



## SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT



École Doctorale Eau, Qualité et Usages de l'Eau (EDEQUE/UCAD)  
&

École Doctorale Sciences de l'Environnement d'Île de France (ED129/SU)

Titre de thèse :

# Paramétrisation du soulèvement de poussières au Sahel par les poches froides

Domaine : Physique de l'Atmosphère

Présentée par : **Mamadou Lamine THIAM**

Le 12 novembre 2025

Sous la direction de :

**Dr. Frédéric HOURDIN** : Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD/SU)

**Pr. Amadou Thiero GAYE** : Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan-SF (LPAO-SF/ESP/UCAD)

**Dr. Jean-Yves GRANDPEIX** : Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD/SU)

# PLAN DE LA PRÉSENTATION

## I. INTRODUCTION

- Perso j'aurais fait
- I. Introduction dont moyens de l'étude
  - II. Les poches
  - III. Le modèle de bourrasque
  - IV. Les simulations de poussières
  - V. Conclusion

## II. MOYENS DE L'ETUDE

## III. RESULTATS

## IV. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

# **I. CONTEXTES ET OBJECTIFS**

## **I.1/ Contextes**

Cette thèse arrive dans un contexte où les effets du changement climatique s'intensifient.

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Tu peux conserver la phrase en haut d'une diapo

Cette thèse arrive dans un contexte où les effets du changement climatique s'intensifient.

- Augmentation croissante de la température moyenne globale
- Perturbations des régions de la pluies : inondations
- Avancée de la mer

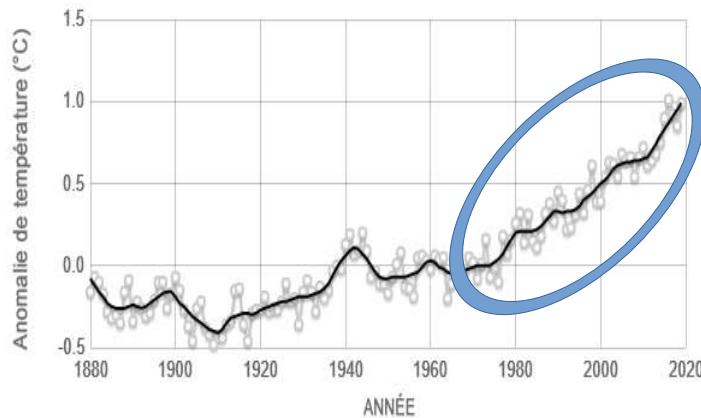


Photo prise à Keur Massar, Dakar, le 20 Août 2021 (J. Wessels, AFP)



Photo prise à Saint-Louis, Sénégal (tirée de la présentation A. M. Faye)

Cerner les effets du changement climatique devient une urgence.

# **I. INTRODUCTION**

## **I.1/ Contextes**

Les modèles de climat, des outils incontournables pour comprendre le climat et anticiper les effets du changement climatiques.

# **I. INTRODUCTION**

## **I.1/ Contextes**

Les modèles de climat, des outils incontournables pour comprendre le climat et anticiper les effets du changement climatiques.

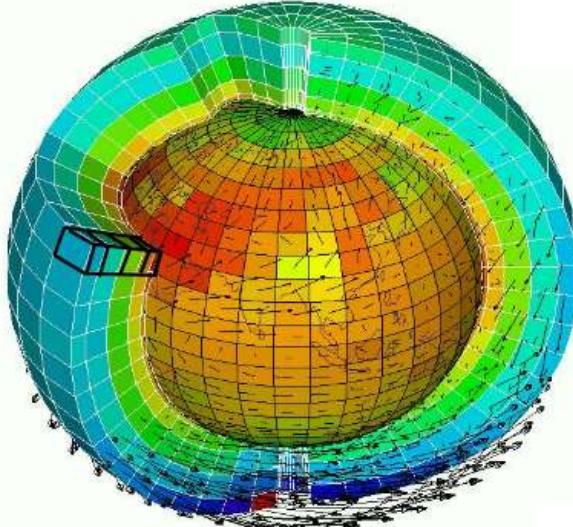
→ **Modèle climatique** = représentation numérique du système climatique terrestre, fondée sur des équations mathématiques

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Les modèles de climat, des outils incontournables pour comprendre le climat et anticiper les effets du changement climatiques.

- **Modèle climatique** = représentation numérique du système climatique terrestre, fondée sur des équations mathématiques
- **Fonctionnement des modèles climatiques**



Comme dit Jean-Yves, on part beaucoup Trop vite sur les mailles

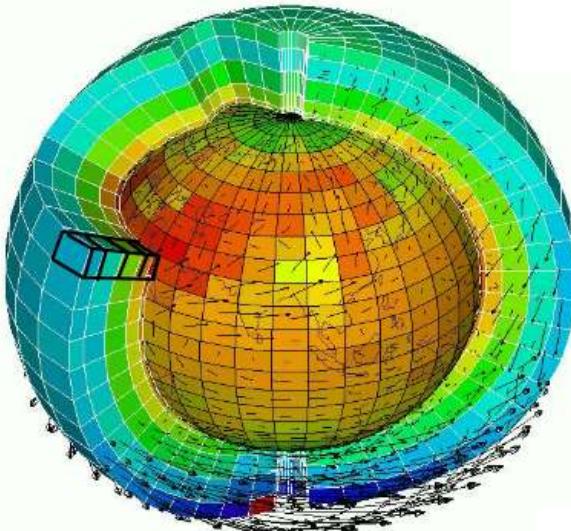
- tu peux commencer sur l'importance du changement climatique
- L'importance de la modélisation physique dans ce cadre.
- L'importance possible des poussières

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Les modèles de climat, des outils incontournables pour comprendre le climat et anticiper les effets du changement climatiques.

- **Modèle climatique** = représentation numérique du système climatique terrestre, fondée sur des équations mathématiques
- **Fonctionnement des modèles climatiques**



- Découpage du globe en petites boites (mailles horizontales et verticale) pour résoudre numériquement les équations mathématiques.

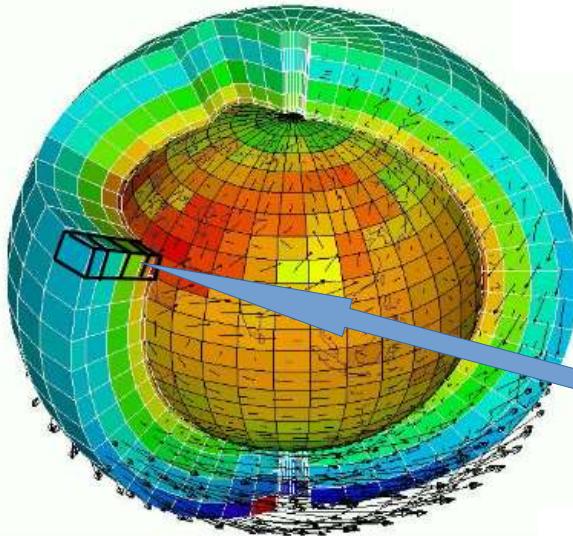
**Et du coup tu gardes la description du GCM et du découpage pour la partie « Moyens de l'études » Qu'elle fasse ou non partie de l'intro**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Les modèles de climat, des outils incontournables pour comprendre le climat et anticiper les effets du changement climatiques.

- **Modèle climatique** = représentation numérique du système climatique terrestre, fondée sur des équations mathématiques
- **Fonctionnement des modèles climatiques**



Fait sur une  
colonne de  
l'atmosphère

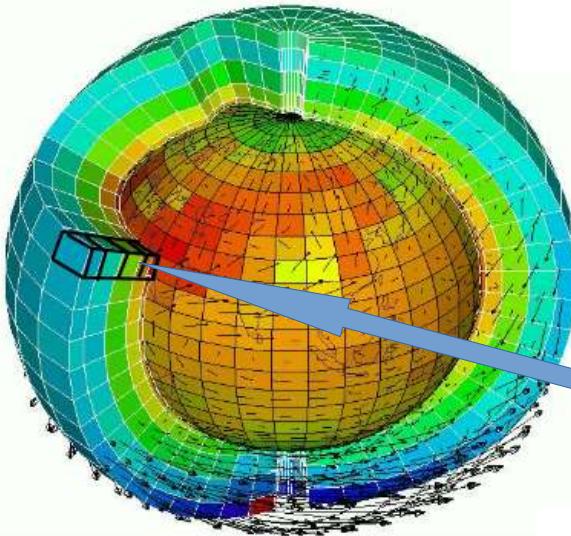
- Découpage du globe en petites boîtes (mailles horizontales et verticales) pour résoudre numériquement les équations mathématiques.
- Deux grandes composantes dans chaque maille:
  - La dynamique, traitant les mouvements de l'air, les transferts de chaleur et d'humidité à partir des équations de Navier-Stokes simplifiées.
  - La physique, représentant les processus à petites échelles (nuages, orages, rafales de vent, etc..) non résolus : **c'est les paramétrisations physiques**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Les modèles de climat, des outils incontournables pour comprendre le climat et anticiper les effets du changement climatiques.

- **Modèle climatique** = représentation numérique du système climatique terrestre, fondée sur des équations mathématiques
- **Fonctionnement des modèles climatiques**



Fait sur une  
colonne de  
l'atmosphère

- Découpage du globe en petites boîtes (mailles horizontales et verticales) pour résoudre numériquement les équations mathématiques.
- Deux grandes composantes dans chaque maille:
  - La dynamique, traitant les mouvements de l'air, les transferts de chaleur et d'humidité à partir des équations de Navier-Stokes simplifiées.
  - La physique, représentant les processus à petites échelles (nuages, orages, rafales de vent, etc..) non résolus : **c'est les paramétrisations physiques**

# **I. INTRODUCTION**

## **I.1/ Contextes**

La représentation des émissions de poussières désertiques, une limite des modèles de climat.

→ **Effets des poussières désertiques :**

- le climat, en modifiant le bilan radiatif et moduler la circulation jusqu'à l'échelle globale.
- la qualité de l'air, la biochimie marine, etc..

**Avant**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

La représentation des émissions de poussières désertiques, une limite des modèles de climat.

### → Effets des poussières désertiques :

- le climat, en modifiant le bilan radiatif et moduler la circulation jusqu'à l'échelle globale.
- la qualité de l'air, la biochimie marine, etc..

Vraiment trop caricatural de limiter la complexité de la modélisation

→ Complexité de la modélisation des émissions des poussières

des poussières à la question de la distribution du vent.

Disponibilité des poussières en surface, détails du terrain,

- Dépendance du vent de surface de plusieurs facteurs météo, généralement à l'échelle sous maille.

processus micro, distribution en taille, lessivage, ...  
Et c'est vraiment important que tu dises un peu tout ça pour dire

- Relation non linéaire entre les émissions et le vent de surface

ensuite que ta thèse se concentre sur le vent. Et sur un point particulier du vent, même

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Avancée de la représentation des poussières dans le modèle de climat LMDZ

### → **Le modèle de climat LMDZ**

- Développé au LMD dans les années 70
- Représente la composante atmosphérique du modèle couplé d'IPSL

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Avancée de la représentation des poussières dans le modèle de climat LMDZ

→ **Le modèle de climat LMDZ**

- Développé au LMD dans les années 70
- Représente la composante atmosphérique du modèle couplé d'IPSL

**Ce modèle particulier = SPLA + émissions Chimere**

→ **Les poussières dans LMDZ**

**Développé en parallèle de LMDZ-Inca**

- Les poussières ont été intégrée dans LMDZ durant la thèse de Moussa Gueye (2015)

**Résumant les aérosols à quelques traceurs.**

- Les travaux qui s'en suivent (Escribano et al., 2016 ; Hourdin et al., 2015) ont permis d'obtenir de bonnes simulations de poussières en saison sèche.

**Tout ça pourrait venir au début de la partie aérosols plutôt qu'ici**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Avancée de la représentation des poussières dans le modèle de climat LMDZ

→ **Le modèle de climat LMDZ**

### Moyens de l'étude

- Développé au LMD dans les années 70
- Représente la composante atmosphérique du modèle couplé d'IPSL

→ **Les poussières dans LMDZ**

### Partie sur les poussières

- Les poussières ont été intégrée dans LMDZ durant la thèse de Moussa Gueye (2015)
- Les travaux qui s'en suivent (Escribano et al., 2016 ; Hourdin et al., 2015) ont permis d'obtenir de bonnes simulations de poussières en saison sèche.
- **Manques de travaux pour les émissions de poussières en saison des pluies**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

On s'intéresse sur les émissions de poussières en saison des pluies, notamment celles associées aux poches froides.

**Tu fais souvent cette faute de français  
On s'intéresse « à » et pas « sur »**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

On s'intéresse sur les émissions de poussières en saison des pluies, notamment celles associées aux poches froides.

Ca c'est intro

Les poches froides (ou courants de densités) sont créées sous les nuages par évaporation des pluies.

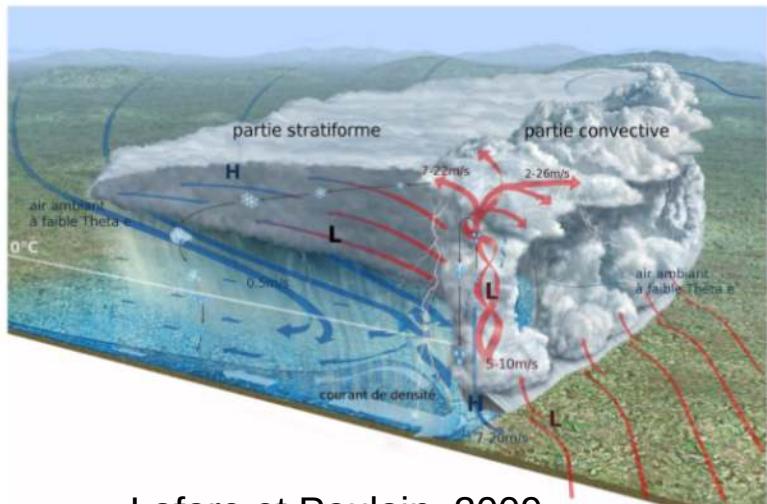
Donc plutôt en début de la partie sur les poches

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

On s'intéresse sur les émissions de poussières en saison des pluies, notamment celles associées aux poches froides.

Les poches froides (ou courants de densités) sont créées sous les nuages par évaporation des pluies.



Lafore et Poulain, 2009

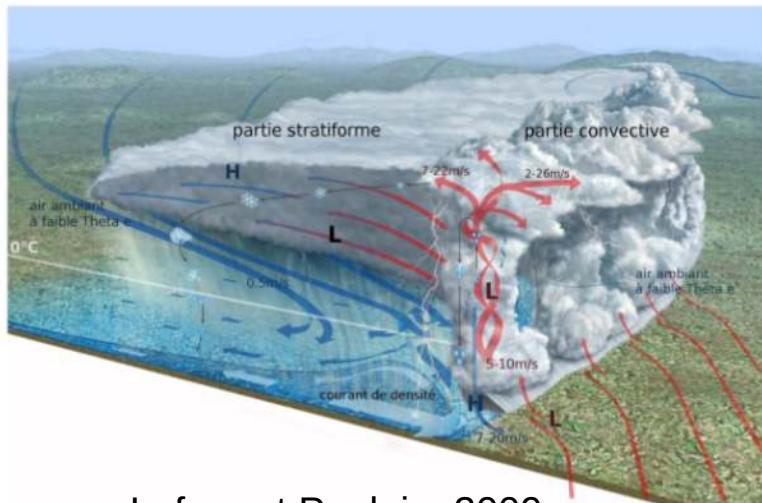
# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

On s'intéresse sur les émissions de poussières en saison des pluies, notamment celles associées aux poches froides.

Les poches froides (ou courants de densités) sont créées sous les nuages par évaporation des pluies.

évènement de poussières liés au passage d'une poche froide



Lafore et Poulain, 2009



Photo prise par F. Guichard

# I. INTRODUCTION

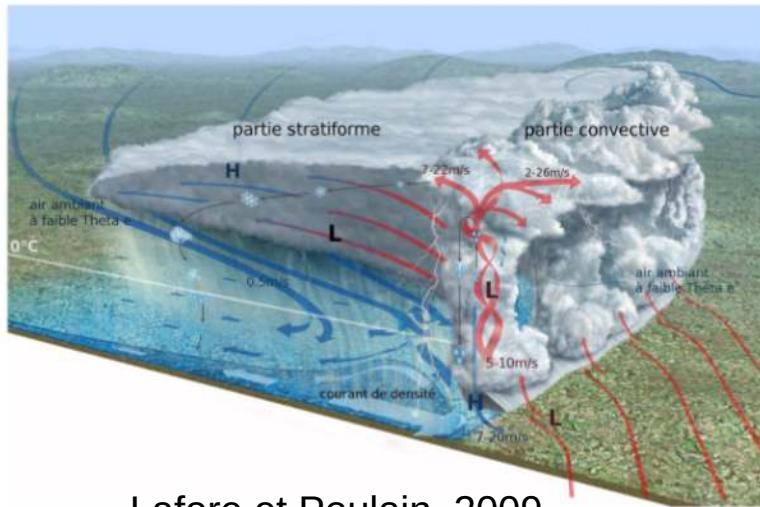
## I.1/ Contextes

Ca ça peut rester dans intro.

On s'intéresse sur les émissions de poussières en saison des pluies, notamment celles associées aux poches froides.

Les poches froides (ou courants de densités) sont créées sous les nuages par évaporation des pluies.

évènement de poussières liés au passage d'une poche froide



Lafore et Poulain, 2009



Photo prise par F. Guichard

Absence des haboobs dans la plupart des modèles de climat (Marsham et al. 2011), **en raison de manque de paramétrisation pour ces poches et les rafales de vent associées.**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Proposition d'une paramétrisation de poches froides dans les modèles de climat par Grandpeix et Lafore (2010), pour le représenter les effets des poches sur la convection

**Plutôt partie Poches**

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Proposition d'une paramétrisation de poches froides dans les modèles de climat par Grandpeix et Lafore (2010), pour le représenter les effets des poches sur la convection

**Pour l'intro, je pense que tu peux ne conserver que l'idée qu'une originalité du modèle LMDZ est de disposé d'un modèle de poches développé par Grandpeix et Lafore.**

- Le modèle sur une population de poches circulaires et identiques
- La densité (nombre de poches par unité de surface) est fixée

### Plutôt partie poches

- Son intégration dans LMDZ a permis d'améliorer considérablement la représentation de la convection ainsi que la représentation des précipitations continentales (Rio et al., 2009)

# I. INTRODUCTION

## I.1/ Contextes

Proposition d'une paramétrisation de poches froides dans les modèles de climat par Grandpeix et Lafore (2010), pour le représenter les effets des poches sur la convection

- Le modèle sur une population de poches circulaires et identiques
- La densité (nombre de poches par unité de surface) est fixée
- Son intégration dans LMDZ a permis d'améliorer considérablement la représentation de la convection ainsi que la représentation des précipitations continentales (Rio et al., 2009)
- **Absence des rafales de vent liées aux poches dans le modèle de poches pour soulever les poussières** **Inutile ici. Tu l'as mis de façon plus générale dans la diapo 6.**

# **I. INTRODUCTION**

## **I.2/ Objectif principal**

**Contribuer à l'amélioration de la représentation des poussières désertiques dans les modèles de climat, en proposant une nouvelle paramétrisation permettant de représenter les émissions de poussières liées aux poches froides dans ces modèles.**

# I. INTRODUCTION

## I.3/ Approche méthodologique

Ce qui a longtemps constitué un frein au développement des modèles :

- Une manque de compréhension fine des processus atmosphériques
- Le long processus de réglage manuel des paramètres libres et souvent “sans contrôle”

Bizarre de dire « Approche méthodo »  
Et d'avoir trois phrase sur « ce qui a longtemps manqué »

Rend le positif :

En quoi la thèse va

- se baser sur une analyse fine de la physique
- bénéficier du réglage automatique

# **I. INTRODUCTION**

## **I.3/ Approche méthodologique**

**Ce qui a longtemps constitué un frein au développement des modèles :**

- Une manque de compréhension fine des processus atmosphériques
- Le long processus de réglage manuel des paramètres libres et souvent “sans contrôle”

**L'approche récemment utilisées par la communauté pour accélérer le développement des modèles et renforcer aussi la fiabilité des simulations climatiques, est adoptée dans cette thèse:**

# **I. INTRODUCTION**

## **I.3/ Approche méthodologique**

**Ce qui a longtemps constitué un frein au développement des modèles :**

- Une manque de compréhension fine des processus atmosphériques
- Le long processus de réglage manuel des paramètres libres et souvent “sans contrôle”

**L'approche récemment utilisées par la communauté pour accélérer le développement des modèles et renforcer aussi la fiabilité des simulations climatiques, est adoptée dans cette thèse:**

### **Larges Eddy Simulations ou LES**

- offre une compréhension plus fine des processus
- permet d'évaluer les variables internes des paramétrisations pour vérifier leur réalisme physique

# I. INTRODUCTION

## I.3/ Approche méthodologique

Ce qui a longtemps constitué un frein au développement des modèles :

- Une manque de compréhension fine des processus atmosphériques
- Le long processus de réglage manuel des paramètres libres et souvent “sans contrôle”

L'approche récemment utilisées par la communauté pour accélérer le développement des modèles et renforcer aussi la fiabilité des simulations climatiques, est adoptée dans cette thèse:

### Larges Eddy Simulations ou LES

- offre une compréhension plus fine des processus
- permet d'évaluer les variables internes des paramétrisations pour vérifier leur réalisme physique

### HighTune Explorer

- Outil de calibration automatique des paramètres libres des modèles, tout en tenant compte du réalisme physique du modèle.

# I. INTRODUCTION

## I.4/ Plan de la thèse :

La thèse est divisée en 3 parties

- Évaluer et améliorer la paramétrisation des poches froides dans LMDZ
- Développer une paramétrisation des rafales de vent liées aux poches froides
- Intégrer la nouvelle paramétrisation dans LMDZ et réaliser des simulations de poussières afin d'évaluer ses performances

Ton exposé est divisé en trois parties

Ou bien ta thèse est structurée autour de trois grands axes

## II. MOYENS DE L'ETUDE

- Deux LES en équilibre radiatif-convectif (RCE) avec les modèles Méso-NH (C. Rio) et le SAM (C. Muller) : Domaine = océan ( $200 \times 200 \text{ km}^2$ ) ;  $\text{dx}=\text{dy}=200 \text{ m}$  seules présentées ici
- Deux LES du cas AMMA avec Méso-NH (F. Couvreux) : Domaine = continent ( $100 \times 100 \text{ km}^2$  et  $200 \times 200 \text{ km}^2$ ) ;  $\text{dx}=\text{dy}=200 \text{ m}$
- HighTune Explorer pour calibrer les paramètres libres du modèles de poches et de la nouvelle paramétrisation des rafales de vent.

On se demande ce que ça fait là (je n'ai pas remarqué hier)  
Ca pourrait être deux diapos plus haut, où tu parles du travail  
avec les LES ou au début de la partie poches.

### **III. RESULTATS**

#### **III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches**

**Objectif :** évaluer la physique du modèle de poches froides dans LMDZ ainsi que ces variables internes en s'appuyant sur des LES.

## **III. RESULTATS**

### **III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches**

**Objectif** : évaluer la physique du modèle de poches froides dans LMDZ ainsi que ces variables internes en s'appuyant sur des LES.

#### **Plan**

III.1.a/ Présentation du modèle de poches froides

III.1.b/ Echantillonnages des variables du modèle de poches dans les LES

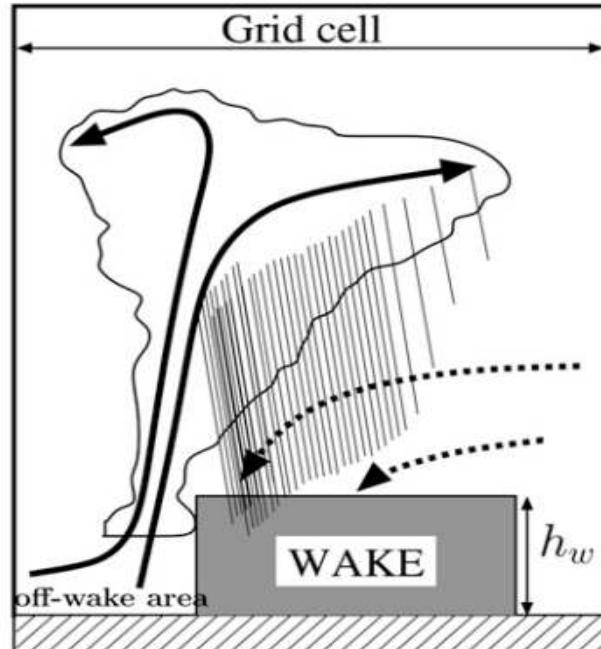
III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

III.1.d/ Les améliorations apportées

III.1.e/ Conclusions et perspectives

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.a/ Présentation du modèle des poches froides

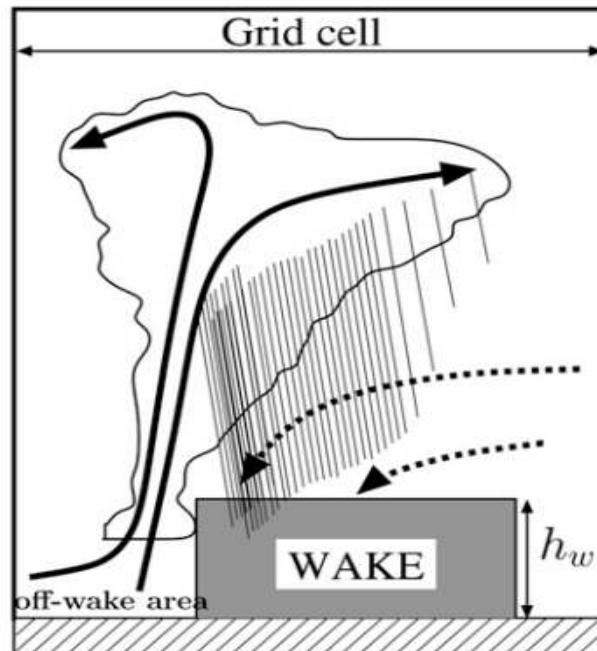


Oui. Voilà. Tu présentes de toutes façons le modèle de poches ici. Donc aucune raison de l'introduire dans l'intro.

