned}$$

Traitement implicite de la diffusion

L'équation de la diffusion verticale, $\left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right)_{eddy} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)$

est discrétisée de la manière suivante :

$$\psi^+(j) - \psi^-(j) = -\frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \left[\frac{k(j+1)}{\Delta z(j+1)} (\psi^+(j+1) - \psi^+(j)) - \frac{k(j)}{\Delta z(j)} (\psi^+(j) - \psi^+(j-1)) \right]$$

Ce qui donne ce système tridiagonal simple :

$$\begin{aligned} & \psi^+(j+1) \left[\frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \frac{k(j+1)}{\Delta z(j+1)} \right] \\ & + \psi^+(j) \left[1 - \frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \left(\frac{k(j+1)}{\Delta z(j+1)} + \frac{k(j)}{\Delta z(j)} \right) \right] \\ & + \psi^+(j-1) \left[\frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \frac{k(j)}{\Delta z(j)} \right] = \psi^-(j) \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} J+1 \text{ } \psi(j+1) \\ J+1 \text{ ————— } \frac{\partial \psi}{\partial z}(j+1) \\ J \text{ } \psi(j) \\ J \text{ ————— } \frac{\partial \psi}{\partial z}(j) \end{array}$$

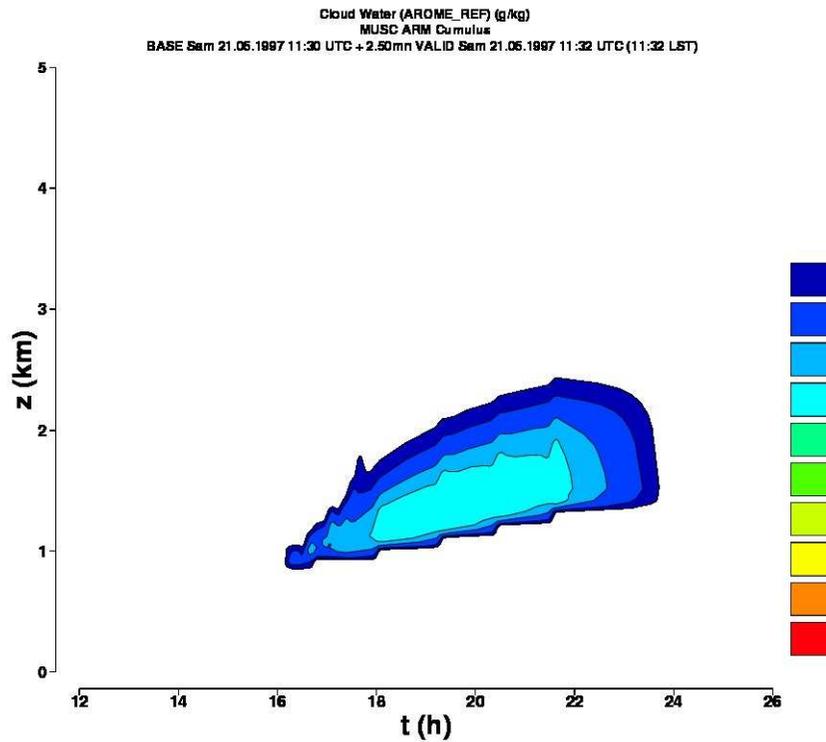
Résolution implicite conjointe du flux de masse et de la diffusion

La discrétisation de l'équation EDMF complète :
$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial t}\right)_{edmf} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(-k \frac{\partial \psi}{\partial z} + M(\psi_u - \bar{\psi}) \right)$$

