



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 Thierno 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

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

I. INTRODUCTION

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.

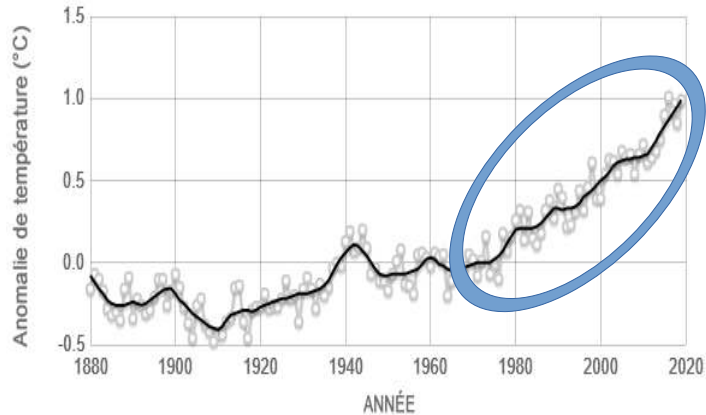
I. INTRODUCTION

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



source : climate.nasa.gov

- Perturbations des régions de la pluies : inondations



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

- Avancée de la mer



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.

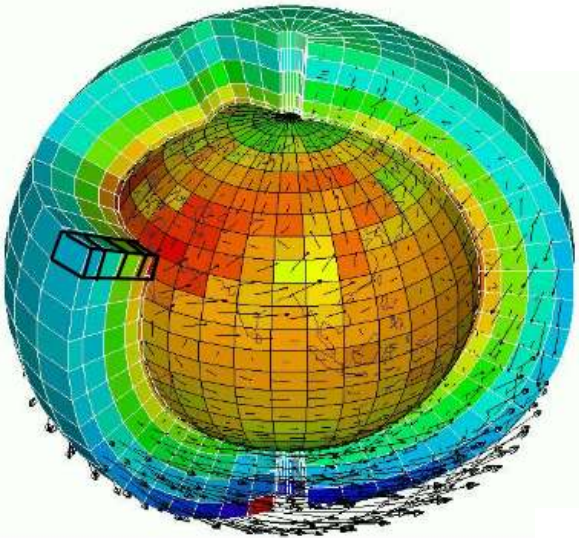
→ **Modèle climatique** = représentation numérique du système climatique terrestre, fondée sur des équations mathématiques

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

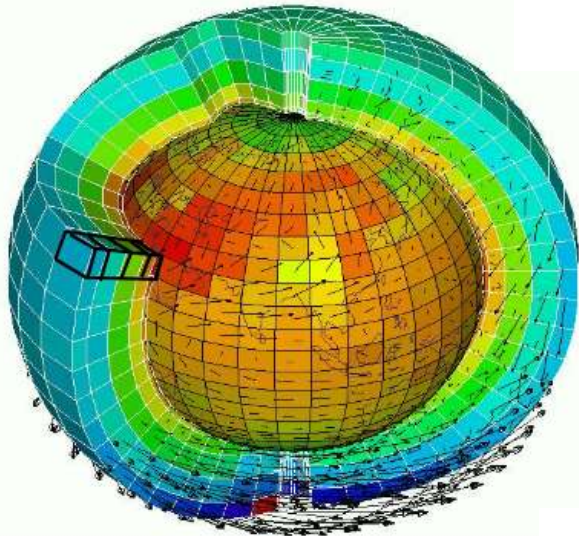
- tu peux commencer sur l'importance du changement climatique
- L'importance de la modélisation physique dans ce cadre.
- L'importance possible des poussières

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 boîtes (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

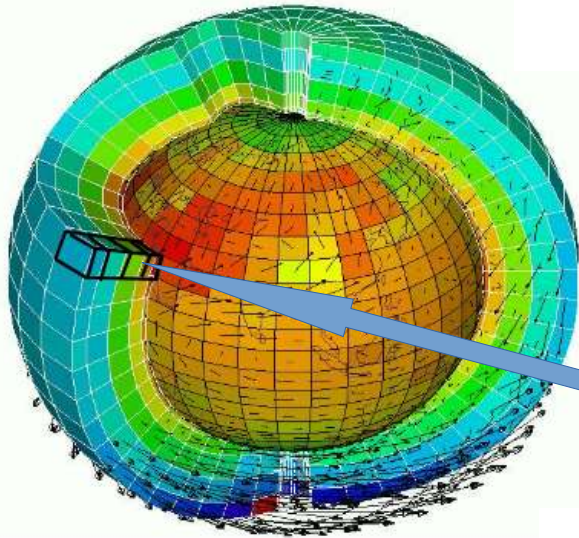
I. INTRODUCTION

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

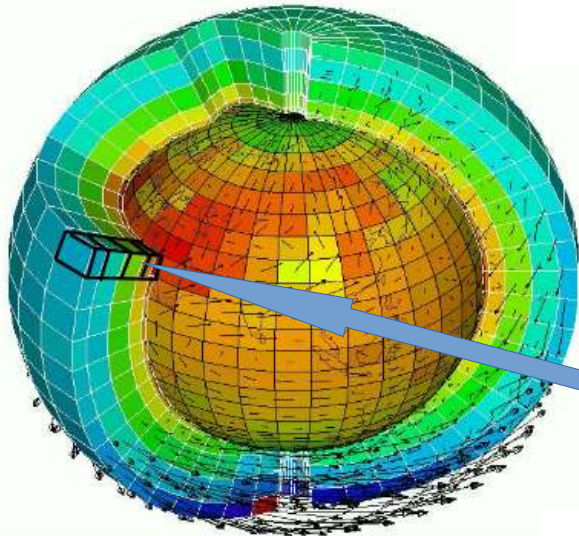
I. INTRODUCTION

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 boites (mailles horizontales et verticale) pour résoudre numériquement les équations mathématiques.
- Deux grandes composantes dans chaque maille:
 - La dynamique, traitant les mouvements de l'air, les transfert de chaleur et d'humidité à partir des équations de Navier-stockes 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 limité la complexité de la modélisation des poussières à la question de la distribution du vent.

Disponibilité des poussières en surface, détails du terrain, processus micro, distribution en taille, lessivage, ...

Et c'est vraiment important que tu dises un peu tout ça pour dire 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

→ Les poussières dans LMDZ

Ce modèle particulier = SPLA + émissions Chimere
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.

