

# Évaluation de PCMT sur un cas d'onde d'est africaine couplée à la convection et travaux autour de l'équation de la vitesse verticale

**Julien LEGER**  
(CNRM/GMME/MOANA)

Avec la participation de  
David Pollack (ENM/EGM),  
Isabelle Beau (CNRM/GMGEC/EAC),  
Jean-François Guérémy (CNRM/GMGEC/EAC),  
Jean-Marcel Piriou (CNRM/GMAP/PROC),  
Jean-Philippe Lafore (CNRM/GMME/MOANA),  
Yves Bouteloup (CNRM/GMAP/PROC)

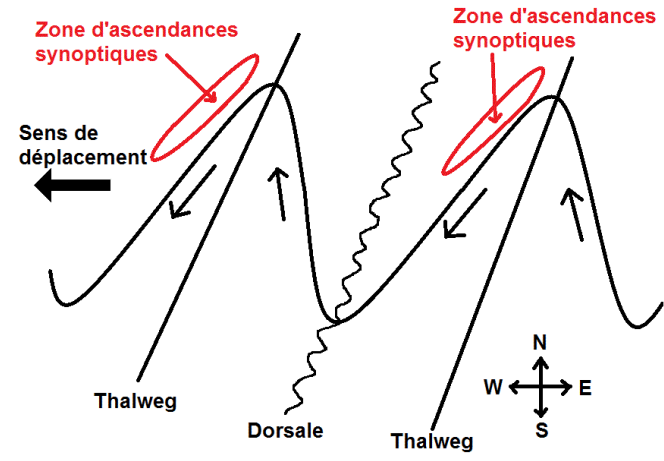
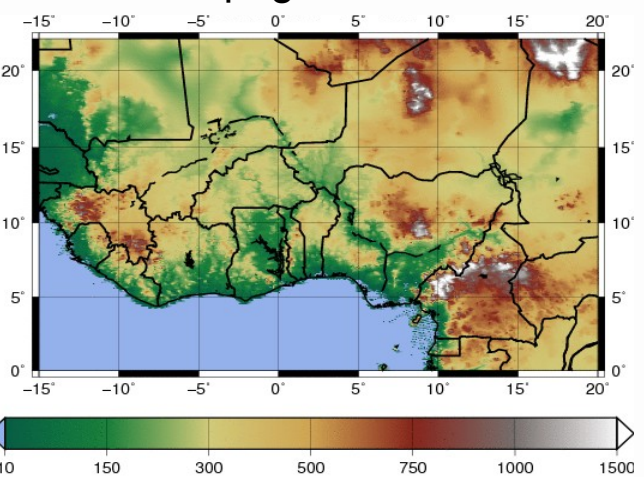
**AMA 2016**



**METEO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance

# Introduction

**Objectifs** : évaluer l'impact de PCMT sur un cas d'onde d'est africaine couplée à la convection de la campagne AMMA 2006 à 10 km de résolution.



Zone favorable à la convection ==> à l'avant des thalwegs générés par les ondes d'est

**Méthode** : simulation 3D à aire limitée (**LAM**) ALADIN avec convection paramétrée versus simulation AROME 5km avec convection explicite (**CRM**).

Domaine, conditions initiales, latérales, fréquences de couplage identiques.

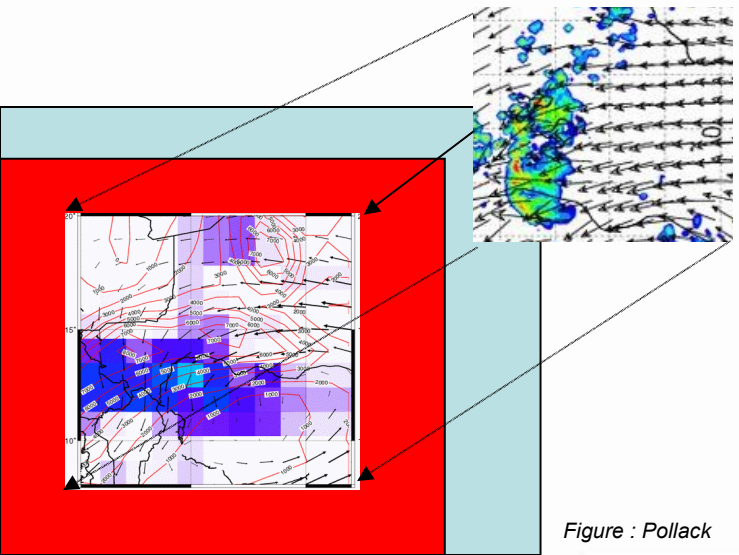


Figure : Pollack

# Plan

---

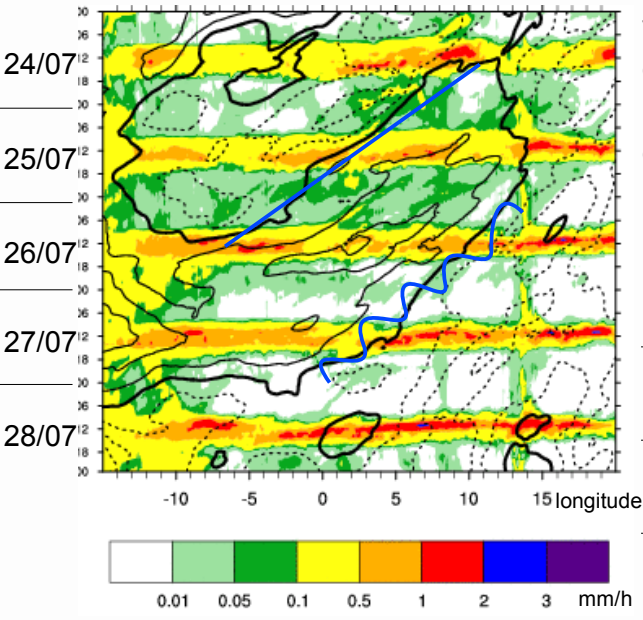
I/ Intercomparaison des physiques CMIP5, PNT et pré-CMIP6

II/ Étude approfondie de la physique pré-CMIP6 (Q1, Q2, Q3)

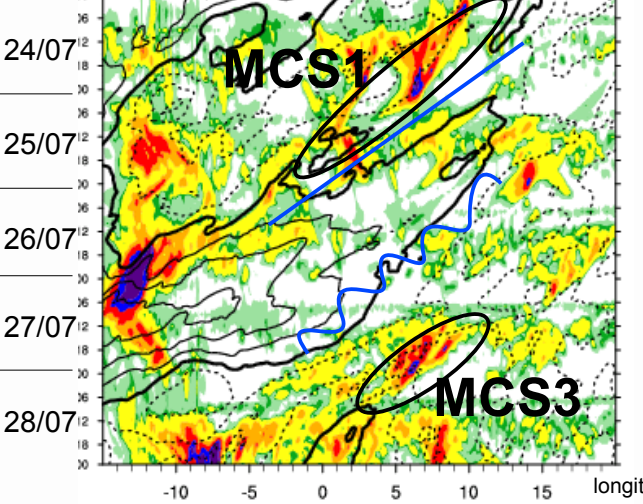
III/ Travail de thèse : Amélioration de la représentation de la vitesse verticale dans PCMT

# Comparaison des physiques pour les simulations à 10km

## CMIP5



## pré-CMIP6



Simulations ALADIN à 91 niveaux verticaux avec 4 résolutions horizontales différentes (10 km, 50 km, 125 km et 156 km) avec utilisation de 3 physiques différentes : CMIP5, PNT et pré-CMIP6.

## AROME (5km)

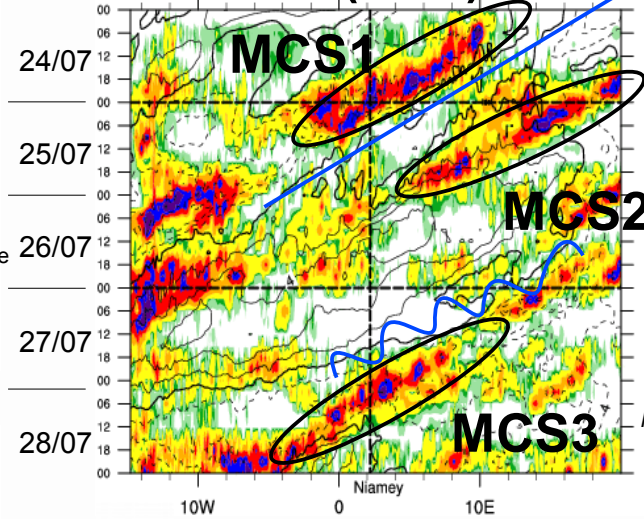
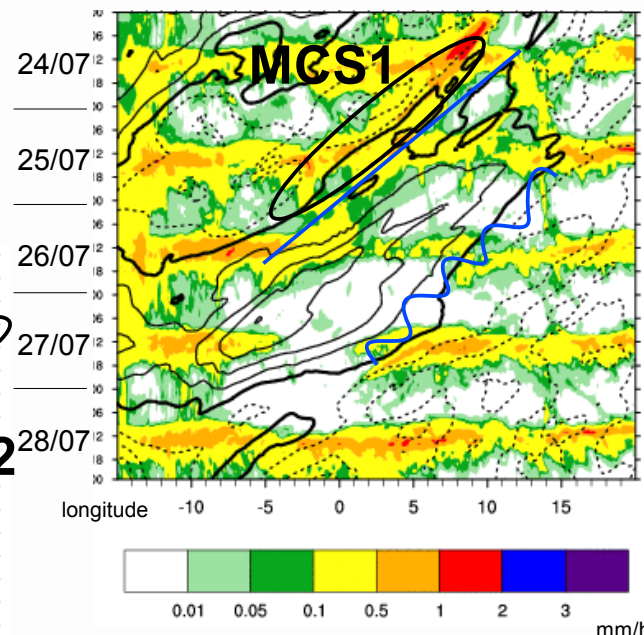


Diagramme Hovmöller  
8°N-15°N (RR+V700)

Nécessité d'avoir une résolution 10 km pour simuler 2 MCS structurés avec pré-CMIP6.

## PNT



## TRMM (25km)

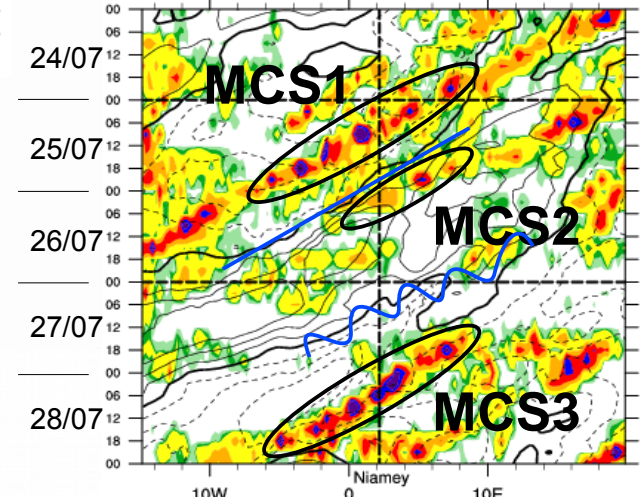
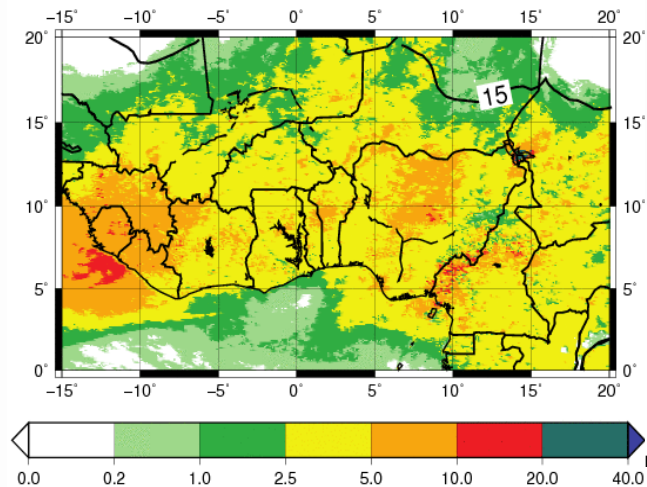


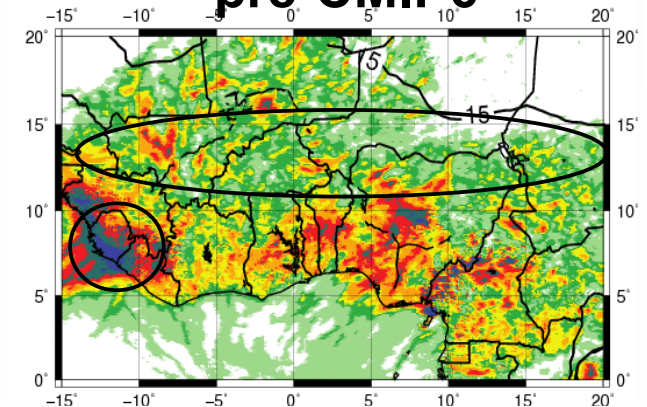
Figure : Beucher

# Comparaison des physiques pour les simulations à 10km

## CMIP5



## pré-CMIP6



## AROME (5km)

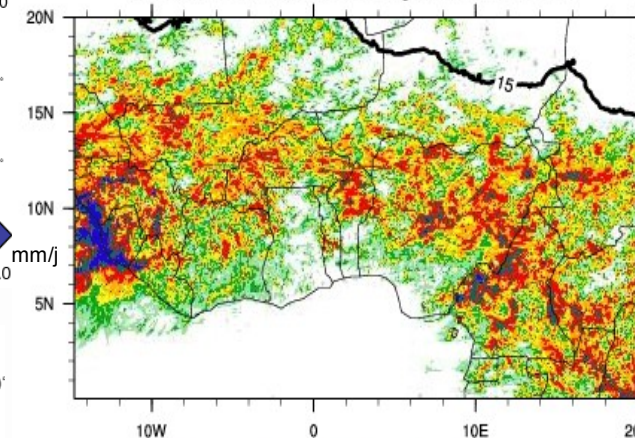
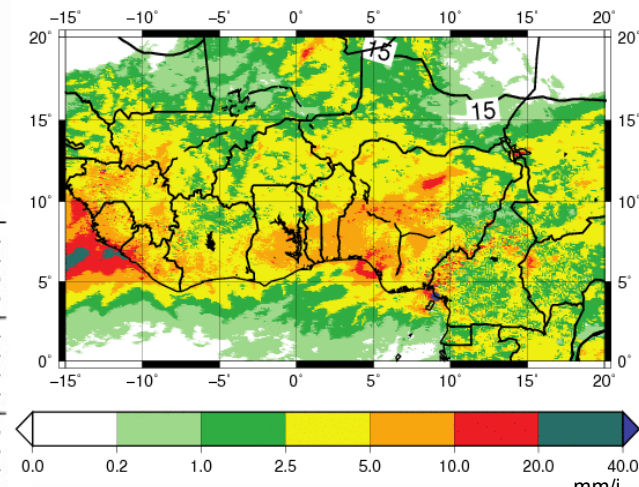