Grandpeix et Lafore, (2010)

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.a/ Présentation du modèle des poches froides



##### Variables pronostiques

- $\delta T$  et  $\delta q$  = écart de température et d'humidité entre poches et environnement
- $\sigma_{wk}$  : fraction surfacique des poches

##### Variables diagnostiques

- WAPE = énergie d'affaissement des poches, calculée à partir de  $\delta T$
- $C^*$  = vitesse d'étalement des poches  $C_* = k\sqrt{2WAPE}$

##### Variables utilisées pour le couplage avec la convection profonde

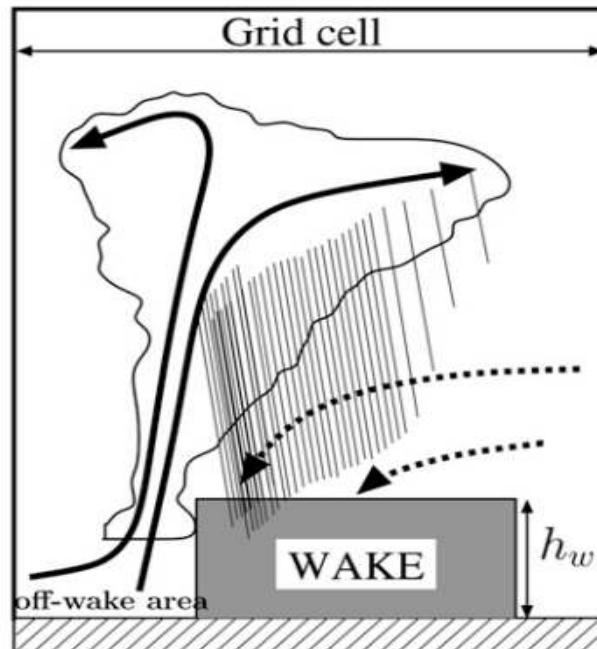
- $ALE_{wk}$  : Énergie de soulèvement liées aux poches  $ALE_{wk} = WAPE$
- $ALP_{wk}$  : Puissance de soulèvement liées aux poches

$$ALP_{wk} = \frac{1}{2} \rho C_*^3 h_{wk} L_g D_{wk}$$

Grandpeix et Lafore, (2010)

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.a/ Présentation du modèle des poches froides



Grandpeix et Lafore, (2010)

##### Variables pronostiques

- $\delta T$  et  $\delta q$  = écart de température et d'humidité entre poches et environnement
- $\sigma_{wk}$  : fraction surfacique des poches

##### Variables diagnostiques

- WAPE = énergie d'affaissement des poches, calculée à partir de  $\delta T$
- $C^*$  = vitesse d'étalement des poches  $C_* = k\sqrt{2WAPE}$

##### Variables utilisées pour le couplage avec la convection profonde

- $ALE_{wk}$  : Énergie de soulèvement liées aux poches  $ALE_{wk} = WAPE$
- $ALP_{wk}$  : Puissance de soulèvement liées aux poches

$$ALP_{wk} = \frac{1}{2} \rho C_*^3 h_w L_g D_{wk}$$

Dans la paramétrisation (P), les variables dépendent de la WAPE

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

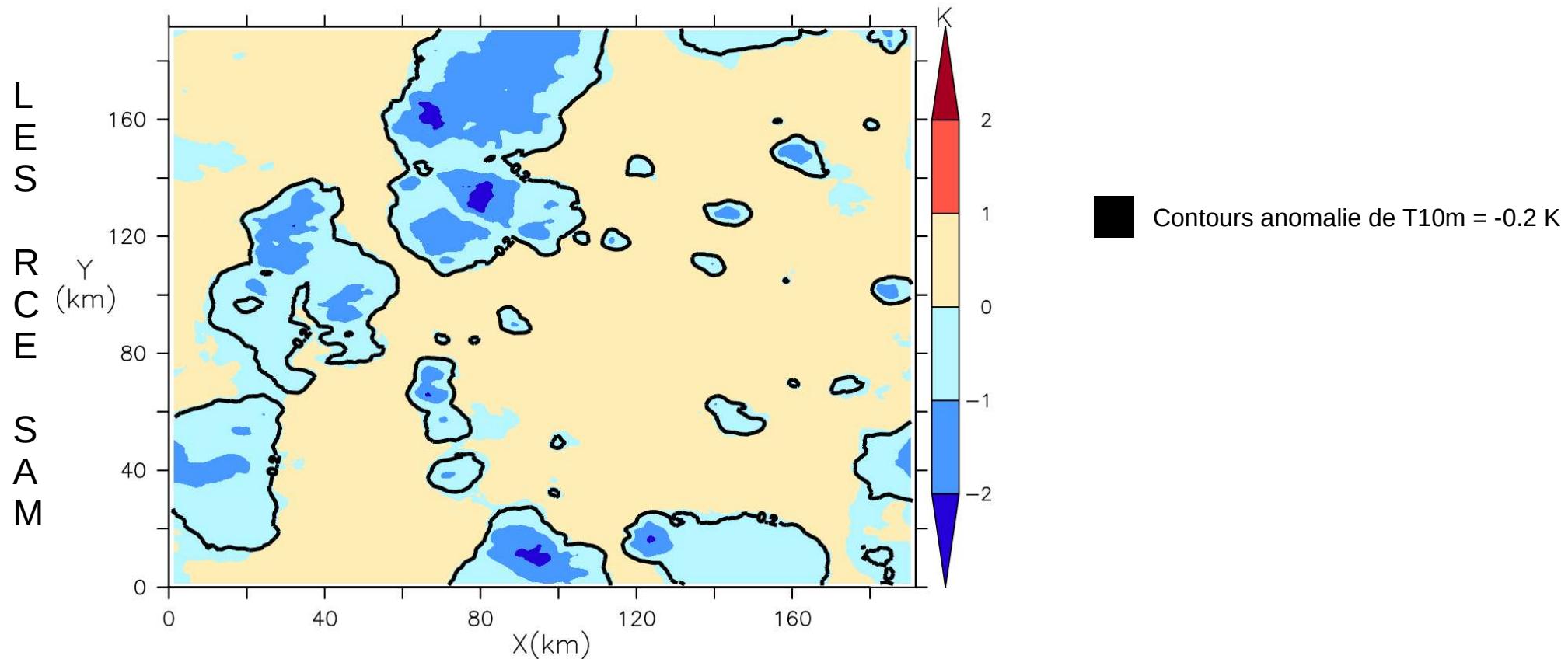
#### III.1.b/ Échantillonnages des variables du modèle de poches dans les LES

Prendre plus le temps d'introduire l'échantillonage.  
OK on a des belles LES.  
Mais comment les utiliser pour évaluer et améliorer le modèle de poches ?

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.b/ Échantillonnages des variables du modèle de poches dans les LES

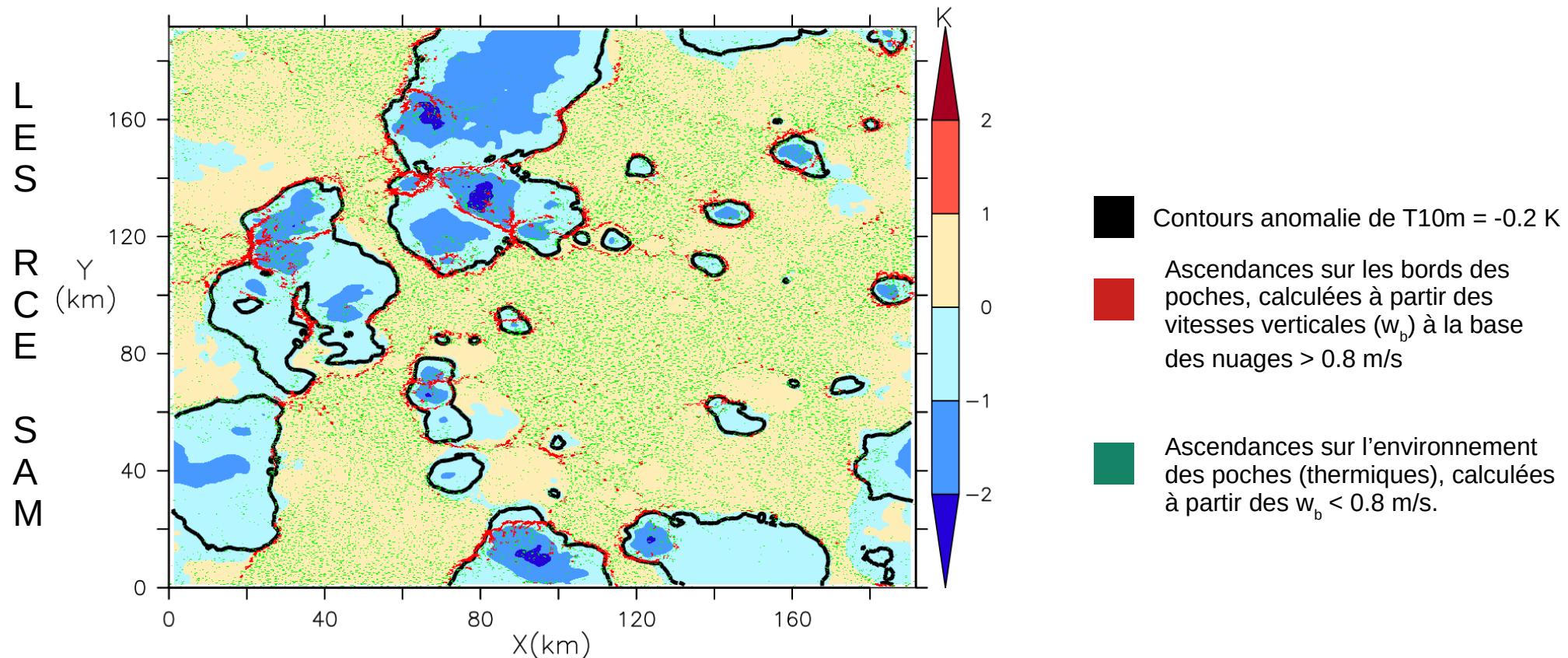
Séparation entre l'intérieur (**w**) et l'extérieur (**s**) des poches à partir d'un seuil d'anomalie de température à 10m



### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.b/ Échantillonnages des variables du modèle de poches dans les LES

Séparation entre l'intérieur (*w*) et l'extérieur (*s*) des poches à partir d'un seuil d'anomalie de température à 10m



### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.b/ Échantillonnages des variables du modèle de poches dans les LES

Calcul des variables dans les LES :

- ✓ profils  $\delta X = \text{moyenne de } X \text{ dans } (\text{w}) - \text{moyenne de } X \text{ dans } (\text{s})$  ( $X=T$  ou  $q$ )
- ✓ WAPE : déterminée à partir du profil de  $\delta T$  et  $h_{wk}$  (hauteur des poches), estimées dans la LES.
- ✓  $C^*$  : calculée à partir de la moyenne de la divergence du vent à 10 m dans  $(\text{w})$ ,  $D_{wk}$ , and  $\sigma_{wk}$ .

$$C_* = \frac{1}{2} \overrightarrow{\text{div}}(\overrightarrow{V}_{10m}) \sqrt{\frac{\sigma_{wk}}{D_{wk}\pi}}$$

- ✓  $ALE_{wk}$  et  $ALP_{wk}$  : Déterminées à partir de la vitesse verticale à la base des nuages situées sur les fronts de rafales des poches froides ( $w_{bgust}$ ).

$$ALE_{wk} = \max\left(\frac{1}{2}w_{bgust}^2\right) \quad ALP_{wk} = \sigma_{gust} \frac{1}{2} \rho w_{bgust}^3$$

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.b/ Échantillonnages des variables du modèle de poches dans les LES

Calcul des variables dans les LES :

- ✓ profils  $\delta X = \text{moyenne de } X \text{ dans } (\mathbf{w}) - \text{moyenne de } X \text{ dans } (\mathbf{s})$  ( $X=T$  ou  $q$ )
- ✓ WAPE : déterminée à partir du profil de  $\delta T$  et  $h_{wk}$  (hauteur des poches), estimées dans la LES.
- ✓  $C^*$  : calculée à partir de la moyenne de la divergence du vent à 10 m dans  $(\mathbf{w})$ ,  $D_{wk}$ , and  $\sigma_{wk}$ .

$$C_* = \frac{1}{2} \overrightarrow{\text{div}}(\overrightarrow{V}_{10m}) \sqrt{\frac{\sigma_{wk}}{D_{wk}\pi}}$$

- ✓  $ALE_{wk}$  et  $ALP_{wk}$  : Déterminées à partir de la vitesse verticale à la base des nuages situées sur les fronts de rafales des poches froides ( $w_{bgust}$ ).

$$ALE_{wk} = \max\left(\frac{1}{2}w_{bgust}^2\right) \quad ALP_{wk} = \sigma_{gust} \frac{1}{2} \rho w_{bgust}^3$$

Dans les Échantillonnages (**E**), les variables dépendent du vent ( $V_{10m}$  ou  $w_{bgust}$ )

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

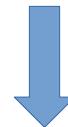
#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation des hypothèses de bases de la paramétrisation

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation des hypothèses de bases de la paramétrisation



Comparaison LES/LES : **(P)** dépendant de la WAPE vs **(E)** dépendant du vent

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation des hypothèses de bases de la paramétrisation



Comparaison LES/LES : **(P)** dépendant de la WAPE vs **(E)** dépendant du vent

$$\begin{aligned} \text{(P)} &: C_* = k\sqrt{2WAPE} \\ \text{(E)} &: C_* = \frac{1}{2}\overline{\text{div}}\left(\overrightarrow{V_{10m}}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{wk}}{D_{wk}\pi}} \end{aligned}$$

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation des hypothèses de bases de la paramétrisation



Comparaison LES/LES : **(P)** dépendant de la WAPE vs **(E)** dépendant du vent

$$\begin{aligned} \text{(P)} &: C_* = k\sqrt{2WAPE} \\ \text{(E)} &: C_* = \frac{1}{2} \overrightarrow{\text{div}} \left( \overrightarrow{V_{10m}} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{wk}}{D_{wk}\pi}} \end{aligned}$$

- bon accord entre **(P)** et **(E)**, confirmant la validité des hypothèses de bases de la paramétrisation.

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation des hypothèses de bases de la paramétrisation



Comparaison LES/LES : **(P)** dépendant de la WAPE vs **(E)** dépendant du vent

$$\begin{array}{ll} \text{(P)} & : \left\{ \begin{array}{l} C_* = k\sqrt{2WAPE} \\ \cdot \end{array} \right. \\ \text{(E)} & : \left\{ \begin{array}{l} C_* = \frac{1}{2}\overrightarrow{\text{div}}(\overrightarrow{V_{10m}}) \sqrt{\frac{\sigma_{wk}}{D_{wk}\pi}} \\ \cdot \end{array} \right. \end{array}$$

- bon accord entre **(P)** et **(E)**, confirmant la validité des hypothèses de bases de la paramétrisation.
- Estimation de **k=0.66** dans les LES (la paramétrisation initiale fixe k à **0.33**)

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation sur le cas RCE de la version uni-colonne de LMDZ

Simulation de contrôle, LMDZ CTRL, avec  $D_{wk}$  fixée à  $510^{-10}$  (valeur estimée dans la LES)

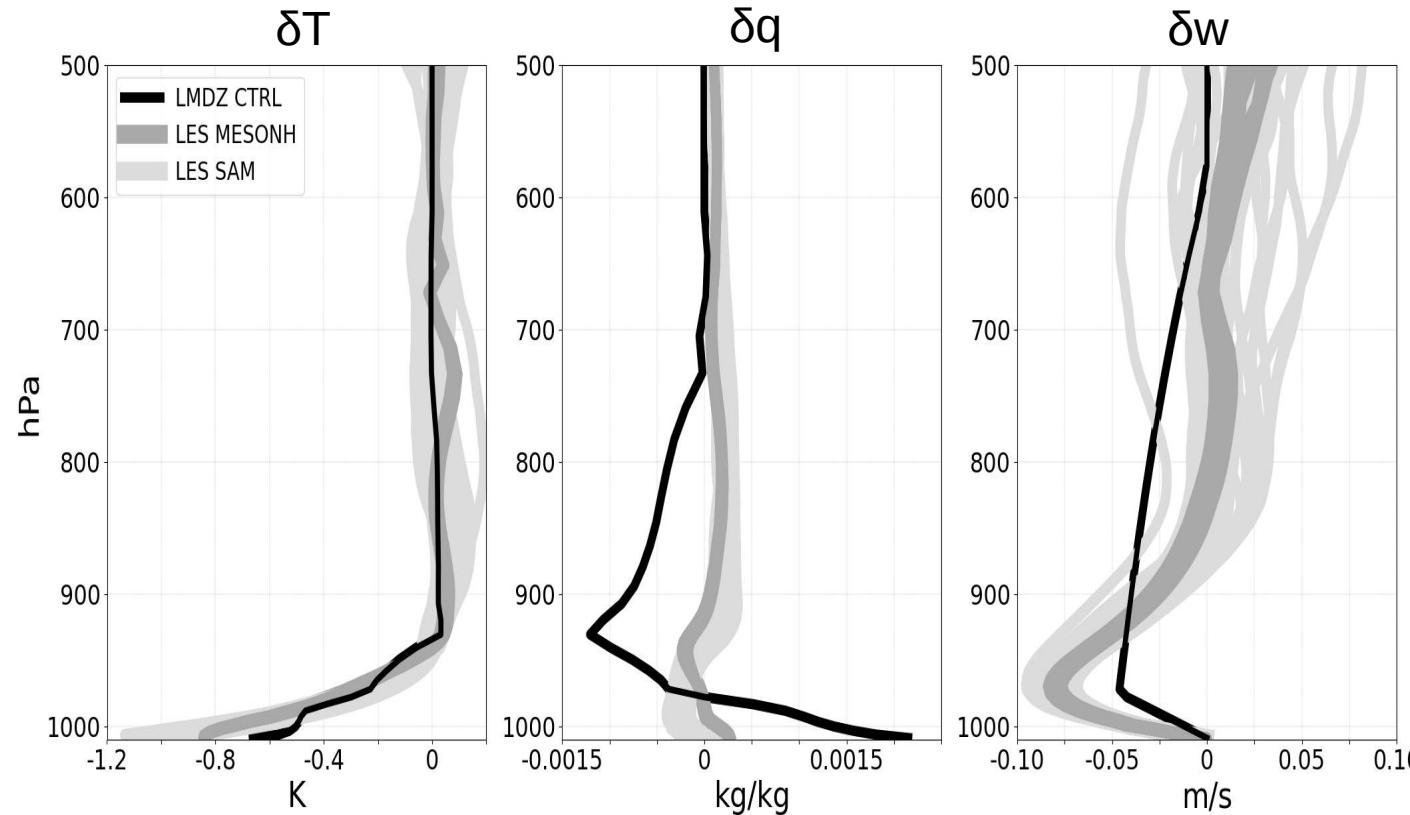
A la fois la validation LES/LES et SCM/LES sont dans la même sous section III.1.c  
C'est tellement différent pourtant.

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation sur le cas RCE de la version uni-colonne de LMDZ

Simulation de contrôle, LMDZ CTRL, avec  $D_{wk}$  fixée à  $510^{-10}$  (valeur estimée dans la LES)

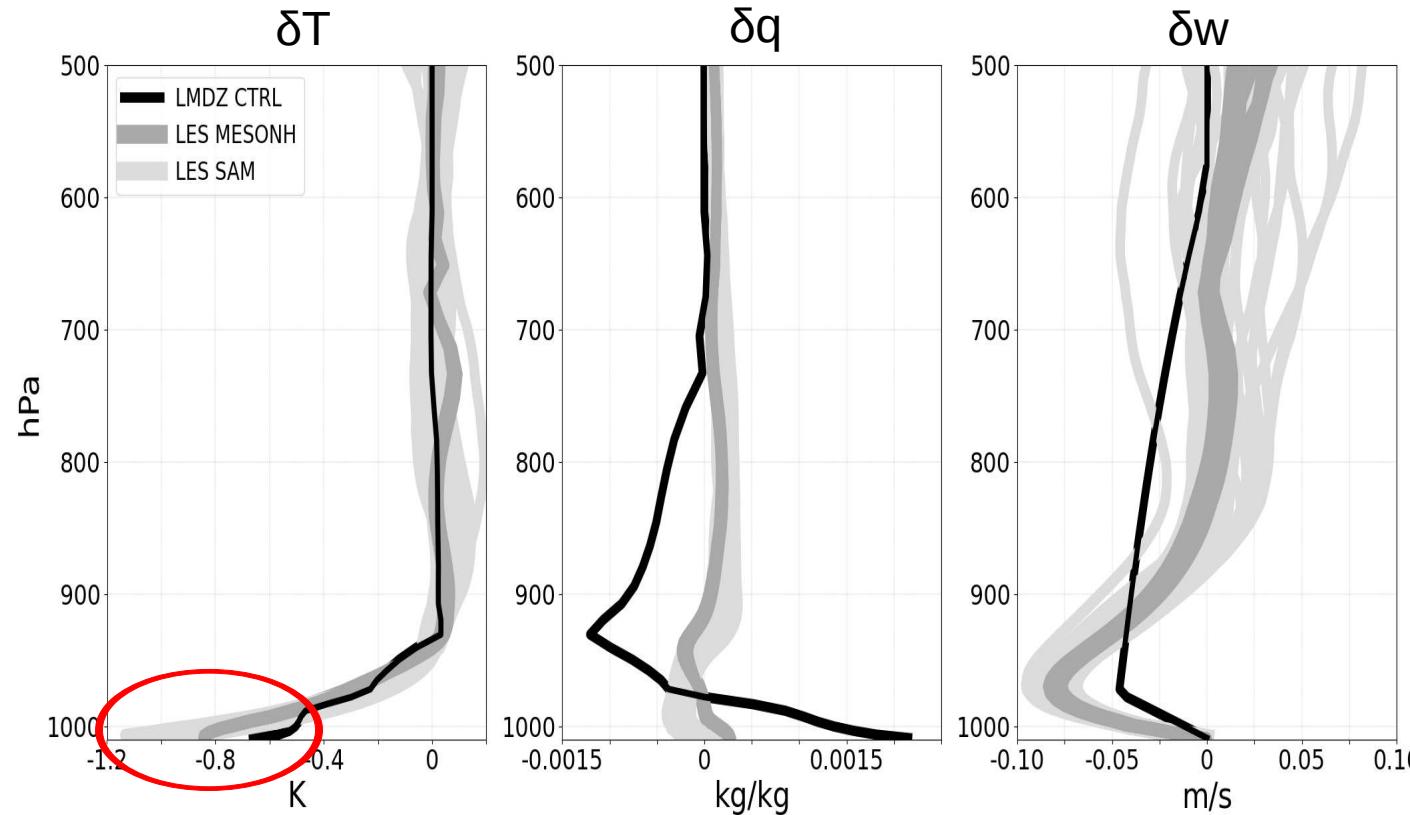


### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation sur le cas RCE de la version uni-colonne de LMDZ

Simulation de contrôle, LMDZ CTRL, avec  $D_{wk}$  fixée à  $510^{-10}$  (valeur estimée dans la LES)



#### Les limites du modèle

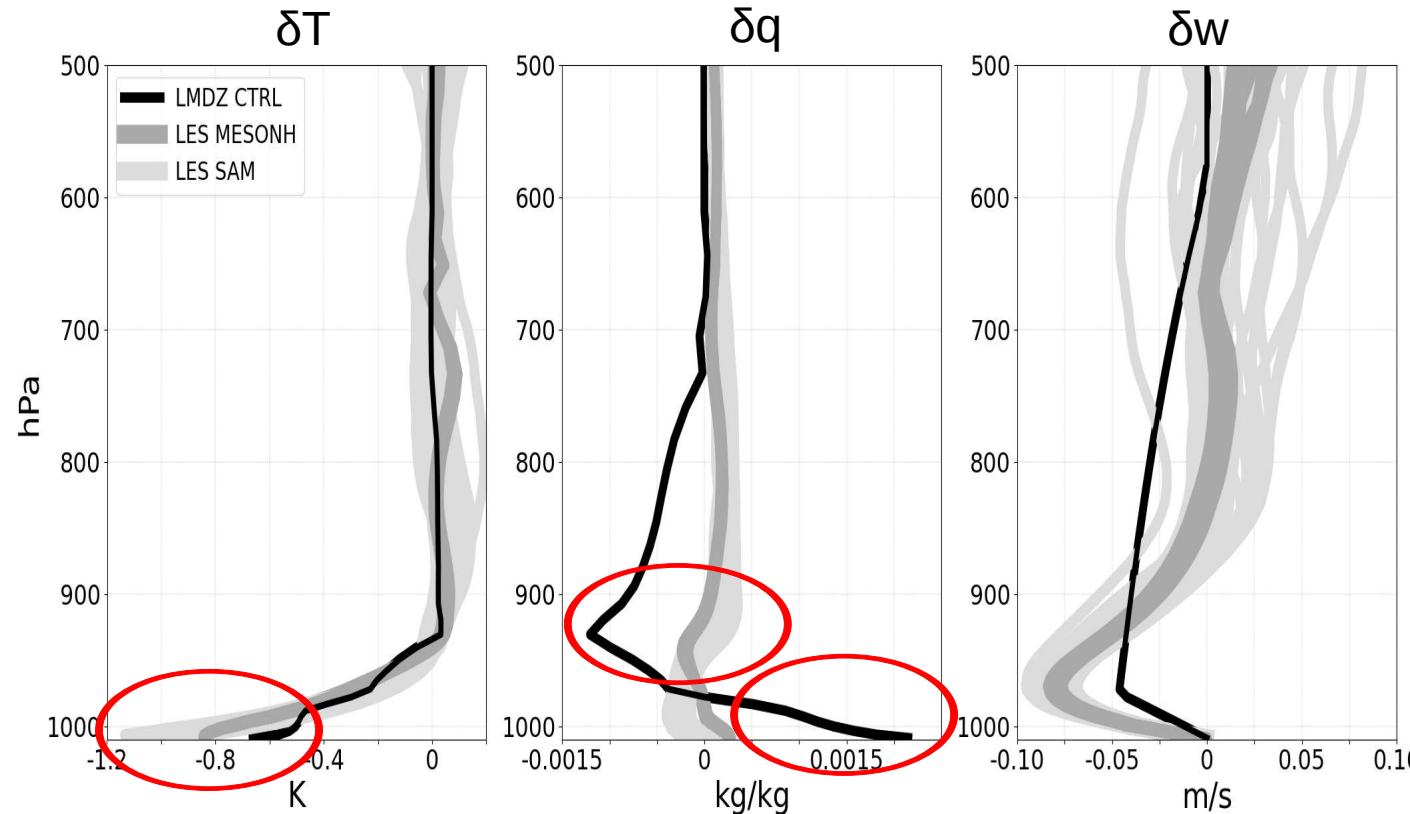
- Poches moins froides

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation sur le cas RCE de la version uni-colonne de LMDZ

Simulation de contrôle, LMDZ CTRL, avec  $D_{wk}$  fixée à  $510^{-10}$  (valeur estimée dans la LES)