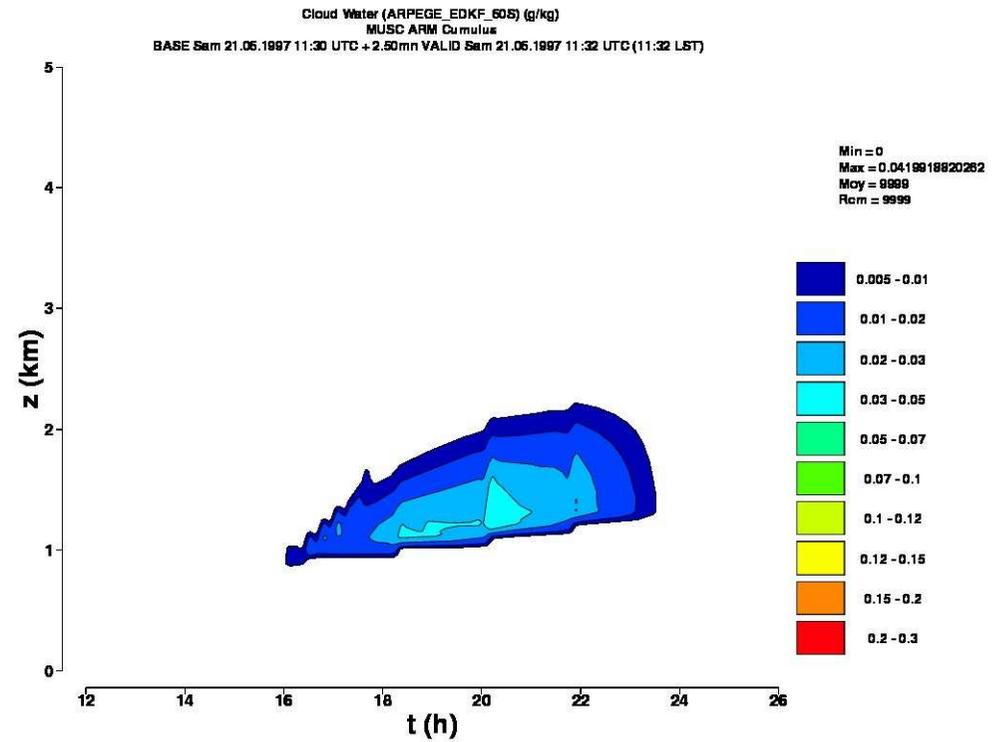
va donc donner le système tridiagonal suivant :

$$\begin{aligned} & \psi^+(j+1) \left[\frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \left(\frac{k(j+1)}{\Delta z(j+1)} + 0.5M(j+1) \right) \right] \\ & + \psi^+(j) \left[1 - \frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \left(\frac{k(j+1)}{\Delta z(j+1)} + \frac{k(j)}{\Delta z(j)} + 0.5M(j+1) - 0.5M(j) \right) \right] \\ & + \psi^+(j-1) \left[\frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} \left(\frac{k(j)}{\Delta z(j)} + 0.5M(j) \right) \right] = \psi^-(j) + \frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} (F_{\psi}^-(j+1) - F_{\psi}^-(j)) \\ & \quad + 0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} M(j+1) (\psi^-(j+1) + \psi^-(j)) \\ & \quad - 0.5 \frac{\Delta t}{\rho \Delta z(j)} M(j) (\psi^-(j) + \psi^-(j-1)) \end{aligned}$$

Visualisation en 1D sur le cas Arm Cumulus (1)



