

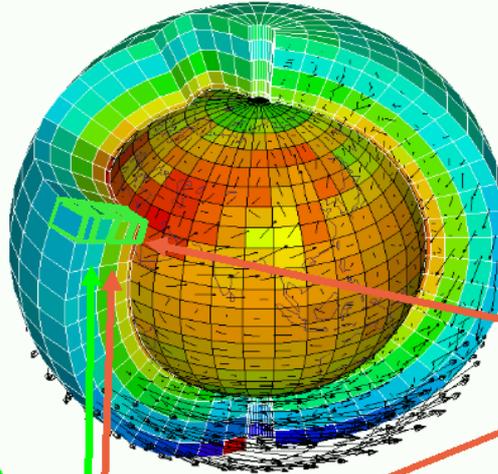
LMDZ : Composante atmosphérique du modèle de climat de l'IPSL

LMDZ noyau dynamique 3D

Formulation en différences finies
conservation de l'ensrophie et du moment cinétique

Modèle uni-colonne

Modèle 1D pour test des param. physiques.



Traceurs atmosphériques

Transport par le vent
Schémas en volumes finis

Transport sous-maille

- * Mélange turbulent
- * Transport convectif



LMDZ Physique « paramétrée »

Autres planètes

Mars
Titan
Vénus
générique

- rayonnement (Fouquart/Morcrette)
- couche limite (LDM + options)
- convection (Emanuel et Tiedtke)
- nuages (schéma statistique)
- orographie (Lott)
- ...

Glaciers

ORCHIDEE

- * Thermodynamique
- * hydrologie
- * cycle du carbone
- * végétation

Océan dynamique

ORCA

LIM
banquise

- * Chimie **INCA**
- * Microphysique des aérosols

LMDZ – Contexte

Le GIEC comme point de rencontre pour le modèle LMDZ.

Montée en puissance de la question du changement climatique.

Exercice d'intercomparaison fructueux.

Dispersion très importante des simulations.

Rôle de la physique atmosphérique et des nuages bas océaniques.

Calendrier des scenario GIEC

Automne 2010 : livraison des simulations

Juin 2009 : décisions sur le contenu physique

On vise notamment des améliorations :

Biais grande échelle : biais froids moyennes latitudes

Précipitation de mousson.

Nuages

2 versions :

1. backup IPCCAR4 en 144x142x19 (diminution des biais froids moyennes latitudes)
2. Version nouvelle physique.

LMDZ – Contexte

LMDZ : Atmosphères planétaires

- Même infra-structure et même coeur hydrodynamique.
- Jeu de paramétrisations physiques spécifiques (Mars, Titan, Vénus ...)

Développements innovants

- Mars : - jusque 250 km, thermosphère, transfert radiatif non LTE
- Interfaçage de la physique de LMDZ avec dynamique non hydrostatique de WRF.
- Titan : couplage microphysique des brumes (représentées sous forme d'agrégats fractals)

Interactions planètes / terre :

- Test dans des configurations très différentes (ex: superrotation sur Vénus pour la dynamique, modèles de couche limite convective sur Mars, ...)
- Dynamique de la haute atmosphère.
- Couplage chimie / climat et poussières désertiques (LMDZ/SA sur Mars et la Terre).
- Paléoclimats extrêmes : Early Mars, Early Earth, Run away greenhouse, ... (LMD/LSCE)

Statut assez exceptionnel du modèle LMDZ (coût et richesse).

LMDZ – Contexte

LMDZ : Un modèle à configurations multiples

- Les grosses configurations climatiques multi-couplages globales.
- Les configurations 1D.
- Les configurations zoomées guidées.
- Les configurations transport de traceurs.
- Les configurations idéalisées types aqua-planètes, océans « slab », ...
- Les configurations planétaires

Evolutions récentes :

- Parallélisation (Yann Meurdesoif)
- Distribution Linux/G95 : <http://www.lmd.jussieu.fr/~lmdz/DistribG95/install.sh>
- Réécriture des outputs et du moniteur physique (en cours, Abderrahmane Idelkadi Ionela Musat, Laurent Fairhead)

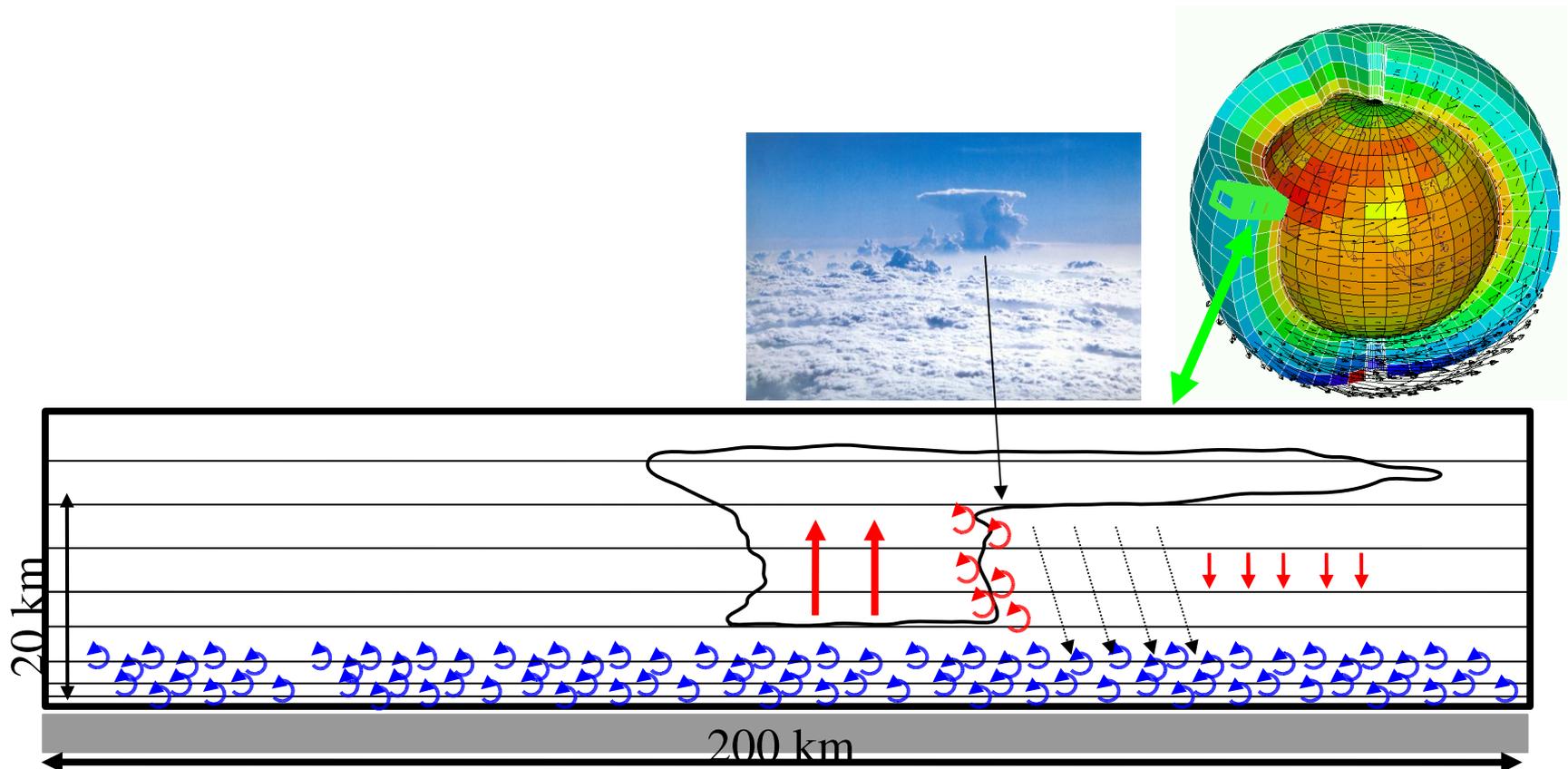
EVOLUTION DU CONTENU PHYSIQUE

Paramétrisation des processus turbulents, convectifs.