#### Les limites du modèle

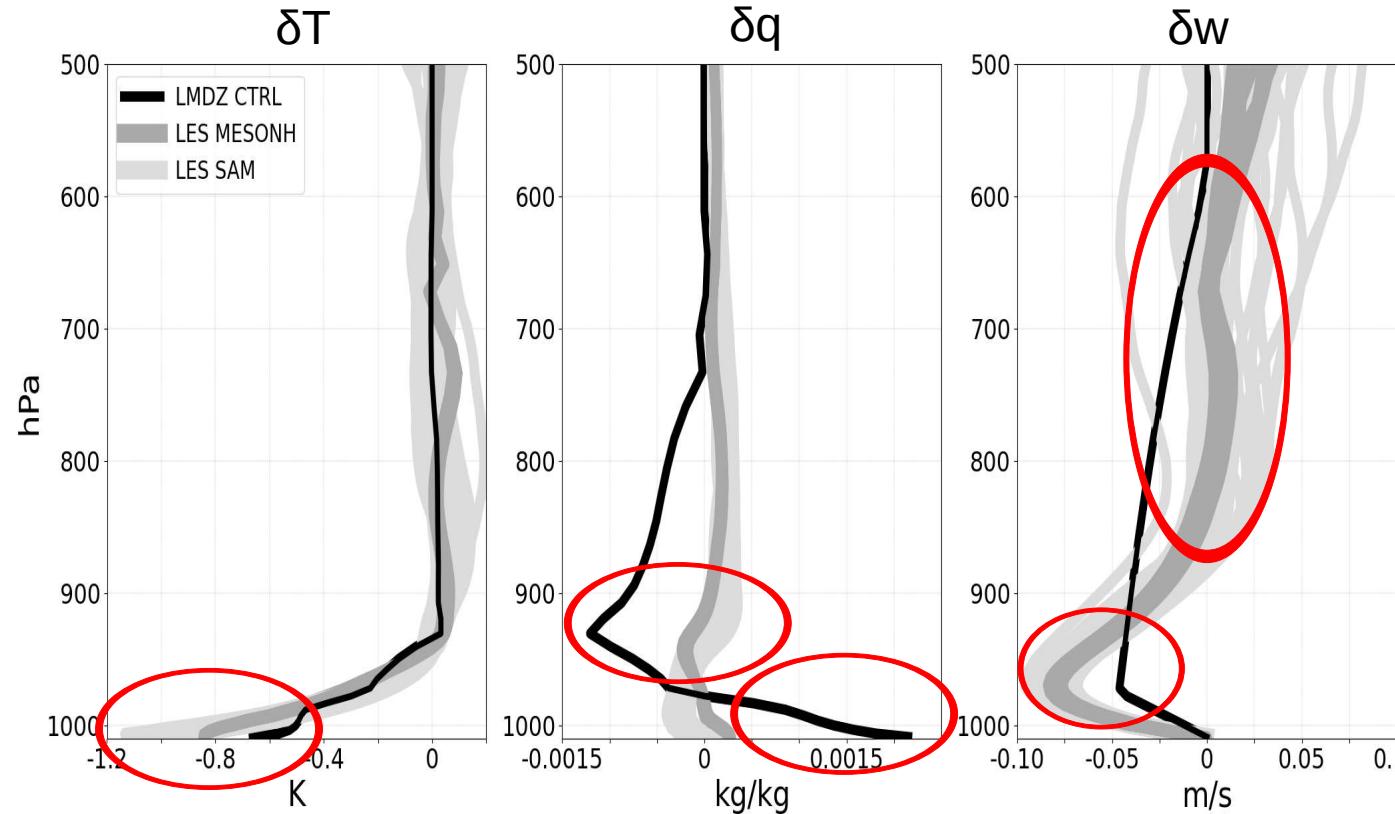
- Poches moins froides
- Poches plus sèche au dessus de  $h_{wk}$  et trop humide à la surface

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

- Validation sur le cas RCE de la version uni-colonne de LMDZ

Simulation de contrôle, LMDZ CTRL, avec  $D_{wk}$  fixée à  $510^{-10}$  (valeur estimée dans la LES)



#### Les limites du modèle

- Poches moins froides
- Poches plus sèche au dessus de  $h_{wk}$  et trop humide à la surface
- Altitude où  $\delta w=0$  trop élevée (imposée au dessus de 600 hPa dans TCRL)
- $\delta w$  moins faible en dessous de  $h_{wk}$
- $C_*$ ,  $ALE_{wk}$  et  $ALP_{wk}$  sont aussi sous-estimées dans LMDZ CTRL (non montrées)

### **III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches**

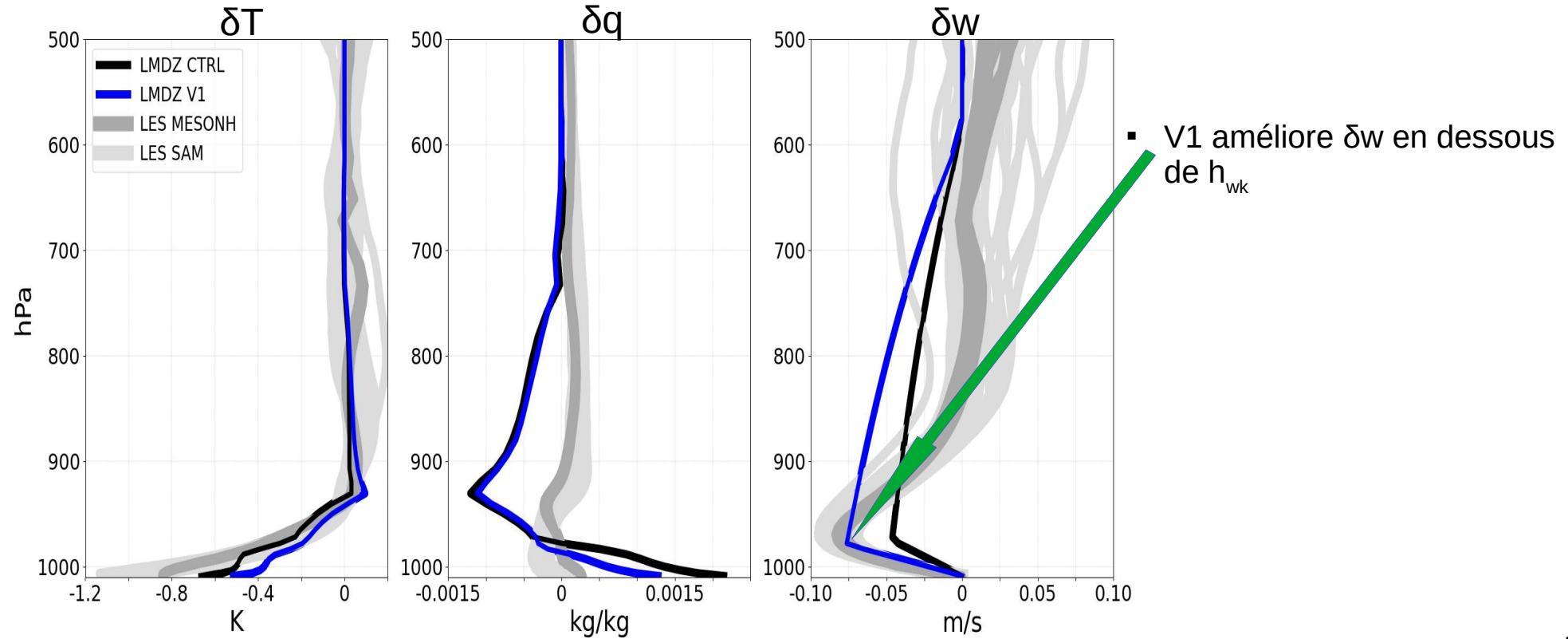
#### **III.1.d/ Les améliorations apportées**

- V1 = CTRL + fixation coefficient k à 0.66 au lieu de 0.33

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations apportées

- V1 = CTRL + fixation coefficient k à 0.66

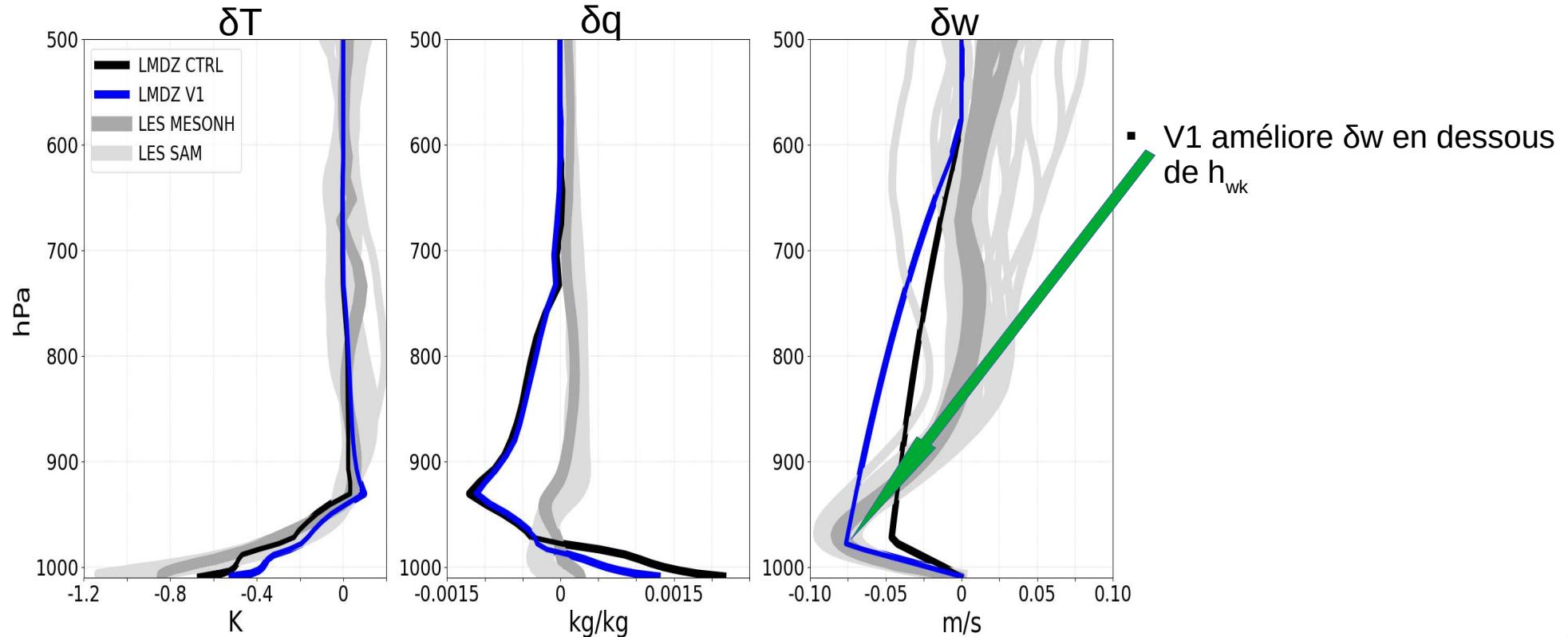


### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations apportées

- $V1 = \text{CTRL} + \text{fixation coefficient } k \text{ à } 0.66$
- $V2 = V1 + \text{baisse de l'altitude } (P_{\text{upper}}) \text{ où } \delta w=0 \text{ (} P_{\text{upper}} = \alpha P_{\text{top}} \text{ avec } \alpha=3 \text{)}$

**Non !  $(P_s - P_{\text{upper}}) = \alpha(P_s - P_{\text{top}})$  !!!**



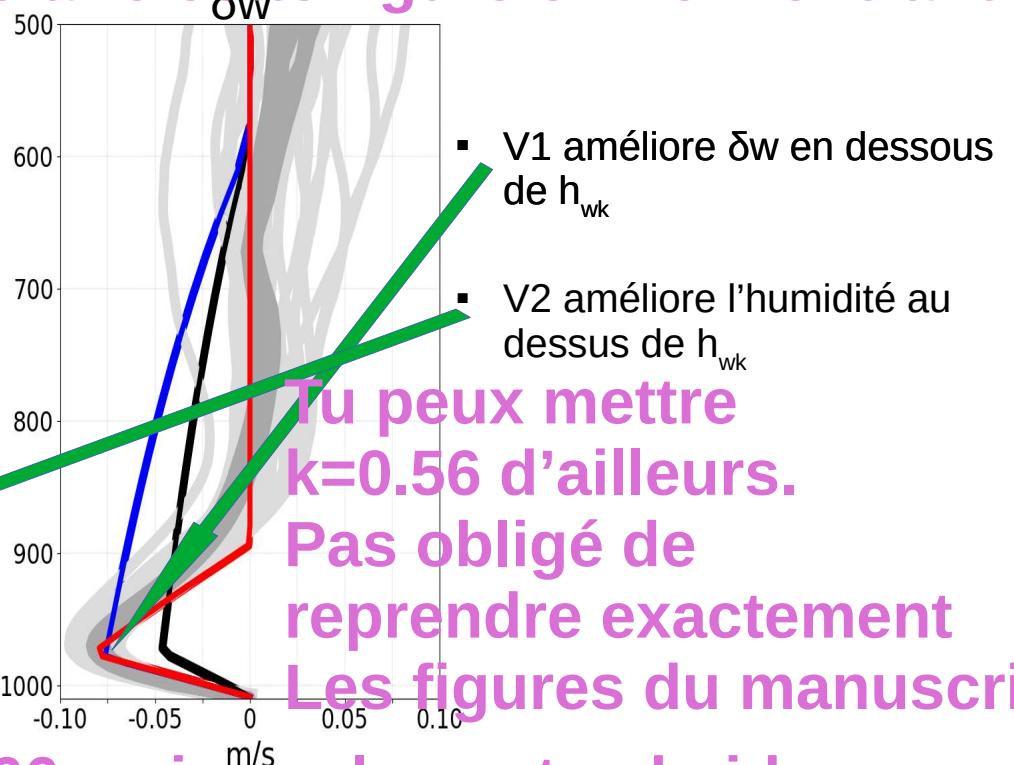
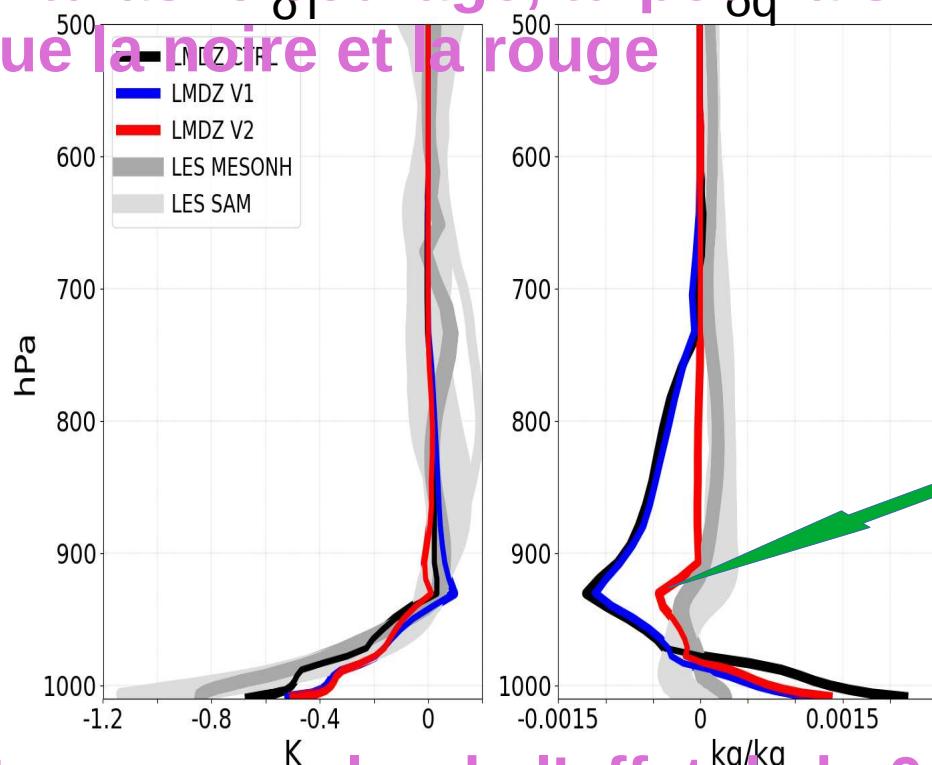
### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations apportées

- $V1 = \text{CTRL} + \text{fixation coefficient } k \text{ à } 0.66$
- $V2 = V1 + \text{baisse de l'altitude (P}_{\text{upper}}\text{) où } \delta w=0 (\text{P}_{\text{upper}} = \alpha P_{\text{top}} \text{ avec } \alpha=3)$

$$V2 = \text{CTRL} + k=0.66 + \text{pupper} \dots$$

Si tu as le courage, tu pourrais refaire cette figure en ne montrant que la noire et la rouge

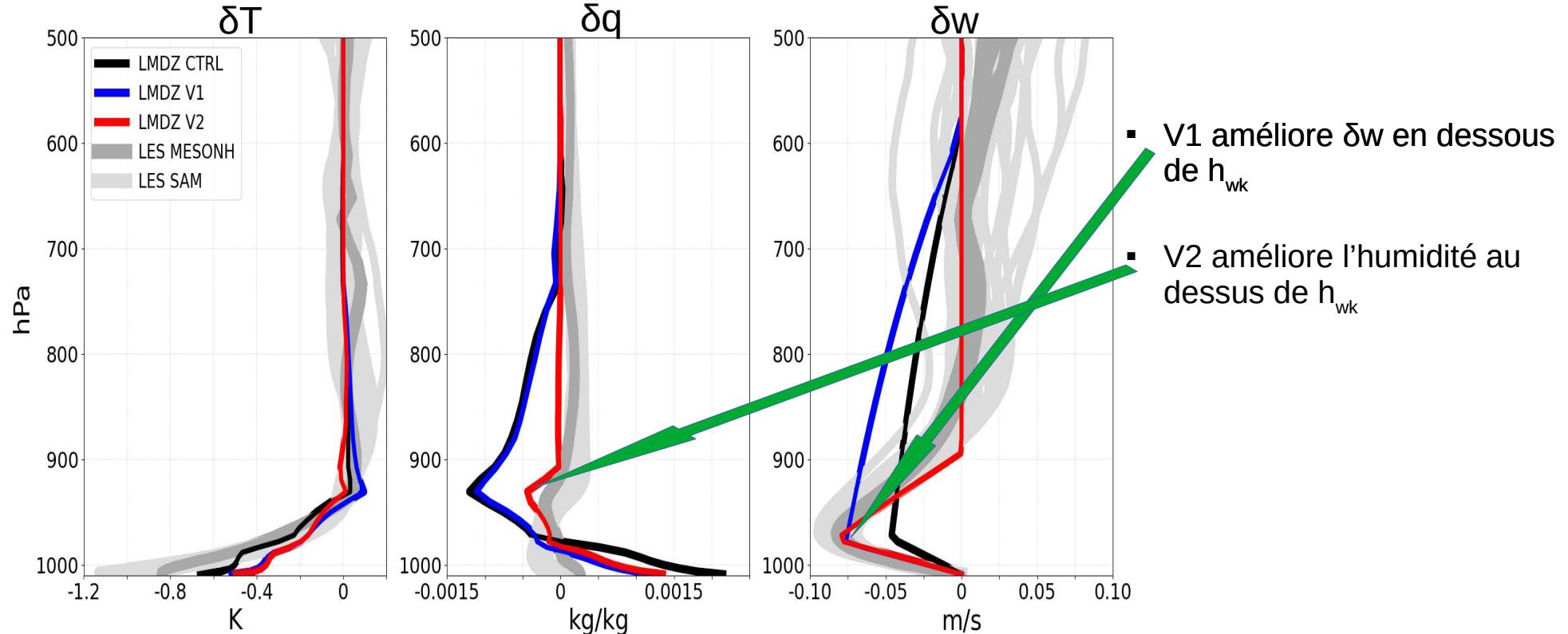


Et ne pas parler de l'effet de  $k=0.66$  mais seulement subsidance

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations apportées

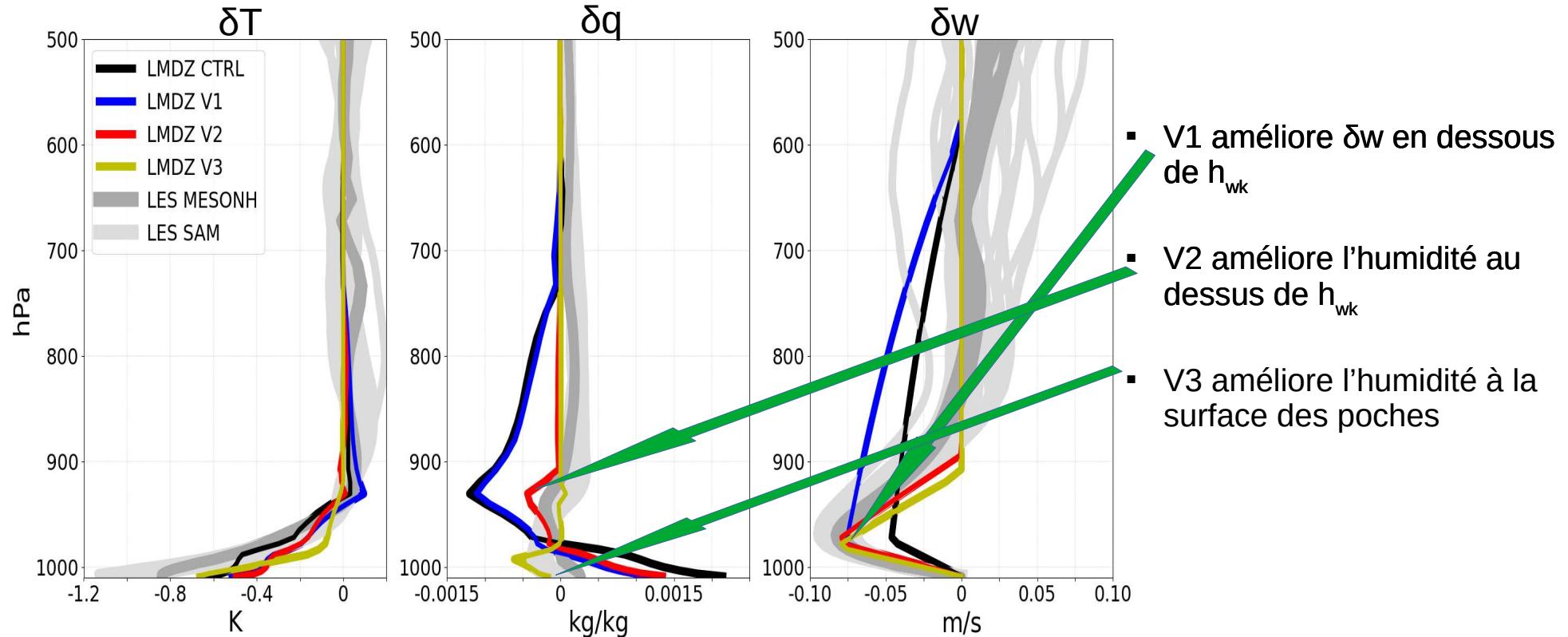
- V1 = CTRL + fixation coefficient k à 0.66
- V2 = V1 + baisse de l'altitude ( $P_{upper}$ ) où  $\delta w=0$  ( $P_{upper} = \alpha P_{top}$  avec  $\alpha=3$ )
- V3 = V2 + activation des thermiques dans tout le domaine



### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations apportées

- V1 = CTRL + fixation coefficient k à 0.66
- V2 = V1 + baisse de l'altitude ( $P_{upper}$ ) où  $\delta w=0$  ( $P_{upper} = \alpha P_{top}$  avec  $\alpha=3$ )
- V3 = V2 + activation des thermiques dans tout le domaine

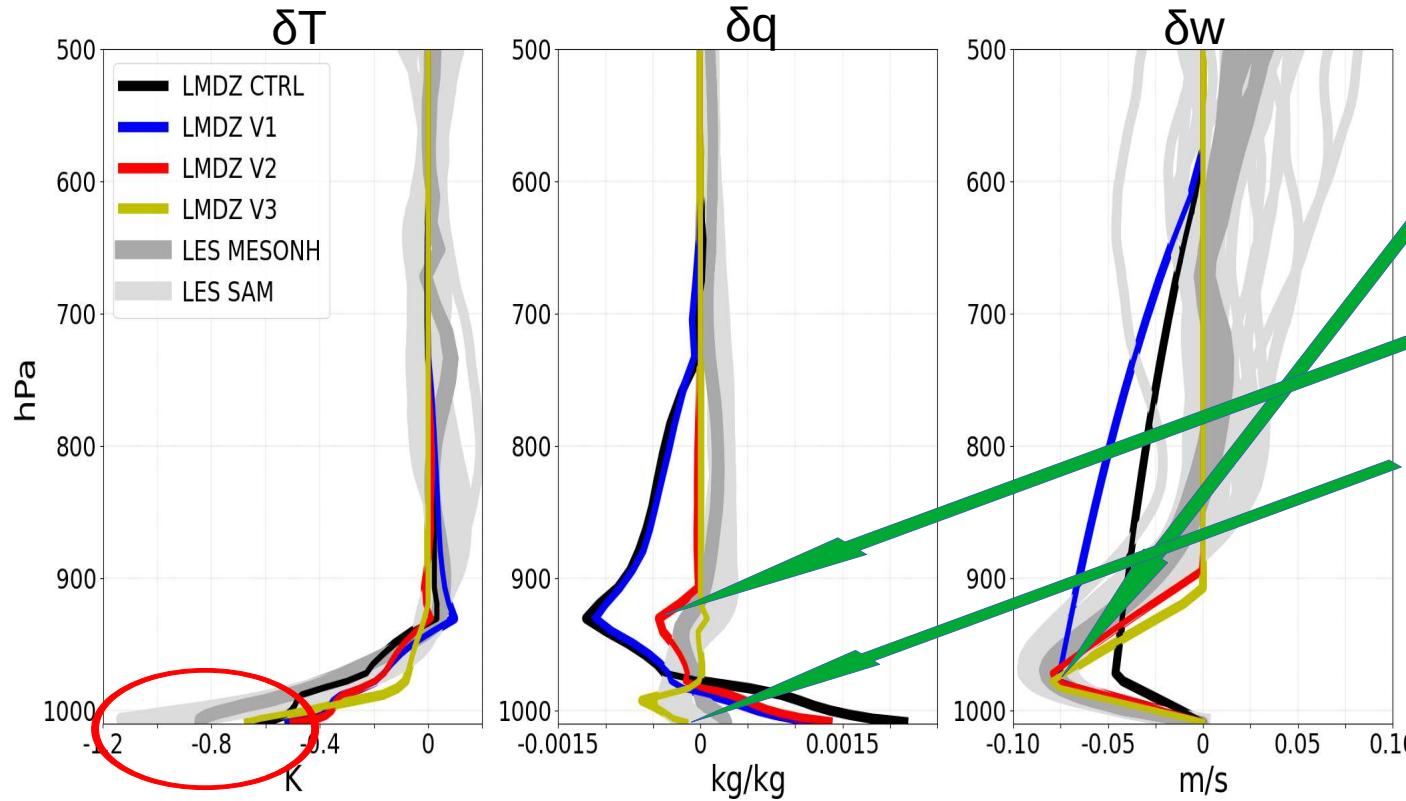


### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations apportées

- V1 = CTRL + fixation coefficient k à 0.66
- V2 = V1 + baisse de l'altitude ( $P_{upper}$ ) où  $\delta w=0$  ( $P_{upper} = \alpha P_{top}$  avec  $\alpha=3$ )
- V3 = V2 + activation des thermiques dans tout le domaine

En fait je pense que tu pourrais laisser Tomber V3.