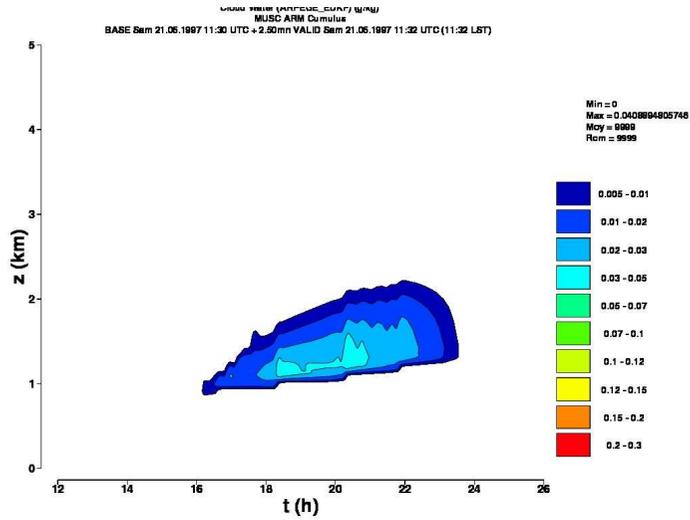
Eau liquide nuageuse AROME 60s



Eau liquide nuageuse ARPEGE 60s

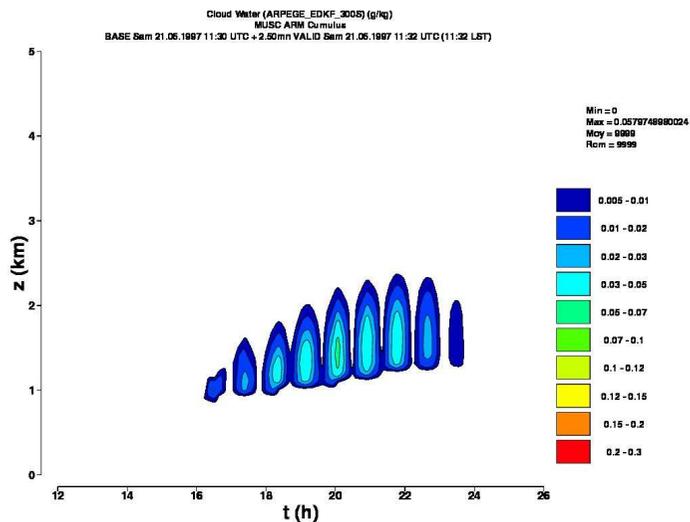
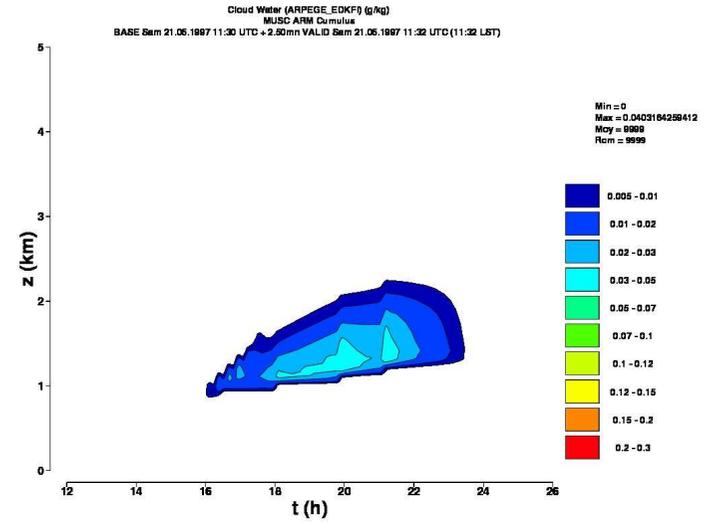
Visualisation en 1D sur le cas Arm Cumulus (2)