Dans le jeu de paramétrisations physiques de LMDZ/IPCC - AR4

- Diffusion turbulente (10-300 m) $Kz=l dU/dz f(Ri)$ (travaux de Someria, Laval)
- Convection nuageuse profonde (Emanuel)
- “Contre-gradient” + “ajustement” sec pour palier les insuffisances des paramétrisations pour les couches limites convectives

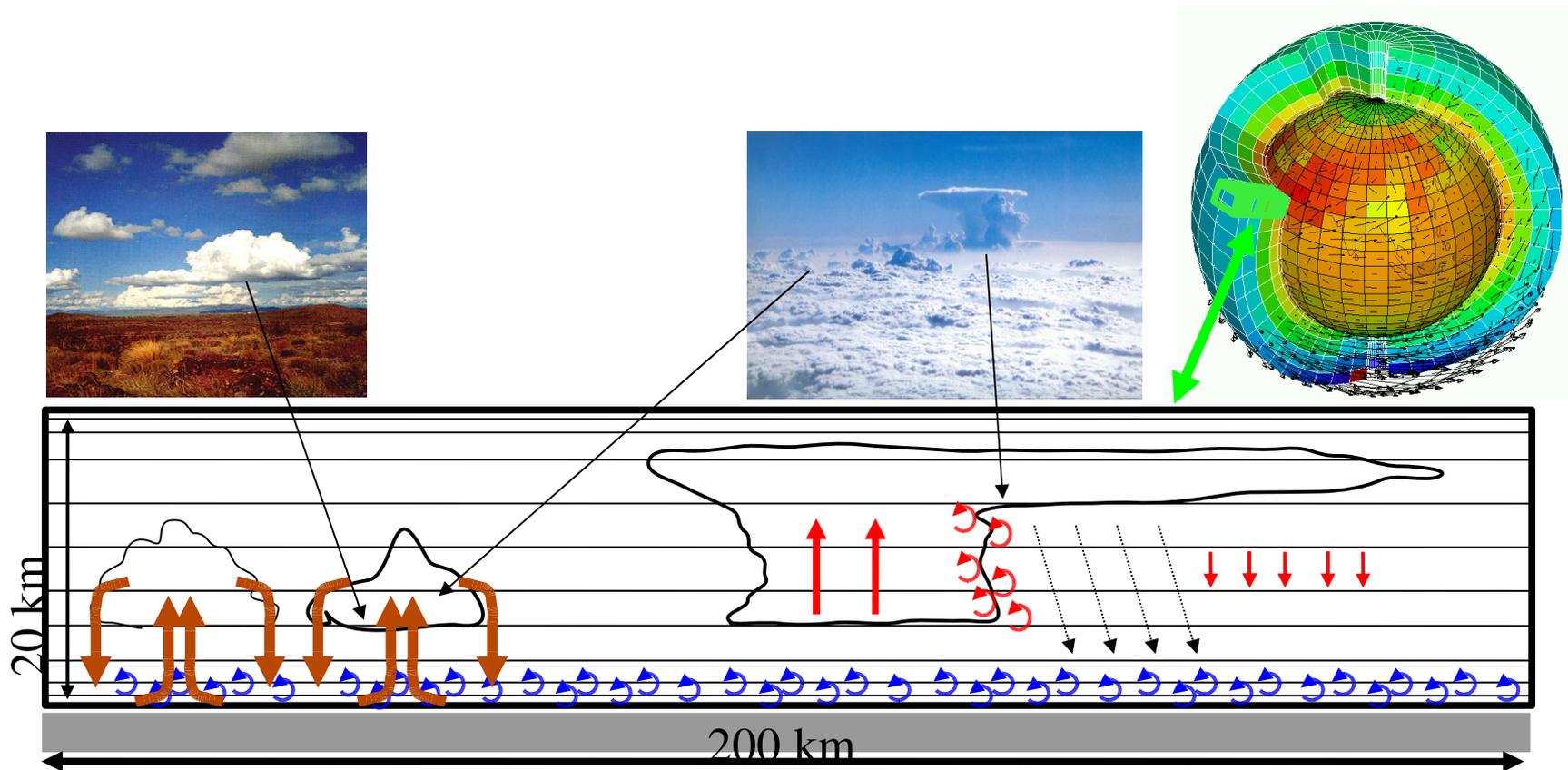
Schéma de nuage basé sur une distribution sous-maille de l'eau couplée à la convection (Bony et Emanuel, 2001)



Paramétrisation des processus turbulents, convectifs.

Nouveau jeu de paramétrisations basé sur trois échelles :

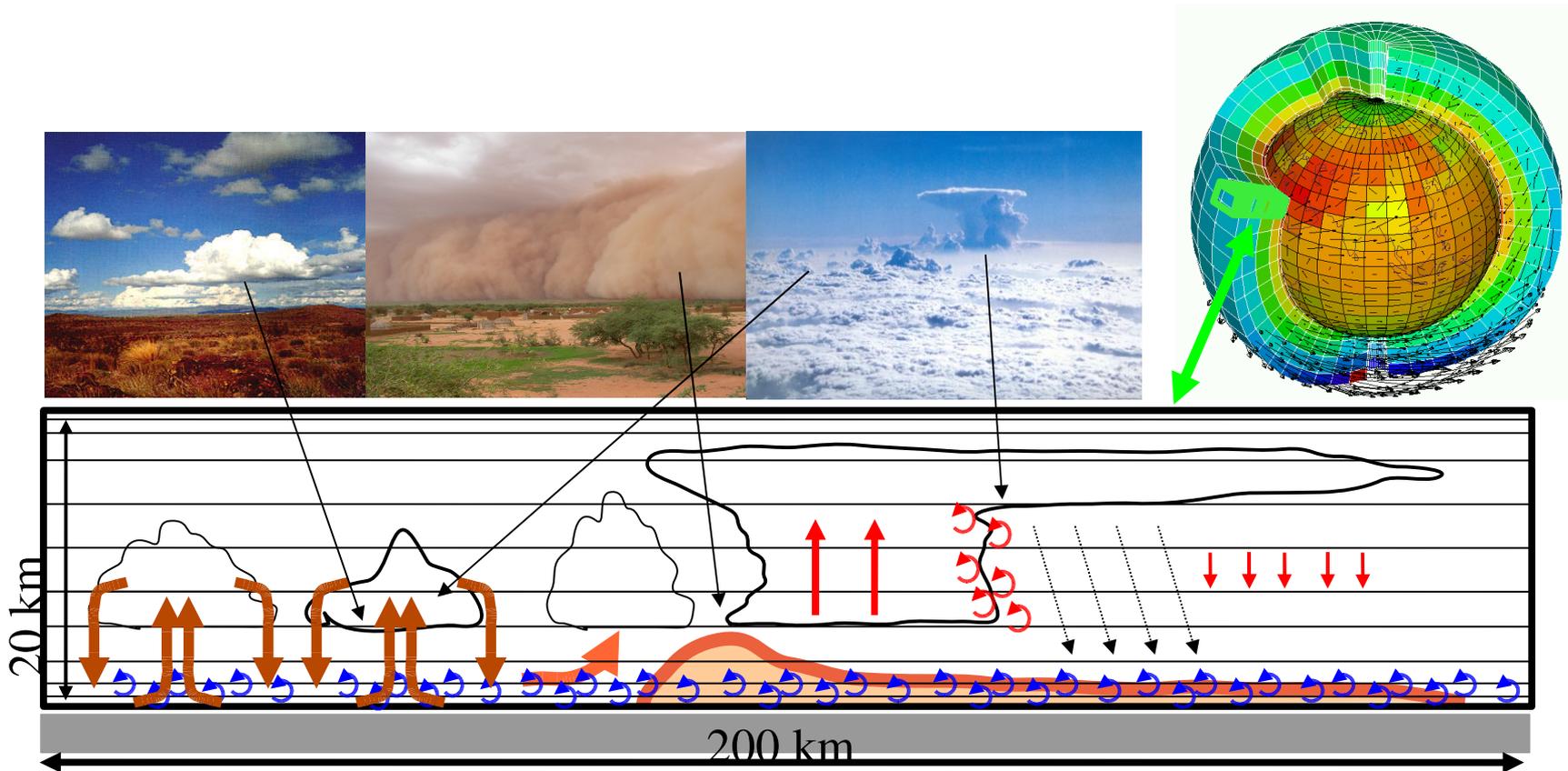
- Diffusion turbulente (10-300 m), **Energie cinétique turbulente pronostique (Yamada, 1983)**
- Couche limite convective : **le modèle du thermique nuageux (Rio et Hourdin, 2008)**
- Convection profonde (**Emanuel modifié par Grandpeix et al. (2004) et Rio et al.)**



Paramétrisation des processus turbulents, convectifs.