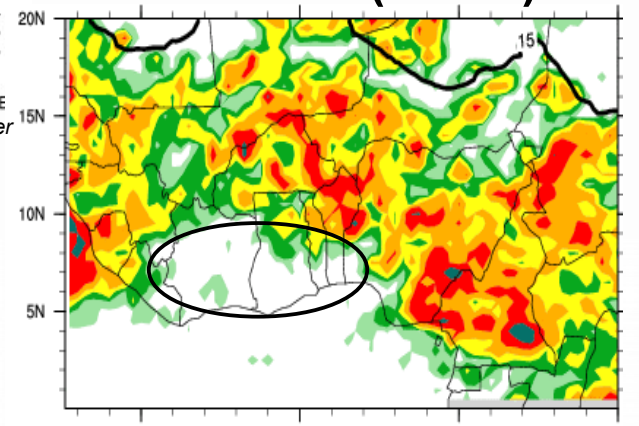
Figure : Beucher

Précipitations  
journalières moyennes  
du 24 au 28/07  
(mm/j) et  
Front InterTropical (FIT)

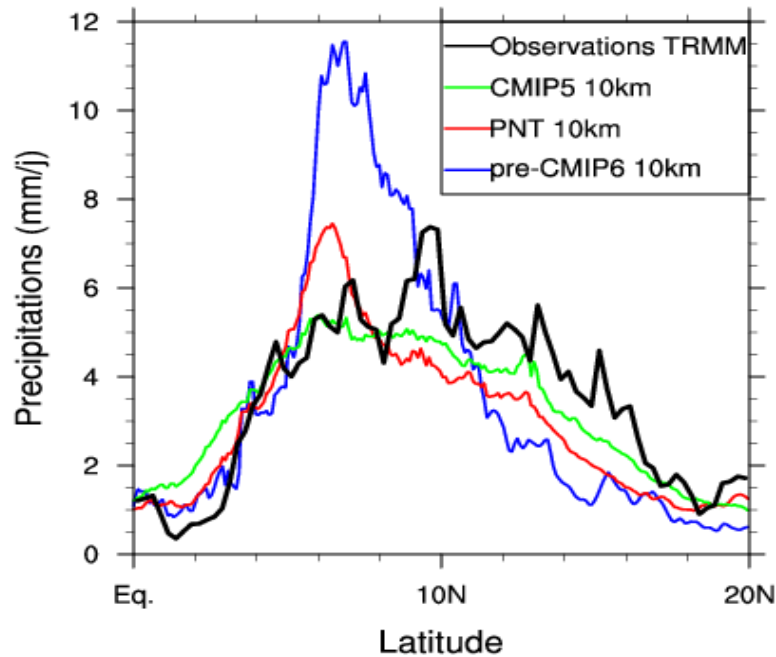
## PNT



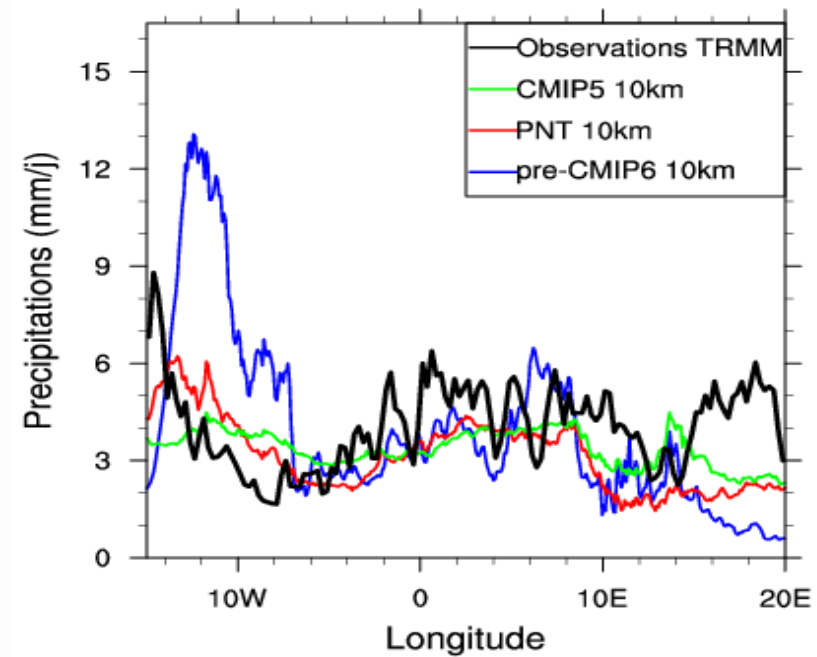
## TRMM (25km)



# Comparaison des physiques pour les simulations à 10km

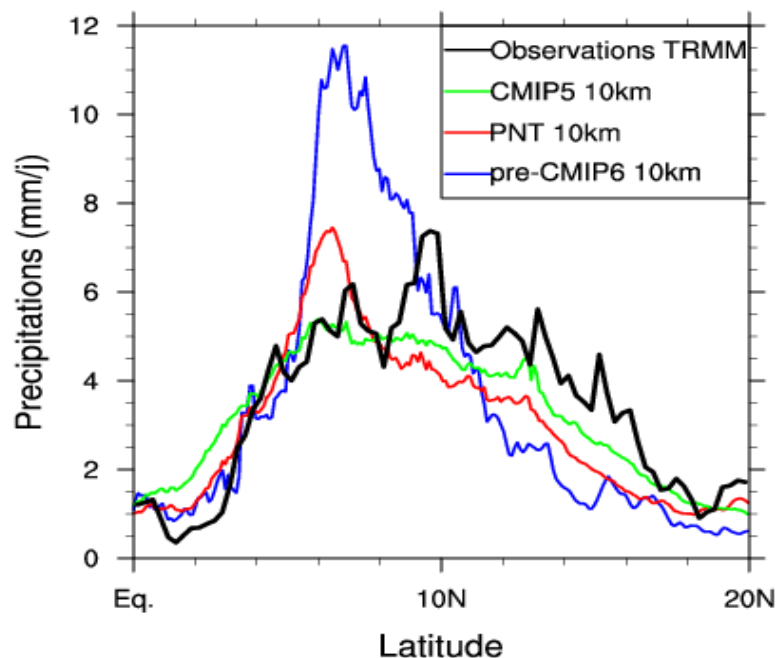


Distribution méridienne (moyenne zonale 15°W-20°E)

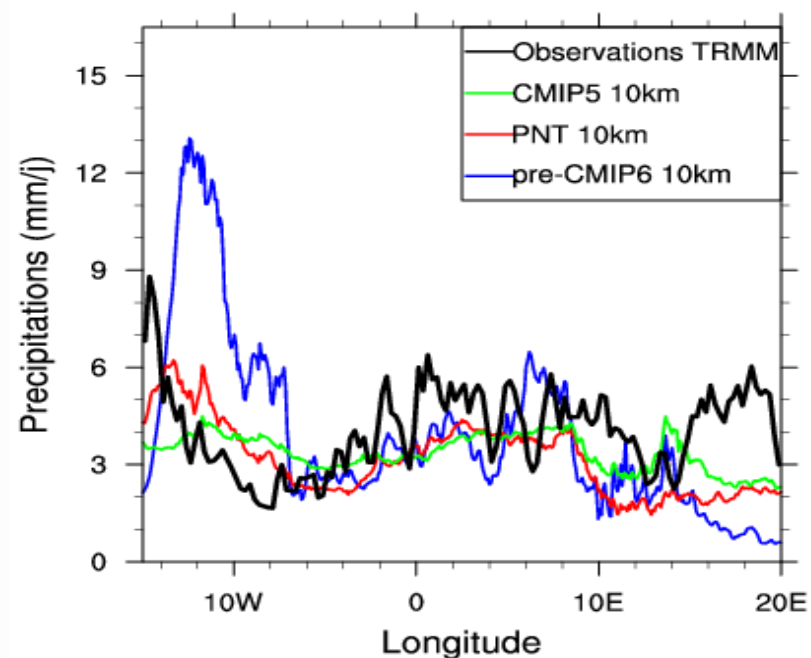


Distribution zonale (moyenne méridienne 6°N-20°N)

# Comparaison des physiques pour les simulations à 10km



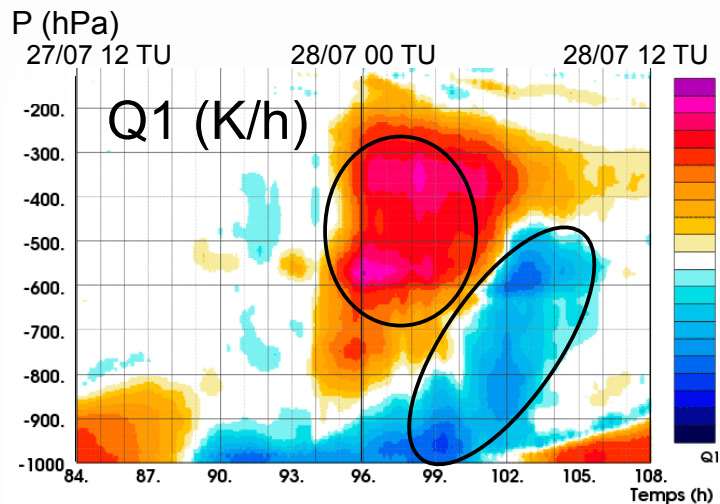
Distribution méridienne (moyenne zonale 15°W-20°E)



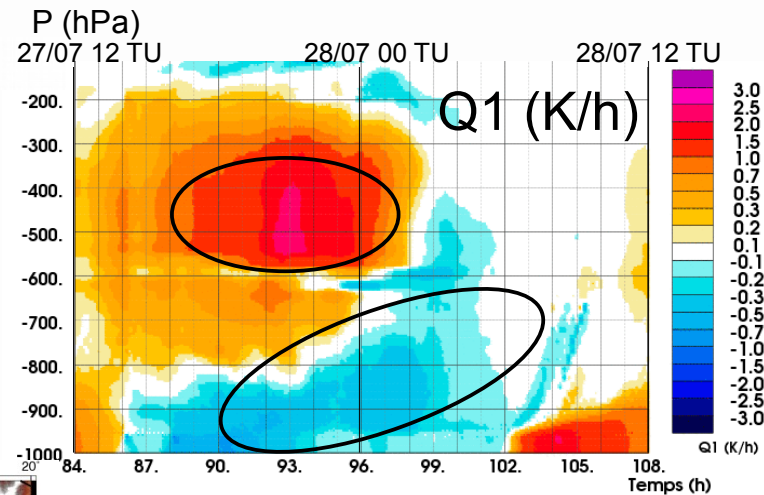
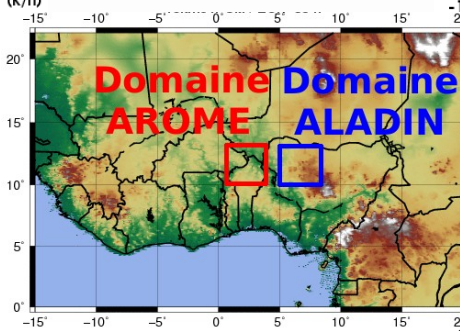
Distribution zonale (moyenne méridienne 6°N-20°N)

Simulations	Moyenne 0°N-20°N 15°W-20°E	Moyenne 6°N-20°N 15°W- 20°E
Observations TRMM	3,53 mm/j	4,06 mm/j
pré-CMIP6 10 km	3,54 mm/j	3,93 mm/j
PNT 10 km	3,03 mm/j	3,16 mm/j
CMIP5 10 km	3,26 mm/j	3,38 mm/j

