Paramétrisations de la couche limite, de la convection et des nuages

Frédéric Hourdin, Catherine Rio, Fleur Couvreux, Arnaud Jam, Marie-Pierre Lefebvre, Binta Diallo, Alina Gainusa-Bogdan, Pascale Braconnot, Eric Bazil, François Bouyssel, Pascal Marquet, Yves Bouteloup, Eric Brun, Hubert Gallée, Céine Mari

28 novembre 2014

Outline

1 Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

◆□ ▶ ◆□ ▶ ◆ □ ▶ ◆ □ ▶ ● □ ● ● ● ●

2 Paramétrisation en flux de masse de la couche limite convective

3 Front de la recherche sur la convection prodonde

4 Conclusions et questions

Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

Diffusive or local formulations for the PBL

Scale decomposition

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \overline{V}$$
.grad $\overline{q} + \frac{1}{\rho} \operatorname{div}\left(\overline{\rho \mathbf{v}' c'}\right) = 0$

Boundary layer approximation (horizontal homogeneity) + eddy diffusion

$$\overline{w'c'} = -K_z \frac{\partial c}{\partial z} \longrightarrow \qquad \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

▲□▶▲圖▶▲≣▶▲≣▶ ■ のQ@

- Analogy with molecular viscosity (Brownian motion ↔ turbulence)
- Down-gradient fluxes.
- Turbulence acts as a "mixing"

Turbulent diffusivity K_z

- Prandlt (1925) mixing length : $K_z = l \overline{|w'|}$ or $K_z = l^2 \frac{\partial ||\mathbf{v}||}{\partial z}$
- Accounting for static stability (Ex. Louis 1979)

$$K_z = f(Ri)l^2 \left| \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \right|, \qquad \text{with } Ri = \frac{g}{\theta} \frac{\frac{\partial \theta}{\partial z}}{\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z}\right)^2}$$
(1)

• Turbulent kinetic energy $\overline{w'}^2 \simeq e = \frac{1}{2} \left[\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right]$

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -\overline{w'u'}\frac{\partial u}{\partial z} - \overline{w'v'}\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{g}{\theta}\overline{w'\theta'} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial\overline{w'p'}}{\partial z} - \frac{\partial\overline{w'e}}{\partial z} - \epsilon$$

Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

Spécificités des formulations diffuses dans les différents modèles

Mellor et Yamada 2.5 : $\overline{w'\phi'} = -K_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial z}$ with $K_{\phi} = l\sqrt{e}S_{\phi}(Ri)$ $\epsilon = e^{l(3/2)}/\Lambda$, équation (mal établie) pour la longueur de mélange.

$$\frac{\partial e}{\partial t} = K_m \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z}\right)^2 - K_\theta \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} + K_e \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho \frac{\partial e}{\partial z}\right) - e^{\frac{\partial e}{\partial t}} = l\sqrt{e}S_m \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z}\right)^2 - l\sqrt{e}S_\theta \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} - \frac{e^{3/2}}{(l\Lambda)}$$

Yamada 1983 dans LMDZ, Cuxart 2000 dans dans ARPEGE/AROME/MesoNH **MY 2.0 :** $\frac{\partial e}{\partial t} = 0$ $l^2 S_m \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \tau}\right)^2 - l^2 S_\theta \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = e/\Lambda$

 $\implies K_m = lS_m\sqrt{e} = f(Ri)l^2 \left|\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z}\right|$, dans Arpege AR5 et LMDZ5A

Modèles K- ϵ : $\frac{\partial e}{\partial t} = \dots$ et $\frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \dots$, Utilisé dans MAR (Duynkerque 1988)

▲□▶▲□▶▲□▶▲□▶▲□ ♪ ④ ◆ ◎

Limitations of turbulent diffusion

Assumption leading to the diffusive approach :

- Turbulence as a random process
- Small scale turbulence, i.e. of size $l \ll h$ with $h = \left[\frac{1}{c} \frac{\partial c}{\partial z}\right]^{-1}$

In the planetary boundary layer

- Long range vertical transport (from the bottom to PBL top)
- Organized structures



31.7 21:0

Radar echoes dry convective boundary layer Florida, Hiop Campaign Weckwerth et al., 1997

Cloud streets on North of France (March 2009, MSG)





- Classical exemples of cloud streets obtained at the top of thermal rolls
- Polar air arriving on warm air masses
- Entry of maritime air on a warmer







Reconstruction des thermiques par composite sur la température potentielle à Parir de vols avions.