ARPEGE implicite séparé

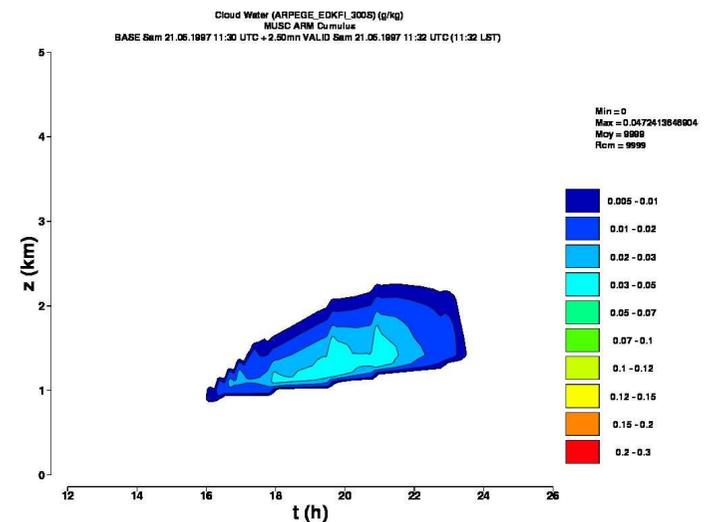


150s

ARPEGE implicite conjoint



300s

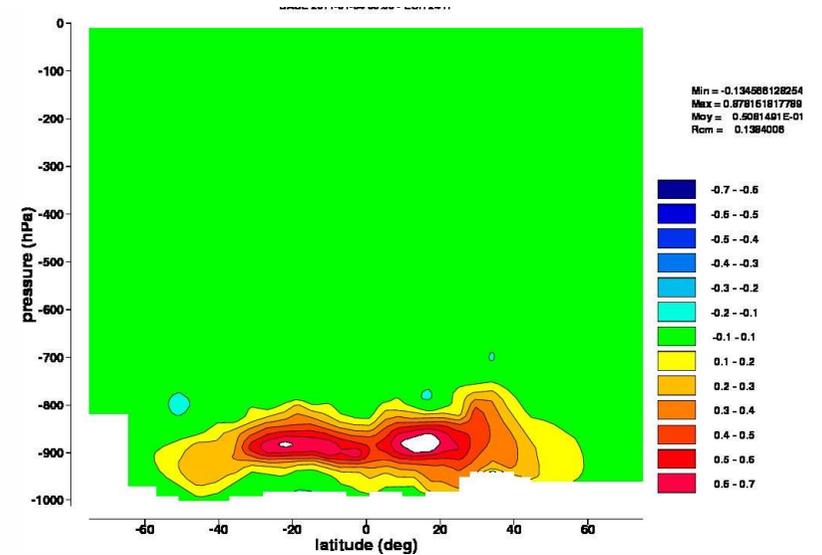


Impact en moyenne zonale de EDKF dans ARPEGE ($\Delta t=600s$)

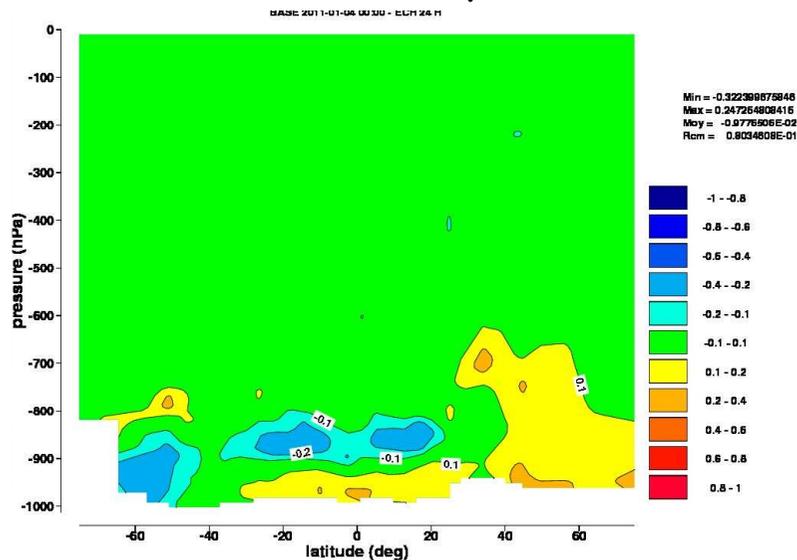
Tendance en moyenne zonale de l'eau vapeur g/kg/day

Trop de vapeur d'eau vers 850hpa

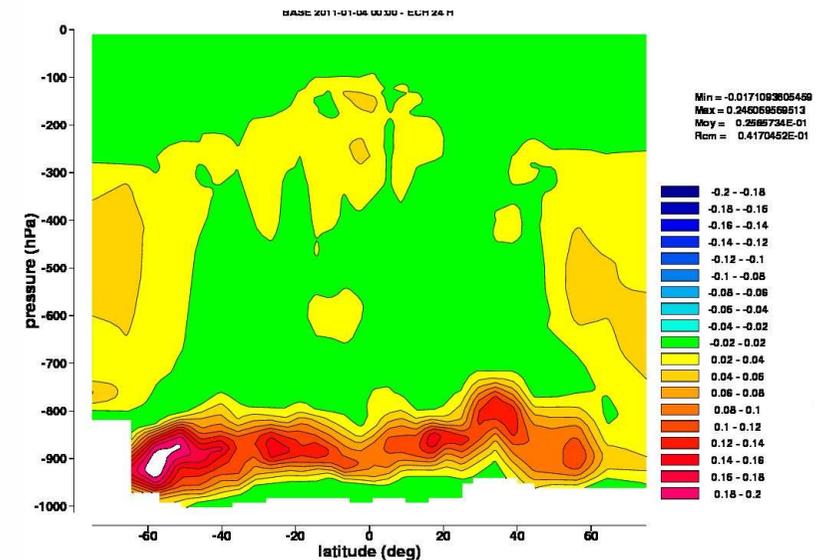
→ Trop de nuages → impact en température



Tendance de la température



Tendance de la nébulosité



Revenons dans le modèle 1D : Comparaison de EDKF au LES sur la cas Arm Cumulus (Pergaud et al 2009)

Le flux de masse est trop faible dans le nuage

Le flux de masse est trop fort dans la partie sèche

La fraction de l'updraft est trop faible, peut-être en raison d'une vitesse verticale trop forte