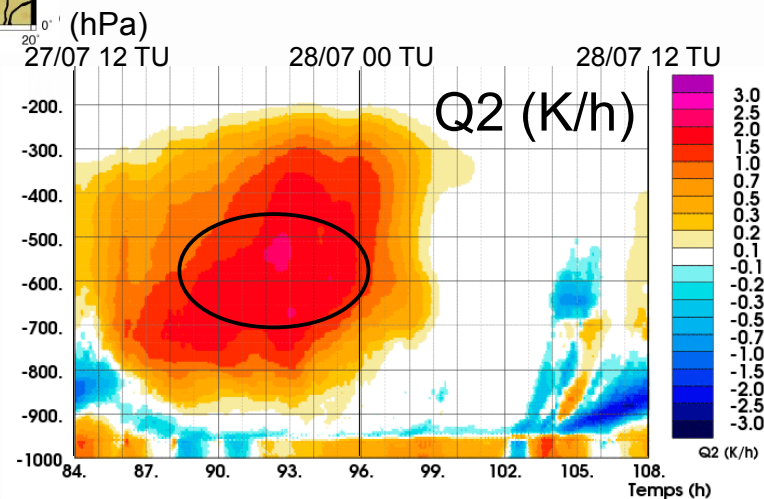
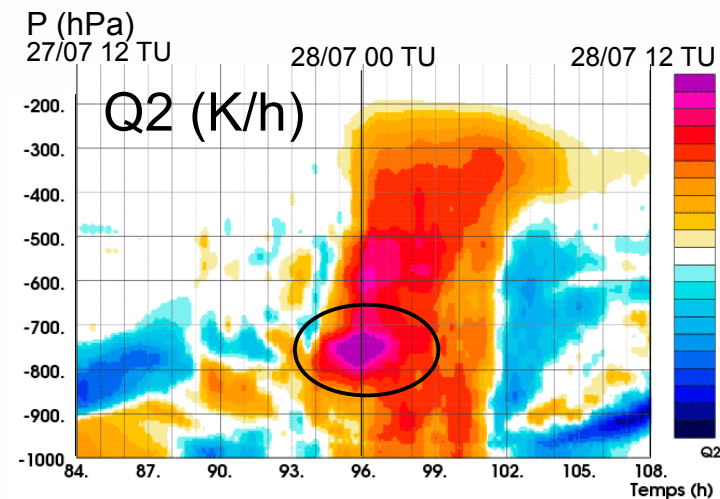
# Analyse des termes Q1 et Q2 pour le MCS3



**AROME 5km**

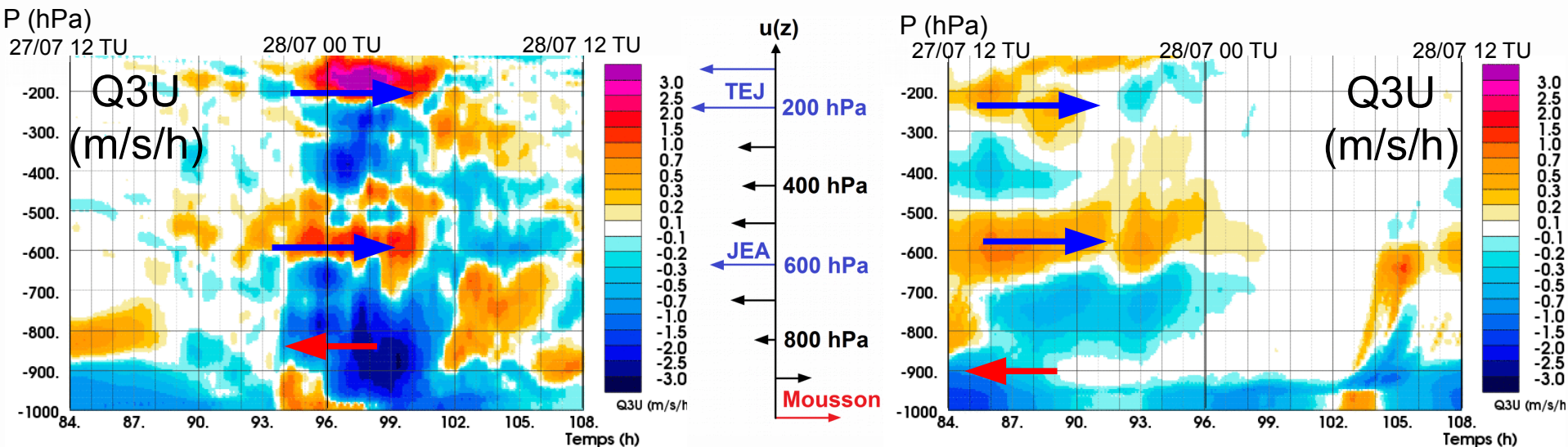


**pré-CMIP6 10km**



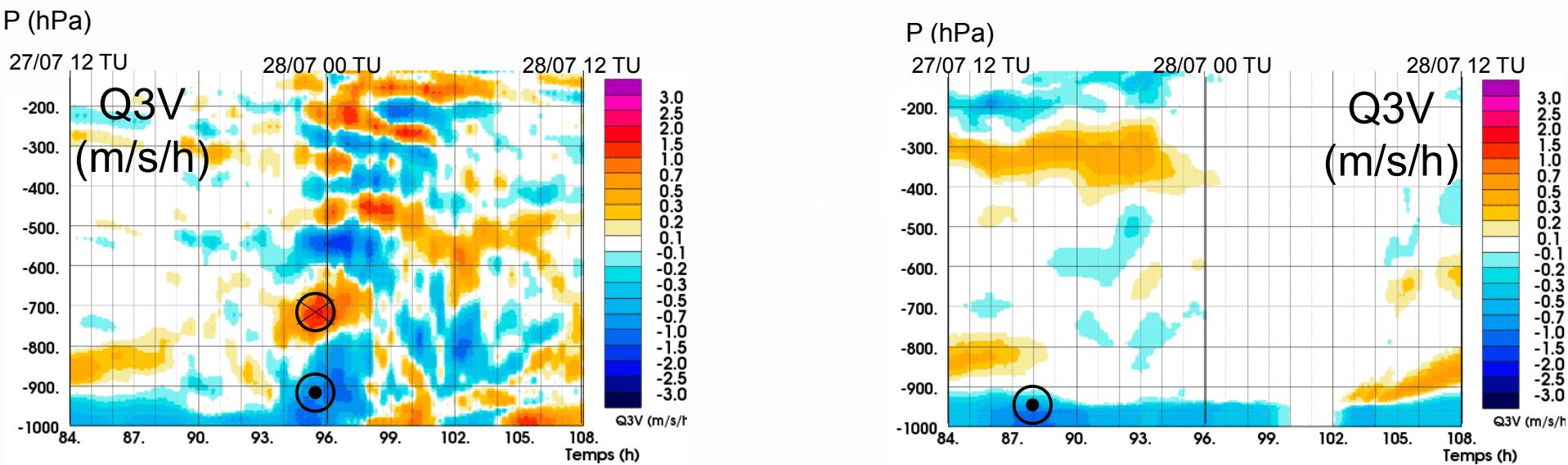


# Analyse des termes Q3U et Q3V pour le MCS3



**AROME 5km**

**pré-CMIP6 10km**



# Conclusion et perspective de l'évaluation

## Conclusion

- Sur ce cas, nécessité d'avoir une résolution de 10 km pour avoir une représentation correcte de MCS structurés.
- pré-CMIP6 représente mieux les phénomènes convectifs que les physiques CMIP5 et PNT :
  - ✓ Phasage correct de la convection avec la dynamique.
  - ✓ Bonne variabilité spatiale des précipitations moyennes.
  - ✓ Amélioration du cycle diurne pour toutes les résolutions testées.
  - ✓ Trop de précipitations au niveau de la ZCIT autour de la côte guinéenne.
  - ✓ ZCIT située trop au sud.
  - ✓ Trop peu de précipitations dans la zone sahélienne.
- Évaluation de pré-CMIP6 au travers des termes Q1, Q2, Q3 :
  - ✓ Bonne correspondance des termes de la simulation paramétrée par rapport à ceux de la simulation explicite pour le MCS3.

## Perspectives

- Méthode sensible à la définition des boîtes eulériennes ==> préférable d'avoir des boîtes lagrangiennes (suivi des MCS le long de leur cycle de vie)
- Étude de la structure verticale des termes Q1, Q2 et Q3 indépendamment de leur intensité (normalisation par les précipitations moyennes)
- Utilisation d'autres cas convectifs à traiter selon la même méthodologie (DEPHY2)

# Travail de thèse : Amélioration de la représentation de la convection

**Sujet de thèse** : Amélioration de la représentation du cycle de vie de la convection dans les modèles de prévision du temps et du climat

Changements majeurs du comportement d'Arpège avec l'introduction de PCMT :

- Amélioration de la distribution du régime des pluies
- Amélioration du cycle diurne de la convection

Défauts restants :

- Trop de précipitations au niveau de la ZCIT
- ZCIT trop pincée
- Manque de déclenchement dans les zones continentales ayant de la CIN
- Manque de propagation

Idée : Prendre en compte les perturbations de pression pour corriger une partie de ces défauts.

# Modification de « l'équation de la vitesse verticale » dans PCMT

Équation pronostique actuelle de  
la vitesse verticale sous-maille :

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = -\omega \frac{\partial \omega}{\partial p} + B_p \left( \frac{\epsilon_t}{\rho} + \epsilon_0 + K_d \right) \omega^2$$

# Modification de « l'équation de la vitesse verticale » dans PCMT

Équation pronostique actuelle de la vitesse verticale sous-maille :

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = -\omega \frac{\partial \omega}{\partial p} + B_p \left( \frac{\epsilon_t}{\rho} + \epsilon_0 + K_d \right) \omega^2$$

Équations pronostiques futures de la vitesse verticale sous-maille:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \omega}{\partial t} = - \left( u \frac{\partial \omega}{\partial x} + w \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) + B_z \left( - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x} \\ \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \\ \rho = \rho(z) \end{array} \right.$$

# Modification de « l'équation de la vitesse verticale » dans PCMT

Équation pronostique actuelle de la vitesse verticale sous-maille :

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\omega \frac{\partial w}{\partial p} + B_p + \left( \frac{\epsilon_t}{\rho} + \epsilon_0 + K_d \right) \omega^2$$

Équations pronostiques futures de la vitesse verticale sous-maille:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial w}{\partial t} = - \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) + B_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x} \\ \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \\ \rho = \rho(z) \end{array} \right.$$

Perturbation de pression dynamique

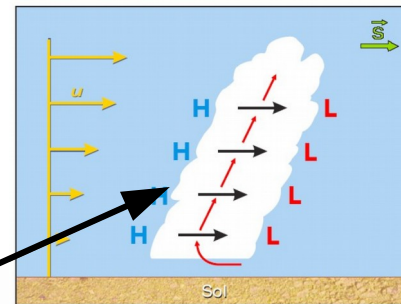


Figure : Malardel

Résolution numérique d'une équation elliptique en P' :

$$\nabla^2 P' = - \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \left[ u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] \right) + \frac{\partial(\rho B_z)}{\partial z}$$

Perturbation de pression liée à la flottabilité

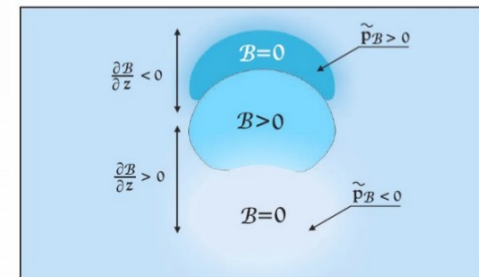


Figure : Malardel

# Modification de « l'équation de la vitesse verticale » dans PCMT

Équation pronostique actuelle de la vitesse verticale sous-maille :

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\omega \frac{\partial w}{\partial p} + B_p + \left( \frac{\epsilon_t}{\rho} + \epsilon_0 + K_d \right) \omega^2$$

Équations pronostiques futures de la vitesse verticale sous-maille:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial w}{\partial t} = - \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) + B_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x} \\ \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \\ \rho = \rho(z) \end{array} \right.$$

Perturbation de pression dynamique

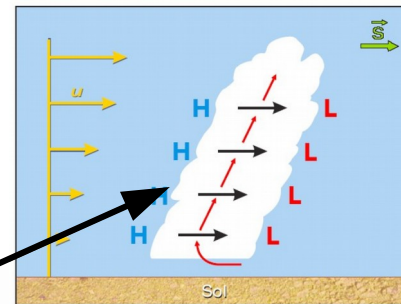


Figure : Malardel

Résolution numérique d'une équation elliptique en P' :

$$\nabla^2 P' = - \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \left[ u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] \right) + \frac{\partial(\rho B_z)}{\partial z}$$

Perturbation de pression liée à la flottabilité

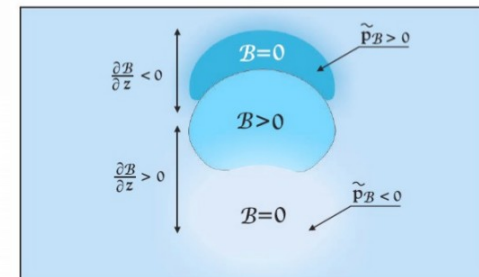
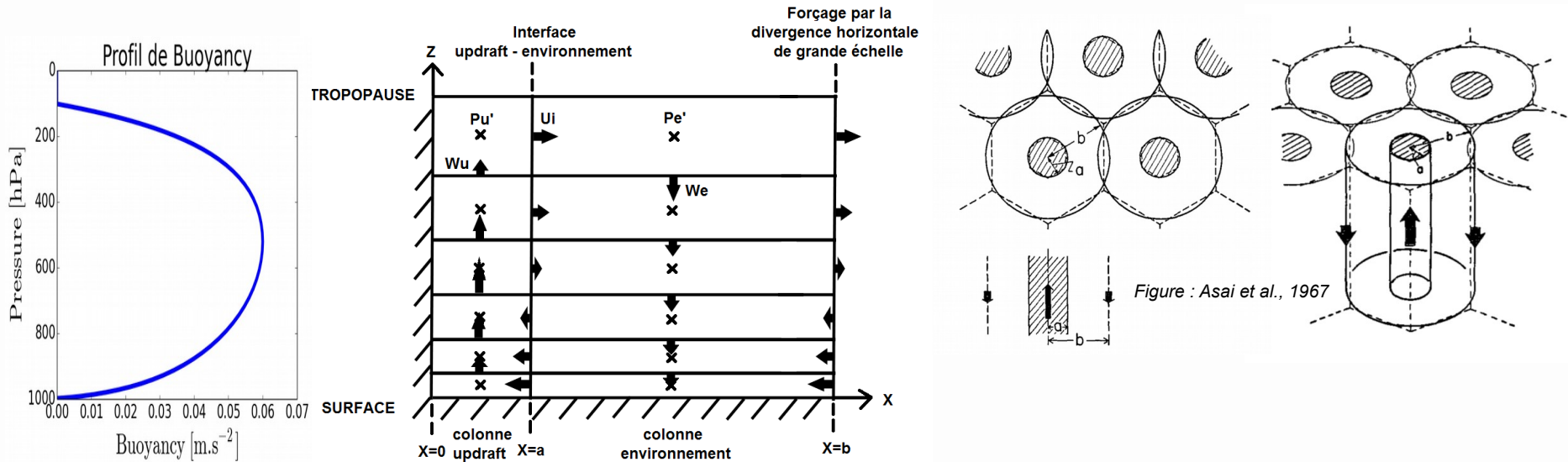


Figure : Malardel

Avantage : permet de mieux prendre en compte certains processus physiques (advection, frein de pression) qui contrôlent la vitesse verticale.