Nouveau jeu de paramétrisations basé sur trois échelles :

- Diffusion turbulente (10-300 m), **Energie cinétique turbulente pronostique (Yamada, 1983)**
- Couche limite convective : **le modèle du thermique nuageux (Rio et Hourdin, 2008)**
- Convection profonde (**Emanuel modifié par Grandpeix et al. (2004) et Rio et al.)**
- **Paramétrisation des poches froides ou courants de densité (Grandpeix et Lafore.)**



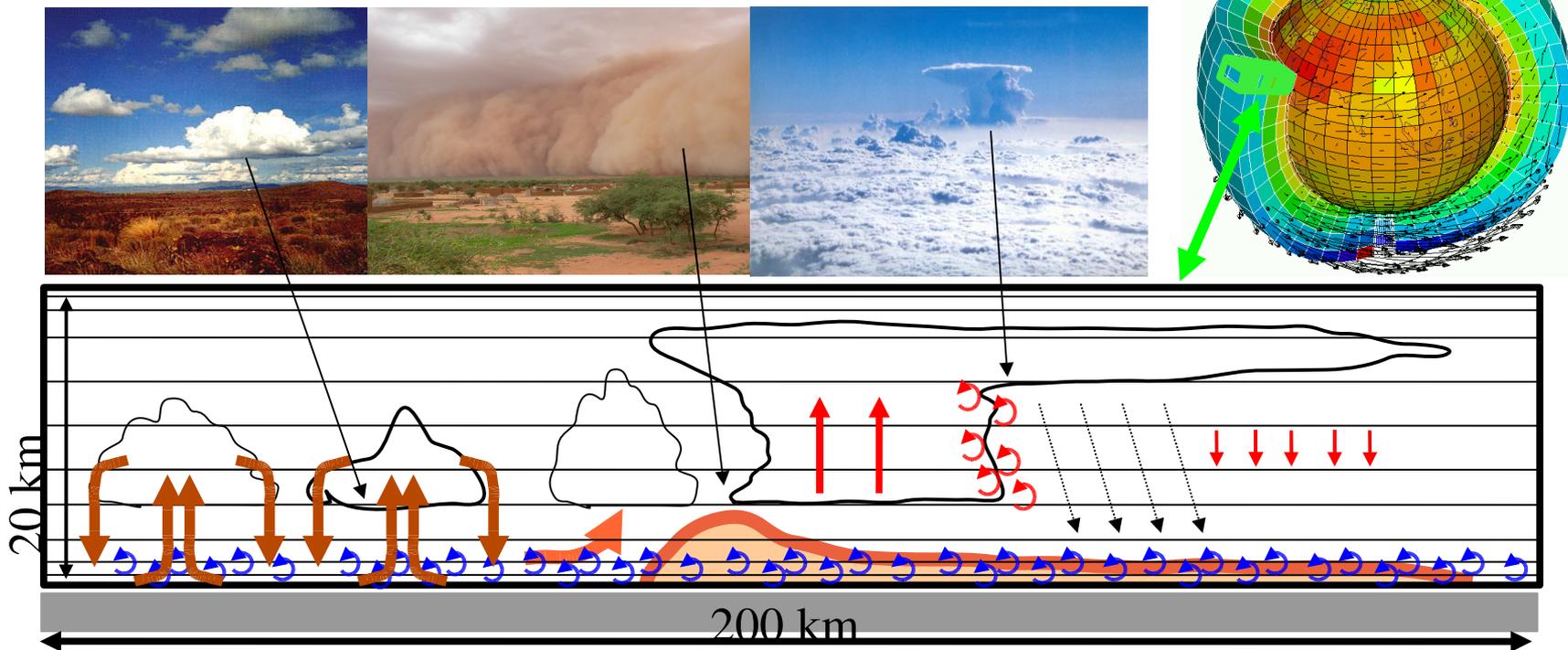
Paramétrisation des processus turbulents, convectifs.

Nouveau jeu de paramétrisations basé sur trois échelles :

- Diffusion turbulente (10-300 m), **Energie cinétique turbulente pronostique (Yamada, 1983)**
 - Couche limite convective : **le modèle du thermique nuageux (Rio et Hourdin, 2008)**
 - Convection profonde (**Emanuel modifié par Grandpeix et al. (2004) et Rio et al.)**
 - **Paramétrisation des poches froides ou courants de densité (Grandpeix et Lafore.)**
- Collaboration avec le CNRM : physique commune, travail sur les paramétrisations, simulations LES avec MesoNH ou KNMI (résolution : $D_x=100\text{m}$, $D_z=20\text{m}$)

Résultats attendus :

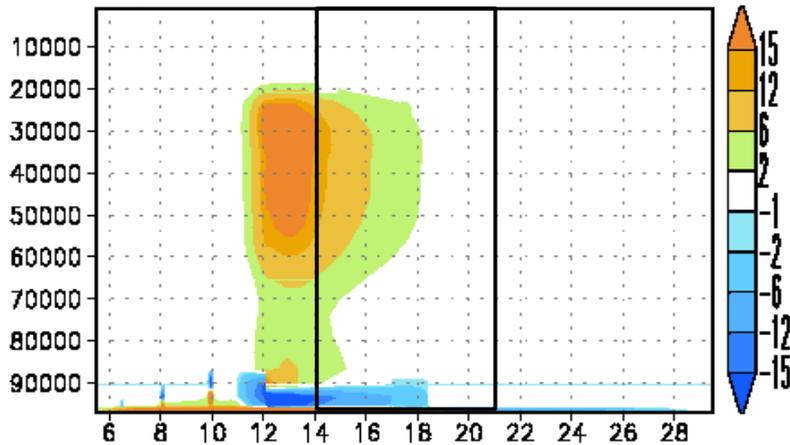
- Meilleure représentation des nuages bas océaniques et du cycle diurne de la convection.
- Amélioration du transport des espèces chimiques et aérosols, et des flux en surface



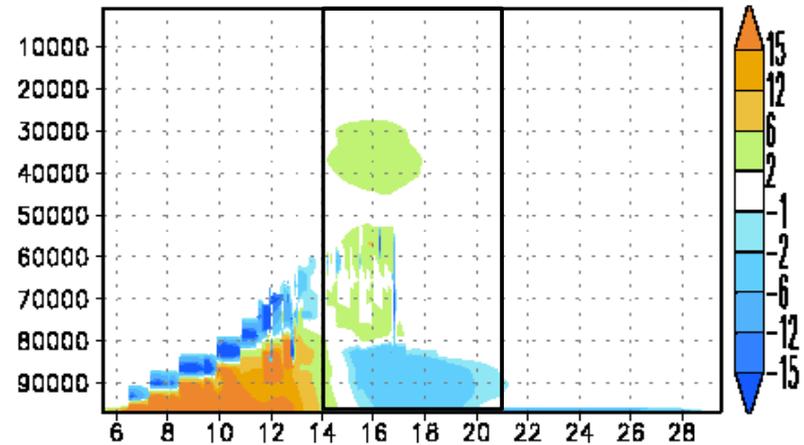
Simulation du cas de cycle diurne de convection continentale orageuse ARM (Guichard et al., 2004), D'après thèse de Catherine Rio

Taux de chauffage (dtcon en K/jour)

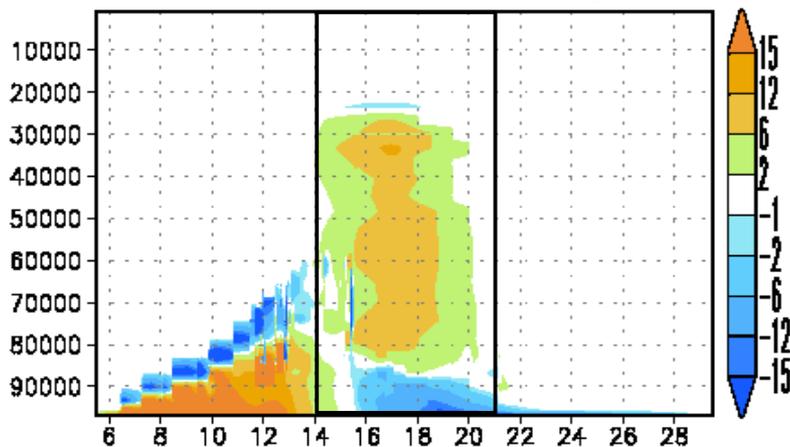
Physique IPCC AR4, Emanuel



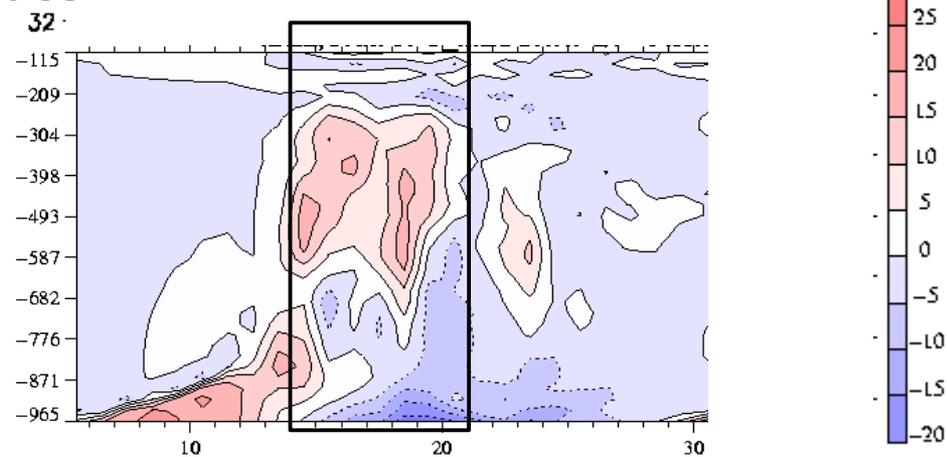
Emanuel + MY + thermiques



Ema. + MY + Therm. + poches froides



CRM/MesoNH



altitude en pression (Pa)

altitude en pression (Pa)

altitude en pression (Pa)

[K day⁻¹]

Nouvelle physique en cours de test en 3D.