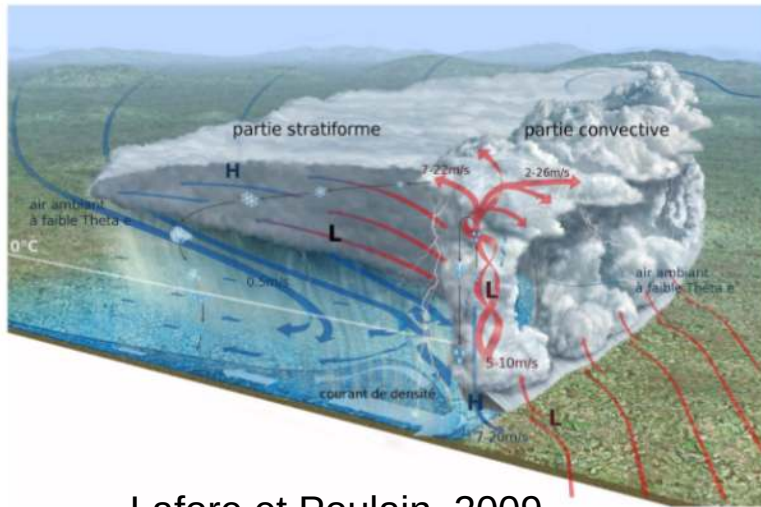
Donc plutôt en début de la partie sur les poches

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

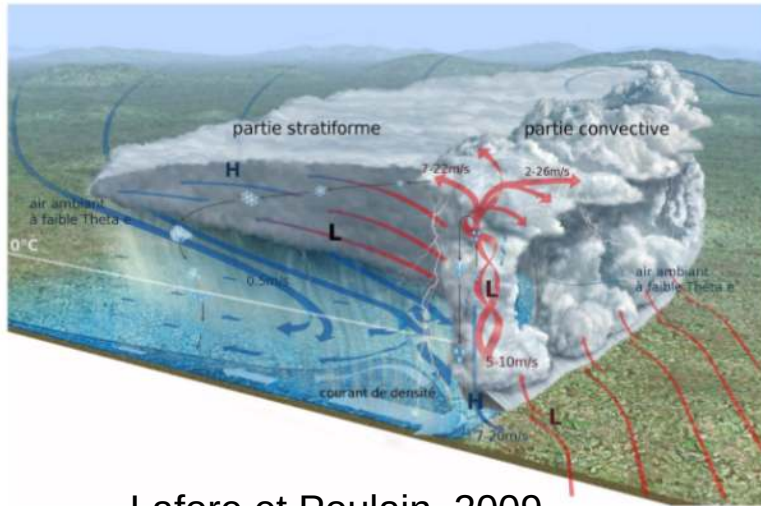
I. INTRODUCTION

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.

événement de poussières liés au passage d'une poches froides



Lafore et Poulain, 2009



Photo prise par F. Guichard

I. INTRODUCTION

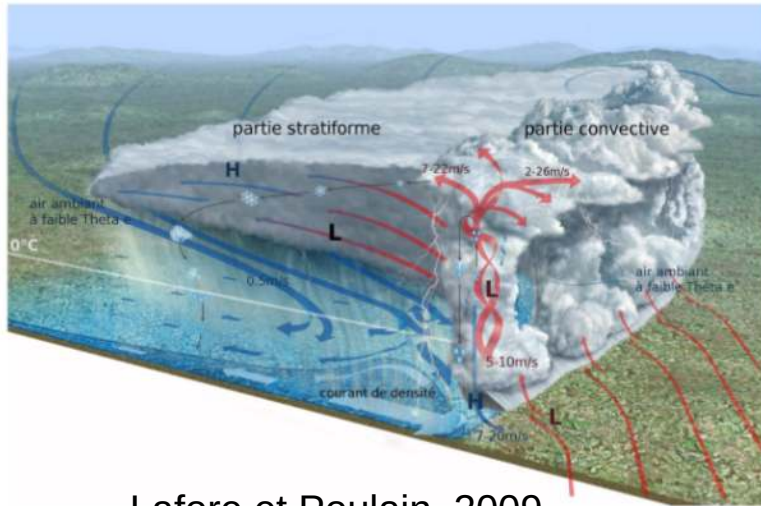
I.1/ Contextes

Ca ca 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.

événement de poussières liés au passage d'une poches froides



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 disposer 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 ($200 \times 200 \text{ km}^2$) ; $dx=dy=200 \text{ m}$ **seules présentées ici**
- Deux LES du cas AMMA avec Méso-NH (F. Couvreux) : Domaine = continent ($100 \times 100 \text{ km}^2$ et $200 \times 200 \text{ km}^2$) ; $dx=dy=200 \text{ m}$
- 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

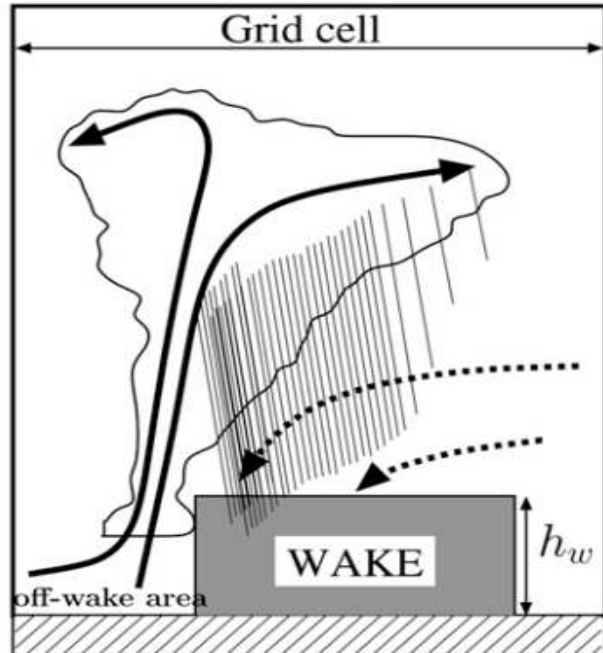
III.1.c/ Évaluation par rapport aux LES

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

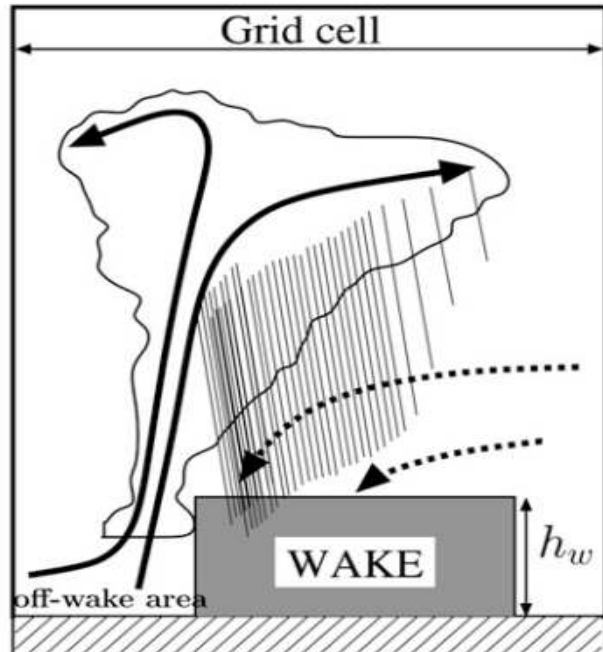


Oui. Voilà. Tu présentes de toutes façons le modèle de poches ici. Donc aucune raison de l'introduire dans l'intro.