Williams et Hacker 1992

Moyenne

Ecart-type

ML 5

83ev 271*

n



Limitations of turbulent diffusion

Idealized view of the dry convective boundary layer.



$$\frac{\partial \theta}{\partial t} \simeq \frac{\overline{w'\theta'}_0}{z_i} (\text{Cste} > 0)$$

$$\overline{w'\theta'} \simeq \frac{z-z_i}{z_i} \ \overline{w'\theta'}_0 > 0$$

▲□▶▲□▶▲□▶▲□▶ ■ 少々⊙

Extension of diffusive formulations

• Introduction of a countergradient term

$$\overline{w'\theta'} = K_z \left[\Gamma - \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] = 0 \quad \text{with } \Gamma \simeq 1K/km \tag{2}$$

Imposed countergradient Deardorf, 1966 Revisited by Troen & Mart, 1986, Holtzlag & Boville, 1993, based on a similarity approach.

• Non local mixing length (Bougeault)

• Higher order closures

- Mellor & Yamada 1974, hierarchy at successive orders. Complex and still local.

- Abdella & Mc Farlane, 1997, Introduce a mass flux approach to compute the 3rd order moments in a Mellor and Yamada scheme.

"Bulk" models

Constant value (or prescribed profiles) $c_{\rm ML}$ with discontinuities Δc at boundaries.



Transilient matrices

Numerical formalism (after Stull 1984)

C : Air mass exchange rate matrices between model layers

For turbulent diffusions

$$\frac{\partial c_l}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) \simeq \frac{K_{l+1/2} \left(c_{l+1} - c_l \right) - K_{l-1/2} \left(c_l - c_{l-1} \right)}{\delta z^2}$$
$$\implies C_{l,l+1} = K_{l+1/2} \frac{\delta t}{\delta z^2}, C_{l,l} = -(K_{l-1/2} + K_{l-1/2}) \frac{\delta t}{\delta z^2}, C_{l,m} = 0 \text{ for } |l-m| > 1$$



Turbulent diffussion

Assymetric Convective Model of Pleim and Chang 1992

▲□▶▲□▶▲□▶▲□▶ □ 少々⊙

Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

Outline

① Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

▲□▶▲圖▶▲≣▶▲≣▶ ≣ のQ@

2 Paramétrisation en flux de masse de la couche limite convective

3 Front de la recherche sur la convection prodonde

4 Conclusions et questions

Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

Mass flux schemes combined with turbulent diffusion



Chatfield and Brost, 1987, Hourdin et. al., 2002, Siebesma, Soarez et al, 2004

2. La couche limite convective nuageuse

Le modèle du thermique



Variables internes de la paramétrisation :

- \boldsymbol{w} : vitesse moyenne des panaches ascendants
- α : fraction de la surface couverte par les ascendances
- e: taux d'entrée latérale d'air dans le panache (entrainement)
- d: sorties d'air depuis le panache (détrainement)
- q_a : concentration du composant q dans l'ascendance

Terme source pour les équations explicites $S_q = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \rho \overline{w'q'} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \rho K_z \frac{\partial q}{\partial z} + \left(-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho \alpha w(q_a - q)\right]\right)$

Diffusion turbulente Tra

Transport par le modèle de panache

4 Paramètres libres : $a_1 = \frac{2}{3}, \beta_1 = 0.9, b = 0.002, c = 0.012m^{-1}, d = 0.5$

Conservation de la masse :

 $\frac{\partial f}{\partial z} = e - d \qquad \text{avec} \quad f = \alpha \rho w$

Conservation de la masse du composant q

$$\frac{\partial f q_a}{\partial z} = e q - d q_a$$

Equation du mouvement

$$\frac{\partial fw}{\partial z} = -dw + \alpha \rho B$$

 ${\cal B}$ étant la poussée d'Archimède

$$B = g \frac{\theta_{va} - \theta_v}{\theta_v}$$

$$e=f\max(0,\frac{\beta_1}{1+\beta_1}(a_1\frac{B}{w^2}-b))$$

$$d = f \max(0, -\frac{a_1\beta_1}{1+\beta_1}\frac{B}{w^2} + c(\frac{(q_a - q)/q_a}{w^2})^d)$$

Etc ...