Autres évolutions en cours ou envisagés

Nuages de couche limite océanique

Test et amélioration de la paramétrisation (FH et al., Alexandre Catarino, Frédérique Cheruy)

Initiation de la convection par les relief

Jin- Mei Yu et Jean-Yves Grandpeix.

Propagation des poches froides

Jean-Yves Grandpeix et al.

Extension à la stratosphère

Paramétrisations spécifiques pour prendre en compte les ondes non résolues.

(François Lott, cf. exposé Slimane Bekki).

Isotopes de l'eau

Camille Risi et Sandrine Bony.

UTLS

Marine Bonazola, Bernard Legras

Nouveau code radiatif

RRTM + SW 6 bandes (IFS cycle 32, en commun avec ARPEGE) en cours de test

(Marie-Pierre Lefebvre, Frédéric Hourdin, Jean-Louis Dufresne)

Réécriture de l'interface surface

Josefine Ghattas et Jean-Louis Dufresne

Couche limites des hautes latitudes

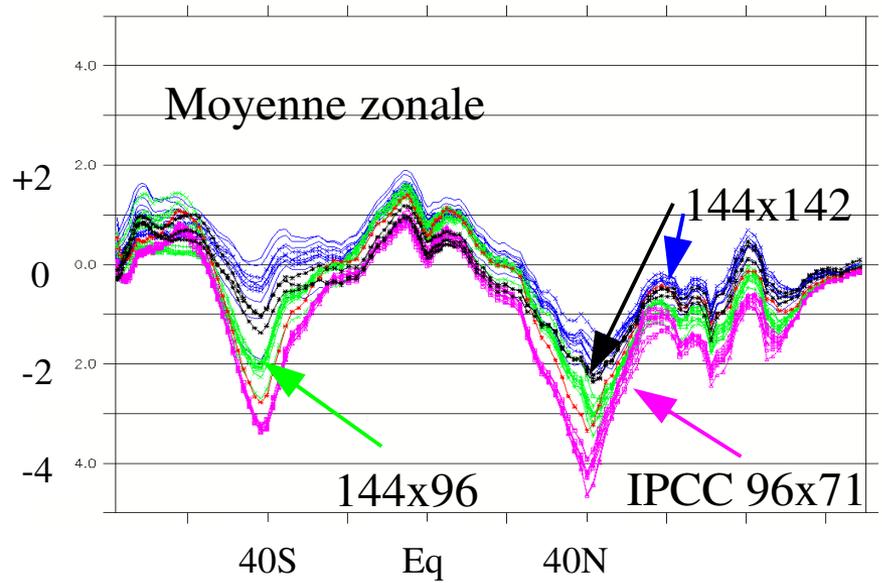
Evolution des configurations

Augmentation de la résolution spatiale pour les simulations IPCC

Impact important de la résolution en latitude sur les gradients latitudinaux (Marie-Alice Foujols, Francis Codron, Guillaume Lapeyre)

Prochain IPCC : 144x142xN

Possibilité de développer une paramétrisation pour les résolutions plus grossières (MGV)



Augmentation de la résolution verticale pour la nouvelle physique

Au moins 40 niveaux pour la nouvelle couche limite.

Utilisation de configurations avec stratosphère en standard (60 niveaux) ?

Enjeux et approches pour l'augmentation de la résolution globale

Enjeux des évolutions successives de la résolution.

200 km pour le prochain rapport IPCC : amélioration des gradients latitudinaux.

Quelques dizaines de km : résolution des cyclones, fronts, grands reliefs, effets de côtes ...

1 km : convection organisée, vallées, ... (non hydrostatique)

100m x 20m : nuages bas océaniques : infaisable à un horizon envisageable

Enjeux et approches

→ Jusqu'à 100 km, la parallélisation du modèle actuel (Yann Meurdeusoif) tient la route

En décennal : mise en avant d'une config LMDZ 1° avec NEMO 0,5°

→ Au-delà : massivement parallèle.

→ Nécessite de nouvelles approches de type cube ou icosaèdre pour éliminer les filtrages.

→ Importance de la problématique des entrées-sorties.

→ Maintenir un code pas trop machine dépendant et appréhendable par les utilisateurs/développeurs au moins pour la partie physique

Programme à 3 ans :

Test de nouvelles dynamiques existantes.

Test de nouvelles formulations en volumes finis pour la dynamique (FH, Guillaume Lapeyre

Vlaidimir Zeitlin, Phu LeVan) : en cours.

Développement d'une dynamique icosaédrique en volume finis en collaboration avec l'IIT Dehli (en cours).

Enjeux et questions pour les années qui viennent

Nouveau bloc physique :

- ➔ Validation, amélioration et réglage :
 - Utilisation des nouveaux satellites (simulateurs de radiances, tris en régimes,...)
 - Utilisation des sites et campagnes d'observation (SIRTA, AMMA)
- ➔ Exploiter un modèle (notamment en termes de sensibilité) dont le contenu physique est beaucoup plus pertinent.
- ➔ Etudes des mécanismes du changement climatique (configurations réalistes et idéalisées).
- ➔ Utilisation pour le transport des traceurs et espèces chimiques.

- ➔ **Quid de la microphysique des nuages ?**

Organisation :

Décifit de coordination/information

Equipe de développement sous-dimensionnée en chercheurs

Projet de labélisation avec coordination plus organisée (une correspondante, Véronique Fabart)

Identifier des contributeurs potentiels en dehors du noyau d'ur actuel (en cours par exemple sur la dynamique).

V : Validé

C : en cours

X : non engagé

Priorités pour l'année qui vient :

- Distribution multi-config : climatiques/zoomées/guidées/uni-colonne/
avec traceurs/transport débranché/rétro-traceurs. (Laurent Fairhead) C
- Distribution d'une version LINUX/g95 (Frédéric Hourdin et Laurent Fairhead)
- Réécriture du moniteur principal de la physique (?) et des I/Os X V
- Réécriture de l'interface surfaces. (Joséphine et Jean-Louis) V
- Automatisation de certains diagnostics qui nous ont permis d'avancer
comme les potentiels de vitesses intégrés et les analyses en régimes.
Mettre des jeux de données en "régimes" (?) X
- Automatisation de procédures d'évaluation de changements et de
bascules (LF, BOL) C
- Faciliter l'utilisation de configurations idéalisées (aquaplanètes,
modèle à 19 paramètres, etc ...) V
- Changement de code radiatif et nouveaux forçages pour IPCC/ENSEMBLE (?) X
- Bascule sur les nouvelles physiques (+ 40 à 60 niveaux verticaux). C
- Haute résolution horizontale (Marie-Alice et FH en couplé). C
- Labélisation + liscence X
- Convergence avec les versions planétaires. X

Bascule vers une nouvelle physique :

- Utilisation des nouvelles fermetures (ALE/ALP) pour le modèle d'Emanuel (Jean-Yves Grandpeix)
- Couplage Modèle du thermique / Emanuel.
J-Y G, Ionela Musat, Catherine Rio
tests en cours.
- Impact du relief sur le déclenchement de la convection
(J-Y G, Jingmei Yu)
- Poches froides et propagation.
(J-Y G, JY)
- Nuages de bords est avec le modèle du thermique.
Point faible. Pas vraiment de travail commencé dessus.
- Tests avec CO2 ou chimie des versions récentes du modèle du thermique.
(avec le LSCE, en discussion)

Idéalement, premiers tests en couplé à l'automne.

Le minimum à inclure pour les versions de base :

Modèle du thermique couplé à la nouvelle fermeture de la convection.

En cours sur LMDZ

1D/LES/couche limite/nuages bas : M.-P. Lefevre, A. Catarino, S. Bony

Convection :

- Poches froides : J.-Y. Grandpeix, R. Roerig
- Relief : J. Yu, J.-Y. Grandpeix

AMMA

- Climato/ nouvelles paramétrisations/Couplage surface/ changement climatique : I. Musat, A. Traore, F. Hourdin
- Convection/vapeur d'eau : R. Roca, J.-Y. Grandpeix, Y. Sané, M. Bonazola, M. Ly