Grandpeix et Lafore, (2010)

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

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



Grandpeix et Lafore, (2010)

Variables pronostiques

- δT et δq = écart de température et d'humidité entre poches et environnement
- σ_{wk} : fraction surfacique des poches

Variables diagnostiques

- WAPE = énergie d'affaissement des poches, calculée à partir de δT
- C^* = vitesse d'étalement des poches $C_* = k\sqrt{2WAPE}$

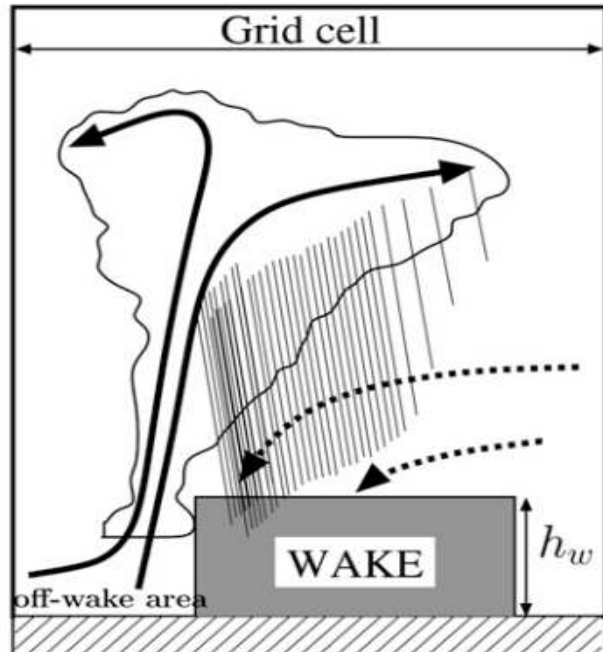
Variables utilisées pour le couplage avec la convection profonde

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

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

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

- δT et δq = écart de température et d'humidité entre poches et environnement
- σ_{wk} : fraction surfacique des poches

Variables diagnostiques

- WAPE = énergie d'affaissement des poches, calculée à partir de δT
- C^* = vitesse d'étalement des poches $C_* = k\sqrt{2W APE}$

Variables utilisées pour le couplage avec la convection profonde

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

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

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'échantillonnage.

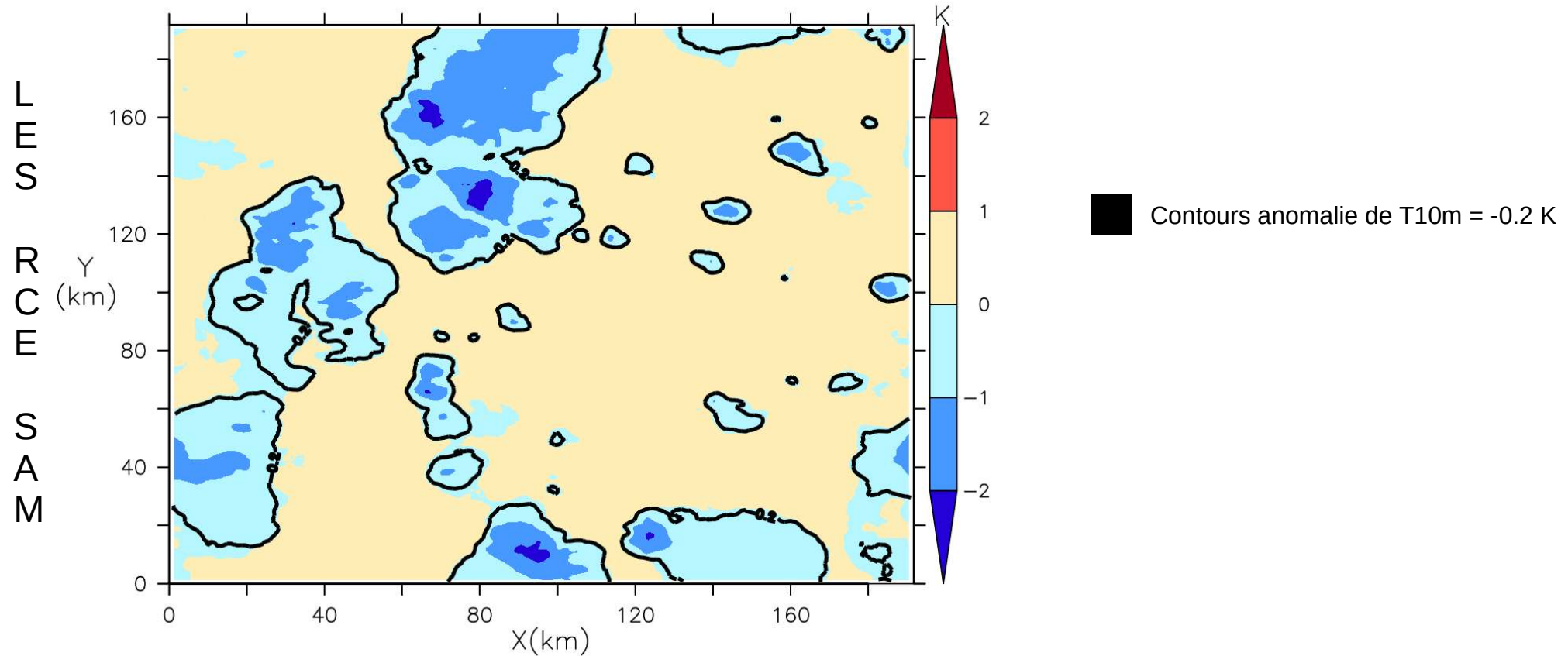
OK on a des belles LES.