- V1 améliore  $\delta w$  en dessous de  $h_{wk}$
- V2 améliore l'humidité au dessus de  $h_{wk}$
- V3 améliore l'humidité à la surface des poches

Défaut persistant: sous-estimation de l'anomalie froide des poches

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations

##### Les exercices de tuning

Métriques retenues :

- les profils de  $\delta T$  et les profils moyens ( $\theta$  et  $qv$ ), évaluées à partir de moyennes verticales à différents niveaux et de moyennes temporelles.
- $C^*$  et WAPE, évaluées à partir d'une moyenne temporelle

Paramètres retenus :

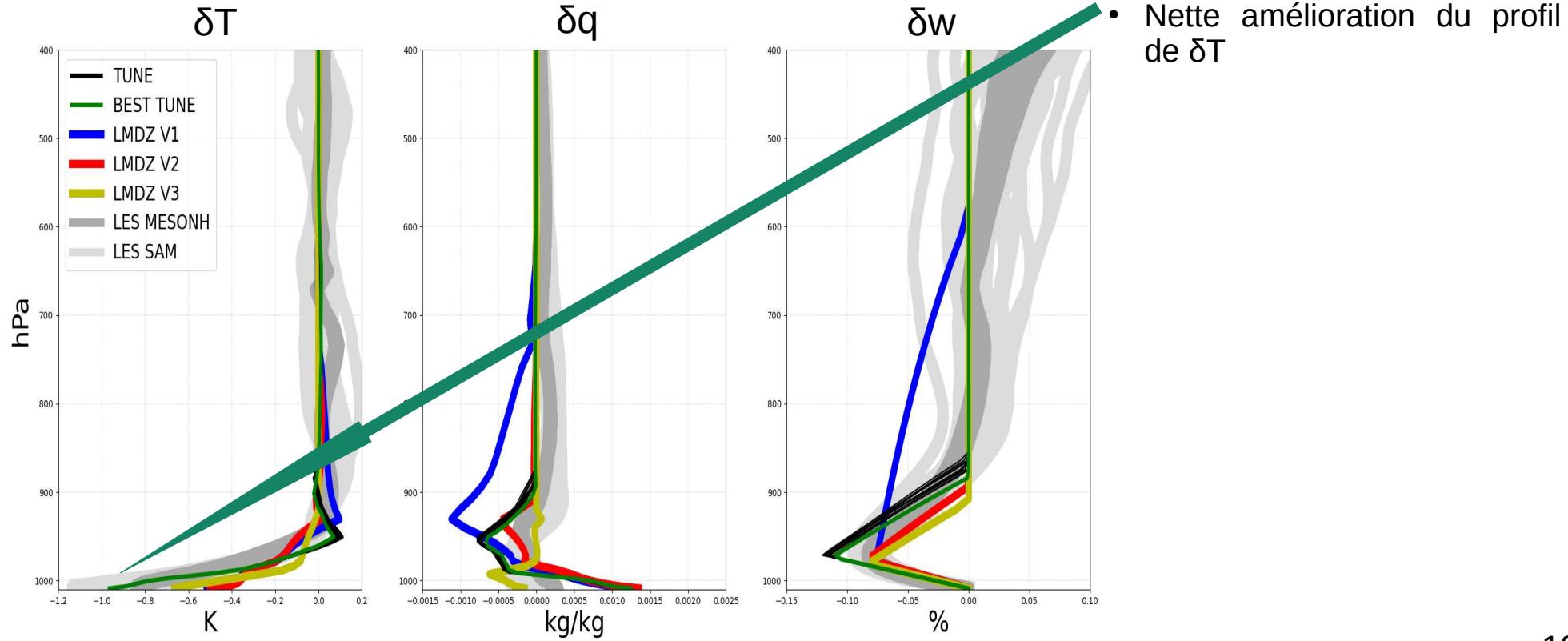
- 4 paramètres libres du schéma des poches froides
- 5 paramètres libres du pour le schéma de convection

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.d/ Les améliorations

##### Les exercices de tuning

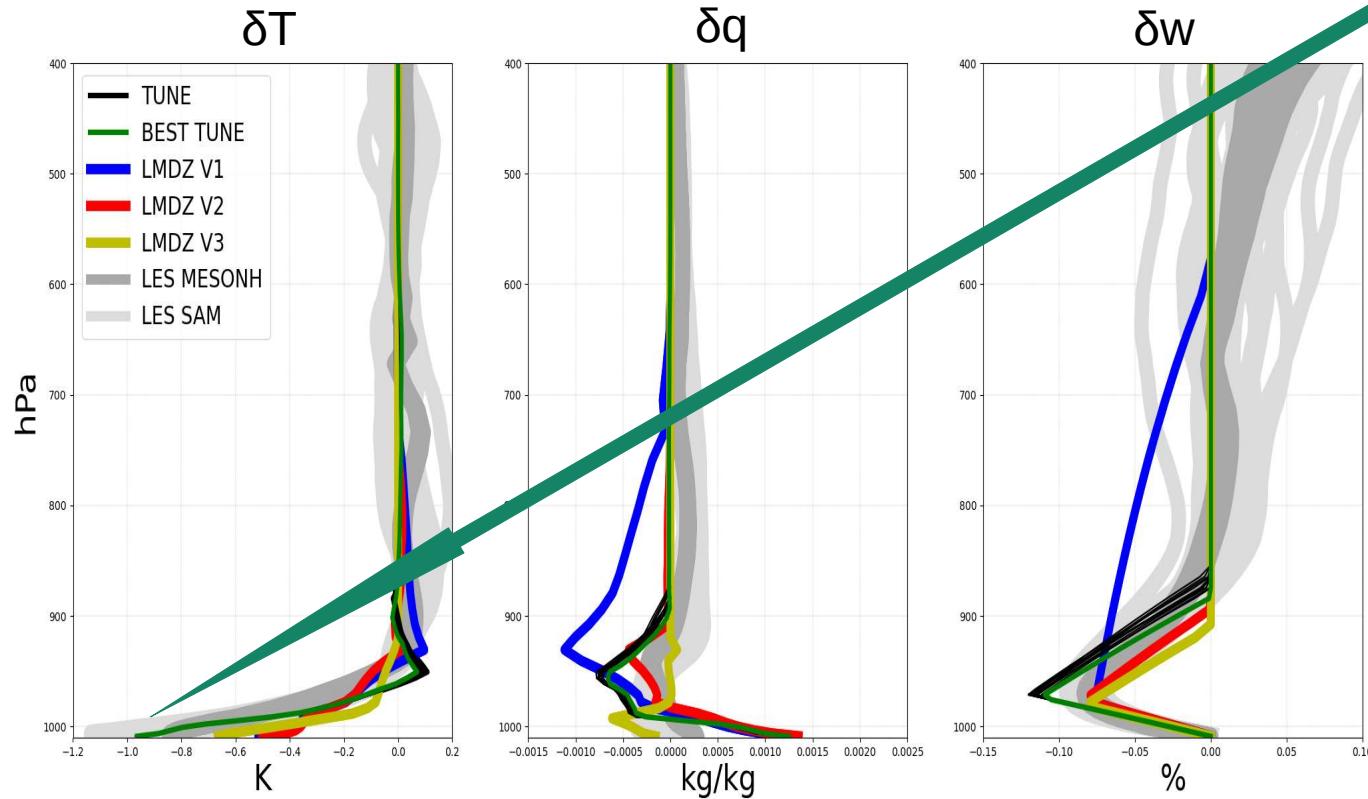
Du coup ici tu ne montrerais que CTRL, V2 et tuning.



# III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

## III.1.d/ Les améliorations

### Les exercices de tuning



- Nette amélioration du profil de  $\delta T$
- WAPE,  $C_*$ ,  $ALE_{wk}$  et  $ALP_{wk}$  sont aussi améliorées, grâce à V1 et le tuning (**non montrée**).
- Une nette amélioration du profil de  $q_v$  grâce au tuning (**non montrée**)
- Un léger biais sur le profil de  $\theta$  persiste vers 200 hPa (**non montré**)

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.e/ Conclusions et Perspectives

##### **Conclusions**

- L'évaluation par rapport aux LES montrent une bonne représentation physique du modèle de poches mais identifient des biais.
- Les biais ont été corrigées grâce des modifications substantielles apportées au modèle de poches et réajustement de certains paramètres libres.
- Un nouveau calcul numérique de  $h_{wk}$  proposé a permis de réduire des plantages dans le 3D

### III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

#### III.1.e/ Conclusions et Perspectives

##### **Conclusions**

- L'évaluation par rapport aux LES montrent une bonne représentation physique du modèle de poches mais identifient des biais.
- Les biais ont été corrigées grâce des modifications substantielles apportées au modèle de poches et réajustement de certains paramètres libres.
- Un nouveau calcul numérique de  $h_{wk}$  proposé a permis de réduire des plantages dans le 3D

##### **Perspectives**

- Développer une paramétrisation des thermiques peu profond dans les poches permettant de réduire l'humidité à la surface des poches
- Développer une paramétrisation pour calculer la densité des poches jusque là imposée

### **III. RESULTATS**

#### **III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches**

**Objectif :** développer une paramétrisation des rafales de vent associées aux poches froides en s'appuyant sur des LES

### **III. RESULTATS**

#### **III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches**

**Objectif** : développer une paramétrisation des rafales de vent associées aux poches froides en s'appuyant sur des LES

##### **Plan**

III.2.a/ Analyse du vent dans les LES

III.2.b/ Modèle conceptuel

III.2.c/ Combinaison avec le schéma des rafales liées aux thermiques

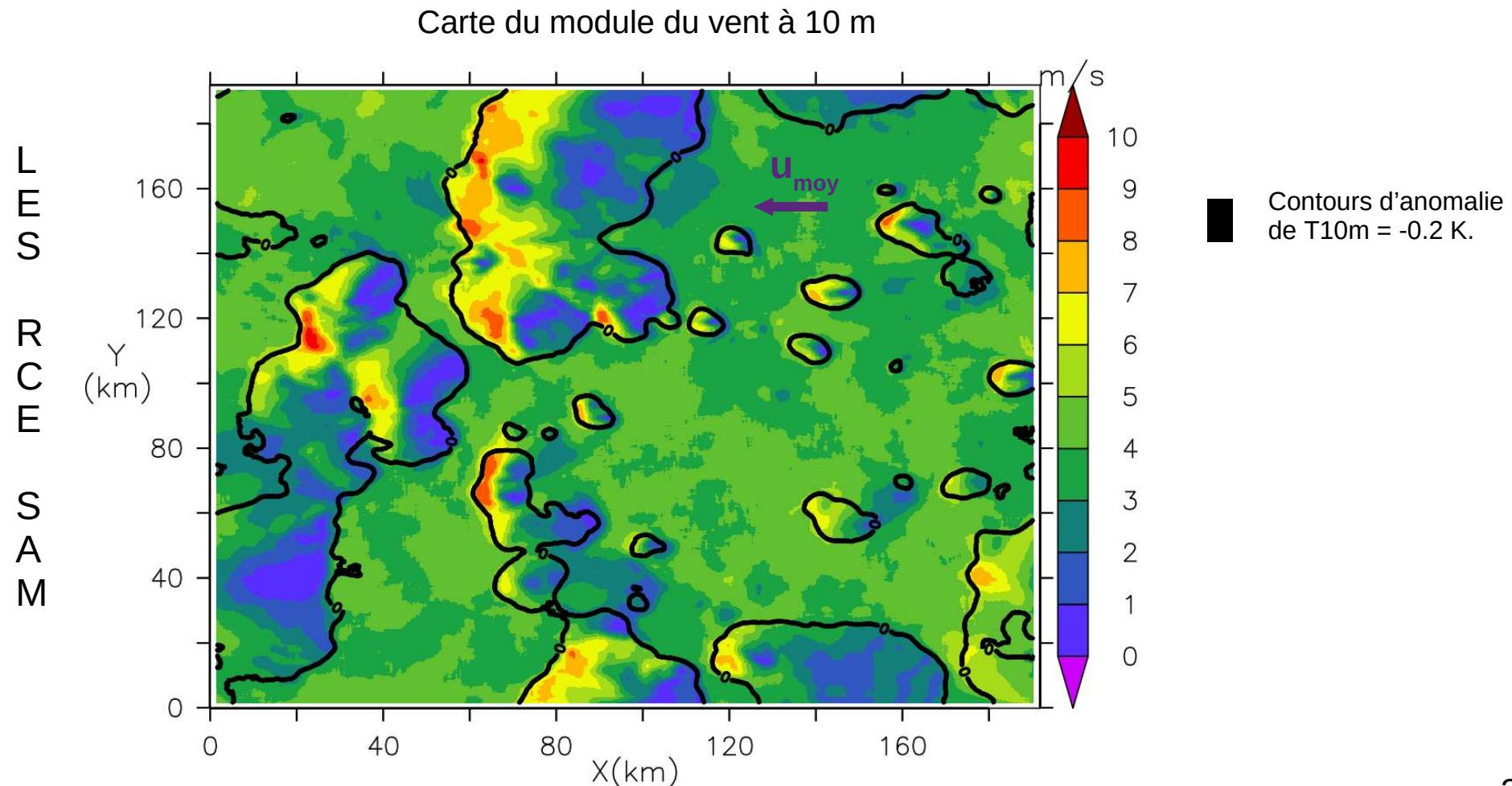
III.2.d/ Tuning des paramètres libres

III.2.e/ Validation dans la version uni-colonne de LMDZ

III.2.f/ Conclusions et perspectives

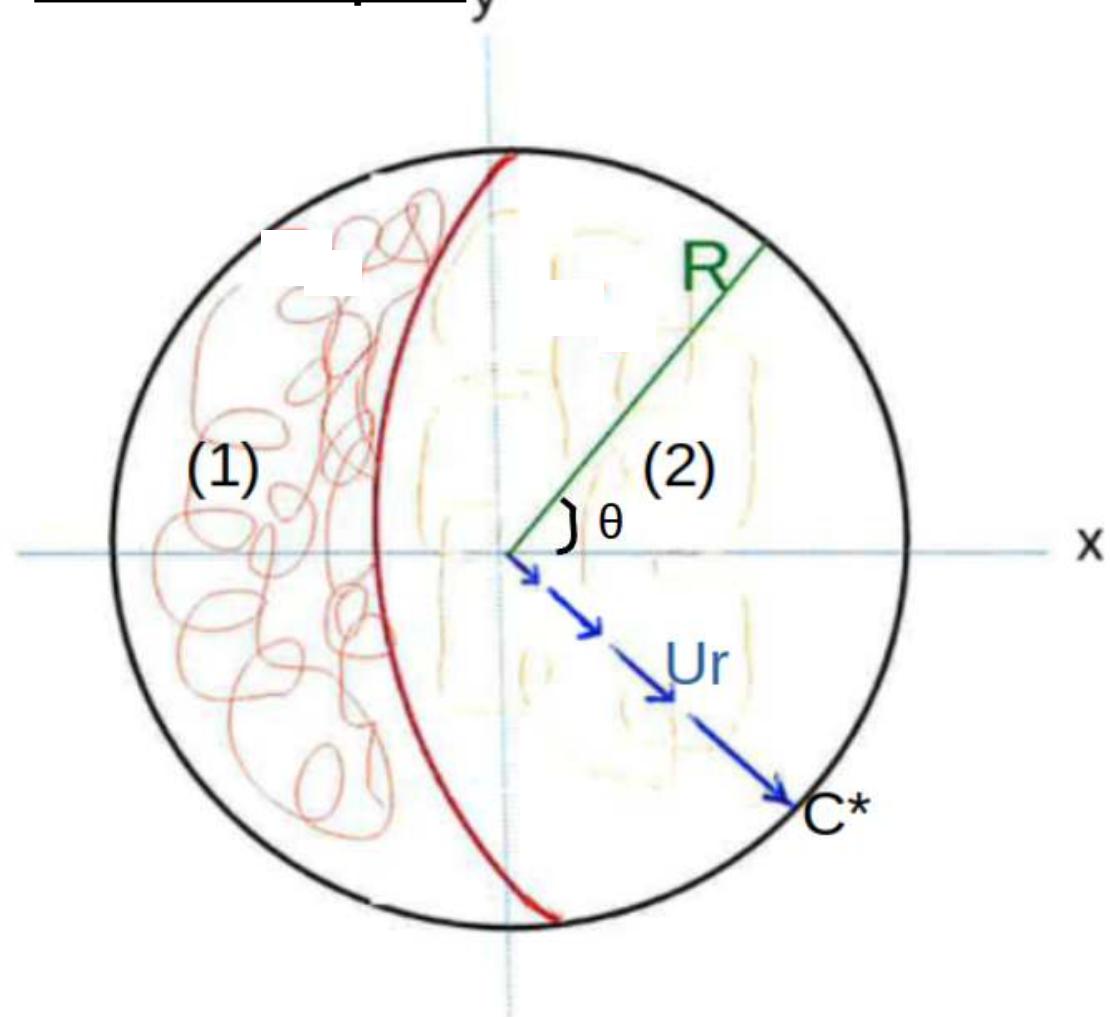
## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.a/ Analyse du vent dans les LES



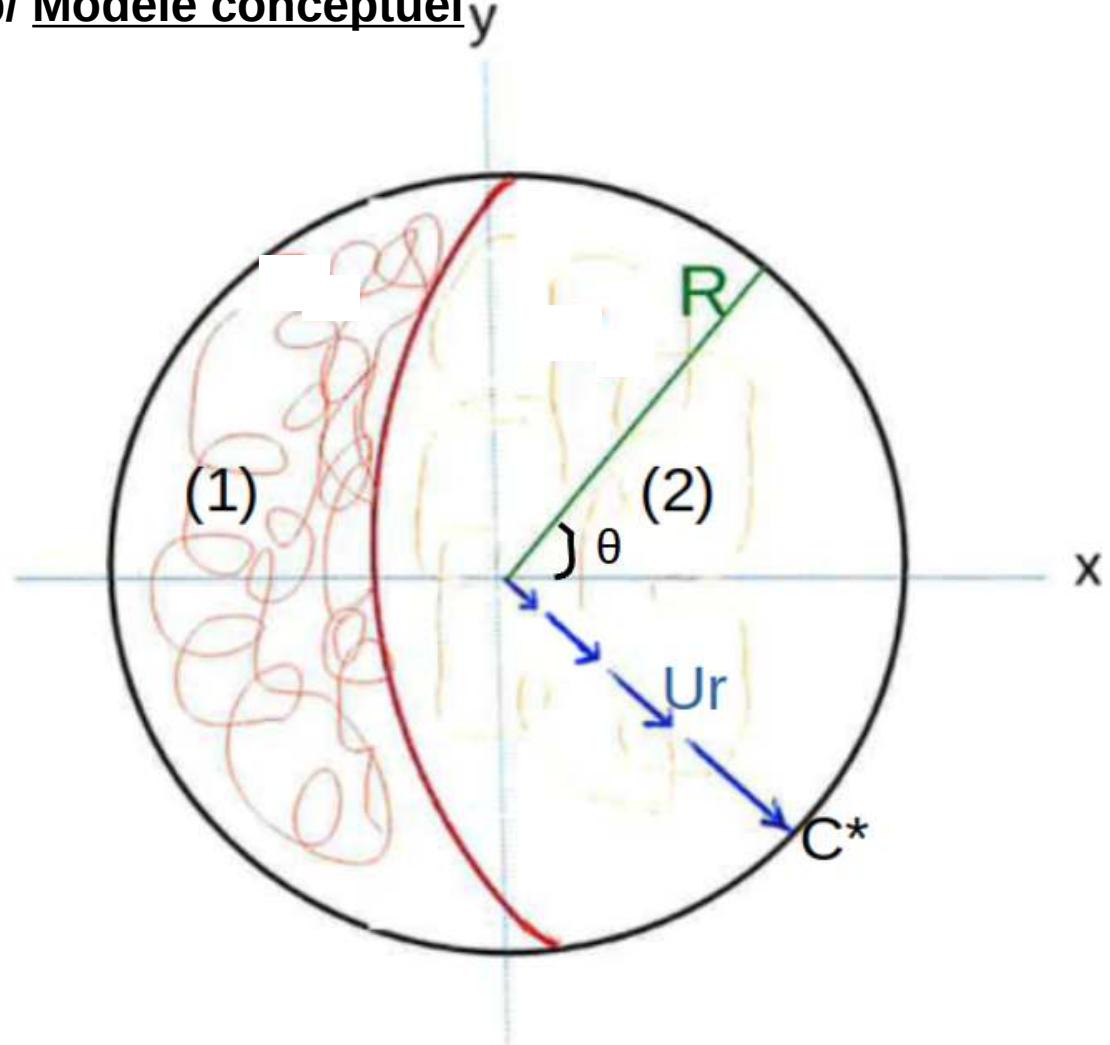
### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

#### III.2.b/ Modèle conceptuel



### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

#### III.2.b/ Modèle conceptuel

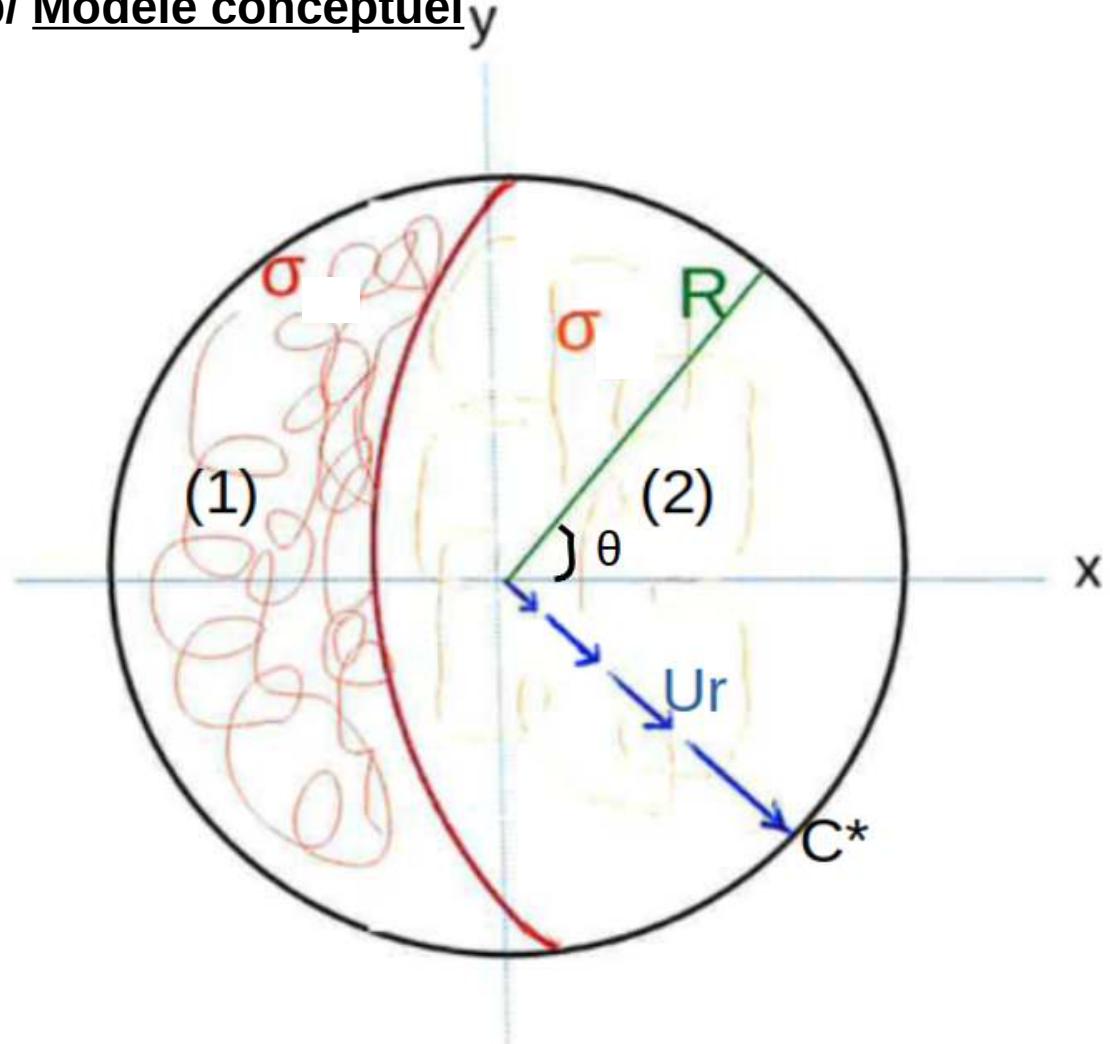


#### Modèle physique

- Le vent responsable de son étalement est radiale et uniformément divergent, avec une vitesse maximale  $C^*$ .

### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

#### III.2.b/ Modèle conceptuel

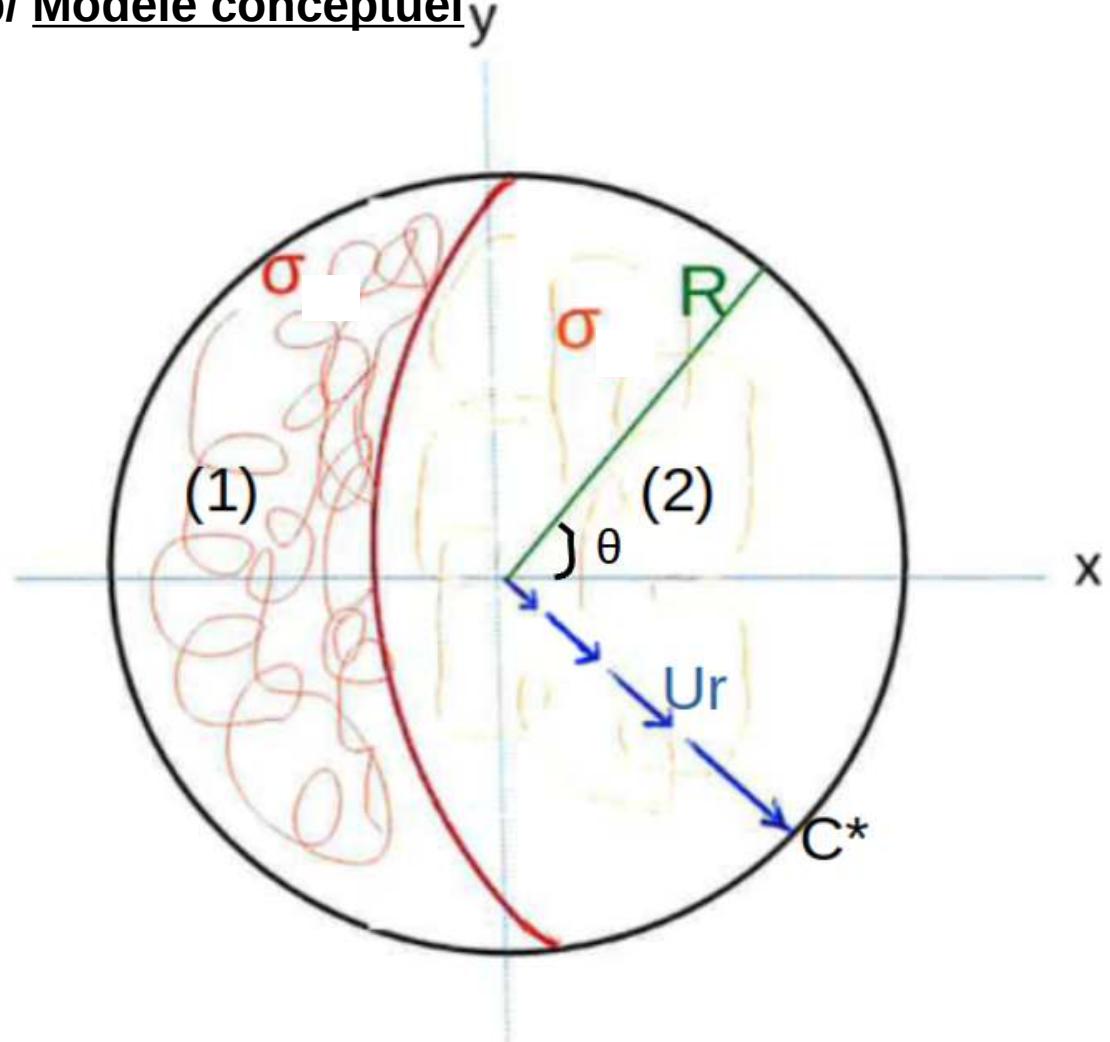


#### Modèle physique

- Le vent responsable de son étalement est radiale et uniformément divergent, avec une vitesse maximale  $C^*$ .
- Ajout d'une fluctuation de petites échelles  $G(0, \sigma)$ .

### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

#### III.2.b/ Modèle conceptuel

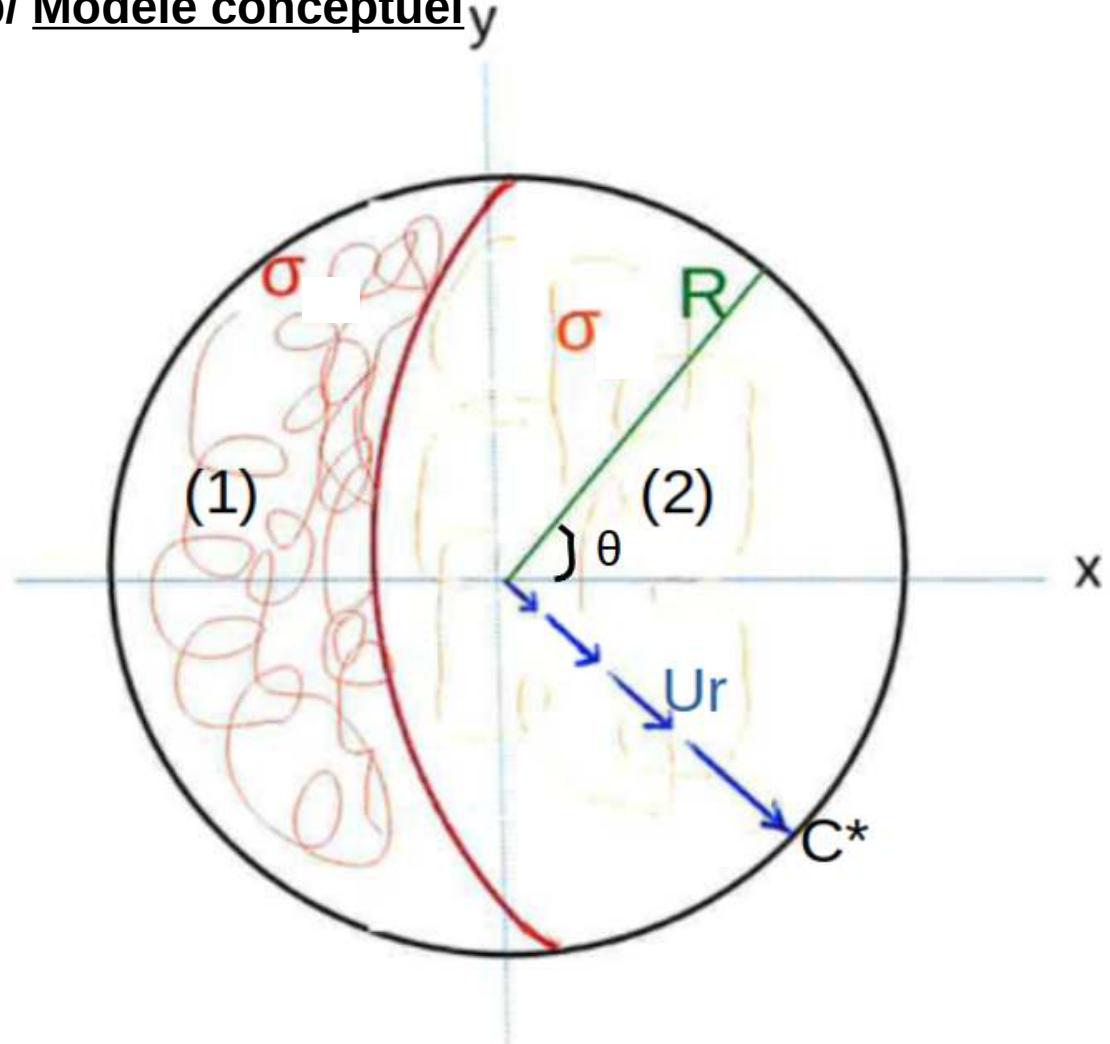


#### Modèle physique

- Le vent responsable de son étalement est radiale et uniformément divergent, avec une vitesse maximale  $C^*$ .
- Ajout d'une fluctuation de petites échelles  $G(0, \sigma)$ .
- $U_{\text{tot}, \text{wk}} = u_{\text{moy}, \text{wk}} + u_r + G(0, \sigma)$  ;  $u_r = xC^*/R$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.b/ Modèle conceptuel

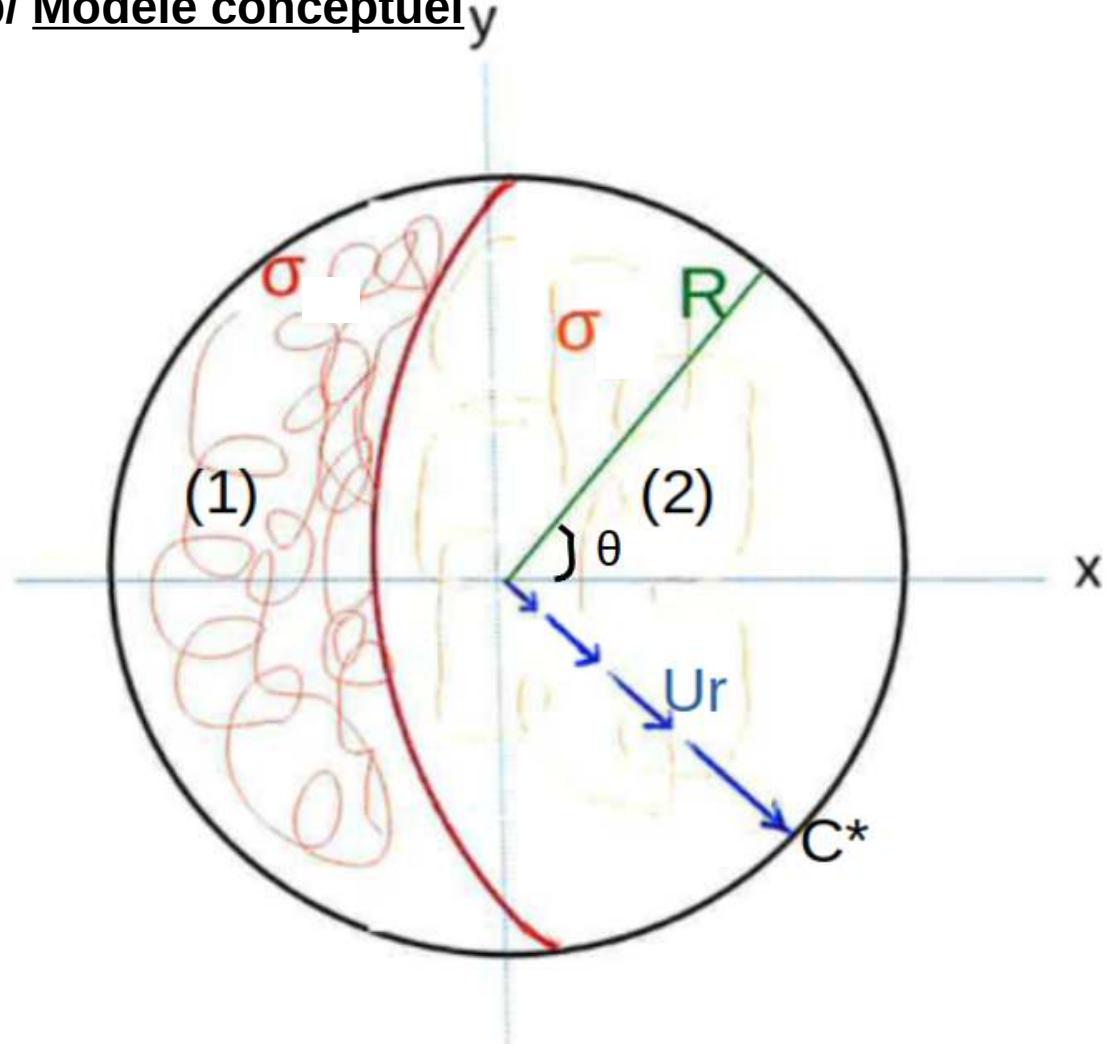


### Modèle physique

- Le vent responsable de son étalement est radiale et uniformément divergent, avec une vitesse maximale  $C^*$ .
- Ajout d'une fluctuation de petites échelles  $G(0, \sigma)$ .
- $U_{\text{tot}, \text{wk}} = u_{\text{moy}, \text{wk}} + \mathbf{u}_r + G(0, \sigma)$  ;  $\mathbf{u}_r = xC^*/R$
- $\sigma = k_{\text{twk}} u_{\text{noturb}}$  (inspiré de Panofsky et al., 1977 )  
 $K_{\text{twk}} = \text{réel} \quad ; \quad u_{\text{noturb}} = u_{\text{moy, wk}} + \mathbf{u}_r$

### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

#### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Modèle physique

- Le vent responsable de son étalement est radiale et uniformément divergent, avec une vitesse maximale  $C^*$ .
- Ajout d'une fluctuation de petites échelles  $G(0, \sigma)$ .
- $U_{\text{tot}, \text{wk}} = u_{\text{moy}, \text{wk}} + \mathbf{u}_r + G(0, \sigma)$  ;  $\mathbf{u}_r = xC^*/R$
- $\sigma = k_{\text{twk}} u_{\text{noturb}}$  (inspiré de Panofsky et al., 1977 )  
 $K_{\text{twk}} = \text{réel} \quad ; \quad u_{\text{noturb}} = u_{\text{moy}, \text{wk}} + \mathbf{u}_r$

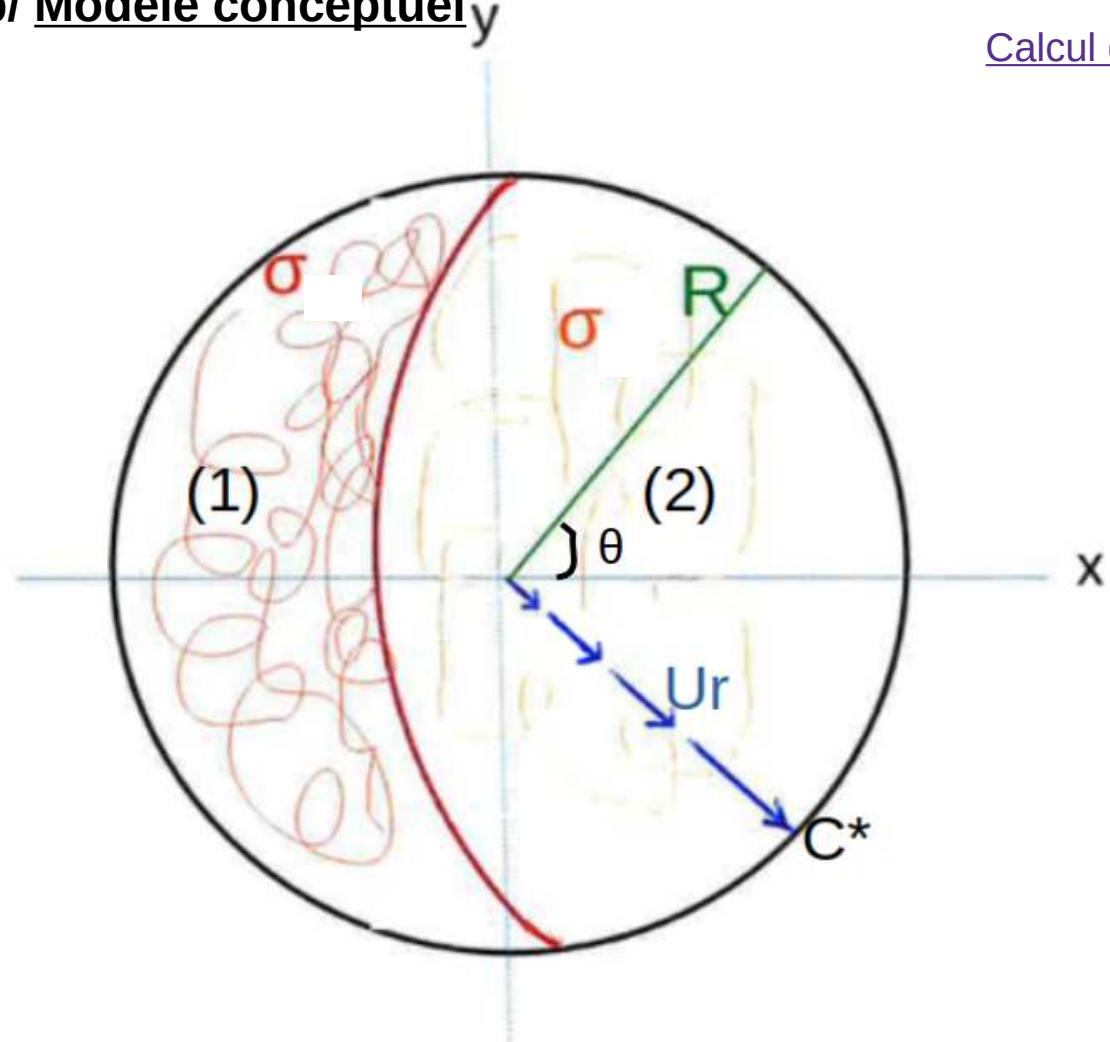
#### Les paramètres du modèle

- $C^*$ , une variable du GCM
- $u_{\text{moy}, \text{wk}} = u_{\text{moy}, \text{gcm}}$ , une variable du GCM
- $R$  et  $k_{\text{twk}}$  des paramètres libres

### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

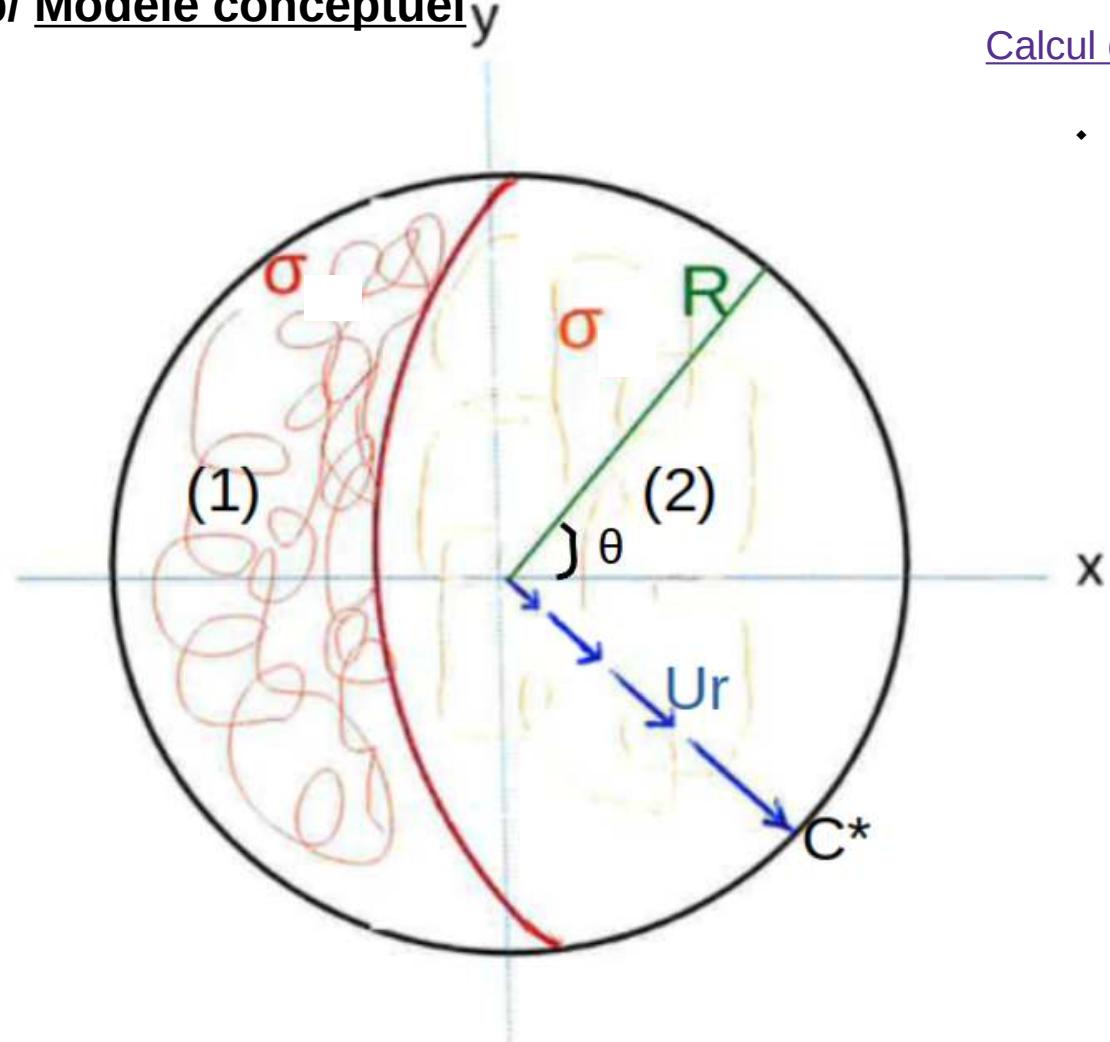
#### III.2.b/ Modèle conceptuel

Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo



## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo

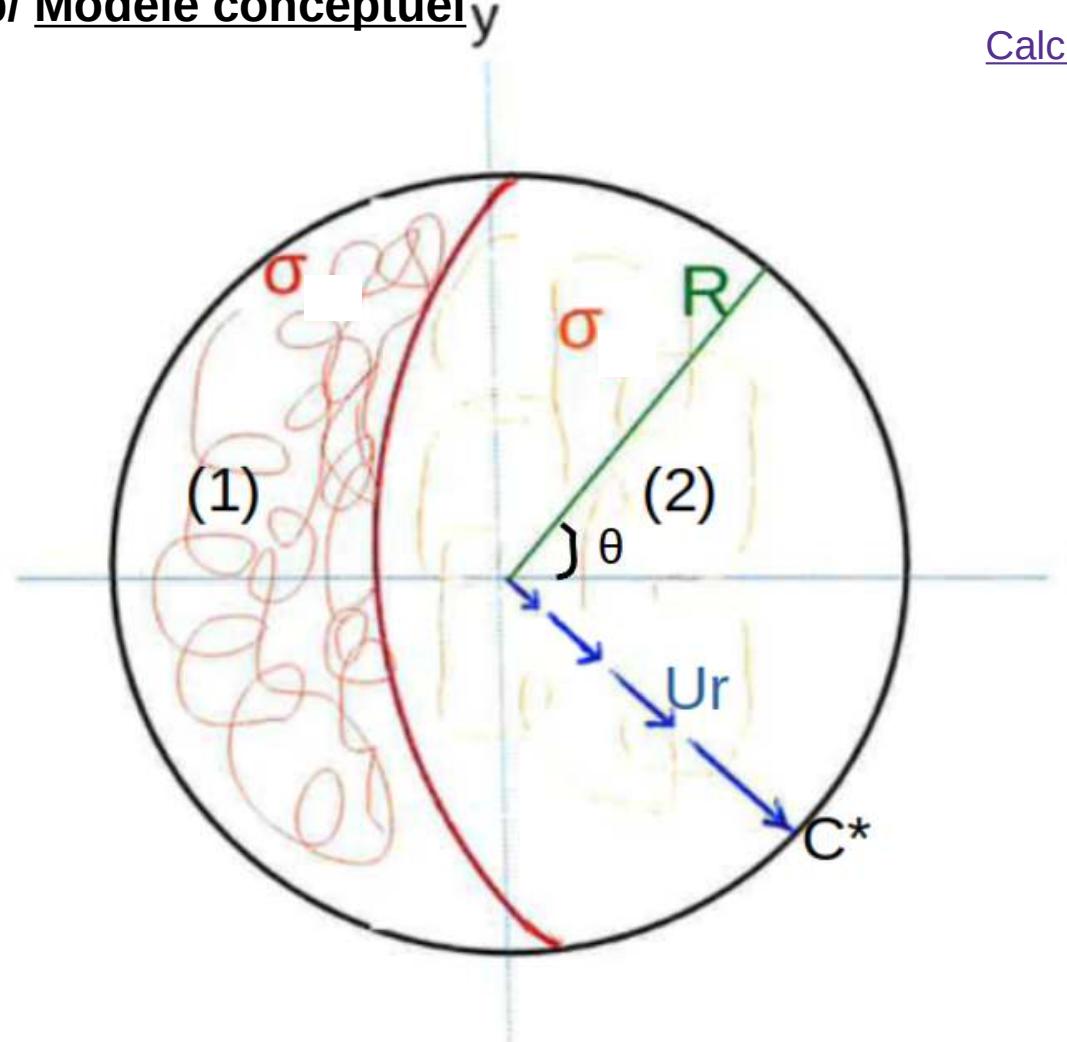
- Tirage d'un point  $m$  dans la poche

$$\begin{cases} r_i^2 = n_i R^2 & n_i \text{ et } m_i \text{ tirés aléatoirement} \\ \theta_i = m_i 2\pi & \text{entre 0 et 1.} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_m = (r_i^2)^{0.5} \cos(\theta_i) \\ y_m = (r_i^2)^{0.5} \sin(\theta_i) \end{cases}$$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo

- Tirage d'un point  $m$  dans la poche

$$\begin{cases} r_i^2 = n_i R^2 & n_i \text{ et } m_i \text{ tirés aléatoirement} \\ \theta_i = m_i 2\pi & \text{entre 0 et 1.} \end{cases}$$

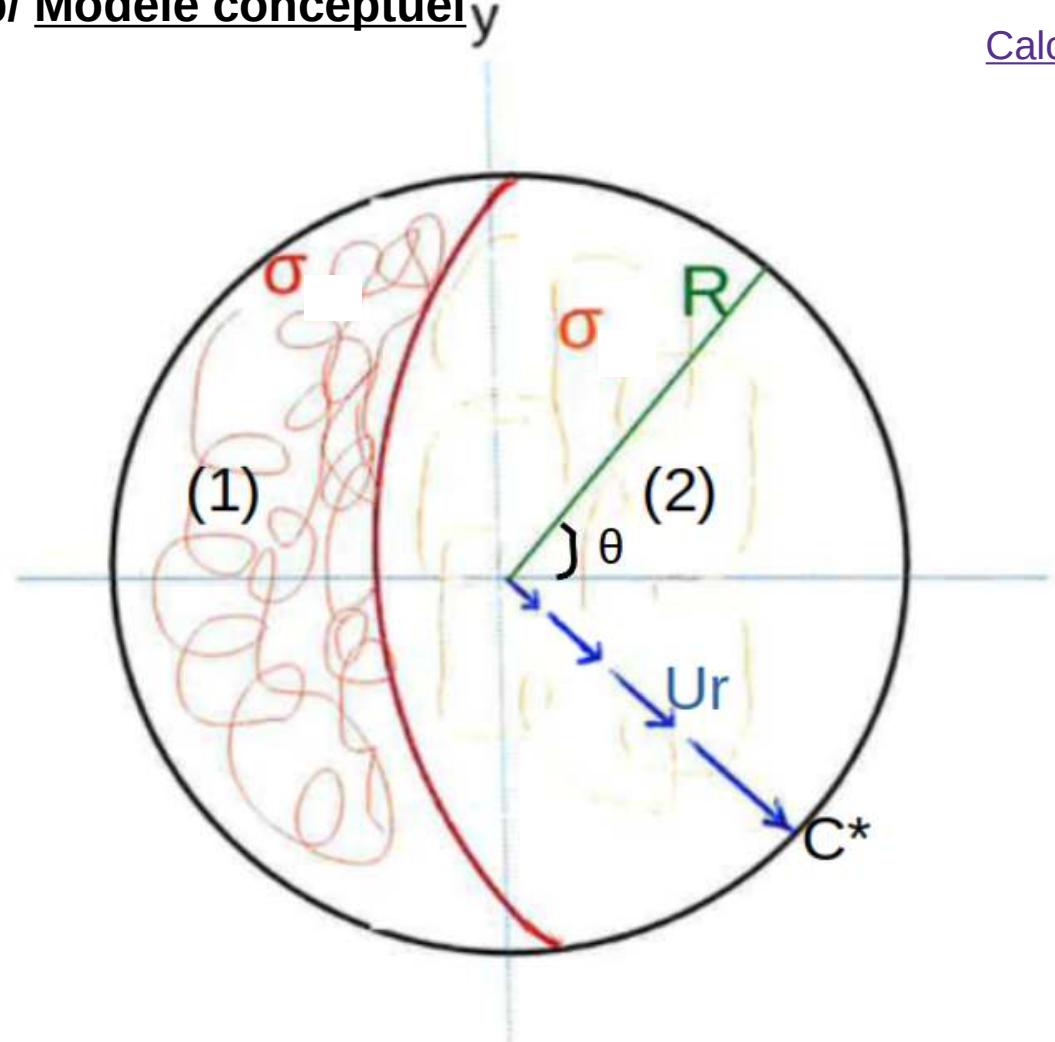
$$\begin{cases} x_m = (r_i^2)^{0.5} \cos(\theta_i) \\ y_m = (r_i^2)^{0.5} \sin(\theta_i) \end{cases}$$

- Calcul du vent non perturbé au point  $m$  tiré

$$\begin{cases} u_{\text{noturbm},x} = u_{\text{moy, gcm}} + x_m C^*/R \\ v_{\text{noturbm},y} = v_{\text{moy, gcm}} + y_m C^*/R \\ w_{\text{noturbm}} = (u_{\text{noturbm},x}^2 + v_{\text{noturbm},y}^2)^{0.5} \end{cases}$$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo

- Tirage d'un point  $m$  dans la poche

$$\begin{cases} r_i^2 = n_i R^2 & n_i \text{ et } m_i \text{ tirés aléatoirement} \\ \theta_i = m_i 2\pi & \text{entre 0 et 1.} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_m = (r_i^2)^{0.5} \cos(\theta_i) \\ y_m = (r_i^2)^{0.5} \sin(\theta_i) \end{cases}$$

- Calcul du vent non perturbé au point  $m$  tiré

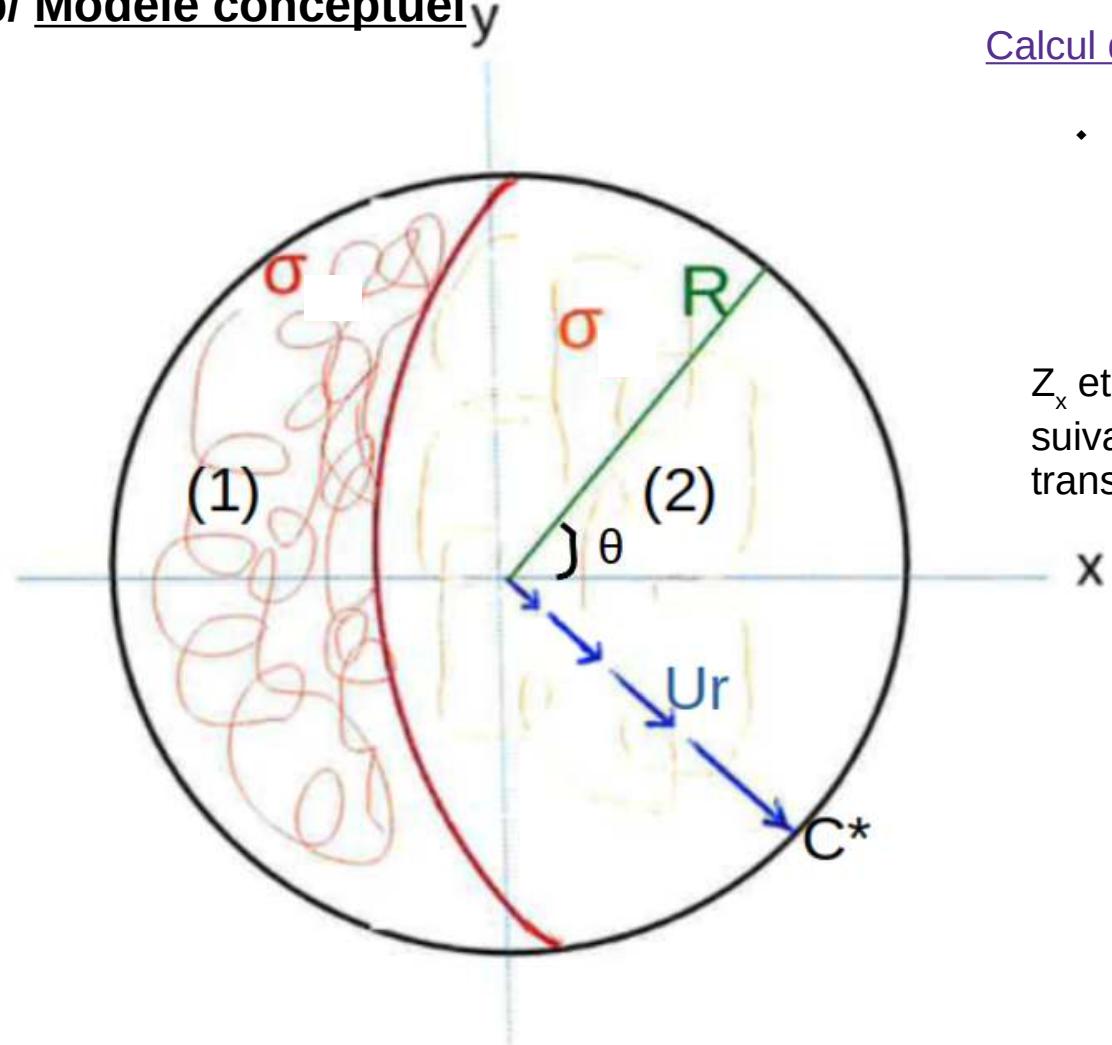
$$\begin{cases} u_{\text{noturbm},x} = u_{\text{moy, gcm}} + x_m C^*/R \\ v_{\text{noturbm},y} = v_{\text{moy, gcm}} + y_m C^*/R \\ w_{\text{noturbm}} = (u_{\text{noturbm},x}^2 + v_{\text{noturbm},y}^2)^{0.5} \end{cases}$$

- Calcul de la variance du vent au point  $m$  tiré

$$\sigma = k_{\text{twk}} w_{\text{noturbm}}$$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo

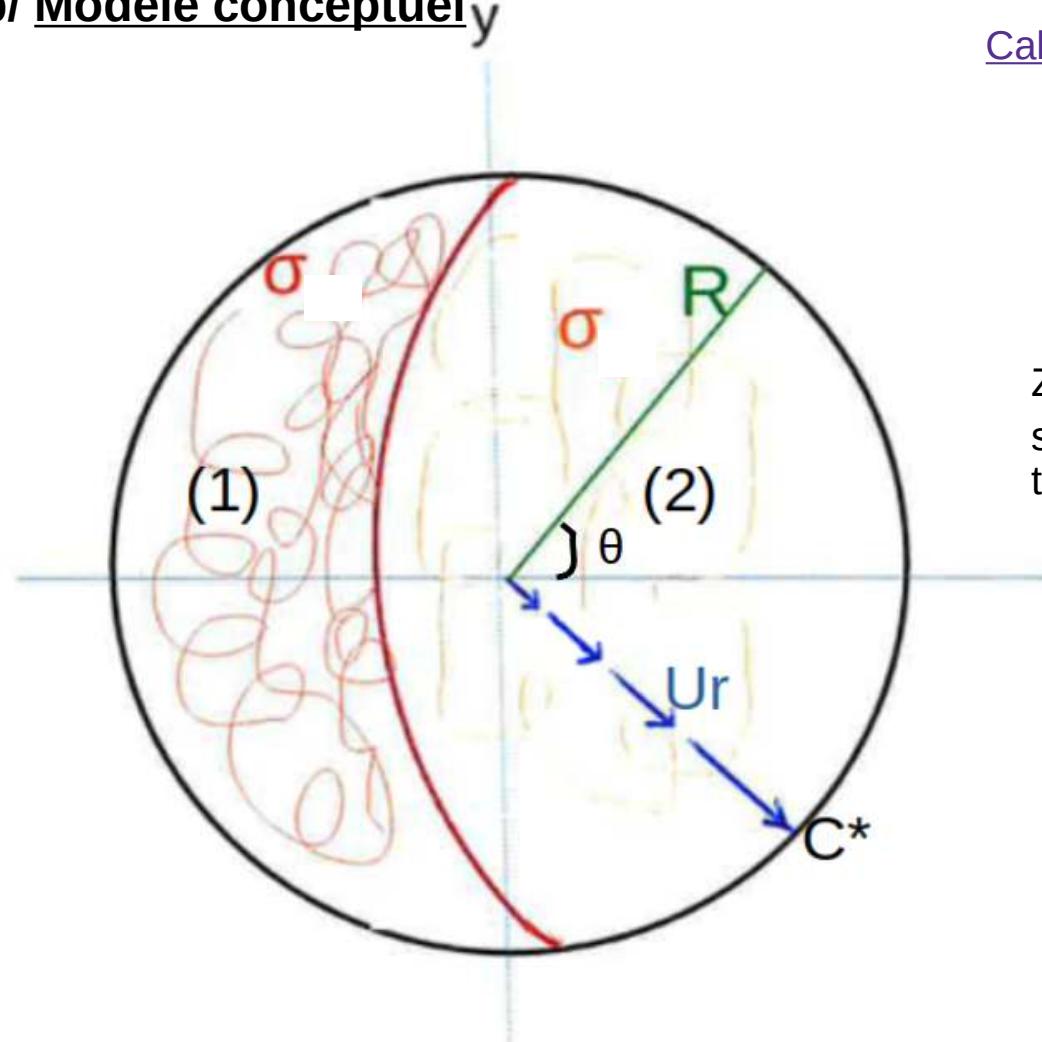
- Calcul du vent turbulent au point m tiré

$$\begin{cases} u_{\text{turb},x} = \sigma Z_x \\ v_{\text{turb},y} = \sigma Z_y \end{cases}$$

$Z_x$  et  $Z_y$  sont deux variables aléatoires indépendantes suivant chacune une loi normale  $N(0, 1)$  : transformation de Box-Muller

### III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

#### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo

- Calcul du vent turbulent au point m tiré

$$\begin{cases} u_{\text{turb},x} = \sigma Z_x \\ v_{\text{turb},y} = \sigma Z_y \end{cases}$$

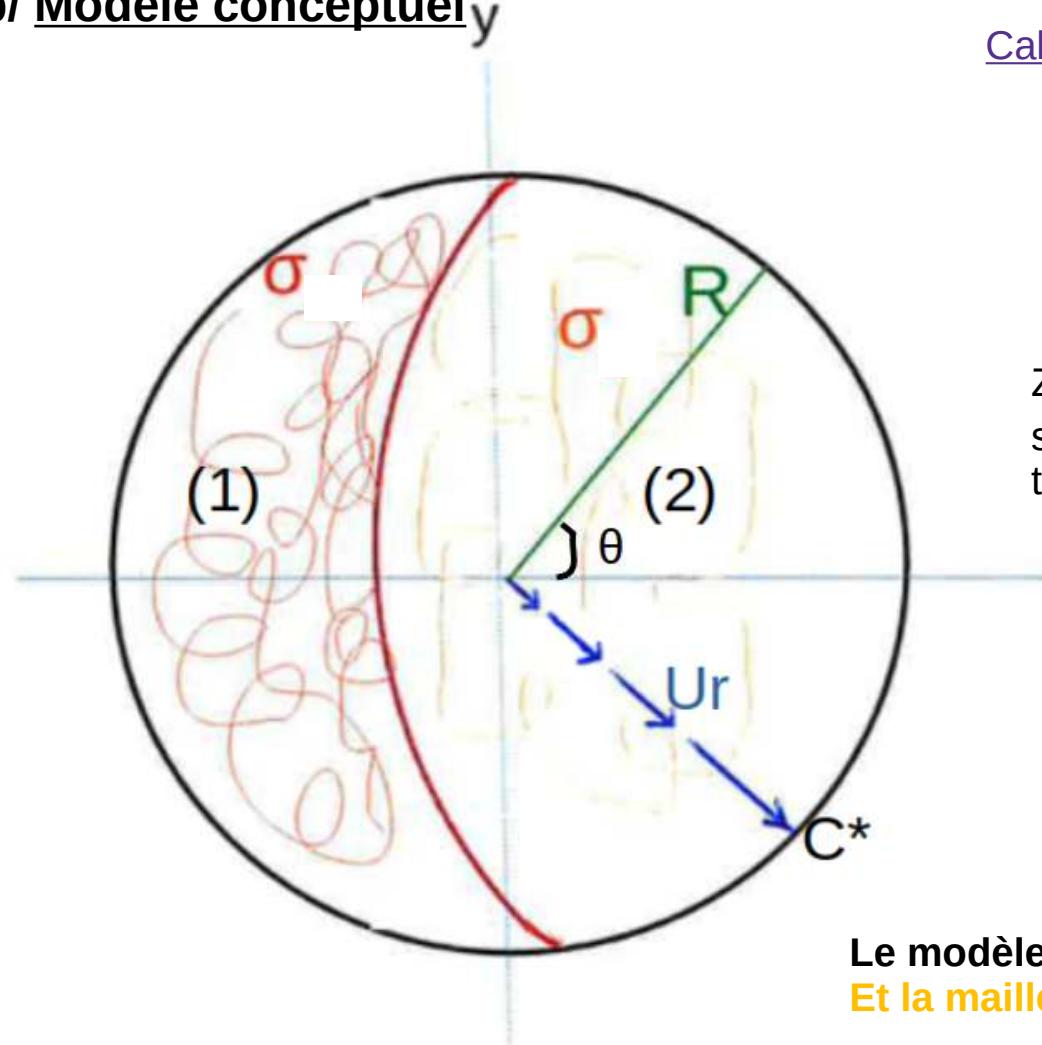
$Z_x$  et  $Z_y$  sont deux variables aléatoires indépendantes suivant chacune une loi normale  $N(0, 1)$  : transformation de Box-Muller

- Calcul du vent total au point m tiré

$$\begin{cases} u_{\text{mt},x} = u_{\text{noturbm},x} + u_{\text{turb},x} \\ v_{\text{mt},y} = v_{\text{noturbm},y} + v_{\text{turb},y} \\ w_m = (u_{\text{mt},x}^2 + v_{\text{mt},y}^2)^{0.5} \end{cases}$$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.b/ Modèle conceptuel



#### Calcul des distributions du vent avec Monté Carlo

- Calcul du vent turbulent au point m tiré

$$\begin{cases} u_{\text{turb},x} = \sigma Z_x \\ v_{\text{turb},y} = \sigma Z_y \end{cases}$$

$Z_x$  et  $Z_y$  sont deux variables aléatoires indépendantes suivant chacune une loi normale  $N(0, 1)$  : transformation de Box-Muller

- Calcul du vent total au point m tiré

$$\begin{cases} u_{\text{mt},x} = u_{\text{noturbm},x} + u_{\text{turb},x} \\ v_{\text{mt},y} = v_{\text{noturbm},y} + v_{\text{turb},y} \\ w_m = (u_{\text{mt},x}^2 + v_{\text{mt},y}^2)^{0.5} \end{cases}$$

Le modèle représente le vent uniquement dans la poche.  
Et la maille ?

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.c/ Combinaison avec le schéma des rafales liées aux thermiques

- Le schéma des rafales des thermiques, développé par Adriana SIMA en parallèle de cette thèse, décrit le vent à l'extérieur des poches

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.c/ Combinaison avec le schéma des rafales liées aux thermiques

- Le schéma des rafales des thermiques, développé par Adriana SIMA en parallèle de cette thèse, décrit le vent à l'extérieur des poches

- $u_{th} = u_{moy, gcm} + G(0, \sigma_{th})$
- $\sigma_{th}^2 = k_{tth} u^{*2} + k_{zth} w^{*2}$ ; avec  $k_{tth}$  et  $k_{zth}$  des réels
- $w^* = (2 * ALE_{bl})^{0.5}$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.c/ Combinaison avec le schéma des rafales liées aux thermiques

- Le schéma des rafales des thermiques, développé par Adriana SIMA en parallèle de cette thèse, décrit le vent à l'extérieur des poches
  - $u_{th} = u_{moy, gcm} + G(0, \sigma_{th})$
  - $\sigma_{th}^2 = k_{tth} u^{*2} + k_{zth} w^{*2}$ ; avec  $k_{tth}$  et  $k_{zth}$  des réels
  - $w^* = (2 * ALE_{bl})^{0.5}$
- Combinaison des schémas des rafales des thermiques et des poches : **encore facilité par Monté Carlo**

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.c/ Combinaison avec le schéma des rafales liées aux thermiques

- Le schéma des rafales des thermiques, développé par Adriana SIMA en parallèle de cette thèse, décrit le vent à l'extérieur des poches
  - $u_{th} = u_{moy, gcm} + G(0, \sigma_{th})$
  - $\sigma_{th}^2 = k_{tth} u^{*2} + k_{zth} w^{*2}$ ; avec  $k_{tth}$  et  $k_{zth}$  des réels
  - $w^* = (2 * ALE_{bl})^{0.5}$
- Combinaison des schémas des rafales des thermiques et des poches : **encore facilité par Monté Carlo**
  - Tirage d'un nombre aléatoire  $n_t$  entre 0 et 1.
  - Comparaison entre  $n_t$  et  $\sigma_{wk}$  (fraction surfacique des poches).  
Si  $n_t < \sigma_{wk}$  ⇒ application du schéma des rafales des poches  
si  $n_t > \sigma_{wk}$  ⇒ application du schéma des rafales des thermiques

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.c/ Combinaison avec le schéma des rafales liées aux thermiques

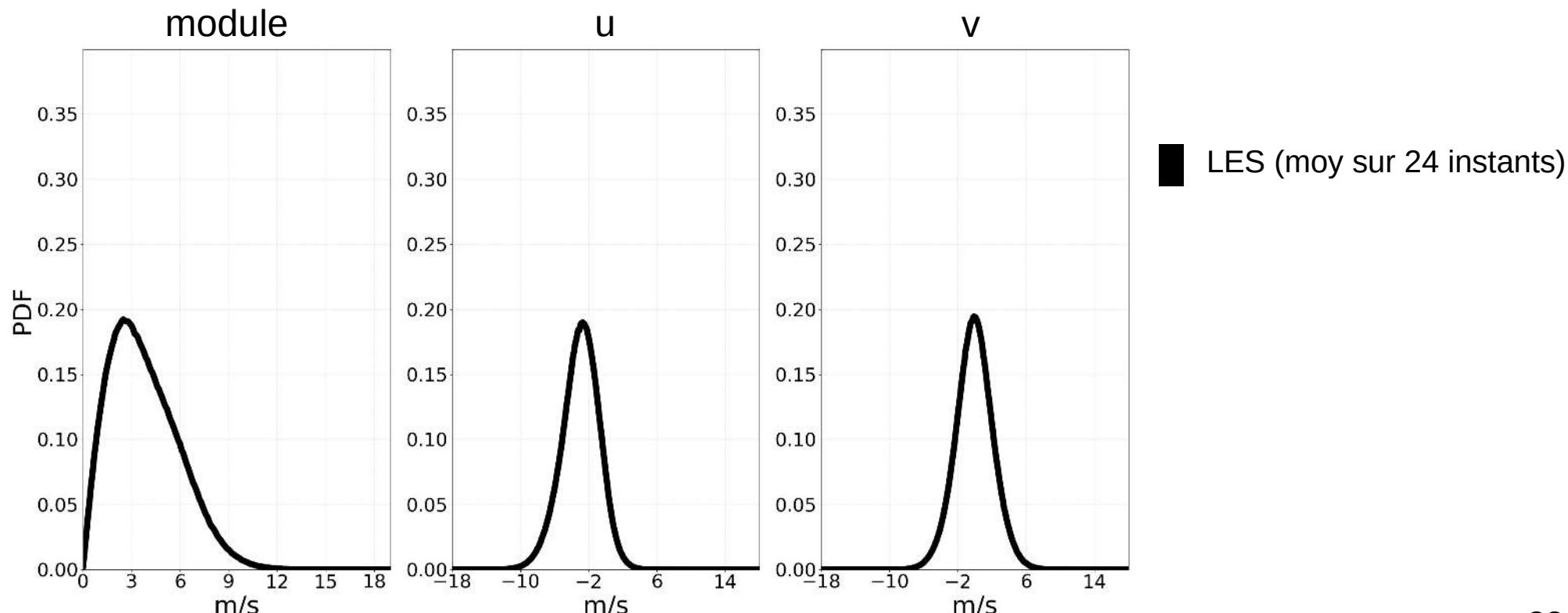
- Le schéma des rafales des thermiques, développé par Adriana SIMA en parallèle de cette thèse, décrit le vent à l'extérieur des poches
  - $u_{th} = u_{moy, gcm} + G(0, \sigma_{th})$
  - $\sigma_{th}^2 = k_{tth} u^{*2} + k_{zth} w^{*2}$ ; avec  $k_{tth}$  et  $k_{zth}$  des réels
  - $w^* = (2 * ALE_{bl})^{0.5}$
- Combinaison des schémas des rafales des thermiques et des poches : **encore facilité par Monté Carlo**
  - Tirage d'un nombre aléatoire  $n_t$  entre 0 et 1.
  - Comparaison entre  $n_t$  et  $\sigma_{wk}$  (~~fraction surfacique des poches~~).
  - Si  $n_t < \sigma_{wk}$  ⇒ ~~application du~~ schéma des rafales des poches
  - si  $n_t > \sigma_{wk}$  ⇒ ~~application du~~ schéma des rafales des thermiques
- Les paramètres du modèle combiné
  - 5 paramètres fournies par le GCM :  $c^*$ ,  $u_{moy, gcm}$ ,  $\sigma_{wk}$ ,  $u^*$  et  $ALE_{bl}$
  - 4 paramètres libres :  $R$ ,  $k_{twk}$ ,  $k_{tth}$ ,  $k_{zth}$

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.d/ Tuning des paramètres libres

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.d/ Tuning des paramètres libres

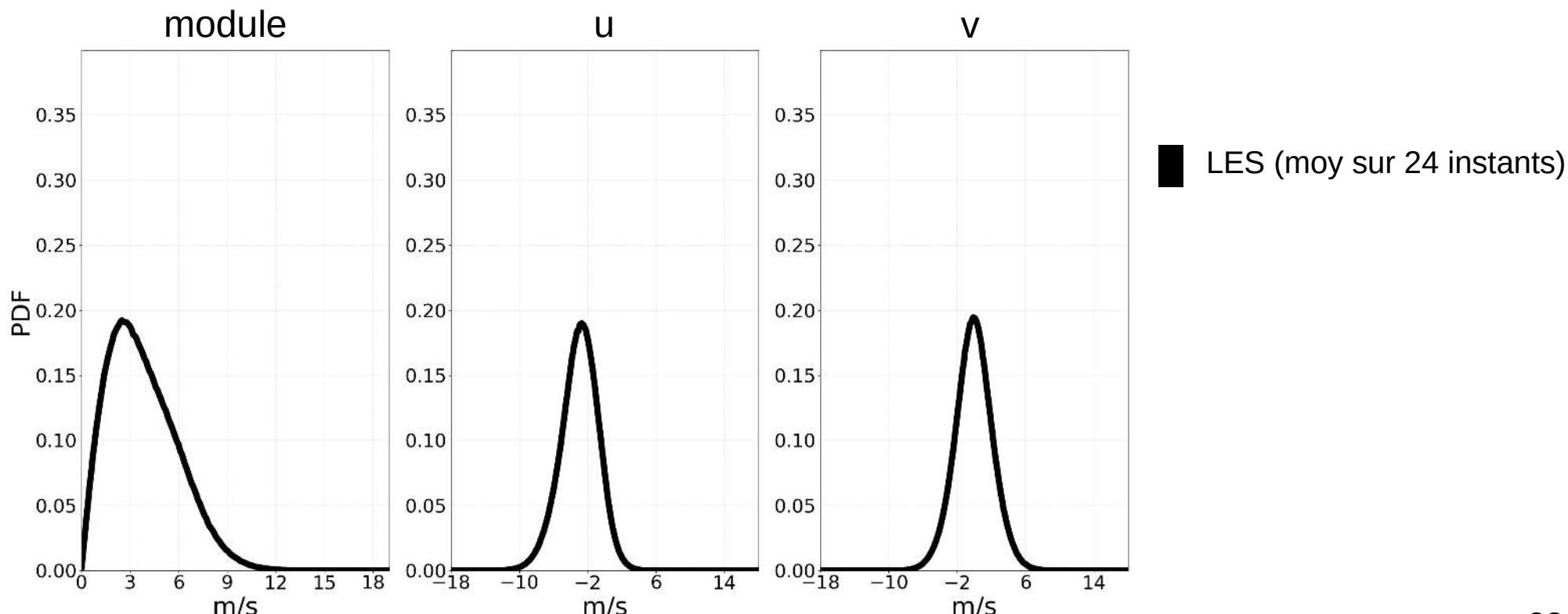


## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.d/ Tuning des paramètres libres

Tuning réalisé en dehors du GCM :

- Les paramètres qui seront fournis par le GCM sont fixés
- Les métriques choisies :
  - fraction de la poche où le module du vent dépasse un certain seuil
  - moyennes et variances des distributions de  $u$  et  $v$

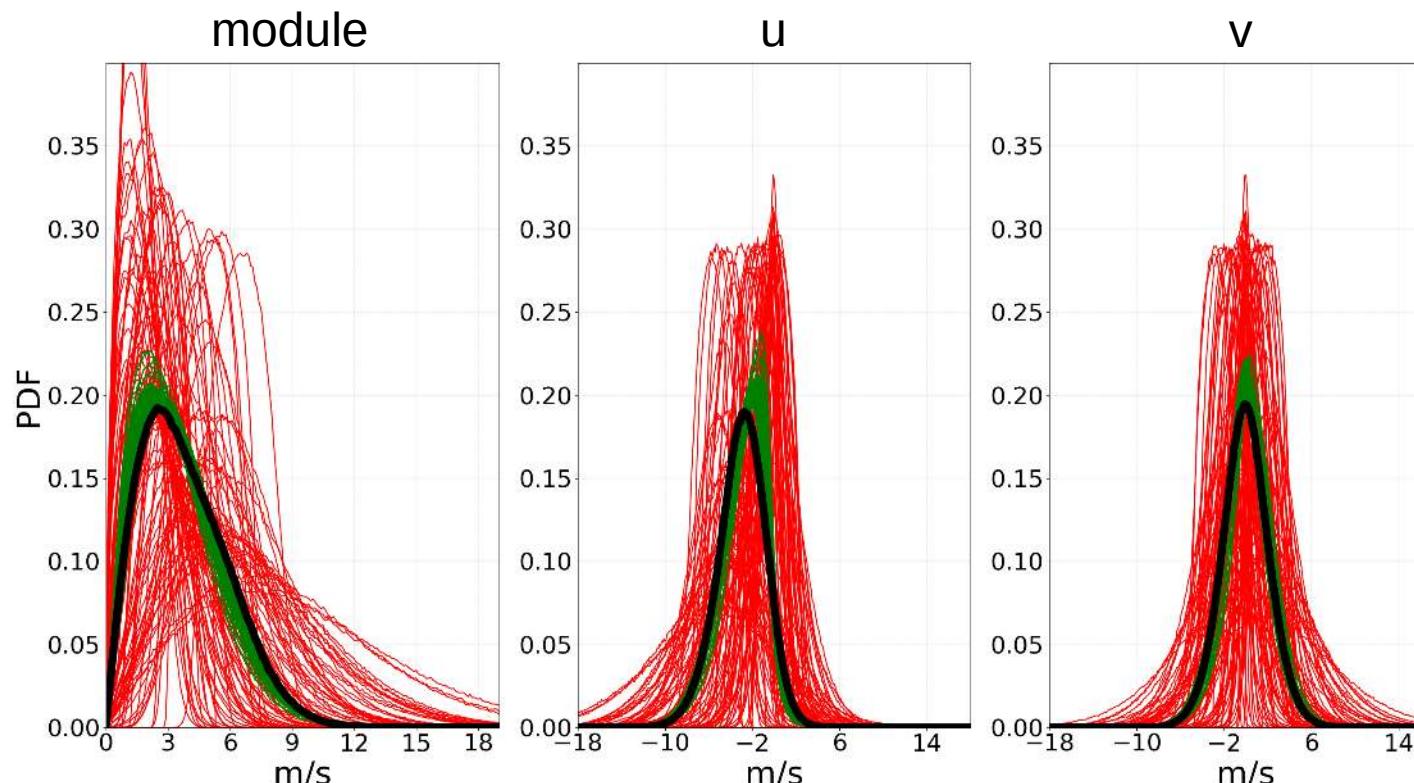


## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.d/ Tuning des paramètres libres

Tuning réalisé en dehors du GCM :

- Les paramètres qui seront fournis par le GCM sont fixés
- Les métriques choisies :
  - fraction de la poche où le module du vent dépasse un certain seuil
  - moyennes et variances des distributions de  $u$  et  $v$



Les paramètres libres sont répartis sur l'ensemble de leur espace de valeur initiale.