Développement, ajustement, version climatique

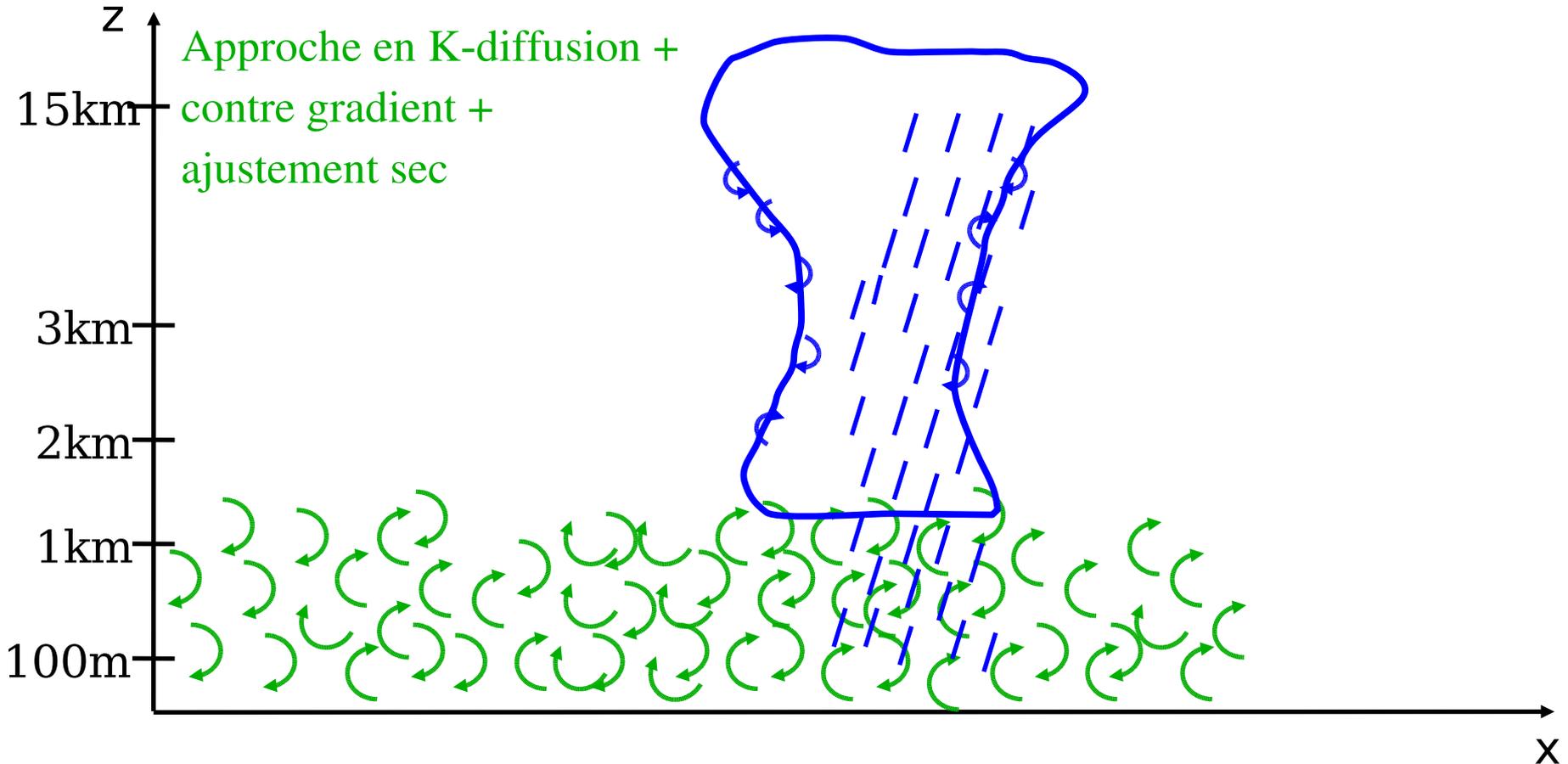
- Climato + diagnostics : A. Idelkadi
- Surface : J. Gattas
- Hautes résolutions horizontales : M.-A. Foujols
- Debug nouvelle physique ? F. Hourdin, I. Musat ?
- Simulateurs de radiances ?
- Nouveau code radiatif et forçages ?
- Mise en place du couplé nouvelle physique ?
- Mise en place des versions idéalisées.
- Nouvelles dynamiques : P. LeVan, F. Hourdin

Isotopes : S. Bony et C. Risi.

La paramétrisation des processus turbulents et nuageux

Physique IPCC-AR4

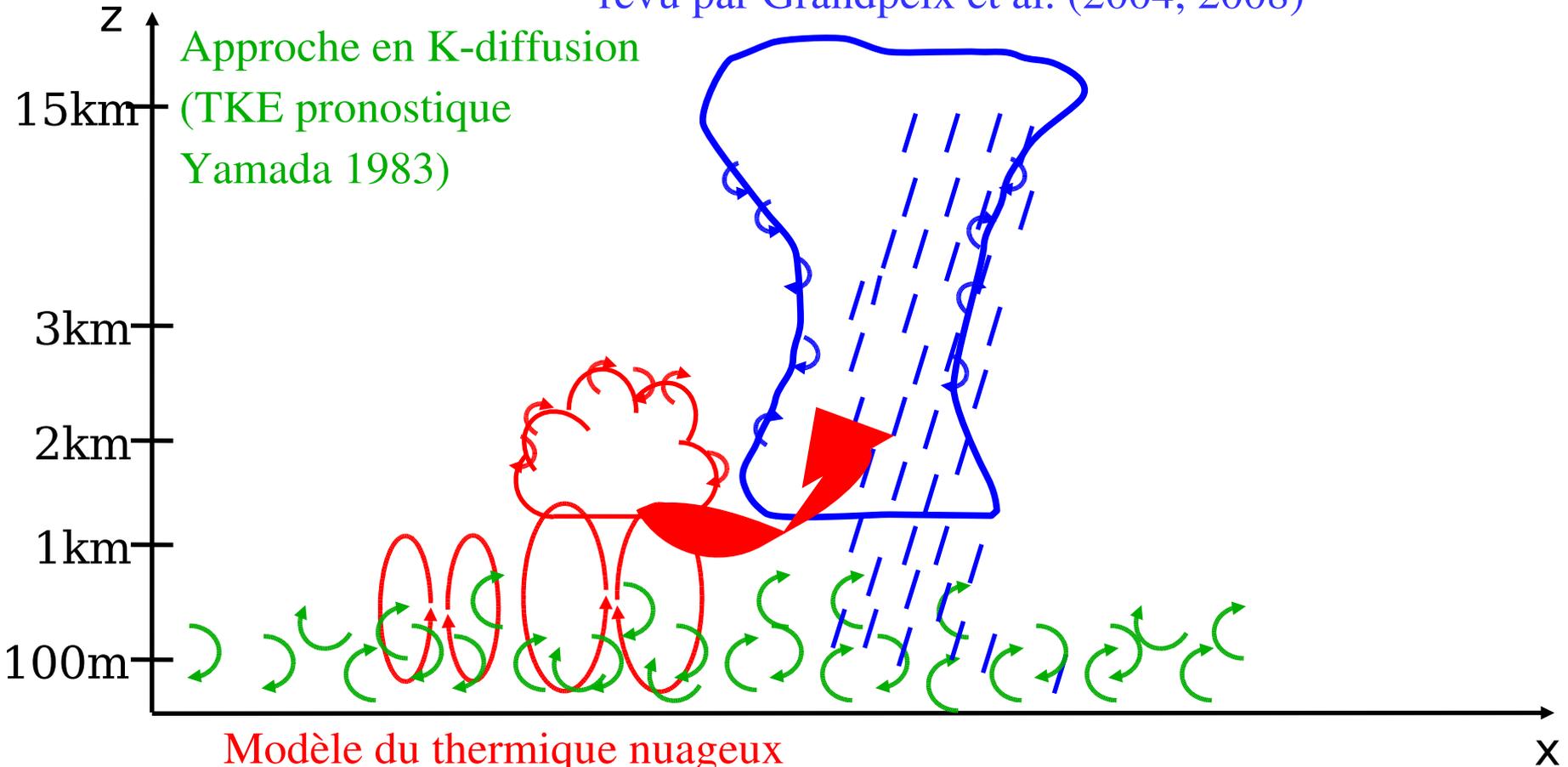
Schéma de convection nuageuse (Emanuel, 1993)



La paramétrisation des processus turbulents et nuageux

Nouvelle physique

Schéma de convection nuageuse (Emanuel, 1993)
revu par Grandpeix et al. (2004, 2008)