L'entraînement est nul à la base du nuage

Le détrainement est trop fort à la base du nuage

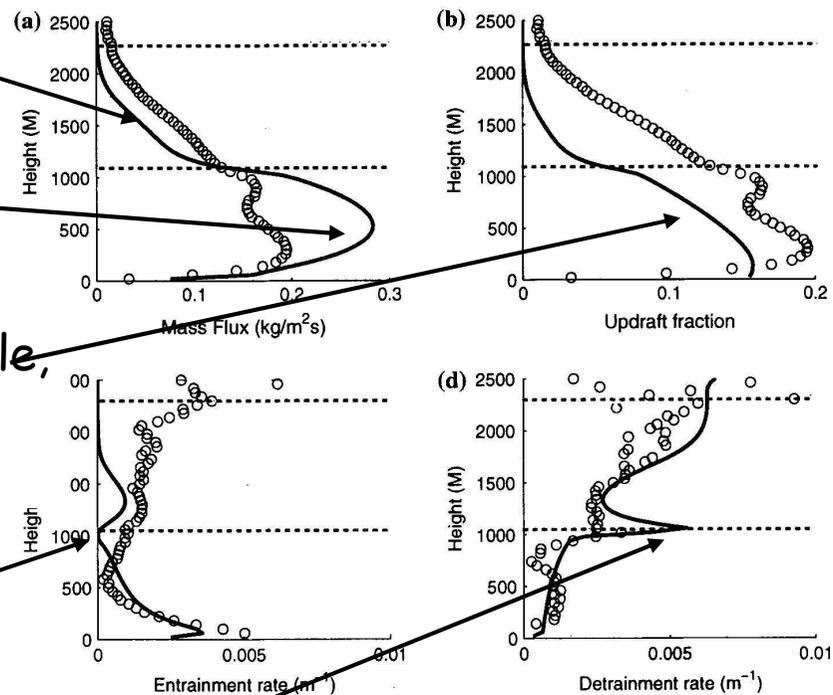


Fig. 9 ARM case: Mass flux (a), updraft fraction (b), entrainment ϵ (c) and detrainment δ (d) profiles after 8 h of simulation. Solid line represents 1D results and circles are LES values obtained by conditional sampling. The dashed lines represent the cloud base and top

Figure 9 de Pergaud et al (2009)

Entraînement et déentraînement de Rio et al (2010)

Schéma des thermiques

EDKF

Équation de la vitesse verticale :

$$\frac{1}{2} \frac{\partial w_u^2}{\partial z} = a_1 B_u - (b + \varepsilon) w_u^2$$

$$\left(\frac{1}{2} \frac{\partial w_u^2}{\partial z} = a_1 B_u - \varepsilon w_u^2 \right)$$

Entraînement :

$$\varepsilon = \max \left(0, \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \left(a_1 \frac{B_u}{w_u^2} - b \right) \right)$$

$$\left(\varepsilon_{dry} = \max \left(0, C_\varepsilon \frac{B_u}{w_u^2} \right) \right)$$

Déentraînement :

$$\delta = \max \left(0, -\frac{a_1 \beta_1}{1 + \beta_1} \frac{B_u}{w_u^2} + c \left(\frac{\Delta r_t / r_t}{w_u^2} \right)^d \right)$$

$$\left(\delta_{dry} = \max \left(\frac{1}{L_{up} - z}, C_\delta \frac{B_u}{w_u^2} \right) \right)$$

Dans le nuage EDKF utilise la formulation de Kain and Fritsch (1990)

Les constantes de réglage valent :