Pour le moment : pas de couplage entre la dynamique et la thermodynamique.

# Configuration de ce modèle à 2 colonnes

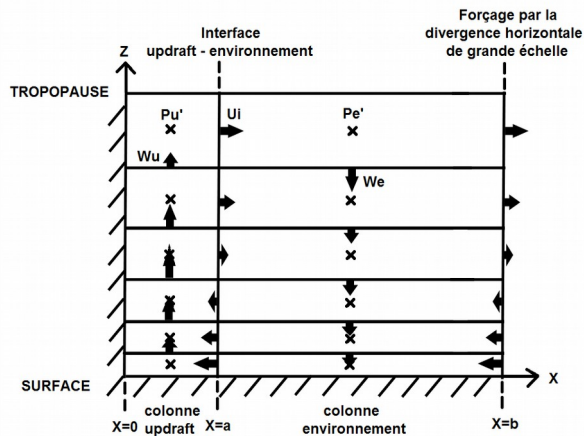


- **2 géométries différentes : 2D SLAB et AXIAL**
  - **Représentation de la convection à travers un modèle non hydrostatique à 2 colonnes**
  - **Choix d'une grille C en coordonnées z**
  - **5 équations à discrétiser :**
    - 2 équations d'évolution pour  $w_u$  et  $w_e$
    - 1 équation d'évolution pour  $u$  à l'interface entre les 2 colonnes
    - 2 équations de continuité pour chaque colonne
- ⇒ inversion d'une matrice tridiagonale pour trouver l'anomalie de pression horizontale
- Introduction de **facteurs de forme** pour le  $w_u$  et  $w_e$  :
- ⇒ modification non négligeable des coefficients dans le terme d'advection suivant l'hypothèse de la forme de  $w_u$  (top hat, linéaire, parabolique)



# Conclusion et perspective sur le travail de thèse

## Conclusion



- Permet de mieux représenter le profil de vitesse verticale
- Fermeture du schéma possible : nombre de cellules
- Limite : s'il n'y a pas de flottabilité positive dès les premiers niveaux  $\Rightarrow$  problème du déclenchement
- Implémentation dans le code PCMT en cours
- Création de nombreux diagnostics pour bien analyser le comportement de ce modèle simple. Utilisation d'un cas 1D de convection océanique idéalisé (Derbyshire et al., 2004)

## Perspectives

- Introduction de termes sources liés à différents processus (turbulence sous-maille, relief sous-maille,...)
- Développement d'un modèle à 3 colonnes (updraft, downdraft, environnement)  
Nécessité de coupler la dynamique avec la thermodynamique (besoin d'une équation pronostique pour la flottabilité sous maille)
- Si le cas 1D est concluant, évaluation sur des cas 3D couplés (AMMA, CINDY DYNAMO,...)

An aerial photograph of a town, likely in the Alps, is shown from a high angle. The town is surrounded by green hills and is partially obscured by a thick layer of white clouds. Overlaid on the bottom half of the image is a white weather map showing isobars (lines of equal atmospheric pressure) and wind vectors (arrows). The isobars are labeled with values such as 1010, 1015, 1020, 1025, 1030, 1035, and 1040. The wind vectors indicate a flow from the southwest towards the northeast. The background of the entire image is a deep blue gradient.

# Merci de votre attention



**METEO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance

An aerial photograph of a town, likely in a mountainous region, is shown from a high angle. The town is surrounded by green hills and fields. A weather map is overlaid on the bottom half of the image, featuring white contour lines representing pressure systems and wind vectors. The word "Annexes" is written in large, white, sans-serif font across the center of the image, partially overlapping the town and the weather map. The background is a deep blue gradient with a stylized sun in the top left corner.

# Annexes



**METEO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance

# Équations discrétisées du modèle

Les 5 équations discrétisées :

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{i,k}^{n+1} = u_{i,k}^n - \frac{2\Delta t}{\rho_k} \left( \frac{P'_{e,k} - P'_{u,k}}{b} \right) \\ w_{u,k}^{n+1} = w_{u,k}^n - \frac{\Delta t}{a} \int_0^a (u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z}) dx + \Delta t B_k - \frac{\Delta t}{\rho_k} \left( \frac{P'_{u,k} - P'_{u,k+1}}{\Delta^M z(k+1)} \right) \\ w_{e,k}^{n+1} = w_{ue,k}^n - \frac{\Delta t}{b-a} \int_a^b (u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z}) dx - \frac{\Delta t}{\rho_k} \left( \frac{P'_{e,k} - P'_{e,k+1}}{\Delta^M z(k+1)} \right) \\ \rho_k \frac{u_{i,k}^n}{a} + \frac{\overline{\rho_{k-1}} w_{u,k-1}^n - \overline{\rho_k} w_{u,k}^n}{\Delta^F z(k)} = 0 \\ \rho_k \frac{u_{e,k}^n - u_{i,k}^n}{b-a} + \frac{\overline{\rho_{k-1}} w_{e,k-1}^n - \overline{\rho_k} w_{e,k}^n}{\Delta^F z(k)} = 0 \end{array} \right.$$

Introduction des facteurs de forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{iu,k}^{F,n}(x) = u_{i,k}^n \times g_u(x) \text{ avec } g_u(0) = 0 \\ w_{u,k}^{F,n}(x) = w_{u,k}^n \times f_u(x) \text{ avec } f_u(a) = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} u_{ie,k}^{F,n}(x) = u_{i,k}^n \times g_e(x) \text{ avec } g_e(a) = g_u(a) \\ w_{e,k}^{F,n}(x) = w_{e,k}^n \times f_e(x) \text{ avec } f_e(a) = f_u(a) = 0 \end{array} \right.$$

Conditions nécessaires :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{a} \int_0^a w_{u,k}^{F,n}(x) dx = w_{u,k}^n \\ \frac{1}{b-a} \int_a^b w_{e,k}^{F,n}(x) dx = w_{e,k}^n \end{array} \right. \iff \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{a} \int_0^a f_u(x) dx = 1 \\ \frac{1}{b-a} \int_a^b f_e(x) dx = 1 \end{array} \right.$$

Les termes d'advections dépendent de la forme de w supposée

$$A_{u,k} = -\frac{u_{i,k}^n w_{u,k}^n}{a} \int_0^a \left( \frac{1}{a} \int_0^x f_u(t) dt \right) \frac{df_u(x)}{dx} dx - w_{u,k}^n \frac{w_{u,k-1}^n - w_{u,k+1}^n}{\Delta^F z(k) + \Delta^F z(k+1)} \frac{1}{a} \int_0^a f_u(x)^2 dx$$

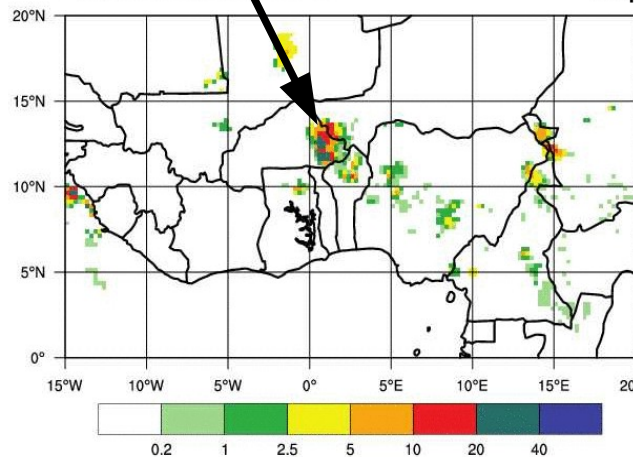
$$A_{e,k} = -\frac{u_{i,k}^n w_{e,k}^n}{b-a} f_e(b) - \frac{w_{e,k}^n (u_{e,k}^n - u_{i,k}^n)}{b-a} \int_a^b \left( \frac{1}{b-a} \int_a^x f_e(t) dt \right) \frac{df_e(x)}{dx} dx - w_{e,k}^n \frac{w_{e,k-1}^n - w_{e,k+1}^n}{\Delta^F z(k) + \Delta^F z(k+1)} \frac{1}{b-a} \int_a^b f_e(x)^2 dx \quad (23)$$

# Description du cas d'étude

Utilisation de données TRMM 3B42 pour repérer les MCS.

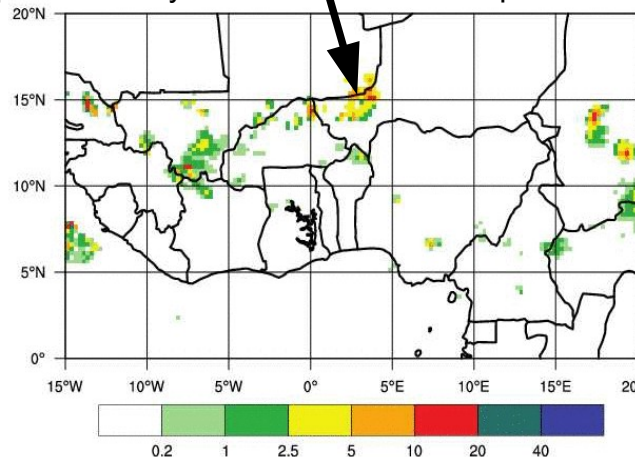
	Trajectoire	Période de vie
MCS 1	12°N-5°E ==> 13°N-7°W	De 00 TU le 25 à 00 TU le 26
MCS 2	15°N-6°E ==> 14°N-1°W	De 20 TU le 25 à 05 TU le 26
MCS 3	9°N-8°E ==> 7°N-7°W	De 13 TU le 27 à 00 TU le 29

MCS 1  
25/07  
0730 TU – 1030 TU

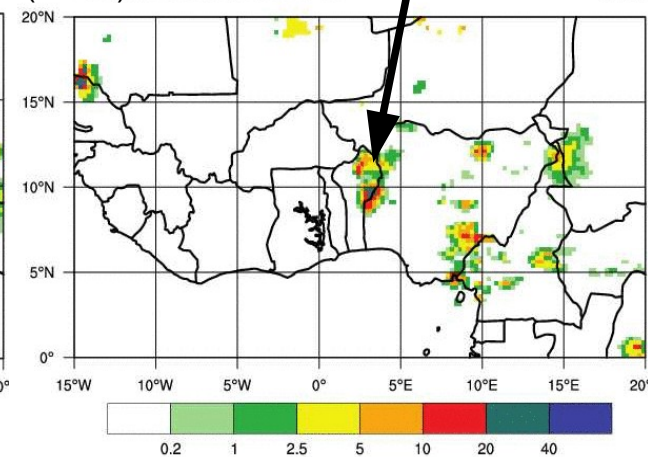


MCS 2  
25/07-26/07  
2230 TU – 0130 TU

Précipitations moyennes 3h observées par TRMM (mm/h)