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

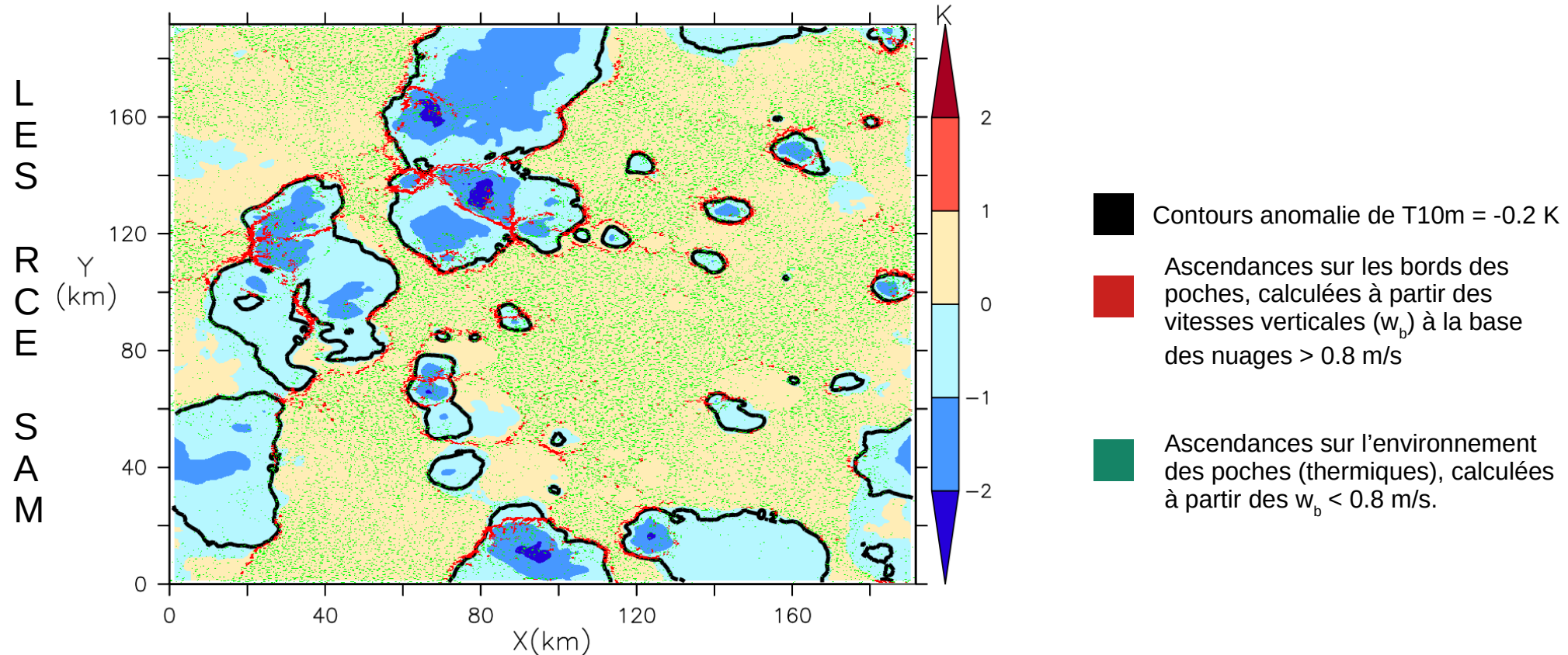
Séparation entre l'intérieur (w) et l'extérieur (s) des poches à partir d'un seuil d'anomalie de température à 10m



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 δX = moyenne de X dans (w) – moyenne de X dans (s) (X=T ou q)
- ✓ WAPE : déterminée à partir du profil de δT 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 (w), D_{wk} , and σ_{wk} .

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

- ✓ 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}).

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

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 δX = moyenne de X dans (w) – moyenne de X dans (s) (X=T ou q)
- ✓ WAPE : déterminée à partir du profil de δT 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 (w), D_{wk} , and σ_{wk} .

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

- ✓ 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}).

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

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/ Évaluation 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

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

III.1/ Évaluation 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

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

- 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

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

- 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)

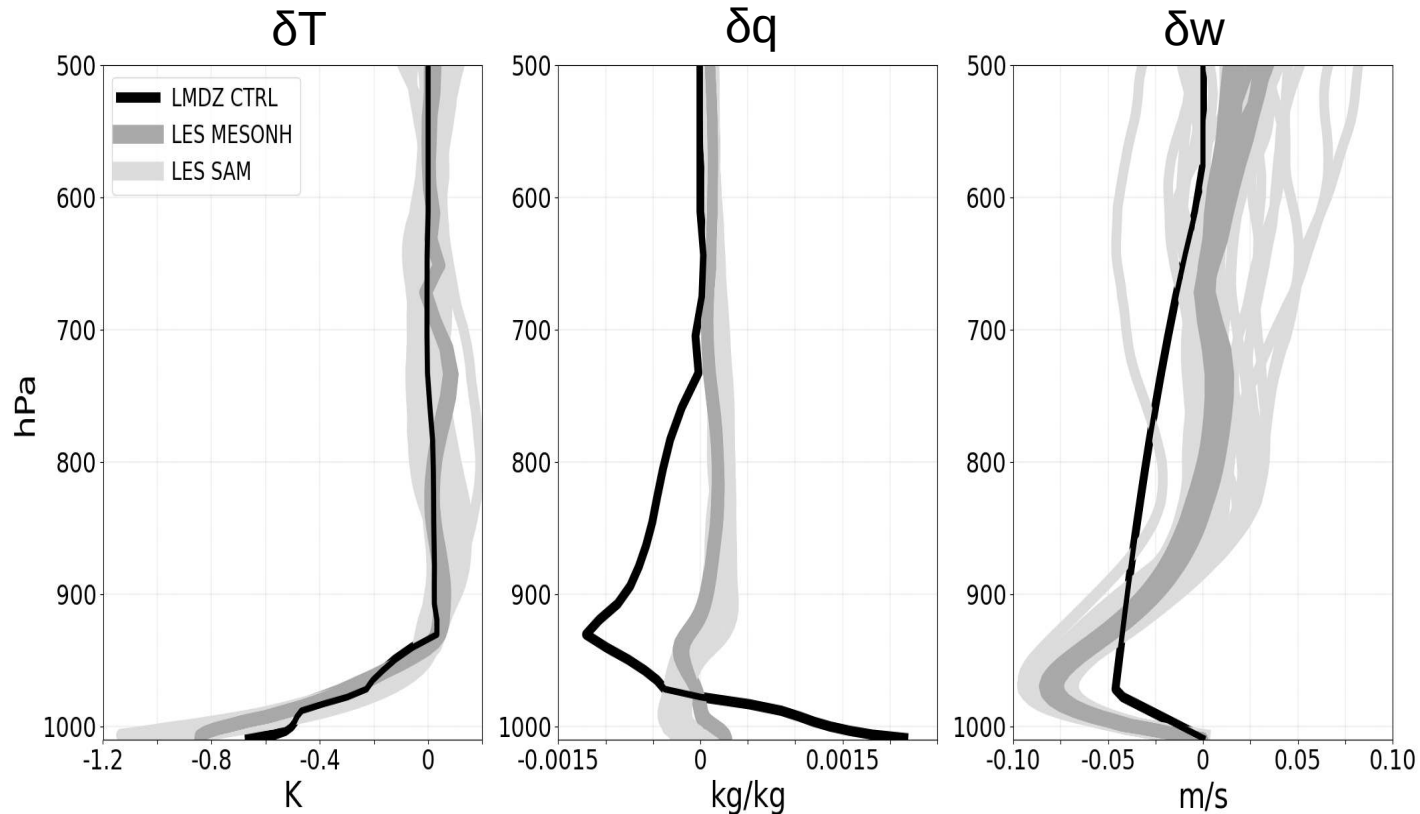
A la fois la validation LES/LES et SCM/LES sont dans la
meme sous section III.1.c
C'est tellement différent pourtant.