Convection organisée même pour les couches limites non nuageuses. Mise en évidence dans des « Large Eddy Simulations » ou « Simulation des grands tourbillons », domaine de quelques km, mailles de qq 10m. Forcé par un flux de chaleur venant de la surface

Exemple de résultats de simulations LES. Coupes instantannées au niveau 0.2 Zi où Zi est la hauteur de la couche limite. Moeng et al, 1994

Simulation avec convection + cisaillement

Simulation avec convection sans cisaillement (convection libre)



Résultats de simulations des grands tourbillons.

Vent zonal aux niveaux 0.2 Zi et 0.8 zi.



0 500 1000 1500 2000 2500 3000

x (m)

Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

Mass flux schemes combined with turbulent diffusion

Comparison with LES Dry convective boundary layer. Forcing : $\overline{w'\theta'}_0 = 0.24$ K m/s geostrophic wind of 10 m/s

Thermal Plume model (Hourdin et al. 2002).









Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

Mass flux schemes combined with turbulent diffusion





◆□ ▶ ◆□ ▶ ◆ □ ▶ ◆ □ ▶ ● ○ ○ ○ ○ ○

2. La couche limite convective nuageuse

I.2 Cloud process studies and the use of high resolution explicit models0



→ Can be done for realistic test cases but also with more idealized forcing (check the response of the parameterization to perturbations)

Thermal plumes and clouds

LeMone and Pennell, MWR, 1976



3. Parameterization evaluation

Towards a more physical definition for ε / δ : LES

(Couvreux and Rio to be submitted)



(Yves Bouteloup)

EDKF Schéma des thermiques $\left(\frac{1}{2}\frac{\partial w_u^2}{\partial z} = a_1 B_u - \varepsilon w_u^2\right)$ $\frac{1}{2}\frac{\partial w_u^2}{\partial z} = a_1 B_u - (b + \varepsilon) w_u^2$ Équation de la vitesse verticale : $\left(\varepsilon_{dry} = \max\left(0, C_{\varepsilon} \frac{B_{u}}{w_{u}^{2}}\right)\right)$ $\varepsilon = \max\left(0, \frac{\beta_1}{1+\beta_1}\left(a_1\frac{B_u}{w_u^2} - b\right)\right)$ Entraînement : $\delta = \max\left(0, -\frac{a_1\beta_1}{1+\beta_1}\frac{B_u}{w_u^2} + c\left(\frac{\Delta r_t/r_t}{w_u^2}\right)^d\right) \quad \left(\delta_{dry} = \max\left(\frac{1}{L_{up}-z}, C_\delta \frac{B_u}{w_u^2}\right)\right)$ Détrainement :



Fig. 4 Vertical profiles of the thermal fractional cover $(\alpha, left)$, vertical velocity (*w* in m s⁻¹, *middle*) and mass flux (*f* in kg m⁻²s⁻¹, *right*) at 1330 local time (ARM7) and 1530 local time (ARM9) for the ARM case and at the fifth hour of simulation BOMEX (BOM5): comparison of LES results using the conditional sampling (*black dots*) with results obtained with the original (TH, *light black line*) and the new (THnew, *dark black line*) versions of the thermal plume model

Rio et al., 2010

2. La couche limite convective nuageuse Représentation des nuages

q : concentration en vapeur d'eau q_{sat} : concentration maximum à saturation Si $q > q_{sat}$:

 \rightarrow la vapeur d'eau condense = nuage

On connait q et q_{sat} à l'échelle de la maille

 \rightarrow Fraction de la maille couverte de nuages ?



Paramétrisation simple : gaussienne $\sigma / q = 20\%$

Modèle « tout ou rien » :

Si $q > q_{sat}$ maille nuageuse, sinon ciel clair.



Modèle « statistique » :

On suppose une distribution statistique de q' dans la maille autour de q





2. La couche limite convective nuageuse Représentation des nuages

q : concentration en vapeur d'eau q_{sat} : concentration maximum à saturation Si $q > q_{sat}$:

 \rightarrow la vapeur d'eau condense = nuage

On connait q et q_{sat} à l'échelle de la maille

 \rightarrow Fraction de la maille couverte de nuages ?