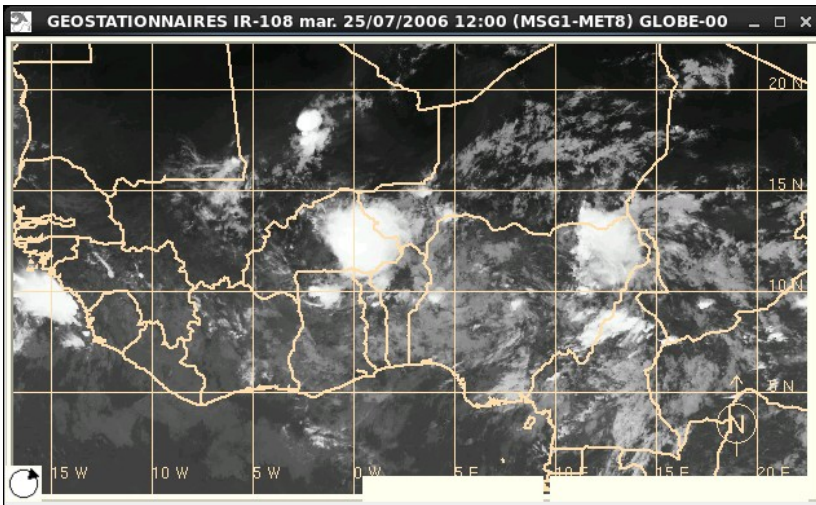


MCS 3  
28/07  
0130 TU – 0430 TU

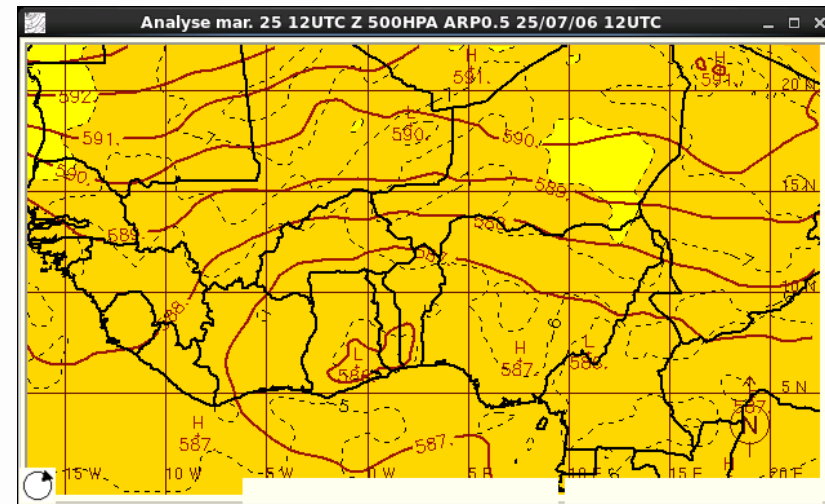


# Analyse de la grande échelle

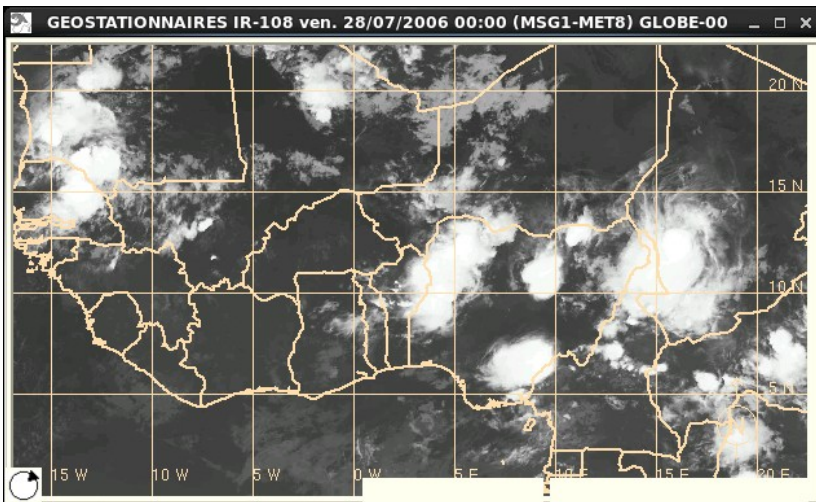
**IR 10,8 $\mu$ m 25/07 12 TU**



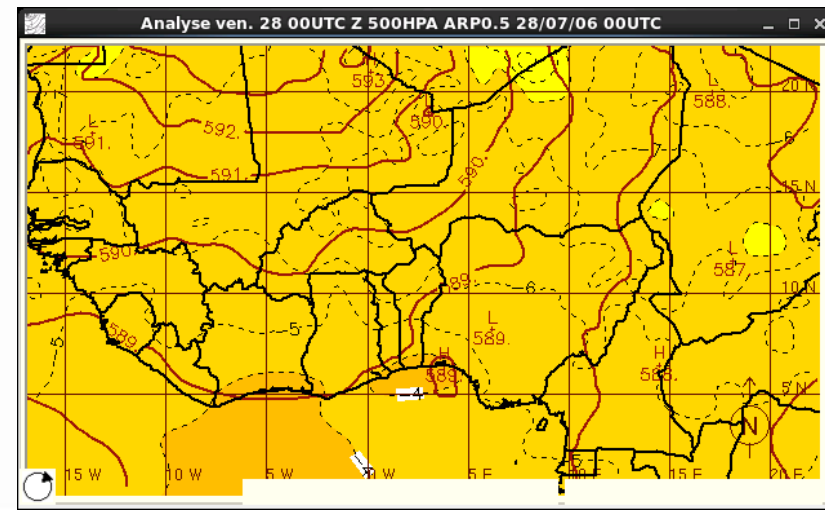
**ZT 500  
25/07 12 TU**



**IR 10,8 $\mu$ m 28/07 00 TU**

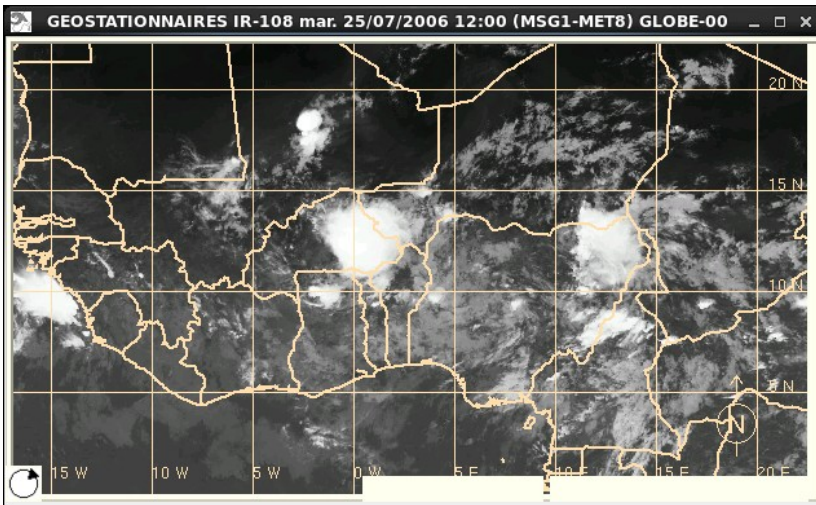


**ZT 500  
28/07 00 TU**

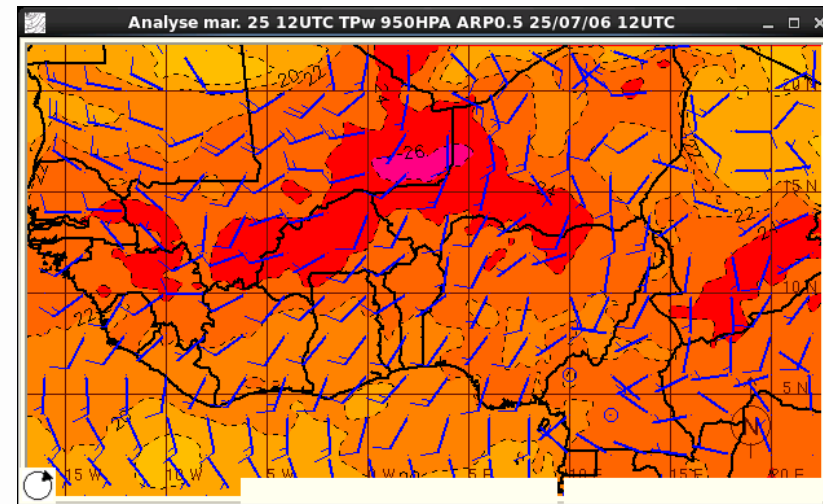


# Analyse de la grande échelle

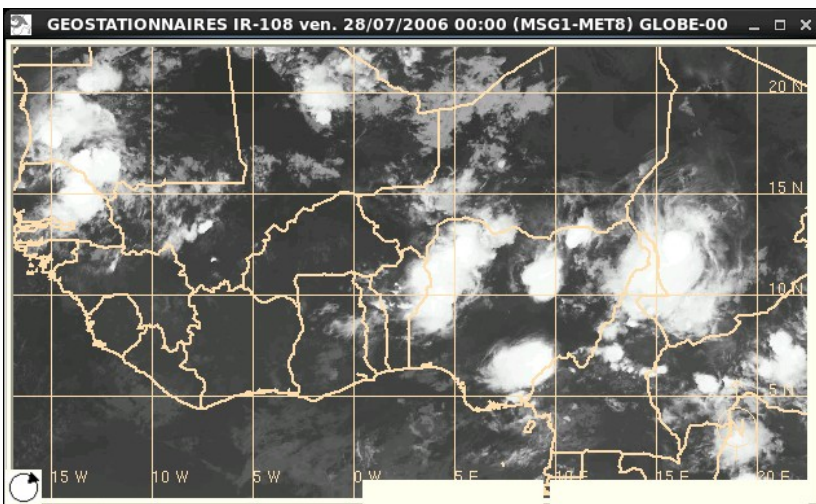
**IR 10,8 $\mu$ m 25/07 12 TU**



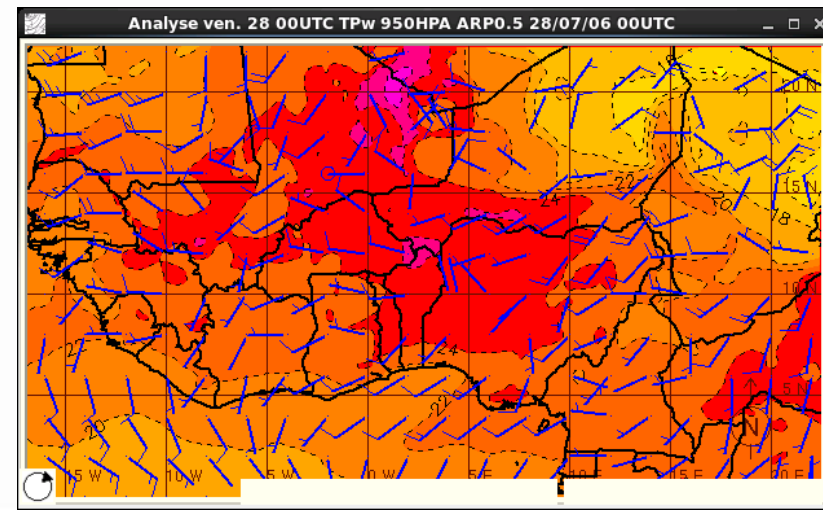
**TPW850+V950  
25/07 12 TU**



**IR 10,8 $\mu$ m 28/07 00 TU**

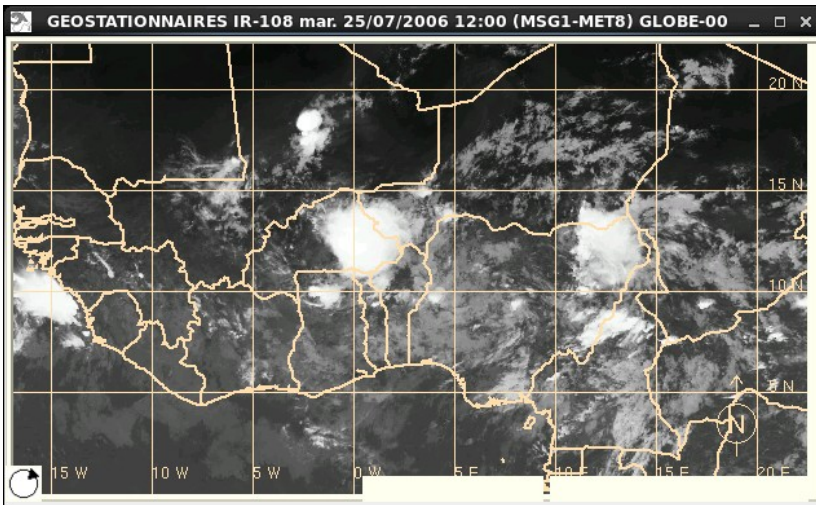


**TPW850+V950  
28/07 00 TU**

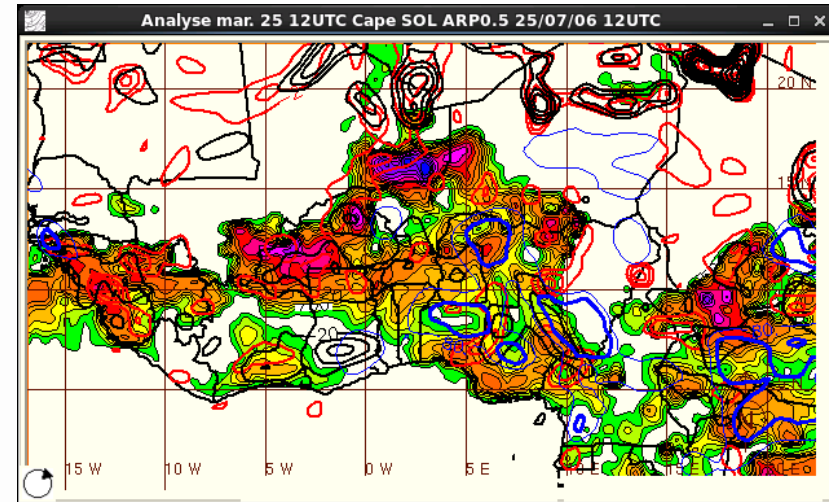


# Analyse de la grande échelle

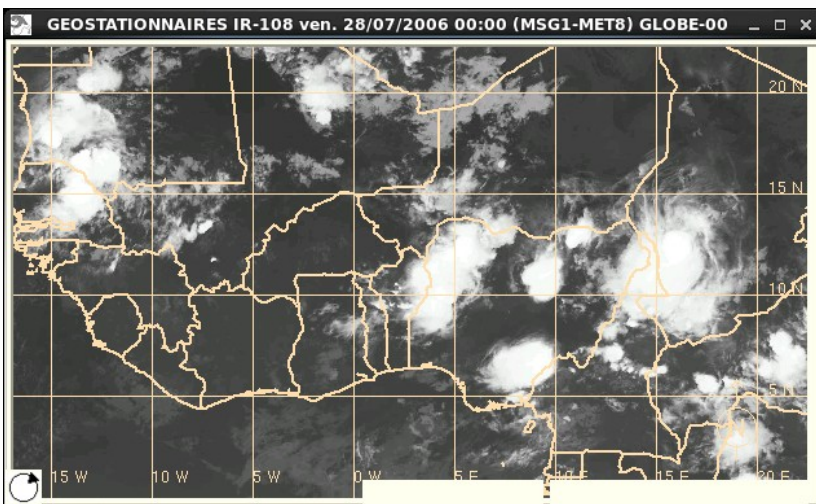
**IR 10,8 $\mu$ m 25/07 12 TU**



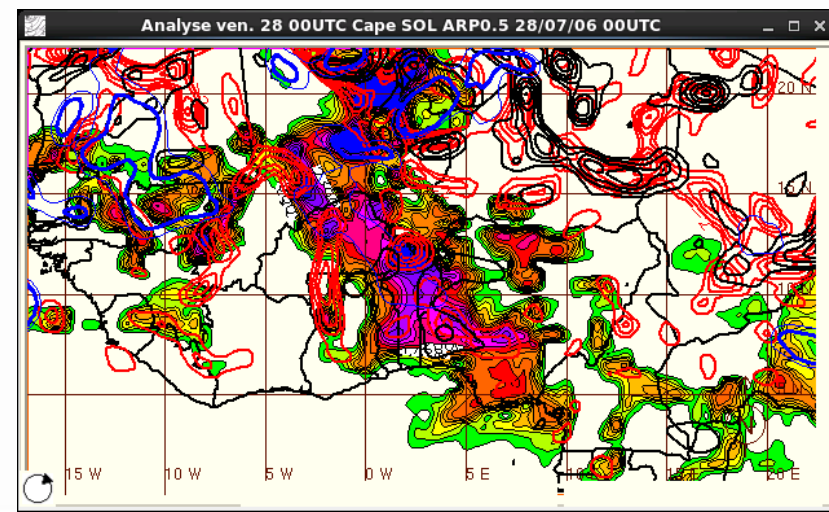
**CAPE+div950(r)+VV700(n)+Hu500(b)  
25/07 12 TU**