III.1/ Évaluation 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)

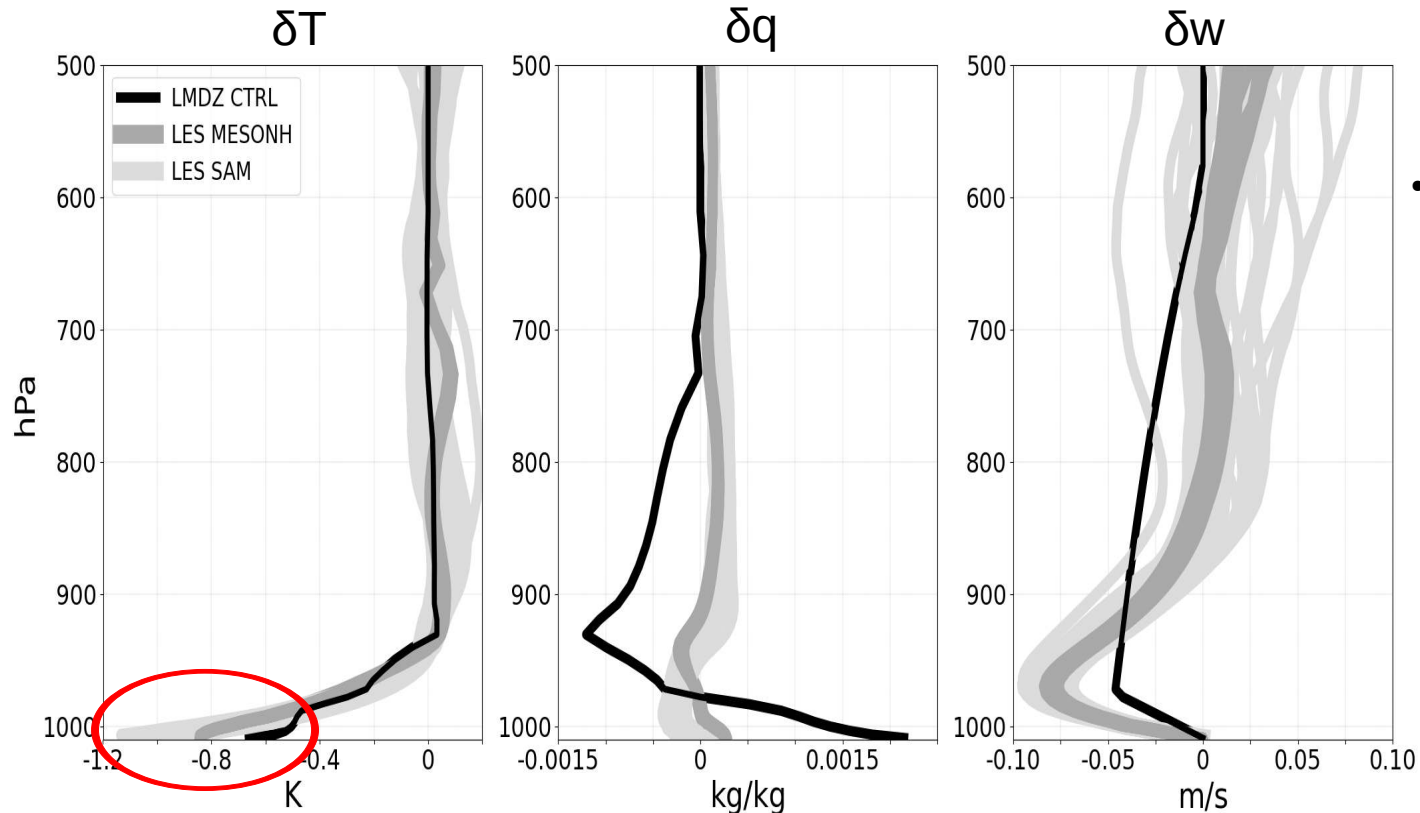


III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

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

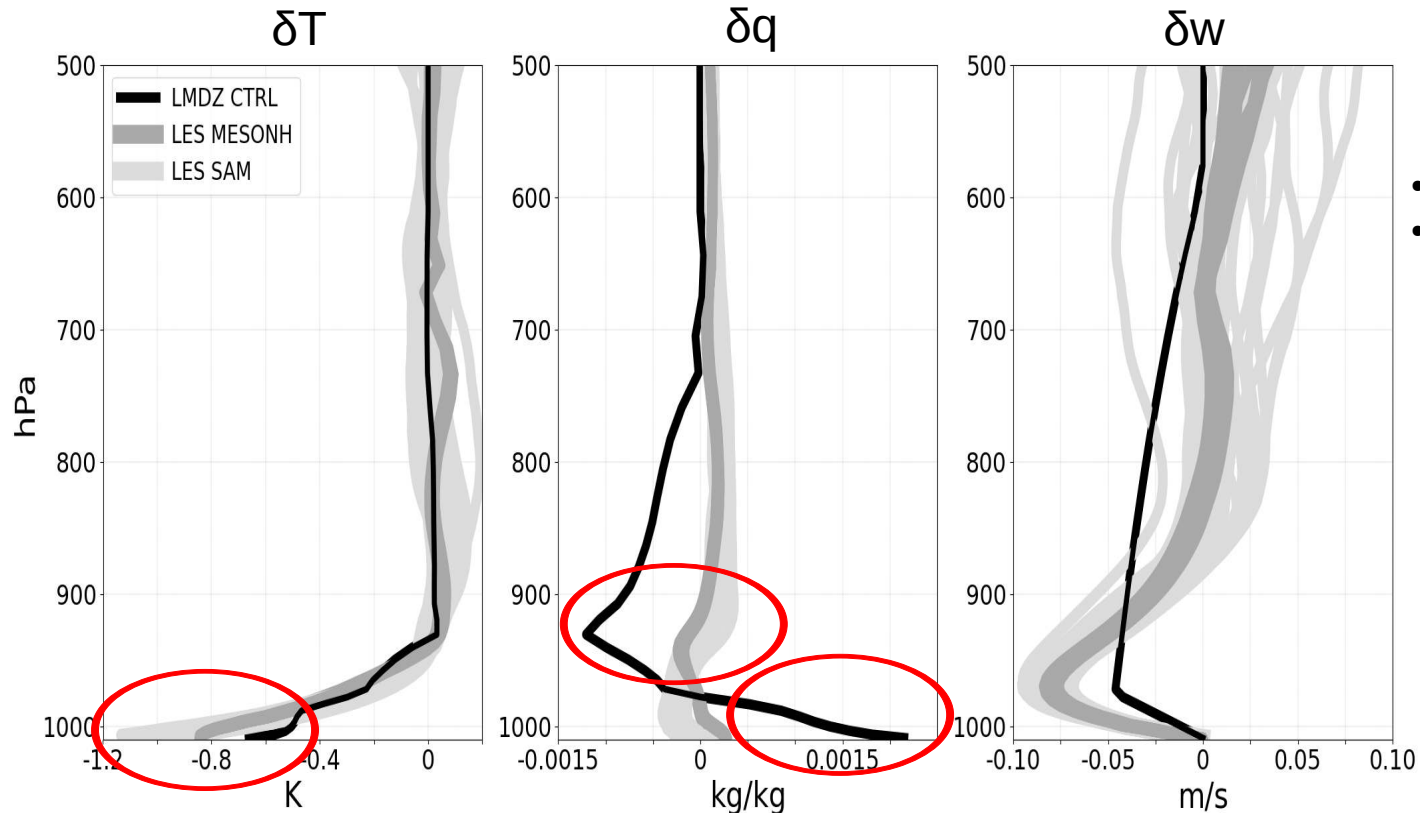
- Poches moins froides