Paramétrisation simple : gaussienne $\sigma / q = 20\%$

Modèle « tout ou rien » :

Si $q > q_{sat}$ maille nuageuse, sinon ciel clair.



Modèle « statistique » :

On suppose une distribution statistique de *q*' dans la maille autour de *q*



Intervient dans **Q**

 \rightarrow condensation

 \rightarrow prise en compte des nuages dans le code radiatifs

2. La couche limite convective nuageuse Représentation des nuages

q : concentration en vapeur d'eau q_{sat} : concentration maximum à saturation Si $q > q_{sat}$:

 \rightarrow la vapeur d'eau condense = nuage

On connait q et q_{sat} à l'échelle de la maille

 \rightarrow Fraction de la maille couverte de nuages ?



q_{sat} q'

Modèle « tout ou rien » :

Si $q > q_{sat}$ maille nuageuse, sinon ciel clair.



Modèle « statistique » :

On suppose une distribution statistique de q' dans la maille autour de q



Paramétrisation simple : gaussienne $\sigma / q = 20\%$

q

2. La couche limite convective nuageuse

Nouvelle paramétrisation de nuages couplée aux thermiques :

Utilisation d'une PDF bi-gaussienne pour la distribution d'eau totale sous nuageuse Une gaussienne pour les panaches thermiques et une pour l'environnement Comparaison des distributions prédites par ce schéma avec les distributions des LES



Jam et al., 2012

2. La couche limite convective nuageuse





SW Cloud Radiative Effect at Top-of-Atmosphere in W/m2 Model Difference Change of parametrization

CRF (W/m2) Obs NPv3 -60 enes. SW SP 86 SOPE 150°E 110% 10°₩ TH08 - TH10 Difference -100-50 50 $(tops[l=1]-tops0[l=1]) - clim_swcre[l=1]$ latitude Weighted Avg: -3 898 Std: 19,519 Min: -109.684 Nax: 111.141 80"N Parameter tuning Difference Obs NPv3 40% -20 CLDLC SW CRF (W/m2) CLDTAU -40 DRAGOCE EPMAX FALLICE -60 ICEER 40%5 RQH -80°S -100-50 50 160% 100°E 60% 40°E latitude 0°



Des thermiques actifs tout le temps sur les océans tropicaux et le jour sur les continents tropicaux et en été.

Freq occurence thermiques (%, 10jours, janvier)





Conclusion intermédiaire :

Plus de la moitié du flux en milieu de couche limite est expliqué par les structures kilométriques.

 \rightarrow rompre avec les formulations en diffusion pour des mailles > 200m

L'approche combinant diffusion turbulente et flux de masse pour les structures cohérentes est aujourd'hui partagée par LMDZ/MesoNH/Arpege/Arome (coordination des développements dans le cadre du projet national Dephy)

Alternative : fermeture avec moment d'ordre 3, avec fit de distributions assymétriques (GFDL)

Processus rapides et paramétrisations facilement instables numériquement.

A des résolutions de quelques km, on est dans la zone la plus énergétique de la couche limite convective. cf. étude sur la « zone grise » de la couche limite convective, Rachelle Honnert, Valery Masson, Fleur Couvreux

Importance pour le transport vertical de moment, de température et d'humidité, et les nuages.

L'introduction d'une paramétrisation des thermiques assèche et réchauffe la surface, accélère les vents et améliore la représentation des nuages de couche limite.

Les LES sont des outils pertinents pour tester les idées et modèles dans ce domaine. Bien pour la dynamique des tourbillons. Encore très dispersés pour les nuages.