Les paramètres libres sont répartis sur un espace de valeur beaucoup plus restreint.

## **III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches**

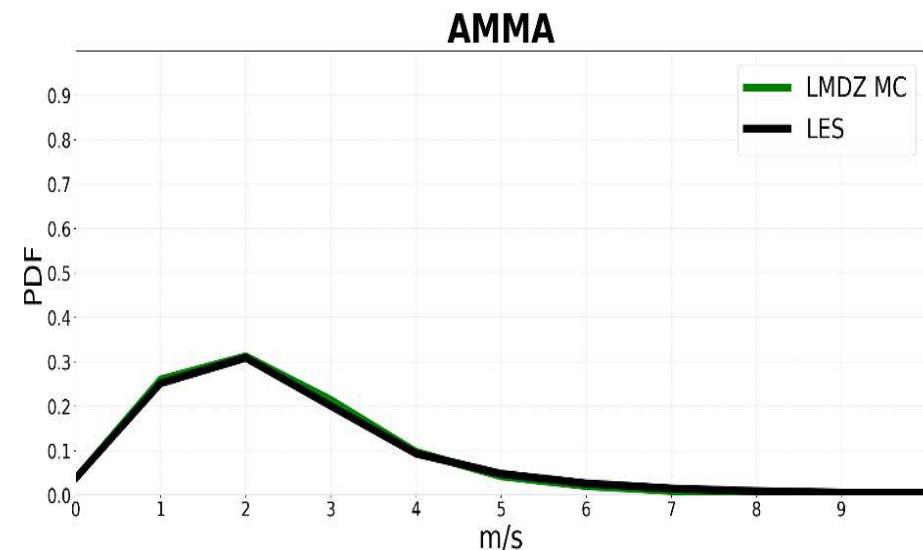
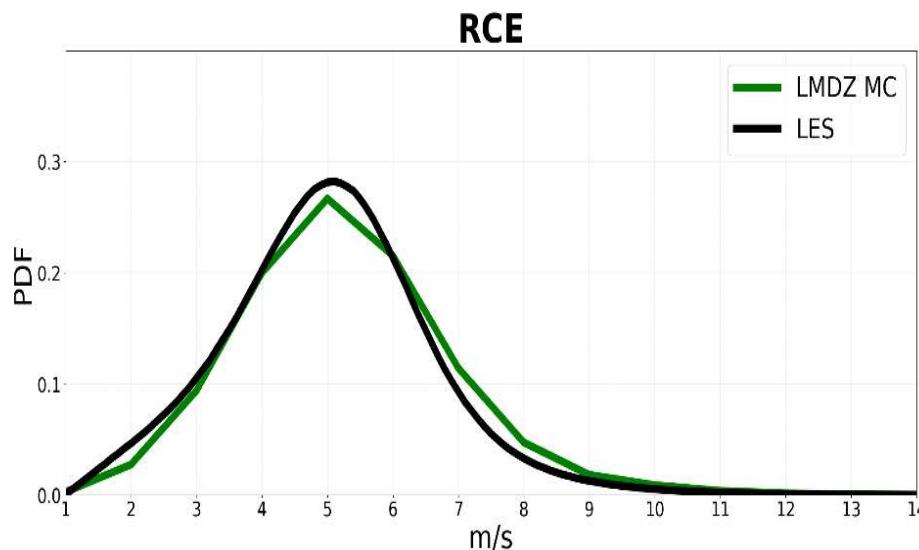
### **III.2.e/ Validation dans la version uni-colonne de LMDZ**

Les paramètres libres sont fixés aux valeurs fournies par la vague 5 du tuning.

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.e/ Validation dans la version uni-colonne de LMDZ

Les paramètres libres sont fixés aux valeurs fournies par la vague 5 du tuning.

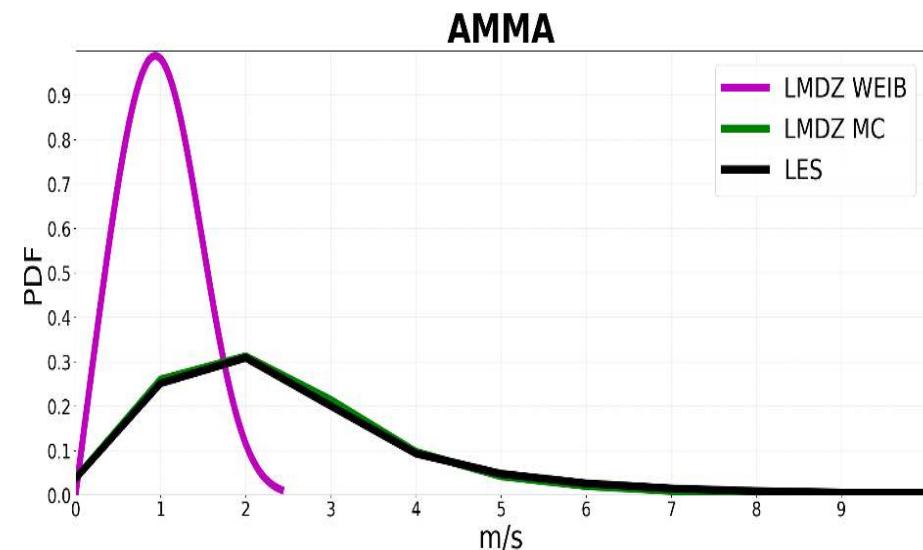
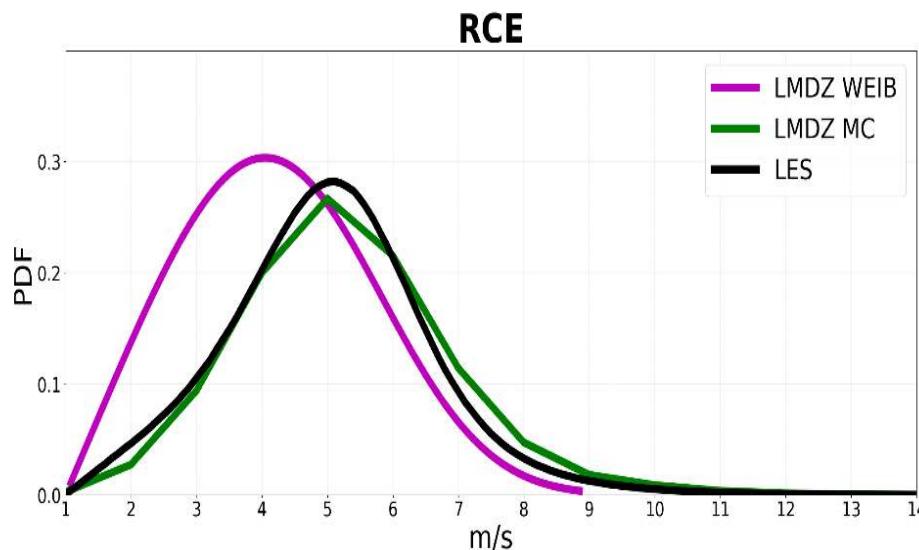


Bonne représentation de la distribution du vent avec le schéma des rafales (LMDZ MC)

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.e/ Validation dans la version uni-colonne de LMDZ

Les paramètres libres sont fixés aux valeurs fournies par la vague 5 du tuning.



Meilleure représentation de la distribution du vent avec le schéma des rafales (LMDZ MC)

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.f/ Conclusions et Perspectives

#### **Conclusions**

- Le modèle de distribution du vent sous maille développé intègre à la fois les rafales générées par les poches froides et celles associées à la couche limite convective
- Il fournit une représentation du vent de surface plus réaliste que celle de la distribution de Weibull.
- L'approche Monte Carlo peut alléger la tache aux modélisateurs en leur permettant d'éviter les calculs mathématiques complexes et de se concentrer sur l'aspect physiques, ce qui est le plus essentiels.

## III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

### III.2.f/ Conclusions et Perspectives

#### **Conclusions**

- Le modèle de distribution du vent sous maille développé intègre à la fois les rafales générées par les poches froides et celles associées à la couche limite convective
- Il fournit une représentation du vent de surface plus réaliste que celle de la distribution de Weibull.
- L'approche Monte Carlo peut alléger la tache aux modélisateurs en leur permettant d'éviter les calculs mathématiques complexes et de se concentrer sur l'aspect physiques, ce qui est le plus essentiels.

#### **Perspectives**

- Relier le vent moyen dans la poche avec le vent environnemental situé dans les couches supérieures de la poche.

### **III. RESULTATS**

#### **III.3/ Les simulations de poussières**

**Objectif :** Tester les performances du modèle des rafales à représenter les émissions de poussières

### **III. RESULTATS**

#### **III.3/ Les simulations de poussières**

**Objectif :** Tester les performances du modèle des rafales à représenter les émissions de poussières

##### **Plan**

III.2.a/ Description de simulations de poussières

III.3.b/ Performances du schéma des rafales à simuler les émissions liées aux poches

III.3.c/ Relations entre les émissions, les poches et la pluie

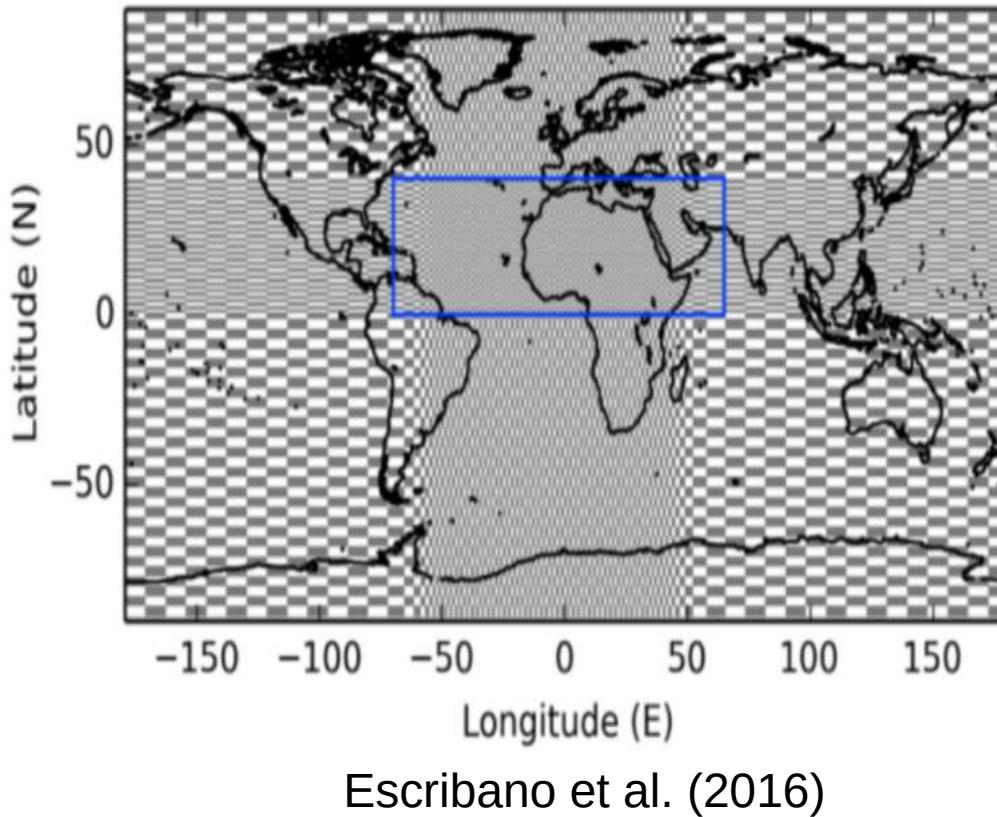
III.3.d/ Comparaisons des simulations de poussières par rapport aux observations

III.3.e/ Conclusions et perspectives

### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.a/ Description des simulations de poussières

Zoom effectué sur [70W-70E ; 0-40N] :  
le rectangle en bleu



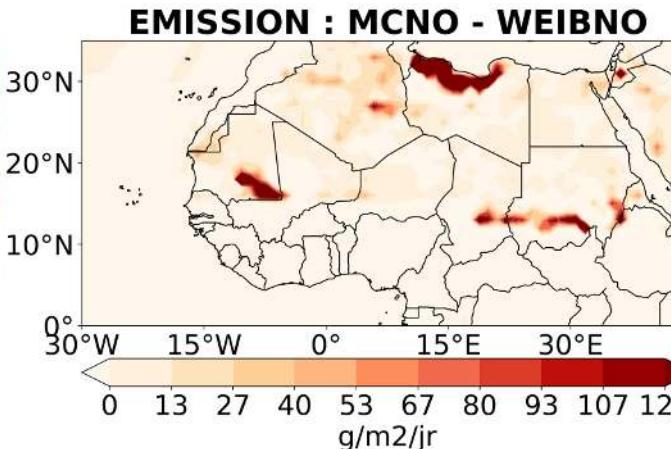
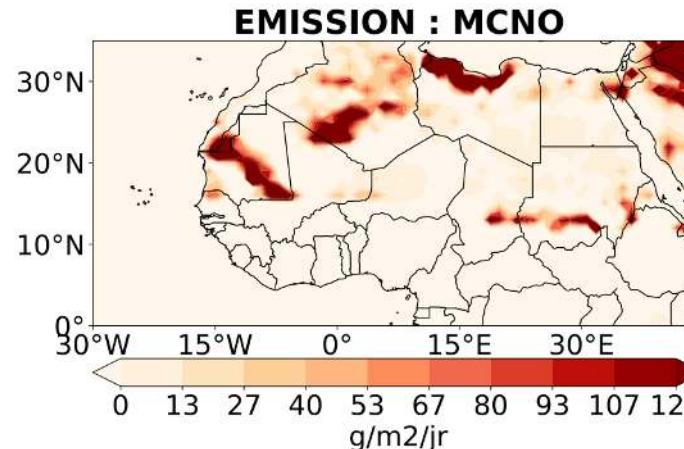
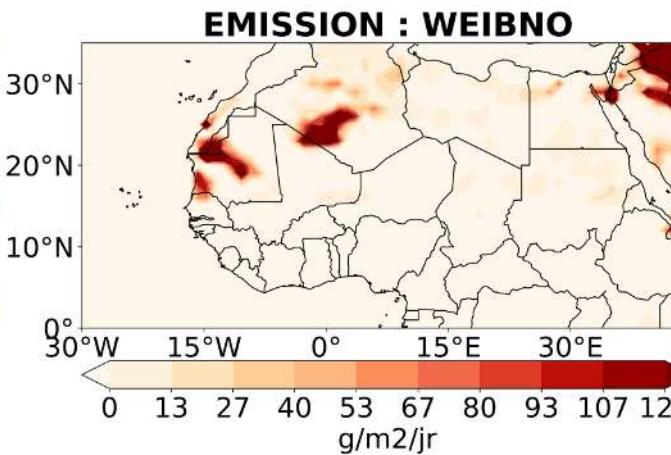
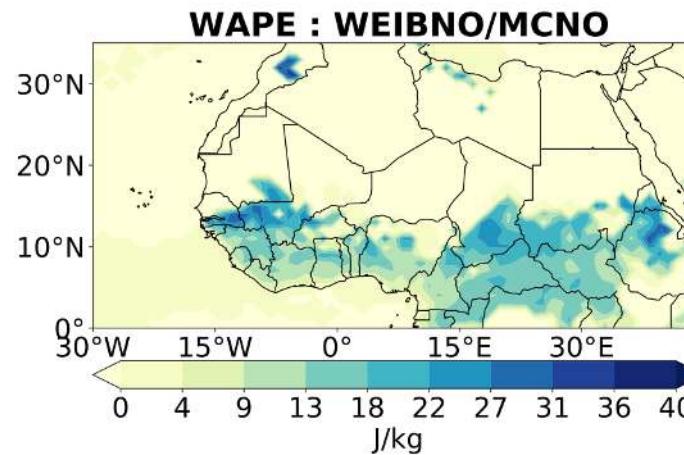
Deux simulations de poussières réalisées :

- LMDZ utilisant Weibull (WEIBNO)
  - LMDZ utilisant le modèle des rafales (MCNO)
- 
- ✓ La rétroaction entre poussières et rayonnement est désactivée dans MCNO et WEIBNO
  - ✓ Nos simulations de poussières sont analysées sur l'année 2006
  - ✓ Les simulations sont guidées par les réanalyses ERA intérém
  - ✓ Le nombre de tirage Monté Carlo est fixé à 100.

### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.a/ Performances du schéma des rafales à simuler les émissions liées aux poches

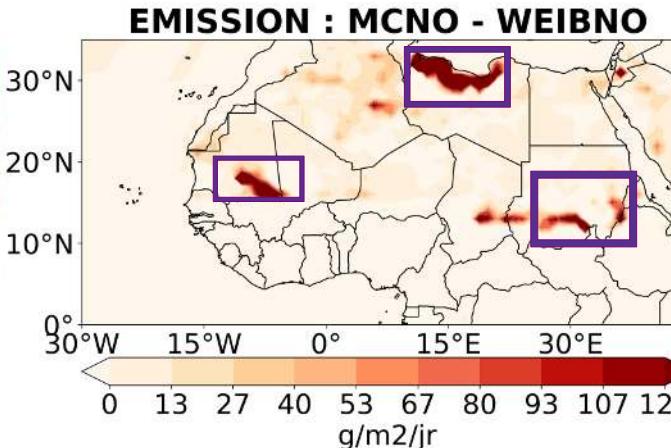
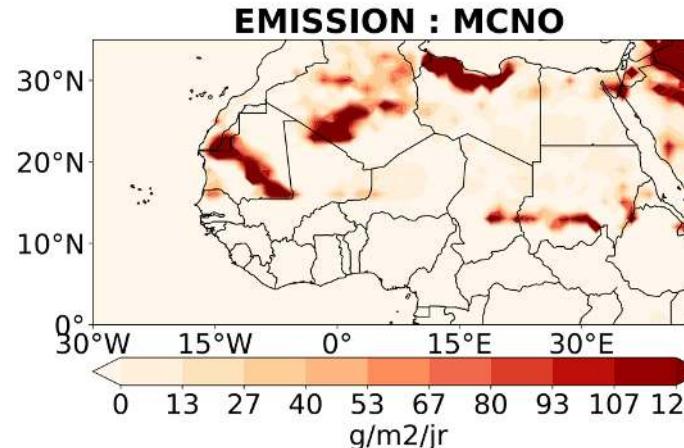
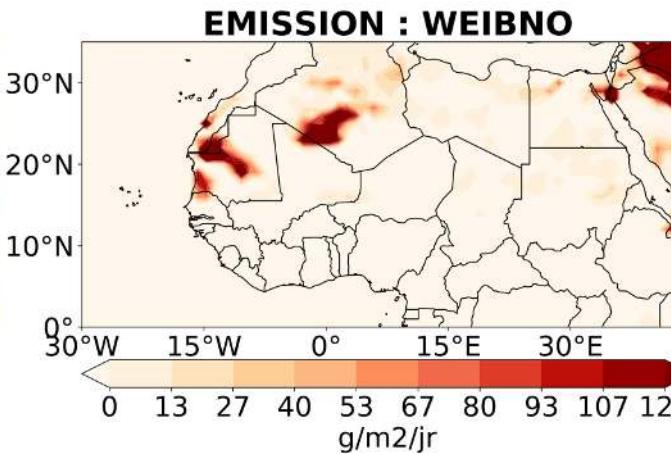
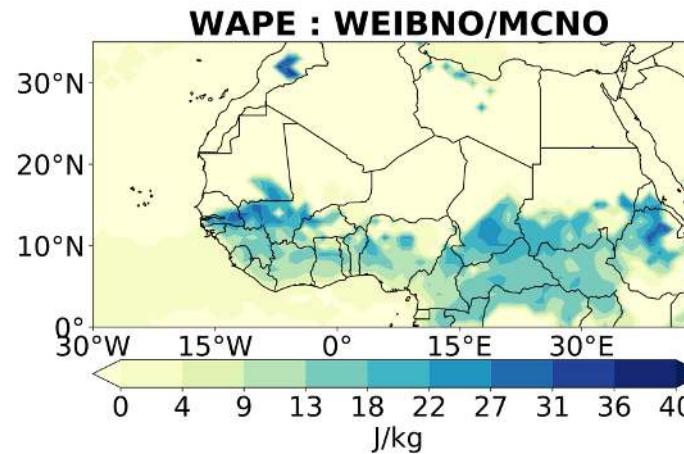
Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006



### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.a/ Performances du schéma des rafales à simuler les émissions liées aux poches

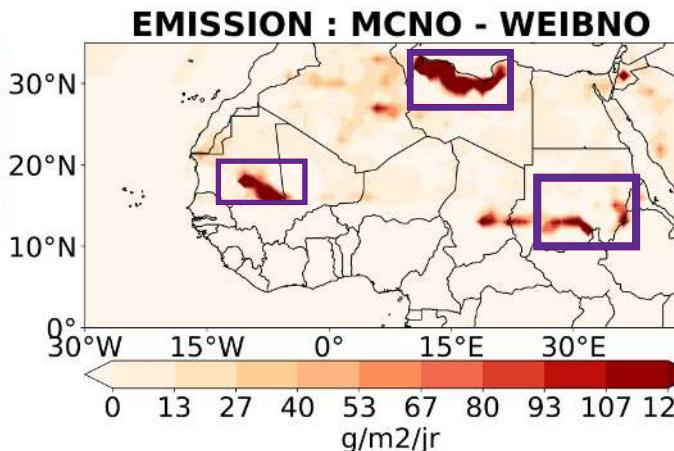
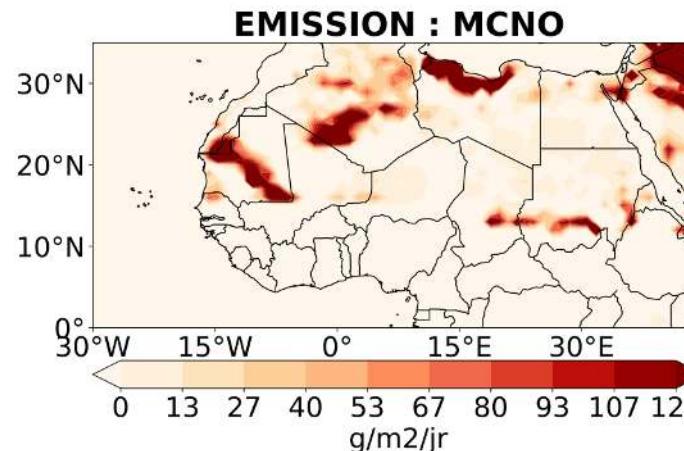
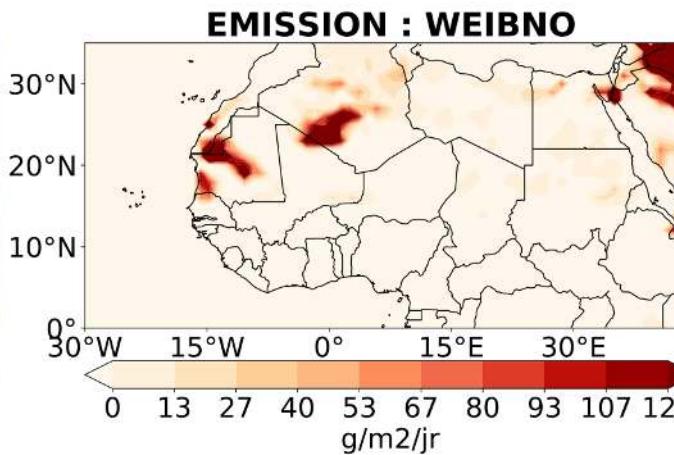
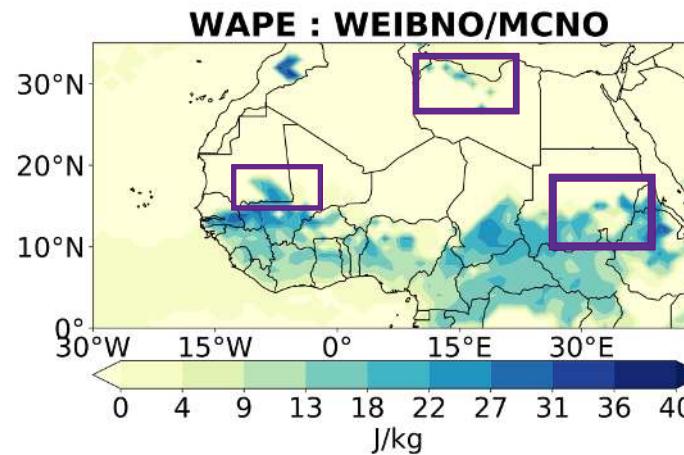
Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006



### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.a/ Performances du schéma des rafales à simuler les émissions liées aux poches