**IR 10,8 $\mu$ m 28/07 00 TU**



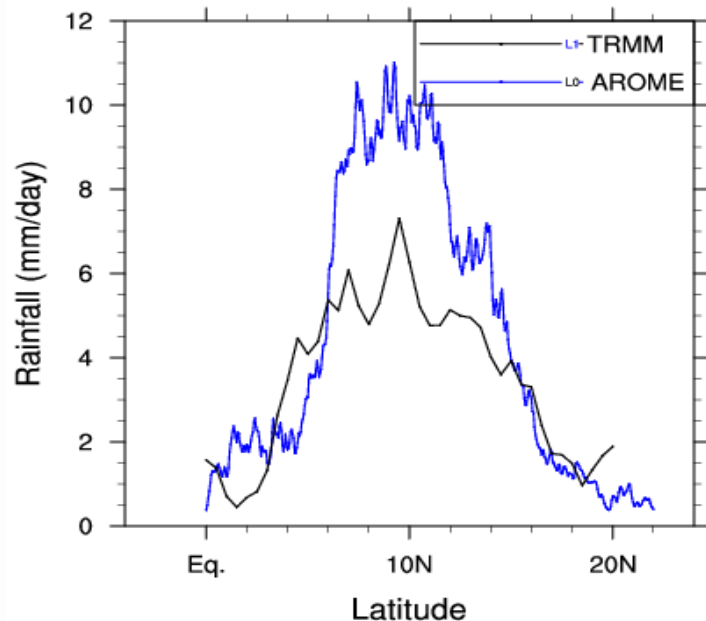
**CAPE+div950(r)+VV700(n)+Hu500(b)  
28/07 00 TU**



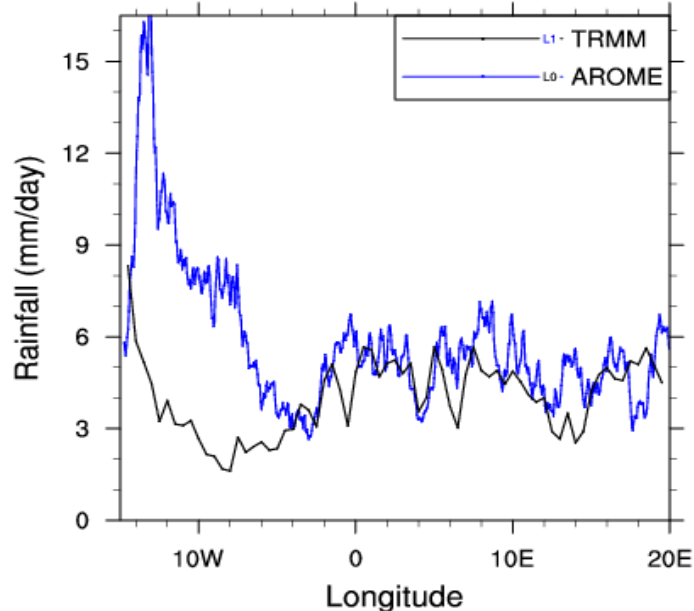


# Comparaison AROME-TRMM

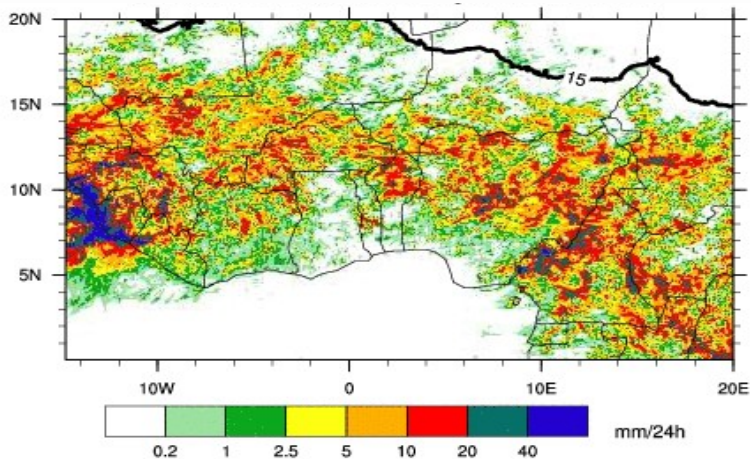
Distribution méridienne (moyenne zonale 15°W-20°E)



Distribution zonale (moyenne méridienne 6°N-20°N)

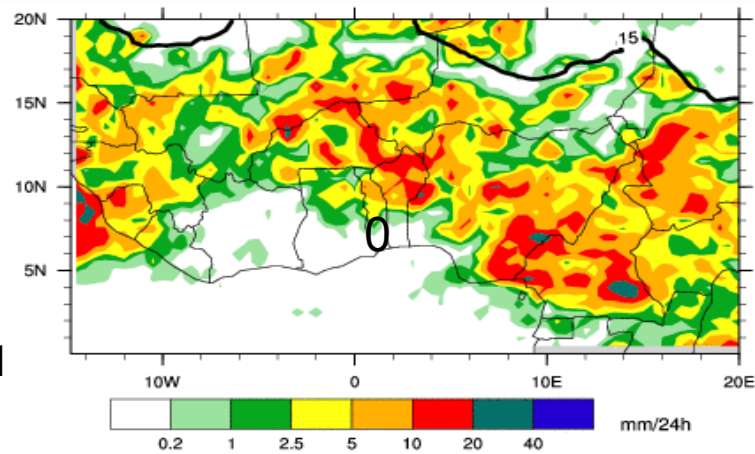


**AROME**



Précipitations  
journalières  
moyennes  
du 24 au 28/07  
(mm/j)  
+  
Front InterTropical  
(FIT)

**TRMM (25km)**



# Caractéristiques des trois physiques

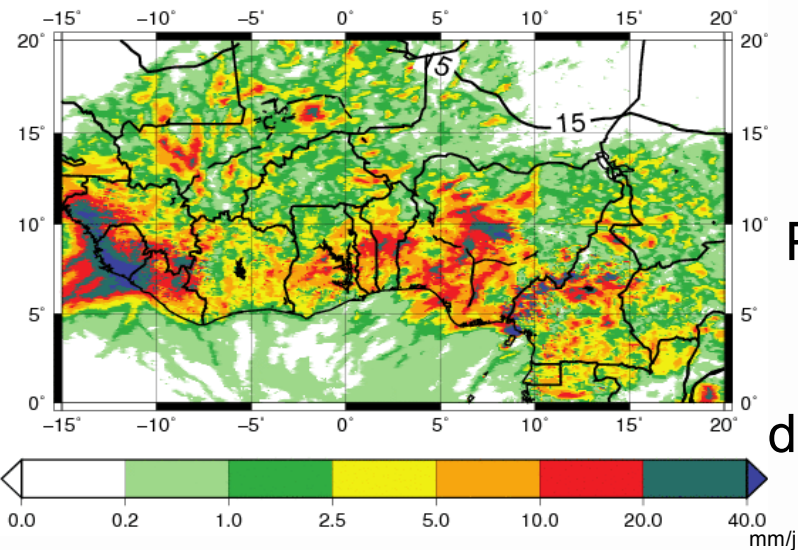
Paramétrisation	CMIP5	PNT	pré-CMIP6
<b>Convection peu profonde</b>	Pas de schéma spécifique, traitée en partie via les PDF humides	Schéma en flux de masse de Bechtold et al. (2001)	Schéma PCMT (Piriou et al. (2007), Guérémy (2011))
<b>Convection profonde</b>	Schéma de Bougeault (1985)	Schéma de Bougeault (1985) avec modifications	Schéma PCMT (Piriou et al. (2007), Guérémy (2011))
<b>Turbulence</b>	TKE diagnostique (Ricard et Royer (1993))	Equation pronostique de la TKE (Cuxart et al. (2000))	Equation pronostique de la TKE (Cuxart et al. (2000))
<b>Longueur de mélange</b>	Profil quadratique de Lenderink et Holtslag (2004)	Longueur de mélange de Bougeault et Lacarrère (1989)	Longueur de mélange de Bougeault et Lacarrère (1989)
<b>Nuage</b>	PDF de Bougeault (1981)	PDF de Bougeault (1981)	PDF de Bougeault (1981)
<b>Microphysique</b>	Diagnostique de Smith (1990)	Schéma pronostique de Lopez (2002)	Schéma pronostique de Lopez (2002)
<b>Rayonnement</b>	Schéma du CEP (Fouquart et Bonnel (1980) pour les courtes longueurs d'ondes et Mlawer et al. (1997) pour les grandes longueurs d'ondes)	Schéma du CEP (Fouquart et Bonnel (1980) pour les courtes longueurs d'ondes et Mlawer et al. (1997) pour les grandes longueurs d'ondes)	Schéma du CEP (Fouquart et Bonnel (1980) pour les courtes longueurs d'ondes et Mlawer et al. (1997) pour les grandes longueurs d'ondes)
<b>Surface</b>	ISBA	ISBA	ISBA et SURFEX

# Caractéristiques des trois schémas de convection

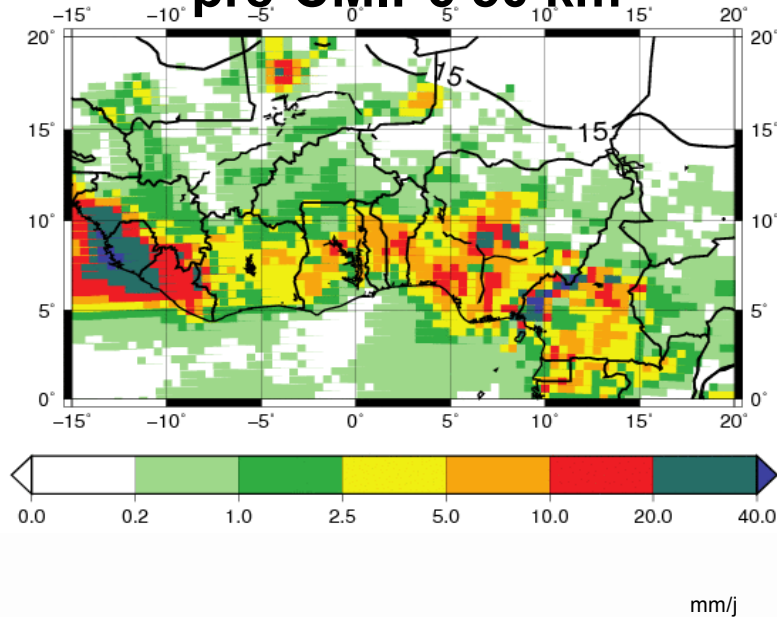
Schémas de convection	CMIP5	PNT	pré-CMIP6
<b>Fermeture de la convection profonde</b>	Advection de grande échelle + convergence d'humidité = précipitation convective + déentraînement	Même que Bougeault CMIP5	Relaxation de la CAPE
<b>Entraînement et déentraînement</b>	Décroissance exponentielle avec l'altitude de l'entraînement et déentraînement déduit à partir de la conservation d'énergie statique humide dans le nuage	Même que Bougeault CMIP5	Entraînement organisé + entraînement turbulent
<b>Condition de déclenchement</b>	Convergence d'humidité + niveau flottable	Même que Bougeault avec une épaisseur minimale de nuage de 3km	Equation pronostique pour la vitesse verticale convective. Déclenchement si $w > 0$
<b>Courant descendants</b>	Non	Oui	Oui
<b>Fermeture de la convection peu profonde</b>	Pas de schéma spécifique	Relaxation de la CAPE (schéma de Kain-Fritsh-Bechtold)	Relaxation de la CAPE