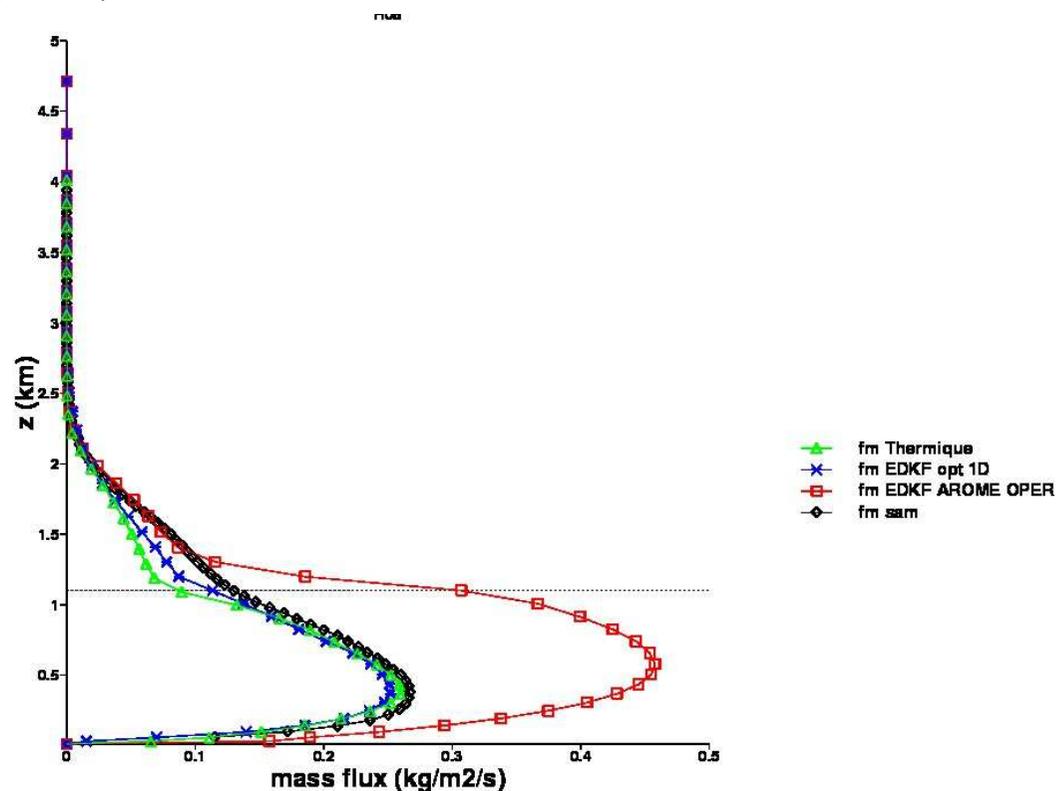
$$\beta_1 = 0.9 \quad b = 0.002 \quad a_1 = 2/3$$

$$d = 0.5 \quad c = 0.012$$

$$\Rightarrow \frac{a_1 \beta_1}{1 + \beta_1} = 0.32 \quad \text{À comparer à} \quad C_\varepsilon = 0.55 \quad \text{et} \quad C_\delta = -10$$

Impact de l'entraînement et du déentraînement de Rio et al (2010)

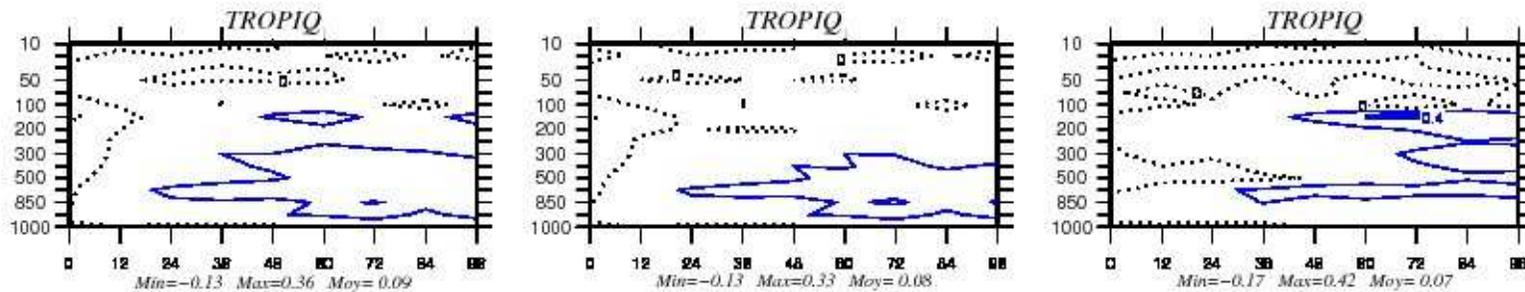
➤ Le codage de l'entraînement de Rio et al (2010) permet de retrouver des résultats similaires au schéma des thermiques de l'IPSL en 1D sur le cas ARM cumulus continental. Comparaison au « sampling » de LES de Couvreux et al (2010)