Outline

1 Alternatives à la diffusion turbulente pour la couche limite convective

◆□ ▶ ◆□ ▶ ◆ □ ▶ ◆ □ ▶ ● □ ● ● ● ●

2 Paramétrisation en flux de masse de la couche limite convective

3 Front de la recherche sur la convection prodonde

4 Conclusions et questions





downdraft



Emanuel, 1991

Paramétrisation des poches froides (LMDZ5B)





The density current (wake) parametrization

(Grandpeix and Lafore, JAS, 2010; Grandpeix et al., JAS 2010)

- Representation of a part of an infinite plane where identical cold pools (radius r, height h) are scattered with an homogeneous density D_{wk} .
- State variables : (i) surface fraction covered by the wakes $\sigma_w = \frac{S_w}{S_t} \ (\sigma_w = \pi r^2 D_{\mathbf{wk}})$, (ii) temperature and humidity differences (resp. $\delta\theta(p)$ and $\delta q(p)$) between wake and off-wake regions.
- Spreading speed : C_* such that $C_*^2 \simeq \text{WAPE}$ (WAke Potential Energy); $WAPE = \int_{p_{tap}}^{p_{surf}} R_d \delta T_v \frac{dp}{p}$
- Evolutions of $\delta\theta$ and δq profiles are given by conservation equations of mass, energy and water taking into account vertical advection, turbulence and phase changes.
- Turbulence and phase change terms are assumed to be given by the deep convection scheme.
- $-\delta\omega$ profile is linear between the surface and the wake top (no mass exchange through the wake boundary); it goes back to 0 linearly between the wake top and an arbitrary altitude (about 4000 m).





Une nouvelle approche de la convection profonde

Par J.-Y. Grandpeix



K: Energie de soulèvement ou Available Lifting Energy ALE en J/kg Déclenchement

P: Puissance de soulèvement ou Available Lifting Power ALP en W/m² Fermeture

« Nouvelle physique » : contrôle de la convection par les processus sous-nuageux



ALE et ALP sur le cas ARM de convection profonde



- Simulation CRM:
- Simulation KE:
- Simulation KE-TH:
- Simulation KE-TH-wake:

modèle Méso-NH

- couche limite diffuse + schéma d'Emanuel (1991)
- schéma diffusif + modèle du thermique nuageux
 - + nouveau schéma de convection
- e: schéma diffusif + modèle du thermique nuageux
 + nouveau schéma de convection + paramétrisation des poches froides (Grandpeix & Lafore)

Taux de chauffage (dtcon en K/jour)





-Déclenchement des précipitations vers 14h, soit un peu tard par rapport aux CRM

- Maximum des précipitations vers 17h, vers 16h dans les CRM
- Arrêt des précipitations vers 21h en bon accord avec les CRM

Improvement of the simulation of the diurnal cycle of rainfall Directly linked to the change in convection schemes







Réseau d'observation



LMDZ5A (SP)



10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 5 -6 8 9

TRMM satellite obs., Hirose et al. 2008, annual







Standard deviation of daily rainfall anomalies (mm/day) of the a) GPCP dataset (1996-2009), b) IPSL-CM5A and c) IPSL-CM5B preindustrial simulations, for the winter season (November to April -NDJFMA)



Nouveau déclenchement :

On demande en plus que la surface d'un thermique soit plus grande qu'une taille critique Sc Modèle du thermique \rightarrow distribution de taille des thermiqes \rightarrow tirage aléatoire

Si on met un seuil fixe sur la probabilité d'avoir un nuage plus grand que Sc, et dans des conditions assez homogènes, on se retrouve à déclencher beaucoup plus pour des mailles plus petites



Conclusions 1/3 :

Nouvelles paramétrisations :

Développées sur un mélange de « phénoménologie » des processus en jeu et de principes fondamentaux (conservation masse, énergie, humidité). Couche limite convective sèche et nuageuse TKE + flux de masse (de plus en plus répandu) Poche froides : très peu répandu jusque là. Recherche au long cours, mais passionnante (et publiable). Enjeux sur le couplage entre les différents processus Des paramétrisations de plus en plus complexes. Où s'arrêter ?

Les paramétrisations : pas seulement un pis aller.

un modèle avec sa vocation d'analyse.

Découpage : effet des nuages sur le climat ?

Paramétrisations avec de plus en plus de physique et de paramètres internes « observables ».

Zone grise

Avec la convection, les augmentations de résolution ne vont pas d'elle même. A partir de 20-50 km : « orages points de grilles » Convection explicite à partir de 1-2 km mais encore malmenée. Couche limite convective 200m-20m

Conservation

Même avec des paramétrisations pensées sur des principes de conservation, pas évident de garantir cette conservation en pratique.