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

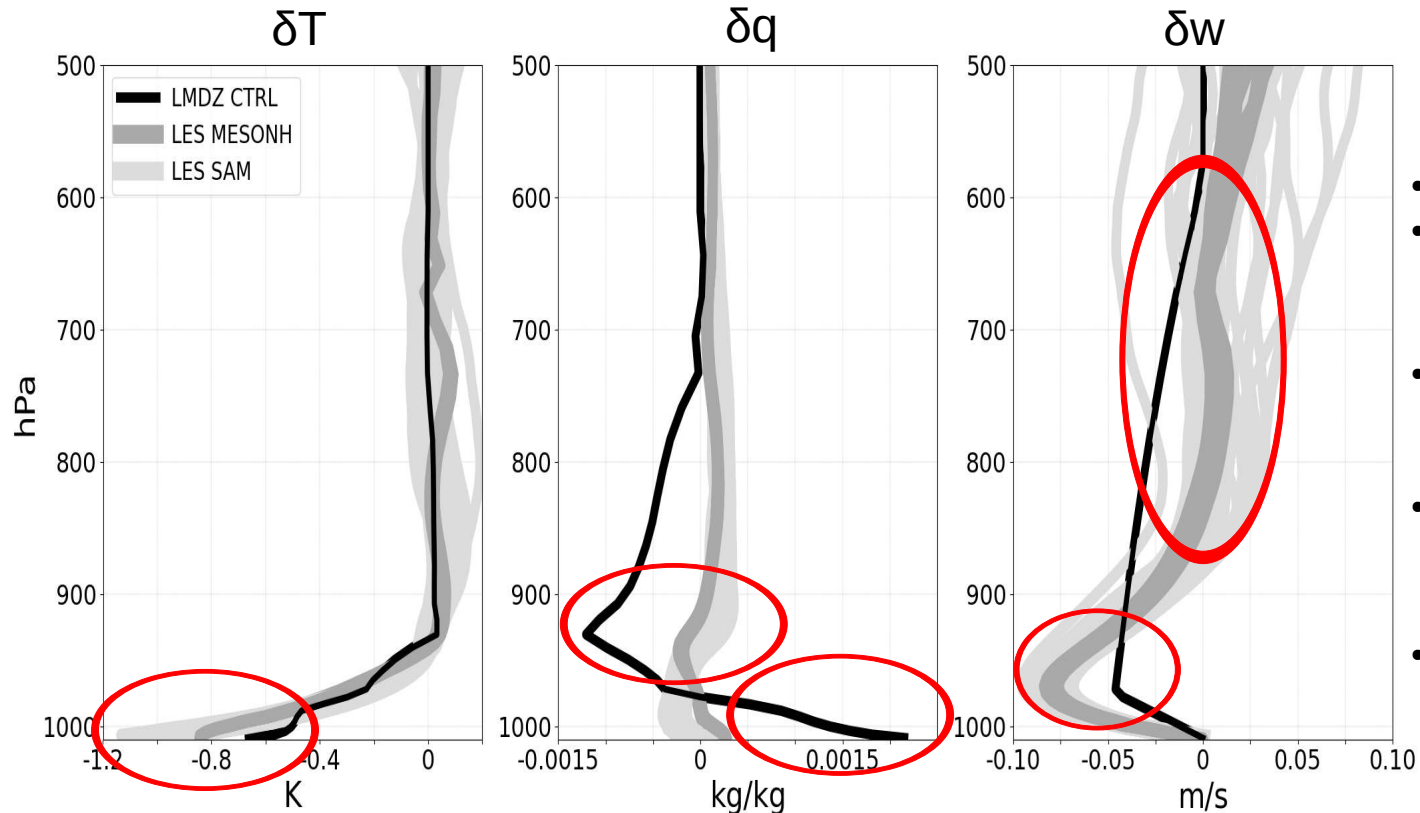
- Poches moins froides
- Poches plus sèche au dessus de h_{wk} et trop humide à la surface

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)
- δw 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