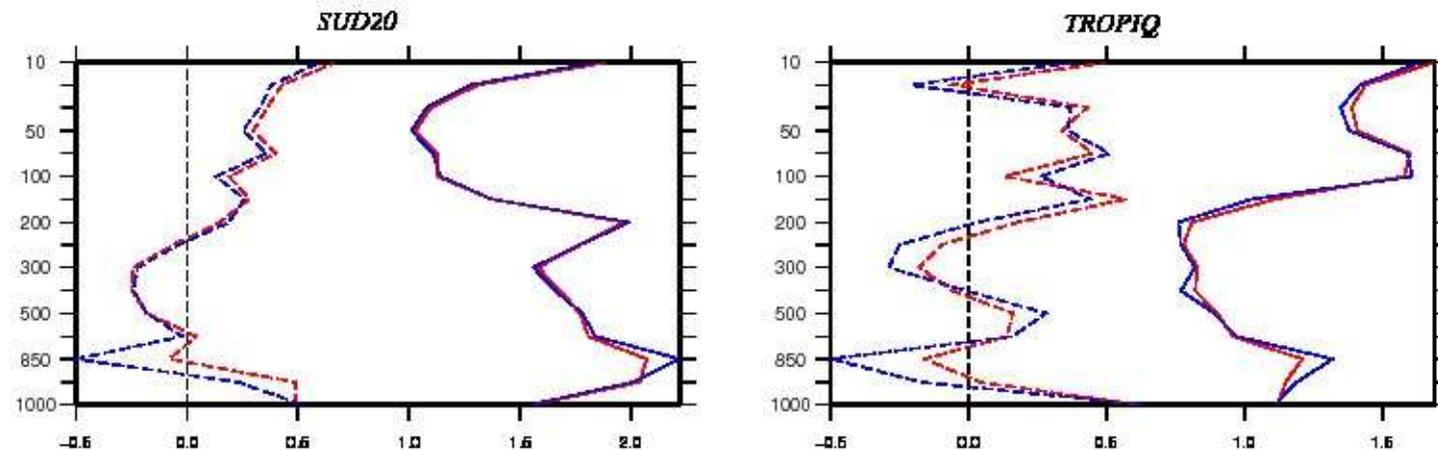
Flux de masse cas ArmCu

Résultats en 3D global dans ARPEGE

Le score de vent (TP) zone « tropique » est amélioré



Par contre on aggrave le biais froid vers 850 hpa (ici à 72h/AC)



Origine du refroidissement ...

Il est possible que l'origine de ce refroidissement ne soit pas un défaut du schéma mais une mauvaise interaction avec la convection profonde (Yano and Plant 2012, Arakawa and Schubert 1974)

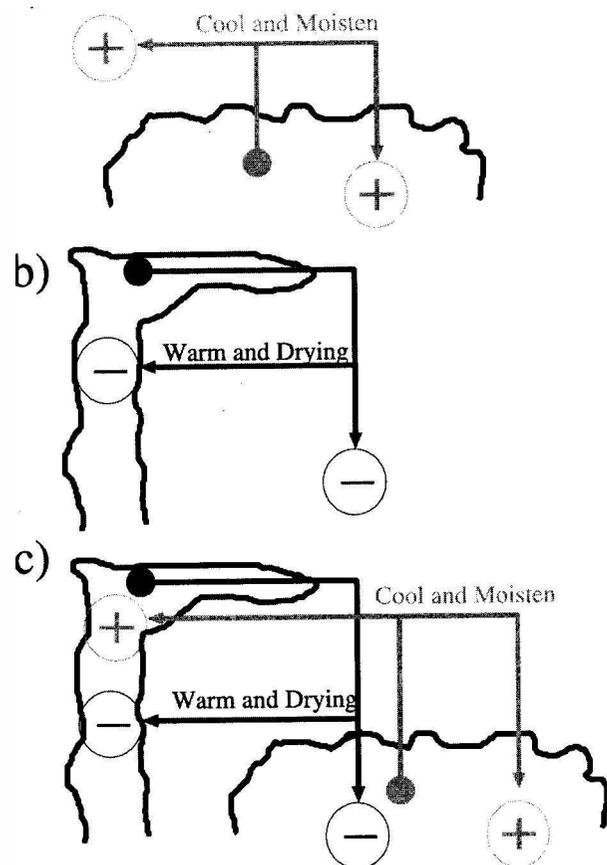


Figure 1 from Yano and Plant (2012)