# Comparaison des résolutions pour pré-CMIP6

**pré-CMIP6 10 km**



**pré-CMIP6 50 km**

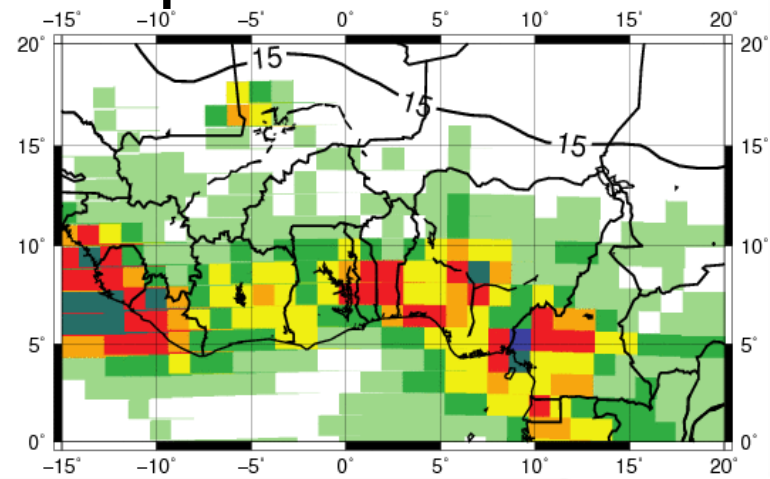


Précipitations  
journalières  
moyennes  
du 24 au 28/07  
(mm/j)

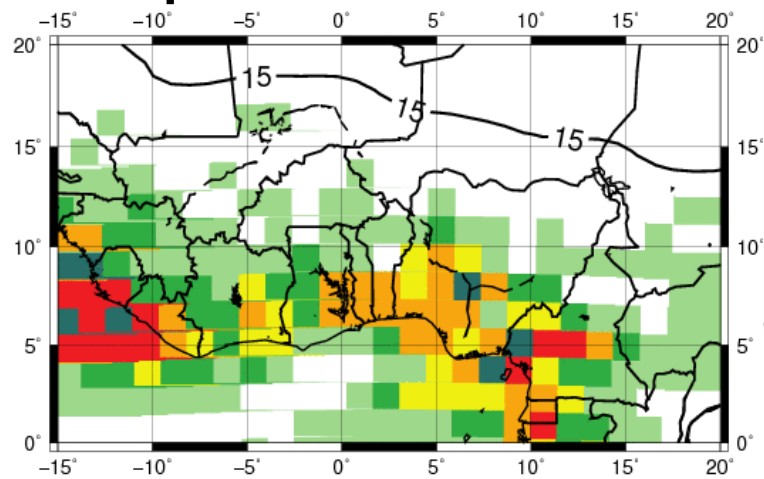
+

Front  
InterTropical  
(FIT)

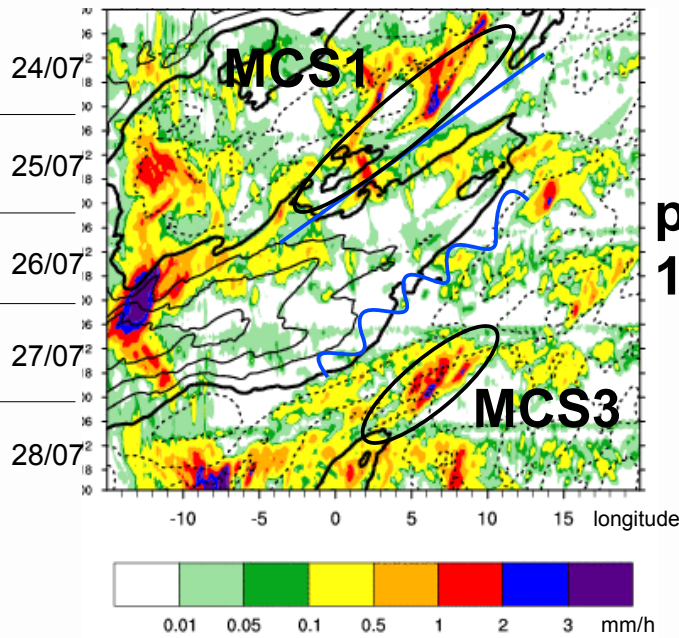
**pré-CMIP6 125 km**



**pré-CMIP6 156 km**



# Comparaison des résolutions pour pré-CMIP6



pré-CMIP6 10 km

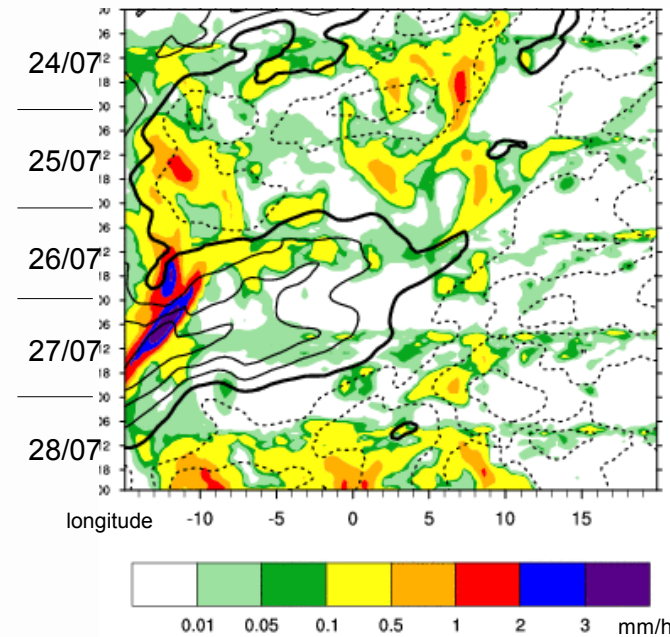
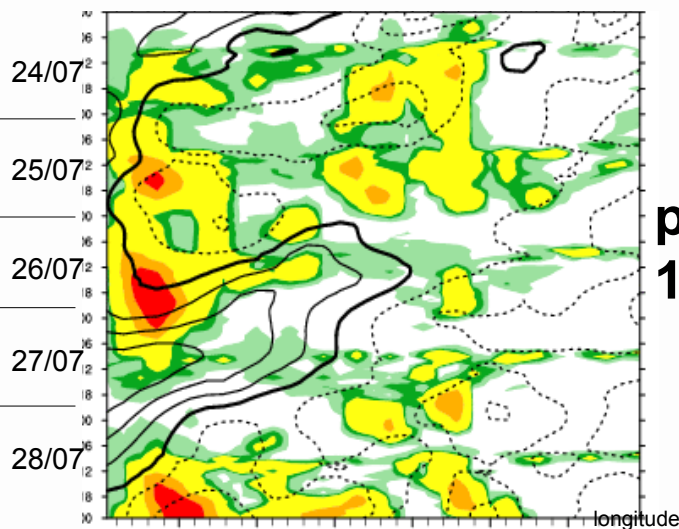
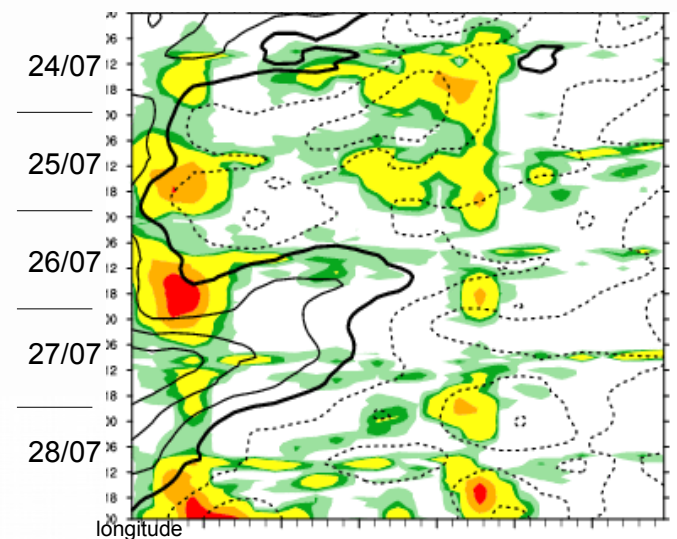


Diagramme  
Hovmöller  
8°N-15°N  
(RR+V700)



pré-CMIP6 125 km

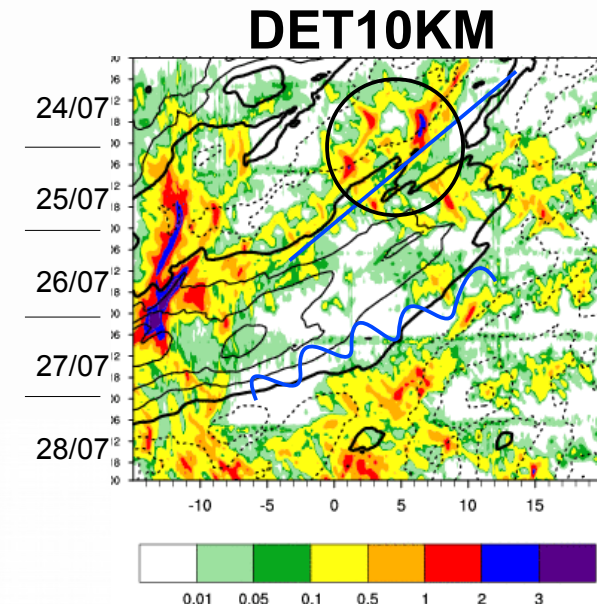
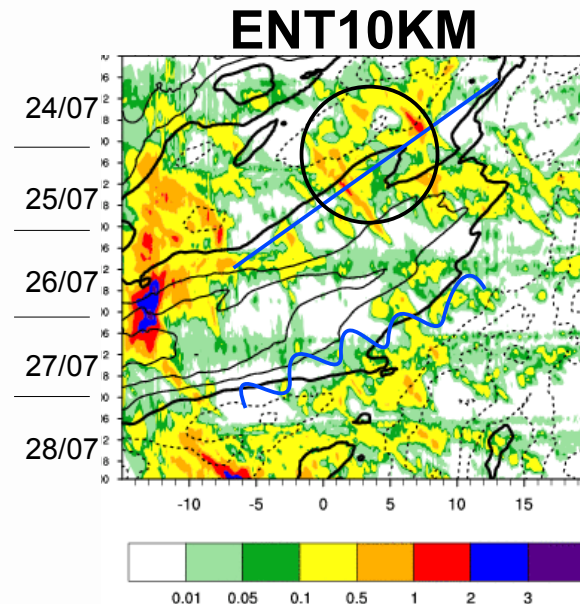
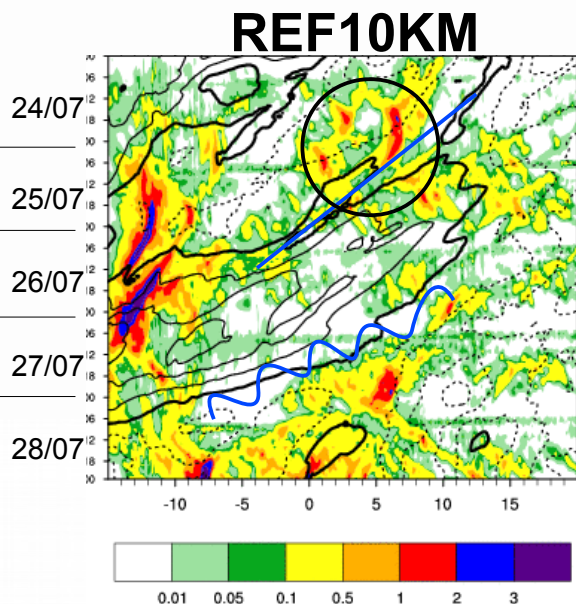
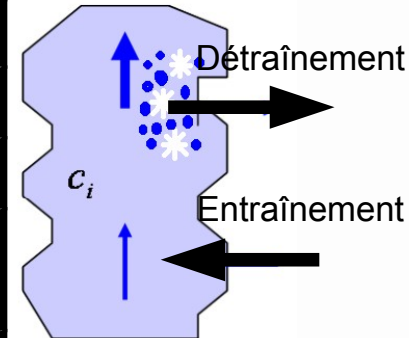


pré-CMIP6 156 km

# Intensification de la convection et des précipitations sur le Sahel?

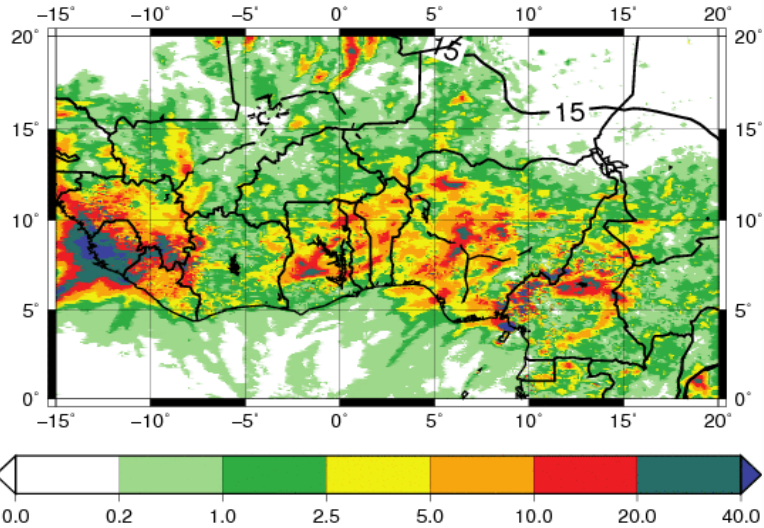
## Présentation des tests de sensibilité

Nom des simulations	Description
REF10KM	Simulation de référence
<b>ENT10KM</b>	<b>Diminution de l'entraînement (/2)</b>
CIN10KM	Activation d'un niveau seuil
FSM10KM	Activation de la variabilité sous-maille du relief et de l'instabilité convective de surface dans les flux thermodynamiques
<b>DET10KM</b>	<b>Réduction du déentraînement des précipitations convectives (/5)</b>