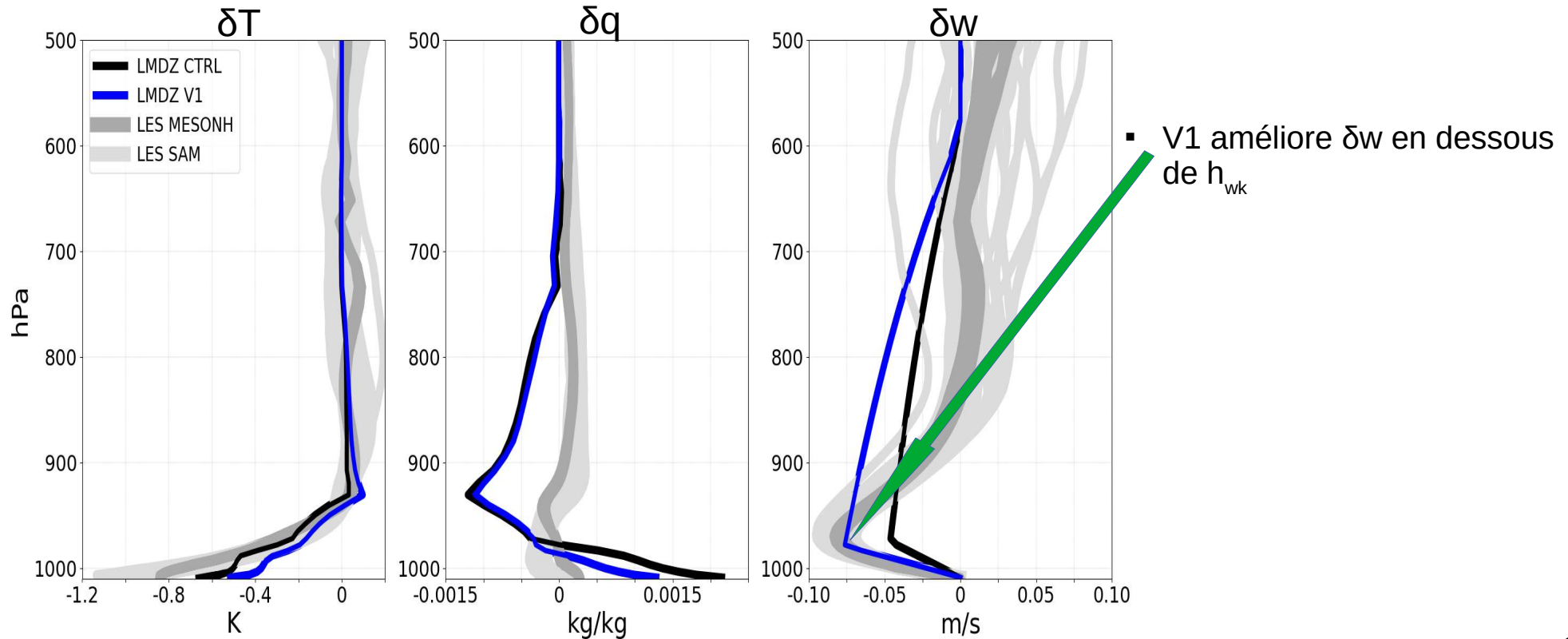
III.1.d/ Les améliorations apportées

- 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

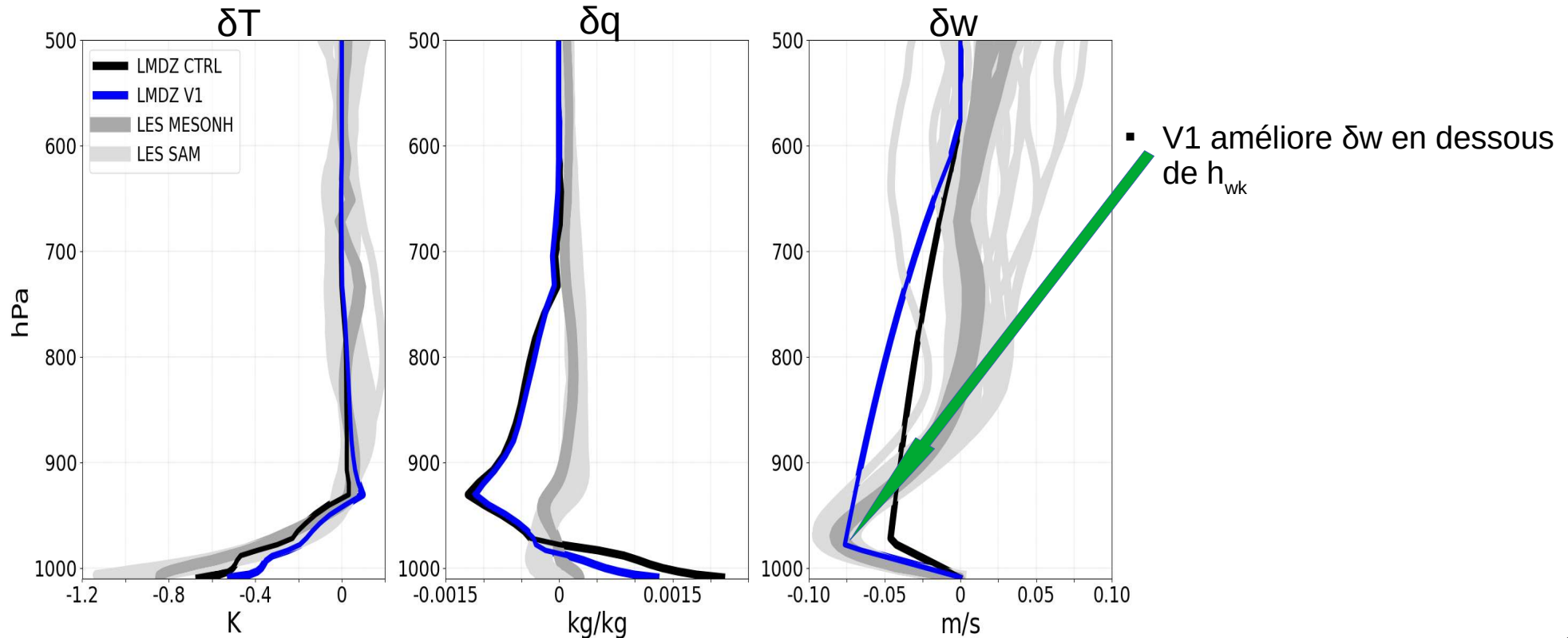


III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

III.1.d/ Les améliorations apportées

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

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



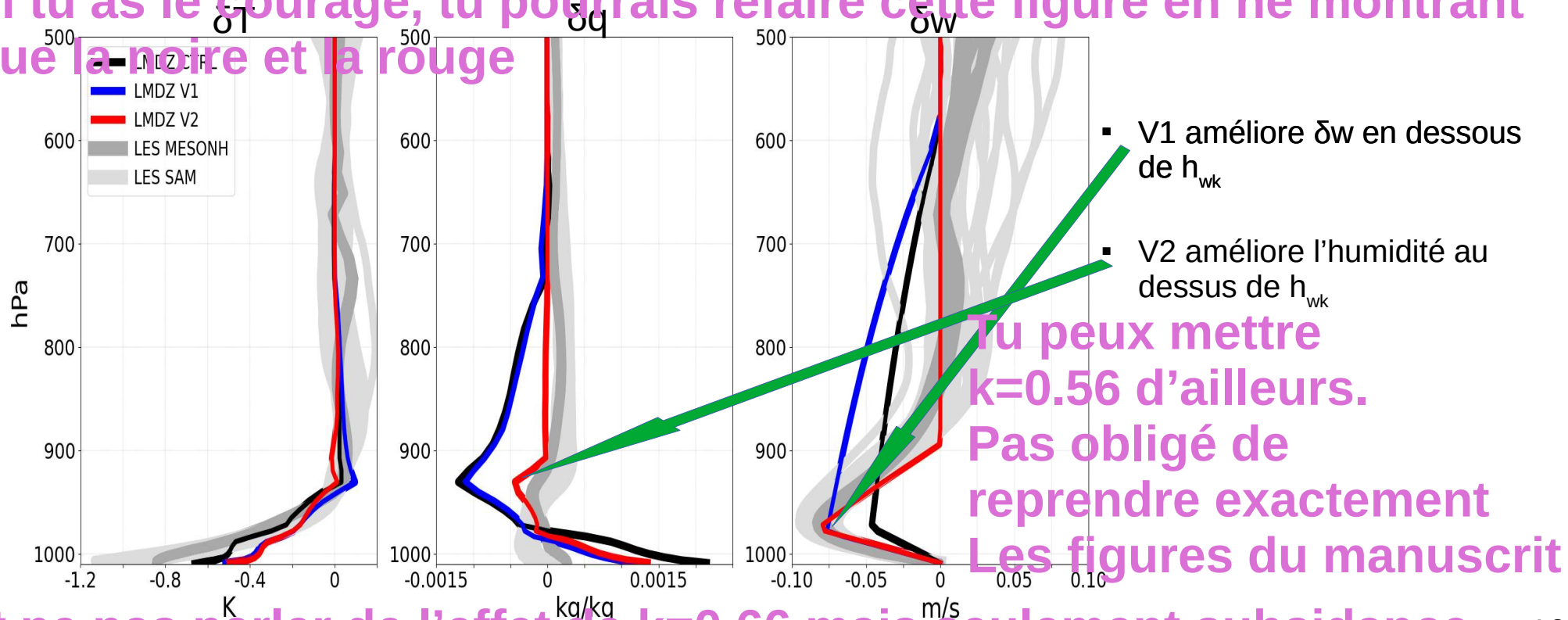