« The dominant action of shallow convection arises from detrainment of cloudy air around cloud top. Typically, the detrained cloud water evaporates as it mixes with the environment, and the resulting cooling destabilizes the atmosphere. » (Yano and Plant 2012)

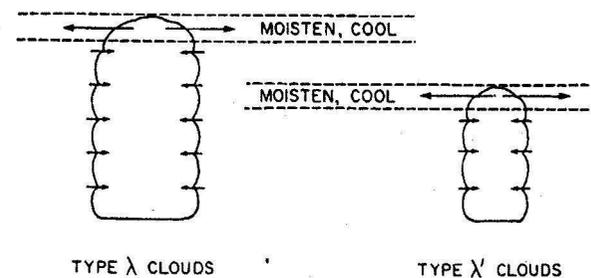


Figure 12 from Arakawa and Shubert (1974)

Conclusions et perspectives

- EDKF avec les formulations de Rio et al (2010) et la résolution implicite conjointe à la partie diffusivité et à la partie flux de masse tourne sans aucun problème de stabilité numérique dans ARPEGE, y compris en 4DVAR, avec des pas de temps allant jusqu'à 1800s en T107.
- Le comportement est globalement meilleur que le modèle opérationnel actuel.
- Le problème du biais froid tropical semble être lié à une mauvaise interaction avec le schéma de convection profonde (Yano and Plant 2012, Arakawa and Schubert 1974)
- Ceci expliquerait pourquoi le problème ne semble pas se voir dans AROME où la convection profonde est résolue.
- Il est prévu de tester EDKF associé au nouveau schéma de convection profonde pronostique PCMT (présentation de Jean-Marcel Piriou).
- Le problème de l'interaction avec la convection profonde sera étudié dans ce cadre.



Bibliographie (1)

- Arakawa A, Schubert WH (1974) Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. *J Atmos Sci* **31**:674-701
- Bougeault P, Lacarrère P (1989) Parameterization of orography-induced turbulence in a mesobeta-scale model. *Mon Weather Rev* **117**:1872-189
- Bechtold P, Bazile E, Guichard F, Mascart P, Richard E (2001) A mass flux convection scheme for regional and global models. *Q J Roy Meteorol Soc* **127**:869-886
- Couvreux F, Hourdin F, Rio C (2010) Resolved versus parameterized boundary layer thermals. Part I: a parameterization oriented conditional sampling in large Eddy simulations. *Boun Layer Meteor* **134**:441-458
- Cuxart J, Bougeault P, Redelsperger JL (2000) A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations. *Q J Roy Meteorol Soc* **126**:1-30
- Hourdin F, Couvreux F, Menut L (2002) Parameterization of the dry convective boundary layer based on a mass flux representation of thermals. *J Atmos Sci* **59**:1105-1122
- Kain JS, Fritsch JM (1990) A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J Atmos Sci* **47**:2784-2802



Bibliographie (2)

- Pergaut J, Masson V, Malardel S, Couvreux F (2009) A parameterization of dry thermals and shallow cumuli for mesoscale numerical weather prediction. *Boundary-Layer Meteorol* **132**:83-106
- Kain JS, Fritsch JM (1990) A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J Atmos Sci* **47**:2784-2802
- Pergaut J, Masson V, Malardel S, Couvreux F (2009) A parameterization of dry thermals and shallow cumuli for mesoscale numerical weather prediction. *Boundary-Layer Meteorol* **132**:83-106
- Rio C, Hourdin F, Couvreux F, Jam A (2010) Resolved versus parameterized boundary-layer plumes. Part II: continuous formulations of mixing rates for mass-flux schemes. *Boun Layer Meteor* **135**:469-483
- Siebesma P, Soares PMM, Teixeira J (2007) A combined eddy-diffusivity mass-flux approach for the convective boundary layer. *J Atmos Sci* **64**:1230-1248
- Soares PMM, Miranda PMA, Siebesma AP, Teixeira J (2004) An eddy-diffusivity/mass-flux parameterization for dry and shallow cumulus convection. *Q J Roy Meteorol Soc* **130**:3055-3079
- Yano JI, Plant R (2012) Interactions between Shallow and Deep Convection under a Finite Departure from convective quasi equilibrium. *J Atmos Sci* **69**:3463-3470



Fin