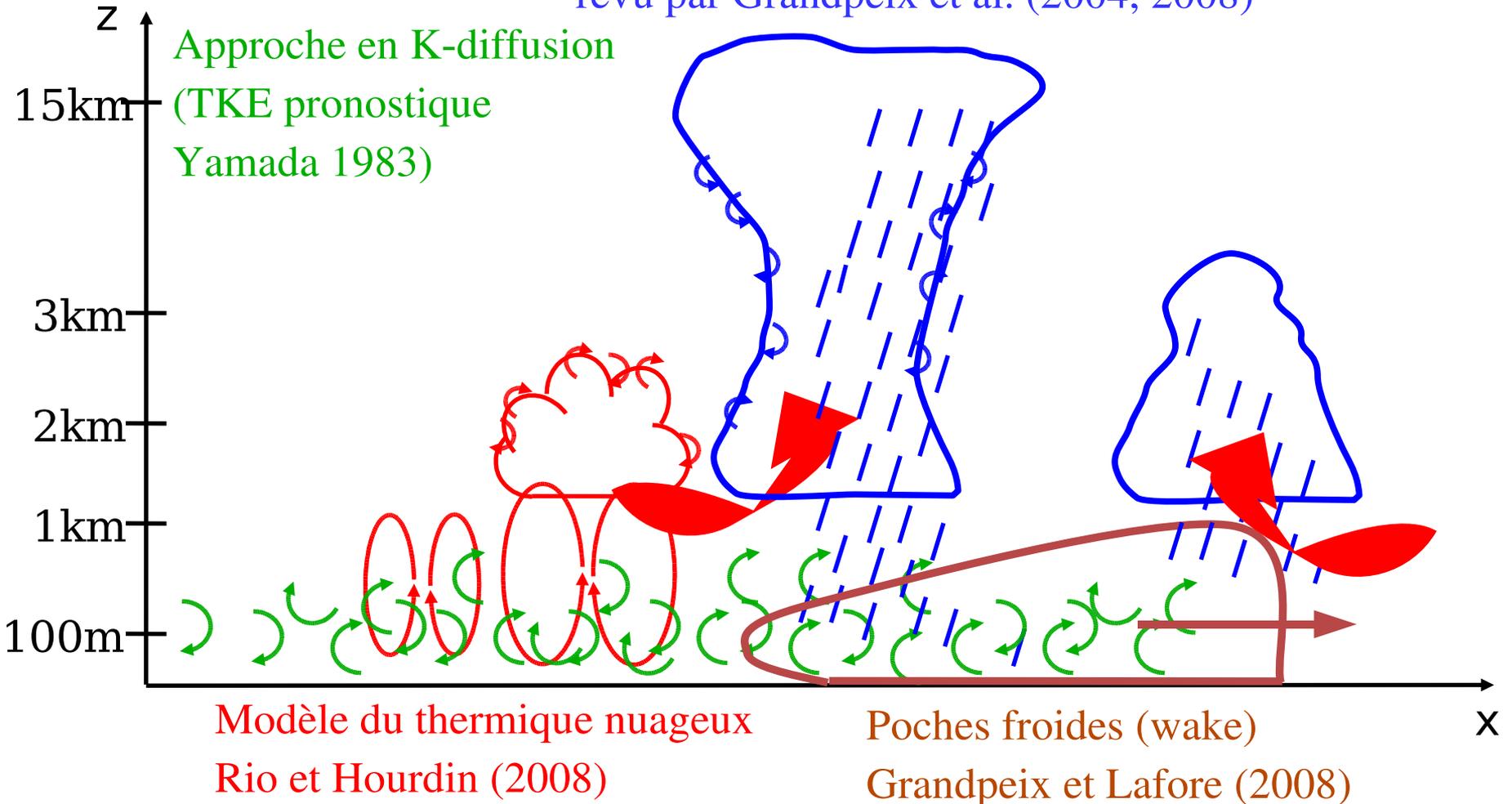
Approche en K-diffusion
(TKE pronostique
Yamada 1983)

Modèle du thermique nuageux
Rio et Hourdin (2008)

La paramétrisation des processus turbulents et nuageux

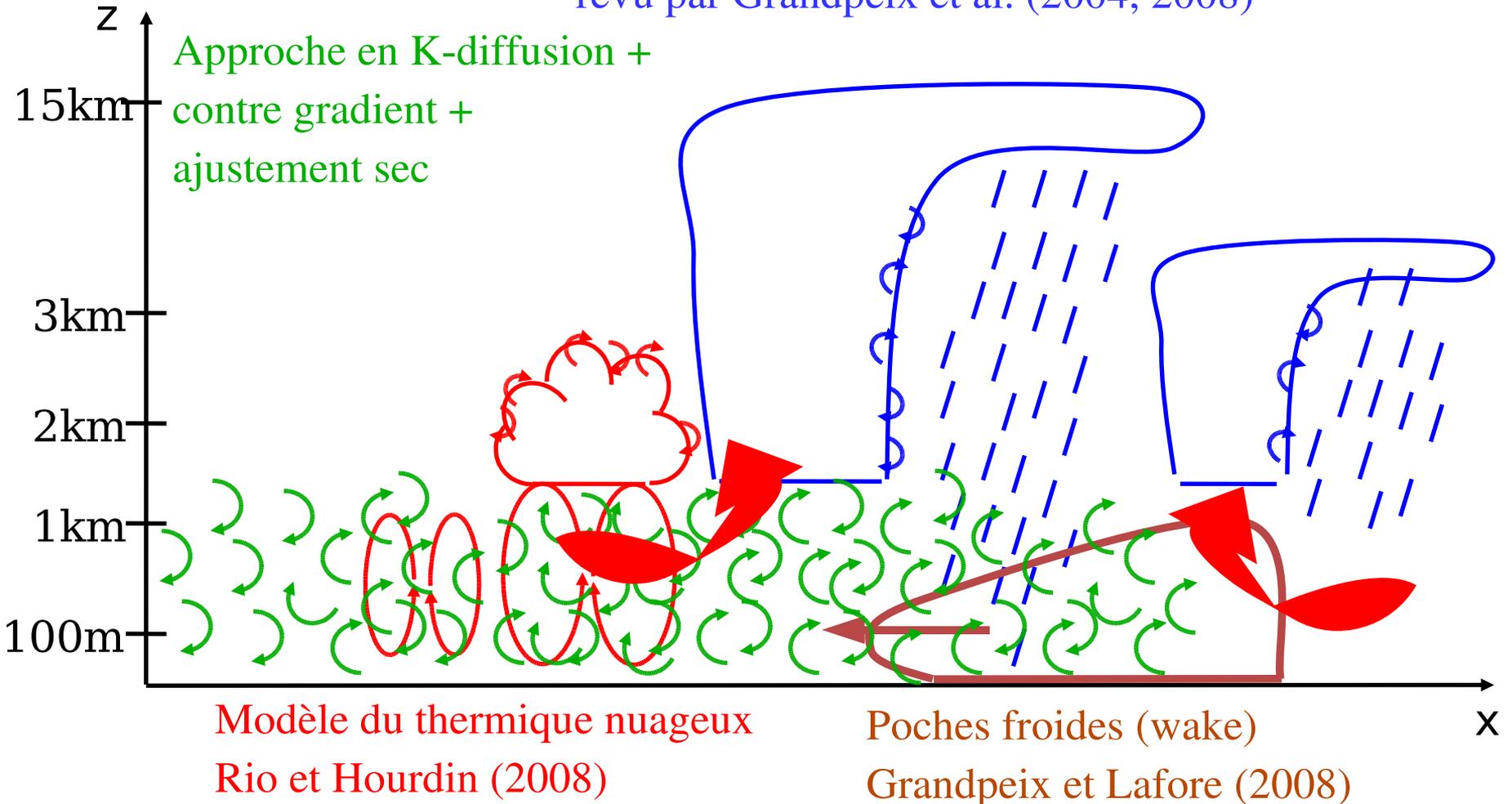
Nouvelle physique

Schéma de convection nuageuse (Emanuel, 1993)
revu par Grandpeix et al. (2004, 2008)