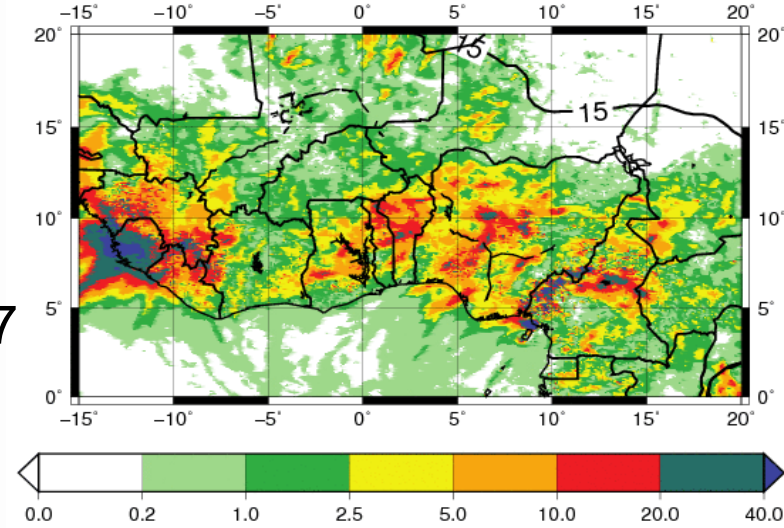
# Diminution du détraînement des précipitations convectives : impact sur les précipitations

## REF10KM

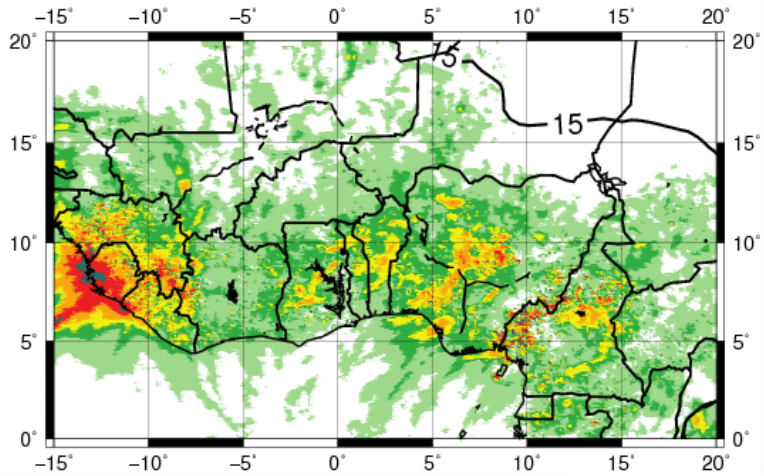


Précipitations  
journalières  
moyennes  
totales  
du 24 au 28/07  
(mm/j)  
+FIT

## DET10KM

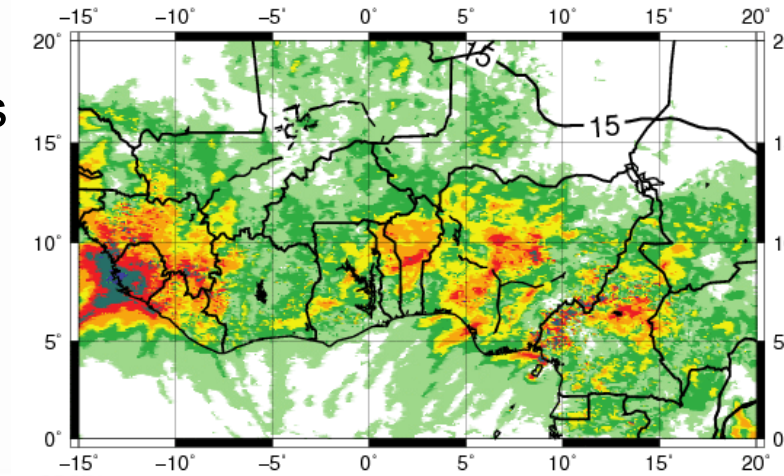


## REF10KM

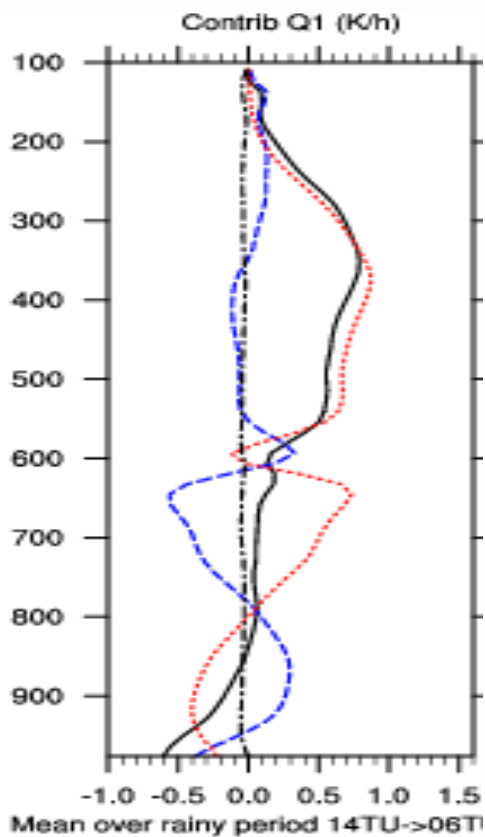


Précipitations  
convectives  
moyennes  
(mm/j)  
+FIT

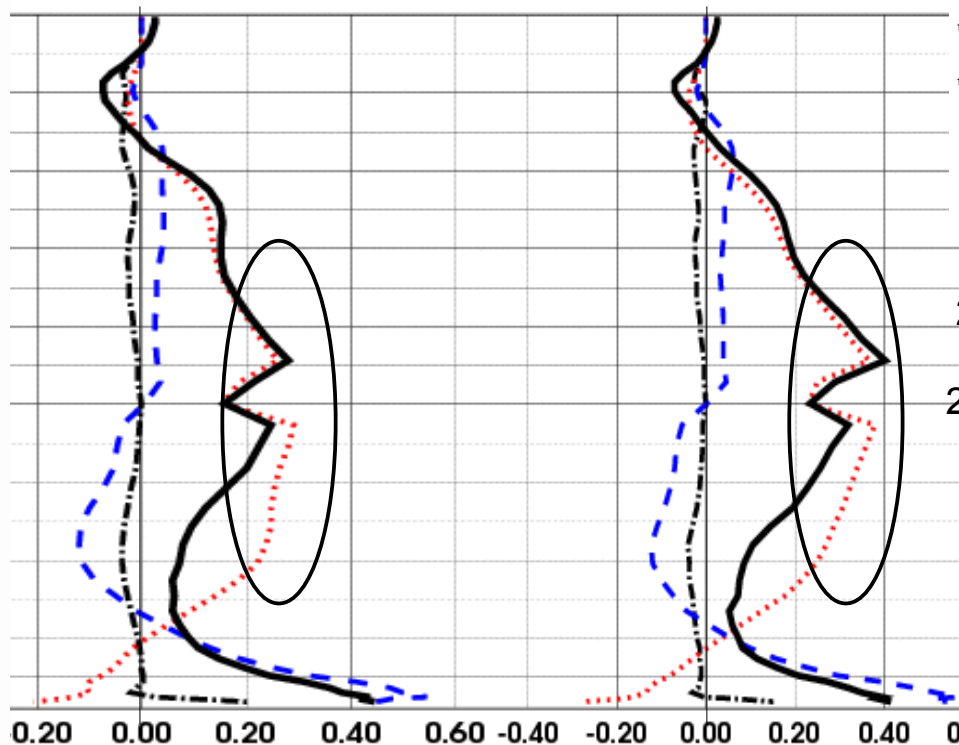
## DET10KM



# Diminution de l'entraînement turbulent : impact sur les profils de Q1 moyens (MCS1)

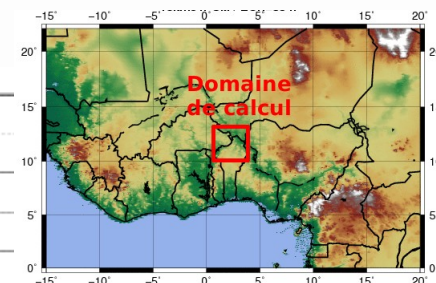


**AROME**



**REF10KM**

**ENT10KM**



Profil moyen entre le  
25/07 0 TU et le 25/07 16  
TU (ALADIN) ; entre le  
24/07 14 TU et 25/07 6 TU  
(AROME)

- Q1RAYNET (K/h)
- .... Q1PRECIPTOT (K/h)
- .- Q1TRANSPSM (K/h)
- Q1 (K/h)

Effet radiatif

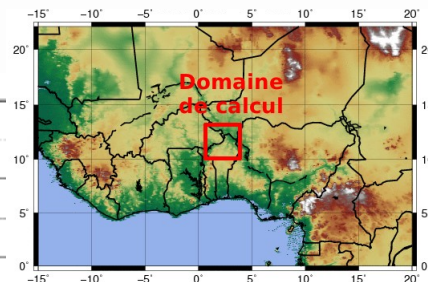
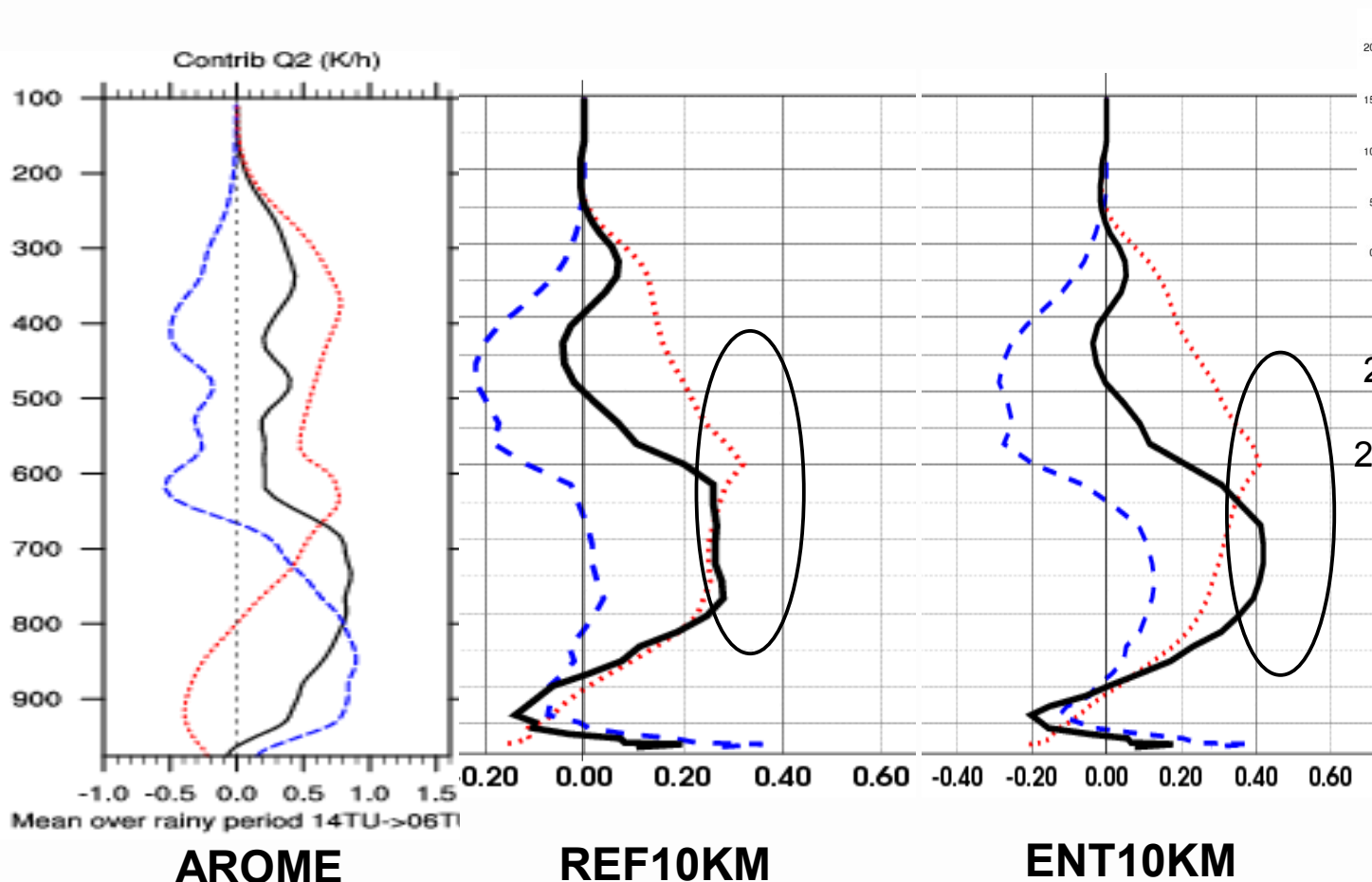
Condensation/  
évaporation

Transport vertical par les  
tourbillons non résolus

$$Q1 = \overline{Q_r} + L_v (\bar{c} - \bar{e}) - \frac{\partial \overline{\omega' s'}}{\partial p}$$



# Diminution de l'entraînement turbulent : impact sur les profils de Q2 moyens (MCS1)



Profil moyen entre le  
25/07 0 TU et le 25/07 16  
TU (ALADIN) ; entre le  
24/07 14 TU et 25/07 6 TU  
(AROME)

- ..... Q2COND TOT (K/h)
- - - Q2TRANSPSM (K/h)
- Q2 (K/h)

Condensation/  
évaporation

$$Q2 = L_v (\bar{c} - \bar{e}) + L_v \frac{\partial \overline{\omega' q'}}{\partial p}$$

Transport vertical par les  
tourbillons non résolus