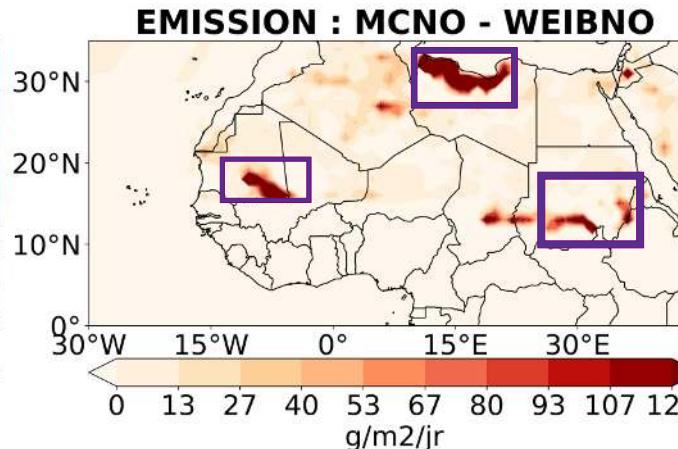
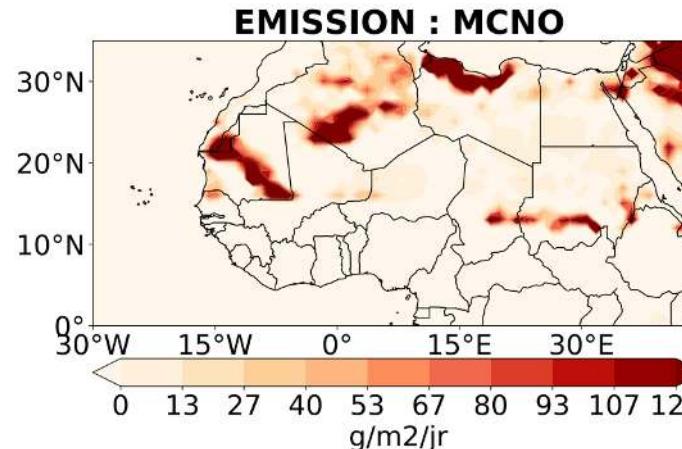
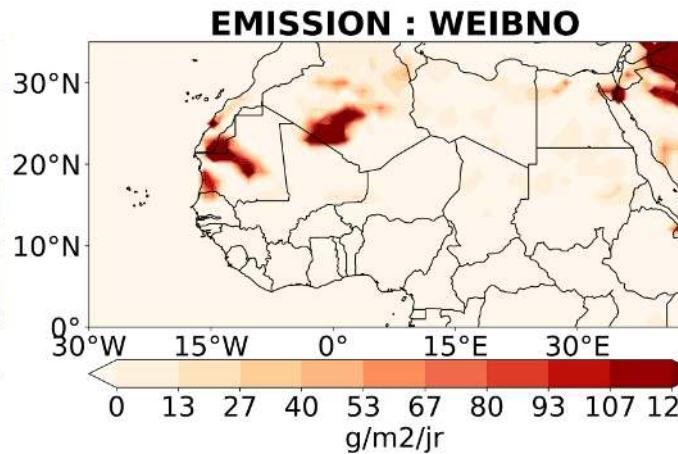
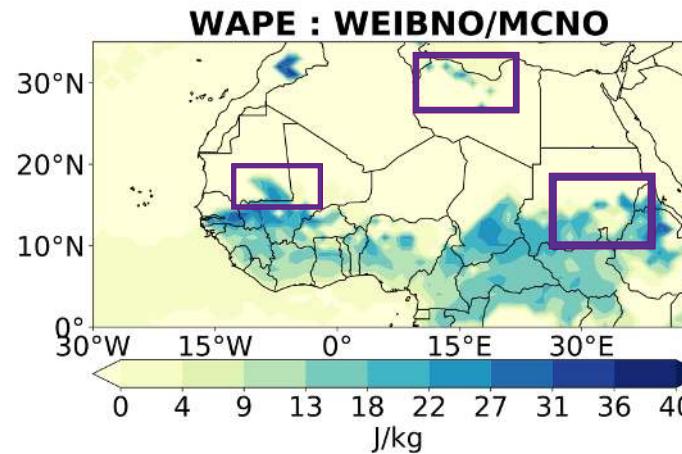
Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006



### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.a/ Performances du schéma des rafales à simuler les émissions liées aux poches

Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006

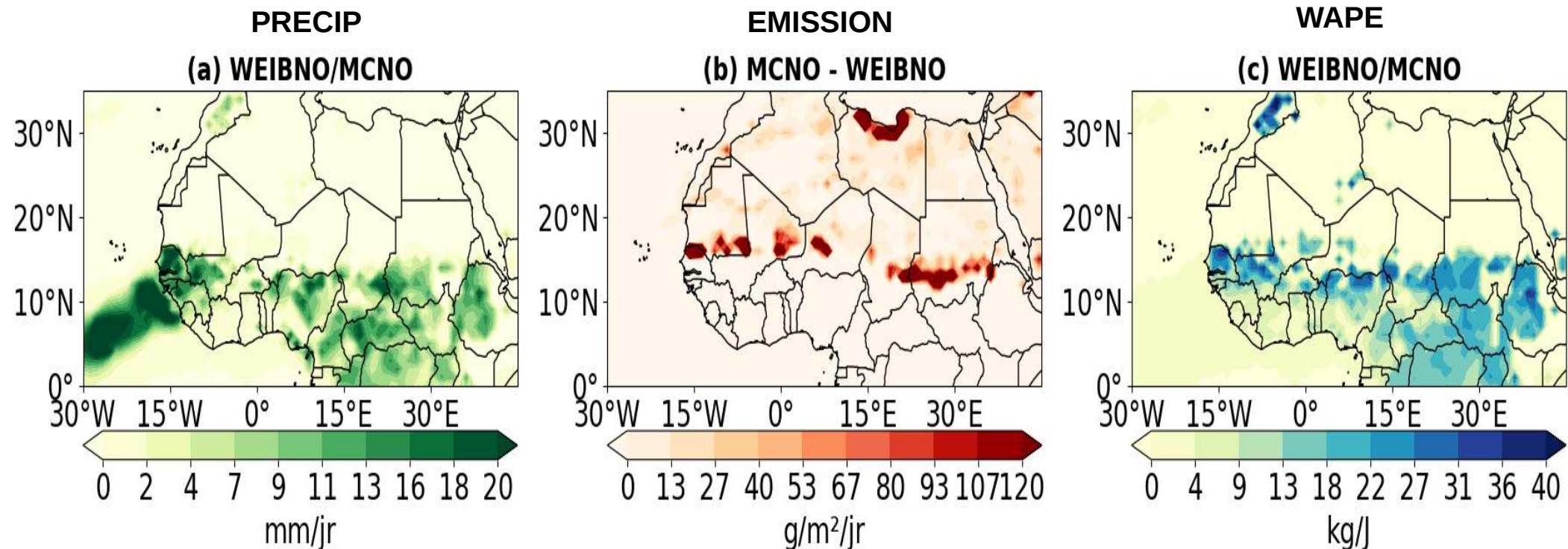


Bonne performance du schéma des rafales pour simuler les émissions liées aux poches

### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.c/ Relations entre émissions, poches et pluies

Analyse effectuée sur la journée convective du 21 juillet 2006

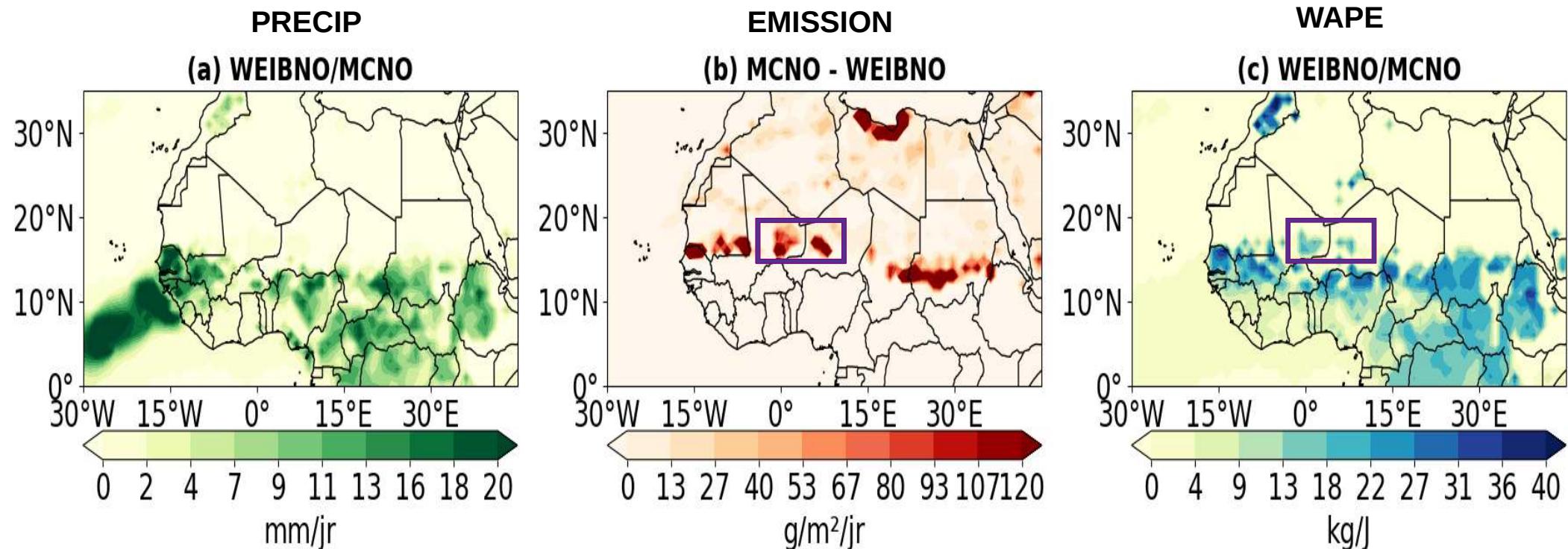


Je pense que tu peux ne montrer que le 21 juillet  
En allant jusqu'aux profils de pluies.

### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.c/ Relations entre émissions, poches et pluies

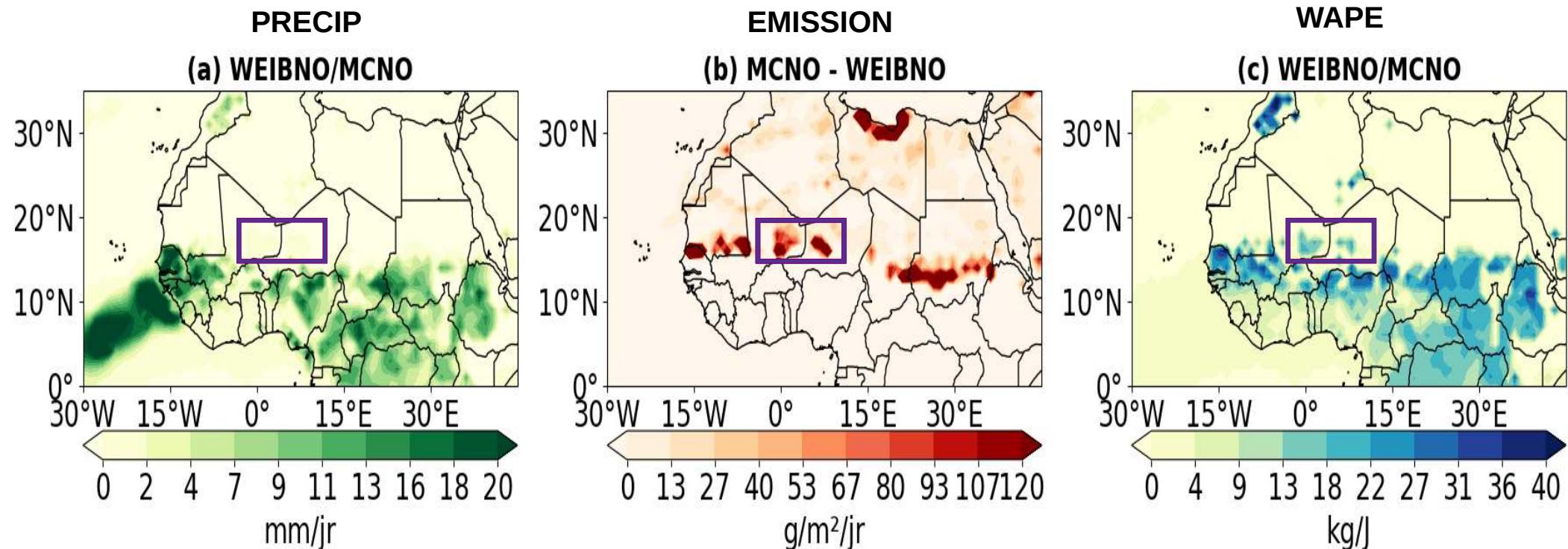
Analyse effectuée sur la journée convective du 21 juillet 2006



### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.c/ Relations entre émissions, poches et pluies

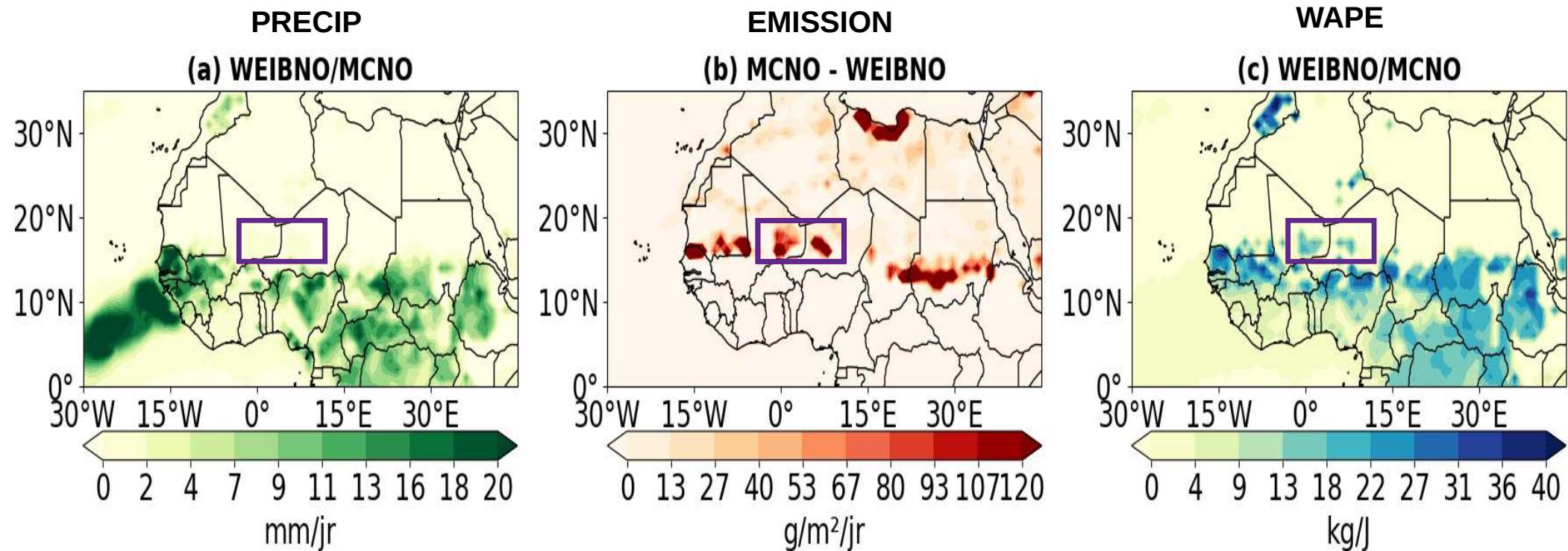
Analyse effectuée sur la journée convective du 21 juillet 2006



### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.c/ Relations entre émissions, poches et pluies

Analyse effectuée sur la journée convective du 21 juillet 2006



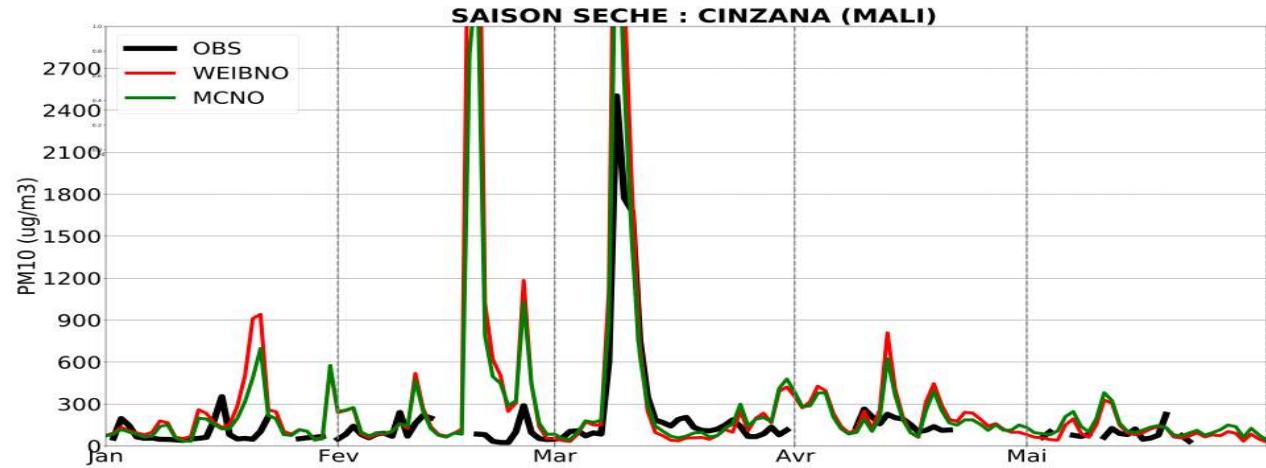
Des coupes verticales dans ces régions montrent que les poches se forment à partir de pluies qui s'évaporent presque entièrement avant d'atteindre le sol.

### **III.3/ Les simulations de poussières**

#### **III.3.d/ Validation des simulations de poussières sur quelques stations sahéliennes**

### III.3/ Les simulations de poussières

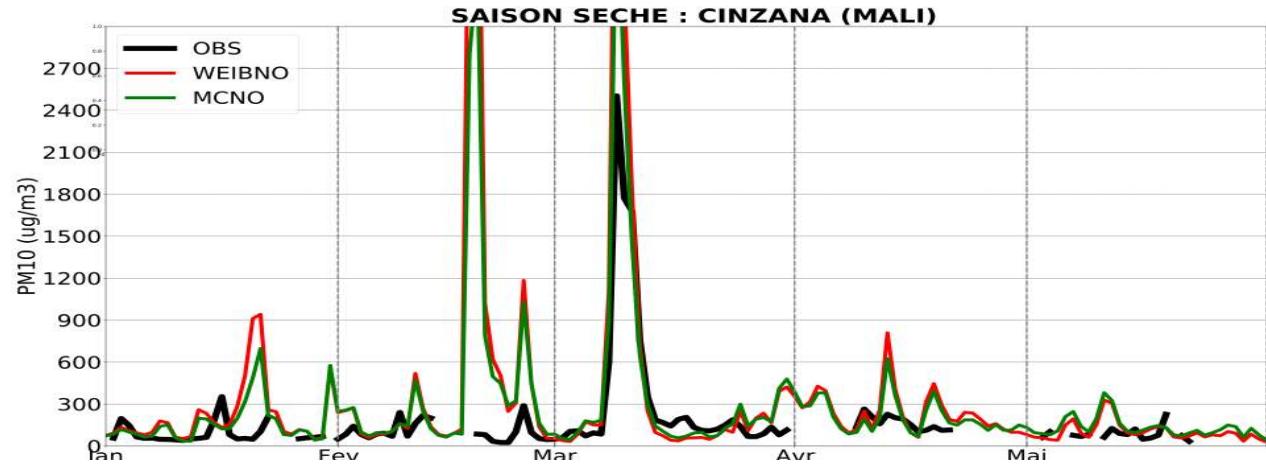
#### III.3.d/ Validation des simulations de poussières sur quelques stations sahéliennes



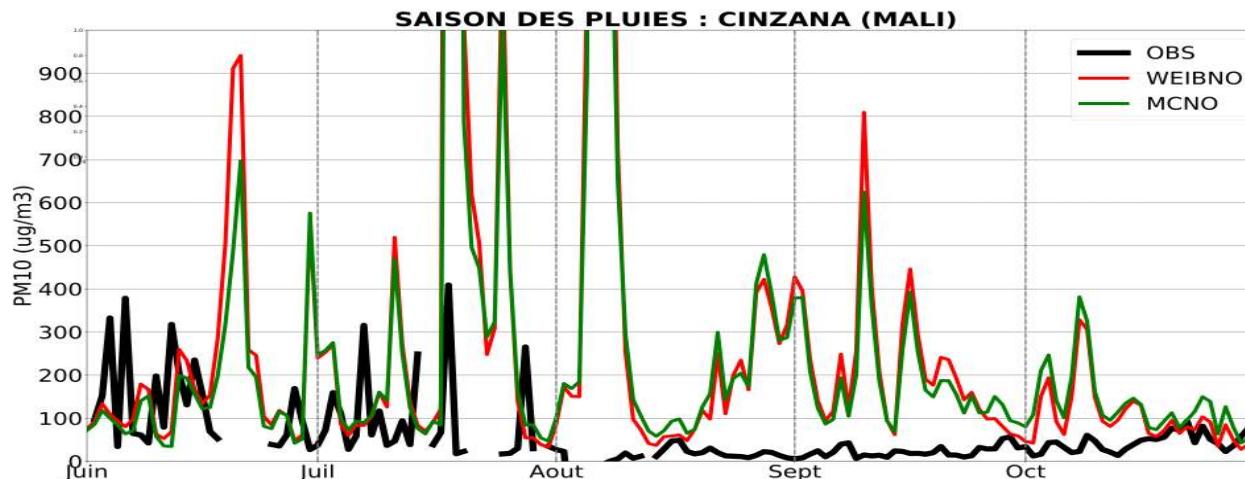
Amélioration grâce à la prise en compte des rafales liées aux thermiques.

### III.3/ Les simulations de poussières

#### III.3.d/ Validation des simulations de poussières sur quelques stations sahéliennes



Amélioration grâce à la prise en compte des rafales liées aux thermiques.



Sur-estimation à cause de l'absence de l'effet de l'humidité du sol et de la végétation sur les émissions dans LMDZ

### **III.3/ Les simulations de poussières**

#### **III.3.e/ Conclusions et Perspectives**

##### **Conclusions**

- Les tests montrent une bonne performance du schéma des rafales à représenter les émissions de poussières liées aux poches froides
- La prise en compte des rafales des thermiques améliorent la représentation des poussières en saison sèche
- Une sur-estimation des poussières est constaté en saison humide dans LMDZ en raison de l'absence de l'effet de l'humidité du sol et de la végétation sur les émissions

### **III.3/ Les simulations de poussières**

#### **III.3.e/ Conclusions et Perspectives**

##### **Conclusions**

- Les tests montrent une bonne performance du schéma des rafales à représenter les émissions de poussières liées aux poches froides
- La prise en compte des rafales des thermiques améliorent la représentation des poussières en saison sèche
- Une sur-estimation des poussières est constaté en saison humide dans LMDZ en raison de l'absence de l'effet de l'humidité du sol et de la végétation sur les émissions

##### **Perspectives**

- Intégrer l'impact de l'humidification du sol et de la végétation sur la limitation des émissions.

## **IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES**

### **IV.1/ Conclusions générales**

## **IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES**

### **IV.1/ Conclusions générales**

Dans cette thèse, nous avons :

- amélioré de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ
- proposé un nouveau schéma numérique de la hauteur des poches qui a contribué à réduire des plantages dans le modèle globale.

# **IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES**

## **IV.1/ Conclusions générales**

Dans cette thèse, nous avons :

- amélioré de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ
- proposé un nouveau schéma numérique de la hauteur des poches qui a contribué à réduire des plantages dans le modèle globale.
- développé un modèle de distribution sous maille de vent surface qui :
  - intègre les rafales des poches et celles des thermiques.
  - offre une représentation plus réaliste du vent de surface
  - permet désormais à LMDZ d'intégrer les émissions liées aux poches
  - améliore davantage la représentation des poussières en saison sèche

# IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

## IV.1/ Conclusions générales

Dans cette thèse, nous avons :

- amélioré de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ

- proposé un nouveau schéma numérique de la hauteur des poches qui a contribué à réduire des plantages dans le modèle global.

- développé un modèle de distribution sous maille de vent surface qui :

- intègre les rafales des poches et celles des thermiques.
- offre une représentation plus réaliste du vent de surface
- permet désormais à LMDZ d'intégrer les émissions liées aux poches
- améliore davantage la représentation des poussières en saison sèche

Prends le temps de dire que tes modifs sont déjà dans la version pour FastTrac. Et que ca a résolu des problmes de plantages.  
**Tu l'as dit « en passant ». Personne ne peut l'entendre.**

seront prise en compte dans les prochaines simulations climatiques avec CMIP7

**Ce qui est important, ce n'est pas qu'elle soit dans LMDZ. C'est qu'elle puisse être dans des modèles de poussière.**

Evidemment il faut le modèle de poche pour ça ... Ou pas ?

Calculer C\* à partir de la pluie convective par exemple ?

# IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

## IV.1/ Conclusions générales

Dans cette thèse, nous avons :

- amélioré de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ
- proposé un nouveau schéma numérique de la hauteur des poches qui a contribué à réduire des plantages dans le modèle global.
- développé un modèle de distribution sous maille de vent surface qui :
  - intègre les rafales des poches et celles des thermiques.
  - offre une représentation plus réaliste du vent de surface
  - permet désormais à LMDZ d'intégrer les émissions liées aux poches
  - améliore davantage la représentation des poussières en saison sèche
- Mis en évidence du rôle important de l'approche Monte Carlo qui peut contribuer à faciliter le développement des modèles en permettant de contourner les calculs mathématiques complexes, souvent perçus comme un frein à ce travail.

seront prise en compte  
dans les prochaines  
simulations climatiques  
avec CMIP7

# IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

## IV.1/ Conclusions générales

Dans cette thèse, nous avons :

- amélioré de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ
- proposé un nouveau schéma numérique de la hauteur des poches qui a contribué à réduire des plantages dans le modèle global.
- développé un modèle de distribution sous maille de vent surface qui :
  - intègre les rafales des poches et celles des thermiques.
  - offre une représentation plus réaliste du vent de surface
  - permet désormais à LMDZ d'intégrer les émissions liées aux poches
  - améliore davantage la représentation des poussières en saison sèche
- Mis en évidence du rôle important de l'approche Monte Carlo qui peut contribuer à faciliter le développement des modèles en permettant de contourner les calculs mathématiques complexes, souvent perçus comme un frein à ce travail.
- **Validité, par rapport aux LES, une paramétrisation permettant de calculer le nombre de poches dans une maille, jusqu'à là imposée dans LMDZ.**

seront prise en compte  
dans les prochaines  
simulations climatiques  
avec CMIP7

# **IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES**

## **IV.2/ Perspectives**

### **A court terme**

- Développer une paramétrisation des thermiques peu profond, ne favorisant pas de cumulus, pour assurer le brassage entre l'air humide à la surface des poches et l'air sec au dessus.
- Paramétriser le vent moyen dans les poches en le reliant au vent de la grande échelle mesurée au sommet des poches froides.
- Prendre en compte l'effet de la limitation du soulèvement de poussières en saison des pluies par l'humidité du sol et la végétation.

# **IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES**

## **IV.2/ Perspectives**

### **A court termes**

- Développer une paramétrisation des thermiques peu profond, ne favorisant pas de cumulus, pour assurer le brassage entre l'air humide à la surface des poches et l'air sec au dessus.
- Paramétriser le vent moyen dans les poches en le reliant au vent de la grande échelle mesurée au sommet des poches froides.
- Prendre en compte l'effet de la limitation du soulèvement de poussières en saison des pluies par l'humidité du sol et la végétation.

### **A long termes**

- Intégrer l'effet microphysique des poussières, ce qui pourrait avoir une influence sur la convection, les poches froides et la représentation des émissions elles mêmes via des rétroactions.

# **IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES**

## **IV.2/ Perspectives**

### **A court termes**

- Développer une paramétrisation des thermiques peu profond, ne favorisant pas de cumulus, pour assurer le brassage entre l'air humide à la surface des poches et l'air sec au dessus.
- Paramétriser le vent moyen dans les poches en le reliant au vent de la grande échelle mesurée au sommet des poches froides.
- Prendre en compte l'effet de la limitation du soulèvement de poussières en saison des pluies par l'humidité du sol et la végétation.

### **A long termes**

- Intégrer l'effet microphysique des poussières, ce qui pourrait avoir une influence sur la convection, les poches froides et la représentation des émissions elles mêmes via des rétroactions.
- Utiliser LMDZ pour des études d'impact des poussières sur la qualité de l'air au Sahel, très exposées par le transport des poussières en saison sèche, vu les bonnes performances du modèle à cette période.

**Je vous remercie pour votre  
attention !!!**