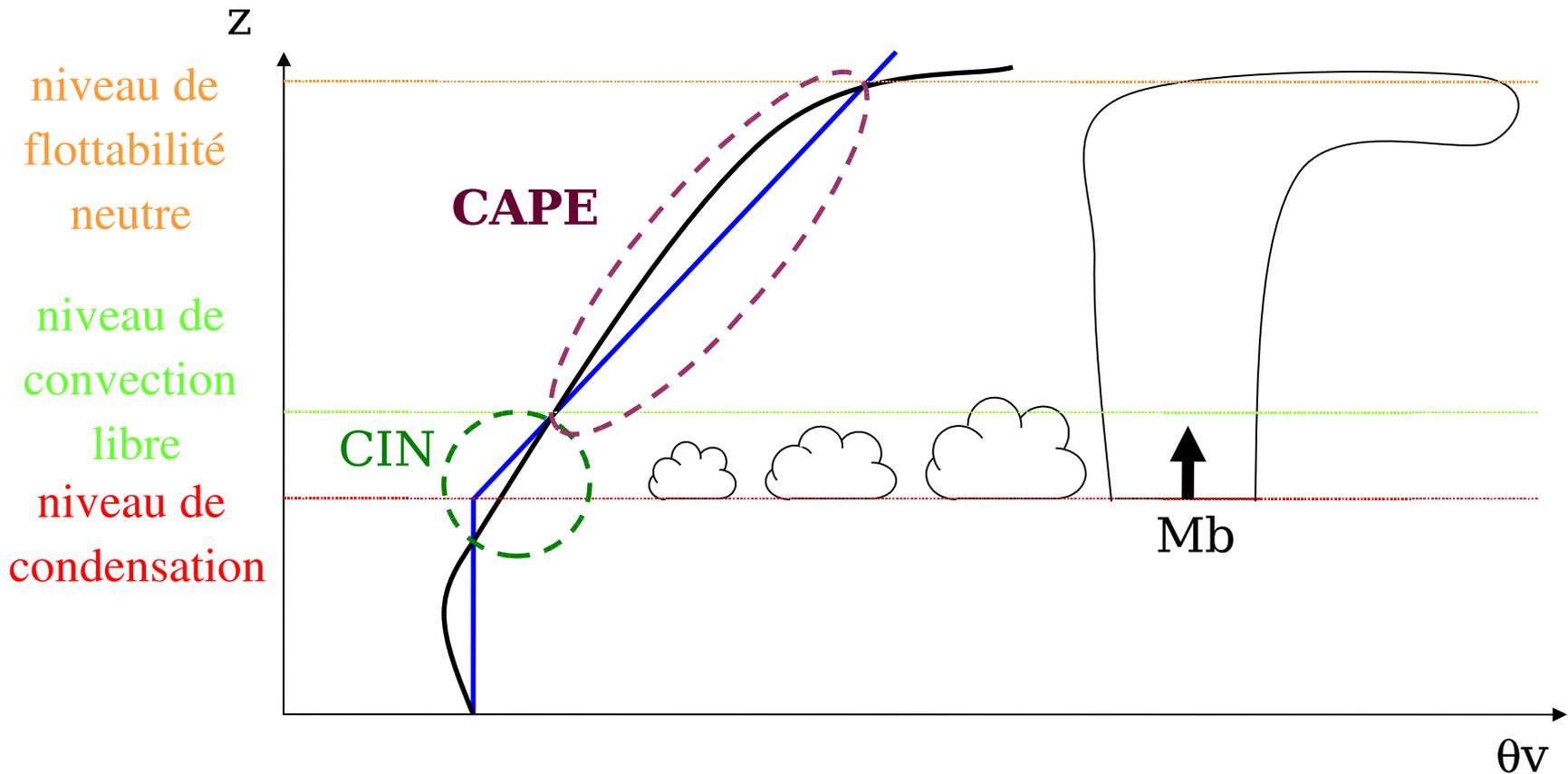


La paramétrisation des processus turbulents et nuageux

Schéma de convection nuageuse (Emanuel, 1993)
revu par Grandpeix et al. (2004, 2008)



Des cumulus aux cumulonimbus



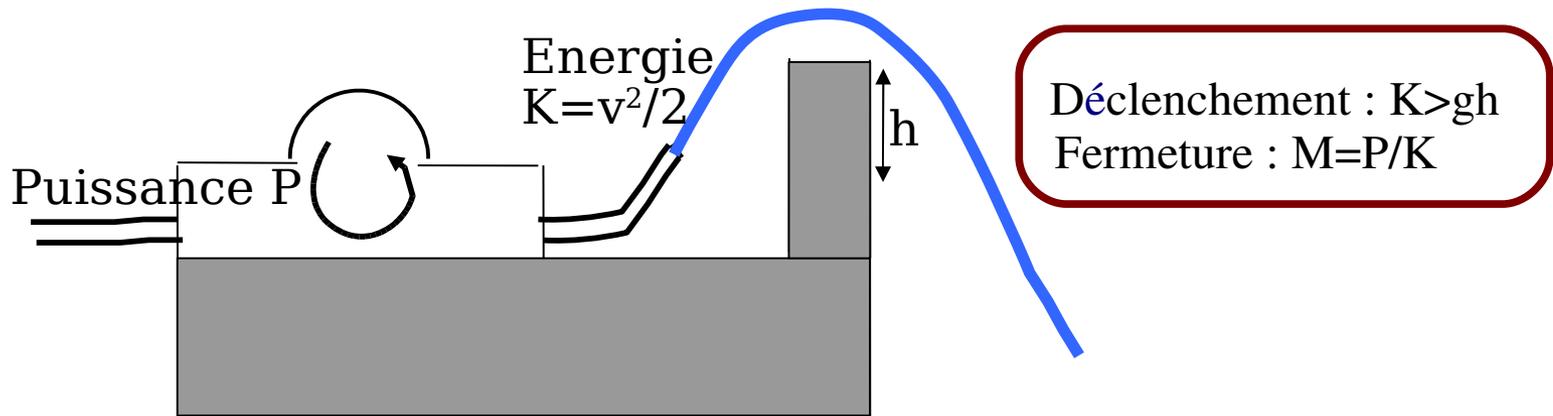
La convection profonde dans LMDZ: le schéma d'Emanuel (1991)

➤ Déclenchement de la convection profonde basé sur la flottabilité B :
 $B(LCL + 40hPa) > |CIN|$

➤ Intensité de la convection profonde: $Mb = F(CAPE)$

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

La convection profonde contrôlée par les processus sous-jacents

Energie de soulèvement (J/kg):

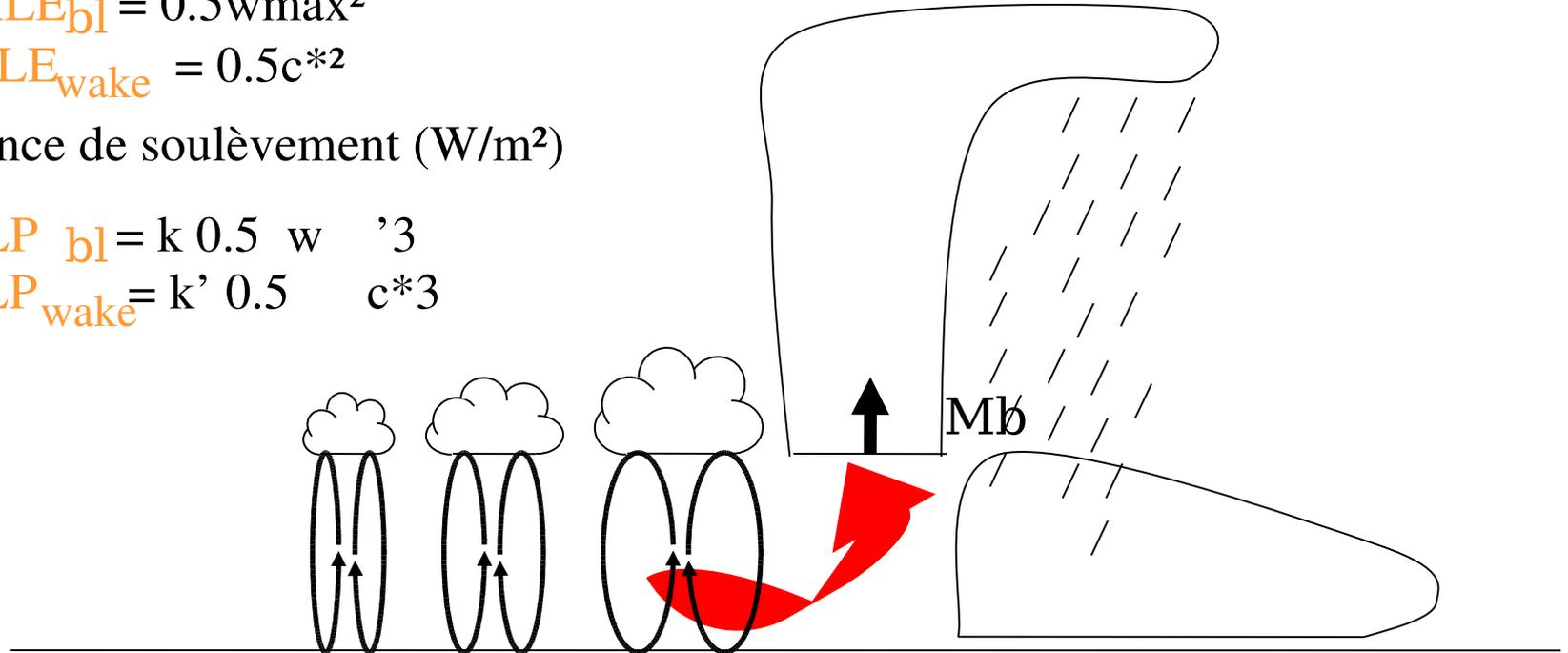
$$ALE_{bl} = 0.5w_{max}^2$$

$$ALE_{wake} = 0.5c^*2$$

Puissance de soulèvement (W/m²)