Conclusions 2/3 :

Configuration de modèle =

Grille , contenu physique + choix/ajustement de paramètres libres

Changement de paradigme I

Classiquement : \underline{U} , q, q à l'instant t \rightarrow variables internes $\rightarrow \underline{E}$, Q, $Sq \rightarrow \underline{U}$, q, q à t+dt De plus en plus : variables d'états internes aux paramétrisations avec un couplage entre elles de ces paramétrisations.

Irruption du stochastique : en lien en pratique avec la nature « événementielle » de la convection

Changement de paradigme II :

Utilisation systématique de la comparaisons aux simulations LES pour le développement, l'ajustement et l'évaluation des paramétrisations.

Observations à disposition :

 Satellites : Modèles → simulateurs d'obs / obs Souvent préférable à Obs → Inversion variables modèles / modèle
 Réanalyses : champs 3D directement comparables. Mais pas des obs ! Un bon modèle peu faire mieux
 Observations de surface : souvent locales (attention aux climatologies « grillées » !) Ou reconstituées à partir d'observations satellites (attention au côté indirect)
 Observations in situ : de surface sur site ou campagnes de terrain.

Méthodologie de comparaisons :

Simulations en mode climatique (sensible aux conditions initiales) : la comparaison ne peut être que statistique. Besoin de simulations d'ensemble ou longue.

Simulations guidées ou prévision à court terme : permet de la comparaison au jour le jour et sur site (l'impossibilité de comparé un modèle même global à des simulations de surface est souvent « survendu »).

Nouvelle stratégie : LES/1D → Simulations guidées → Simulations climatiques

	Global clima A/O GCM, I CMIP	ate ESM Regional Climate mode RCMs CORDE	eling Models (CRMs)	esolving L S	Large Eddy Simulations					
	300 km	50 km	5 km	500 m	Mesh					
	Globe	10000 km	1000 km	100 km	Domain					
Pa Su Cli	rameterized convectio brid scale clouds, poo mate studies (CMIP)	on or microphysics	Explicit convection 1/0 clouds, sophisticated microphysics Process studies (GASS)							
	Zone grise convection									
$\checkmark \longrightarrow$										
		Zone grise couche limite								



II. Transport non local dans la couche limite par des panaches thermiques

Modèle	LMDZ5NP / 6	ARPEGE-Climat (AR5)	ARPEGE-Climat (pre-AR6)	ARPEGE-PNT	AROME/MesoN h	MAR			
Diffusion turbulente / TKE									
Général	TKE pronostiq. Yamada 83	TKE d'eq. Ricard-Royer 93	TKE pronostiq. Cuxart 2000	TKE pronostiq. Cuxart 2000	TKE pronostiq. Cuxart 2000	Duynkerke 88			
Stabilité	dt=10min	dt= 30 mn	dt=15 mn	dt=10min	dt=60s	dt=6min			
CL surface	classique	Louis	Louis/continent Coare ou Ecume /océans	Louis/continent Ecume/océans	Louis/continent Ecume/océans + Canopy				
TKE humide	Non	Oui	Oui+coupl conv	Oui	Oui	Oui			
Spécifique CL stables	Holtlag Boville +Kz min		TKE _{min} =10 ⁻⁵ m²/s² futur avec TPE ?	TKE _{min} =10 ⁻⁵ m²/s² futur avec TPE ?	TKE _{min} =10 ⁻⁵ m²/s² futur avec TPE ?	Duynkerke 88			
Autre			L non locale						
Traitements spécifiques couche limite convective / Convection peu profonde									
Général	Modèle du thermique Hourdin, Rio	Non	PCMT (Piriou, Gueremy)	Bechtold 2000 + TKE_in trigger Futur : PMMC09	PMMC09				
Stabilité	Adv amont Implicite dt=10m		dt =15 mn	dt=10min	dt=60s				
Couplage avec la TKE	Indirect via la modification des profils		Non	Prod. Thermique pour TKE + mod Lm	Prod thermique pour TKE				
Couplage nuages	Bi-gaussienne couplée (Jam)		Pdf mixte Bougeault Nébul convect = f(frac convect)	Pdf Smith	Pdf mixte Bougeault				
Autre	Couplé convec : (ALE/ALP)			Conv. Prof. Mod Lm					
Autres/Divers									

Tuaria: 1 and 1 a a

- 1