$$ALP_{bl} = k \cdot 0.5 \cdot w^3$$

$$ALP_{wake} = k' \cdot 0.5 \cdot c^{*3}$$

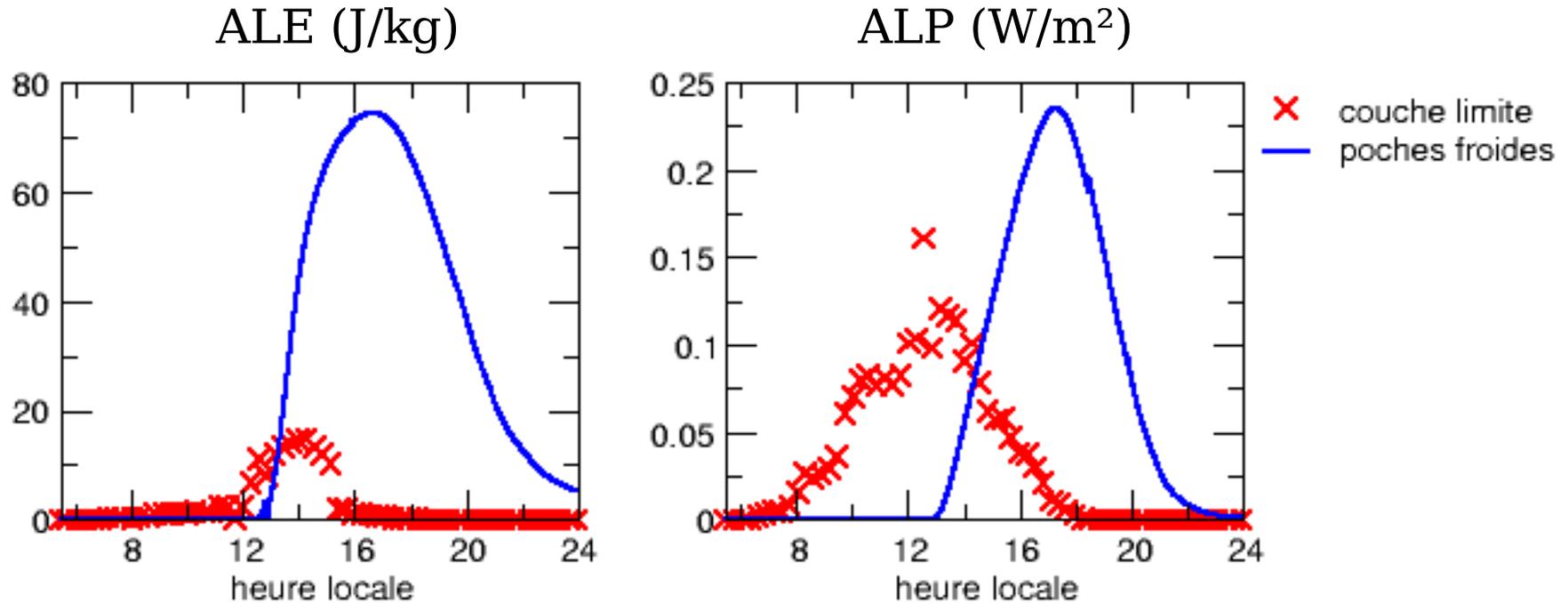


Nouvelle version du schéma de convection profonde de LMDZ (J.-Y. Grandpeix)

➤ Déclenchement de la convection profonde :
 $MAX(ALE_{bl} \ ALE_{wake}) > |CIN|$

➤ Intensité de la convection profonde:
 $Mb = F(ALP_{bl} + ALP_{wake})$

ALE et ALP sur le cas ARM de convection profonde



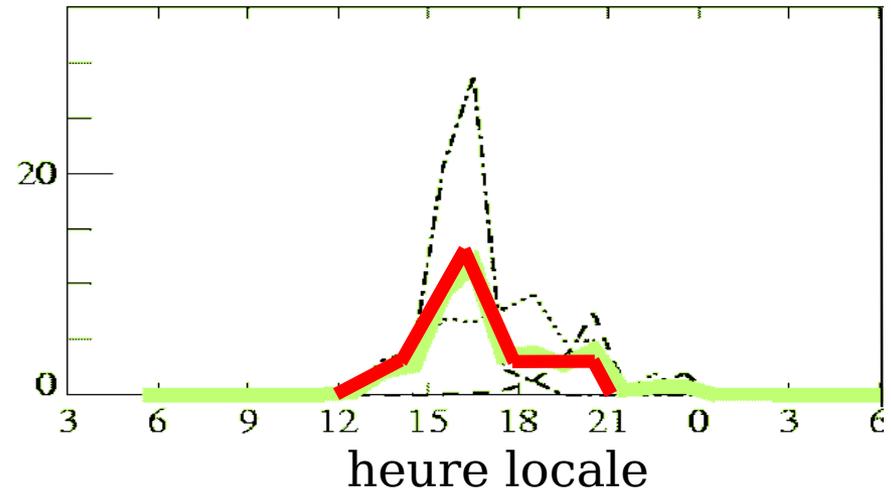
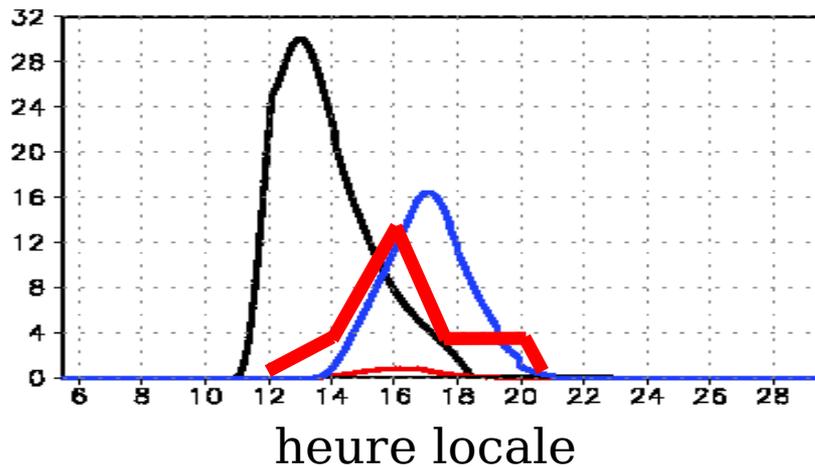
- Simulation CRM: modèle Méso-NH
- Simulation KE: couche limite diffuse + schéma d'Emanuel (1991)
- Simulation KE-TH: schéma diffusif + modèle du thermique nuageux + nouveau schéma de convection
- Simulation KE-TH-wake: schéma diffusif + modèle du thermique nuageux + nouveau schéma de convection + paramétrisation des poches froides (Grandpeix & Lafore)

Précipitations (mm/jour)

test 1D, eurocs

— KE
— KE-TH
— KE-TH-wake

Résultats de différents CRM
(Guichard & al., 2004)



- 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

```

subroutine ini_write

integer nfiles
character*.. name_files(nfiles)

data name_files/'histmth','histday','histhf'...
data type_files/'AVE(X)', 'AVE(X)', 'INS(X) ...
data escri_files/'AVE(X)', 'AVE(X)', 'INS(X) ...
data lev_files /      3 ,      2 ,      1 ...

integer,save :: flag_tsol(nfiles)    =/  1,  1,  1,  3,  1/
integer,save :: flag_precip(nfiles)  =/  1,  1,  1,  3,  1/
integer,save :: flag_dtcon(nfiles)   =/  4,  4,  6,  3,  1/

```

Cette liste définit le niveau lev_... à partir duquel on sort une variable particulière.

Elle peut être changée en bloc pour les cas AMIP, CLIM, ENSP

ini_write.AMIP -> ini_write.F90

```

do if=1,nfiles

zout = ecri_files(if)!frequence des sorties : 1 val. par mois
  idayref = day_ref
  CALL ymds2ju(annee_ref, 1, idayref, 0.0, zjulian)
  ....
  CALL histbeg_phy("histmth",itau_phy, zjulian, dtime,
.           nhuri, nid_mth)

  CALL histvert(nid_mth, "presnivs", "Vertical levels", "mb",
.           klev, presnivs/100., nvert)
c
  if(iflag_tsol(if)>=lev_files(if))
.   CALL histdef(nid_mth, "tsol", "Surface Temperature", "K",
.           iim,jj_nb,nhuri, 1,1,1, -99, 32,
.           type_files(if), zstophy,zout)
c
  if(iflag_precip(if)>=lev_files(if))
.   CALL histdef(nid_mth, "precip", "precipitation", "mm/s",
.           iim,jj_nb,nhuri, 1,1,1, -99, 32,
.           type_files(if), zstophy,zout)
c
  ....

  enddo

```

```
do if=1,nfiles

if(iflag_tsol(if)>=lev_files(if))
  CALL histwrite_phy(nid_mth,"tsol",itau_w,zxtsol)

if(iflag_precip(if)>=lev_files(if)) then
DO i = 1, klon
  zx_tmp_fi2d(i) = rain_fall(i) + snow_fall(i)
ENDDO
CALL histwrite_phy(nid_mth,"precip",itau_w,zx_tmp_fi2d)
endif
```

Ou faire une routine histritephy qui contienne elle meme la boucle sur les fichiers pour ne garder que

```
do if=1,nfiles

  CALL histwrite_phy(nid_mth,"tsol",zxtsol)
  xx_tmp_fi2d(:)=rain_fall(:)+snow_fall(:)
  CALL histwrite_phy(nid_mth,"precip",zx_tmp_fi2d)
```

AR4 : LMDZ4V2

couche limite ...

Schéma de nuages de Bony et Emanuel

Tiedtke -> Emanuel

Morcrette (RFM ?)

AR5 : LMDZ4V2 en backup pour les configuration ESM

LMDZ4V3 :

Mellor et Yamada + thermiques nuageux

Emanuel "amélioré" (Fermeture ALE/ALP,
mélange, couche d'alimentation)

Poches froides ?

Couplage convection / thermiques

RRTM ?