III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

III.1.d/ Les améliorations apportées

- V1 = 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 $\alpha = 3$)

V2= CTRL + $k=0.66$ + pupper ...

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

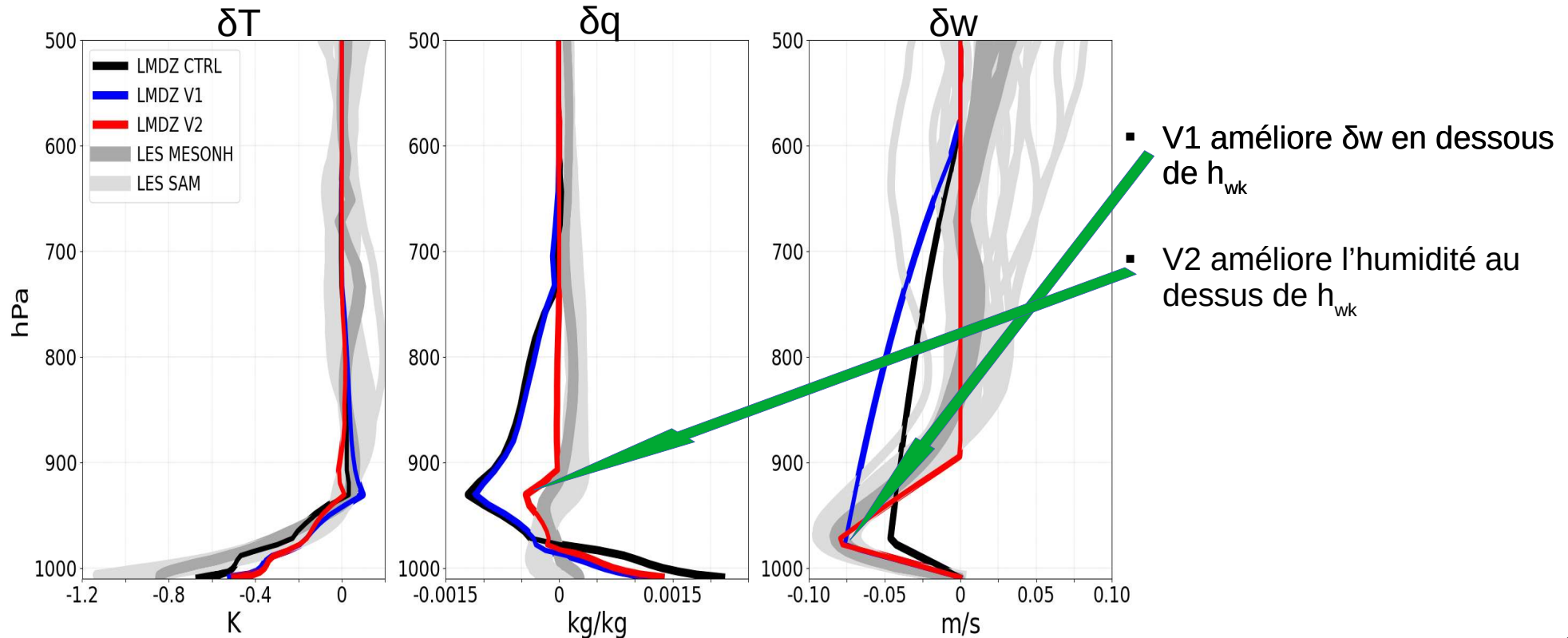


Et ne pas parler de l'effet de $k=0.66$ mais seulement subsidence

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

III.1.d/ Les améliorations apportées

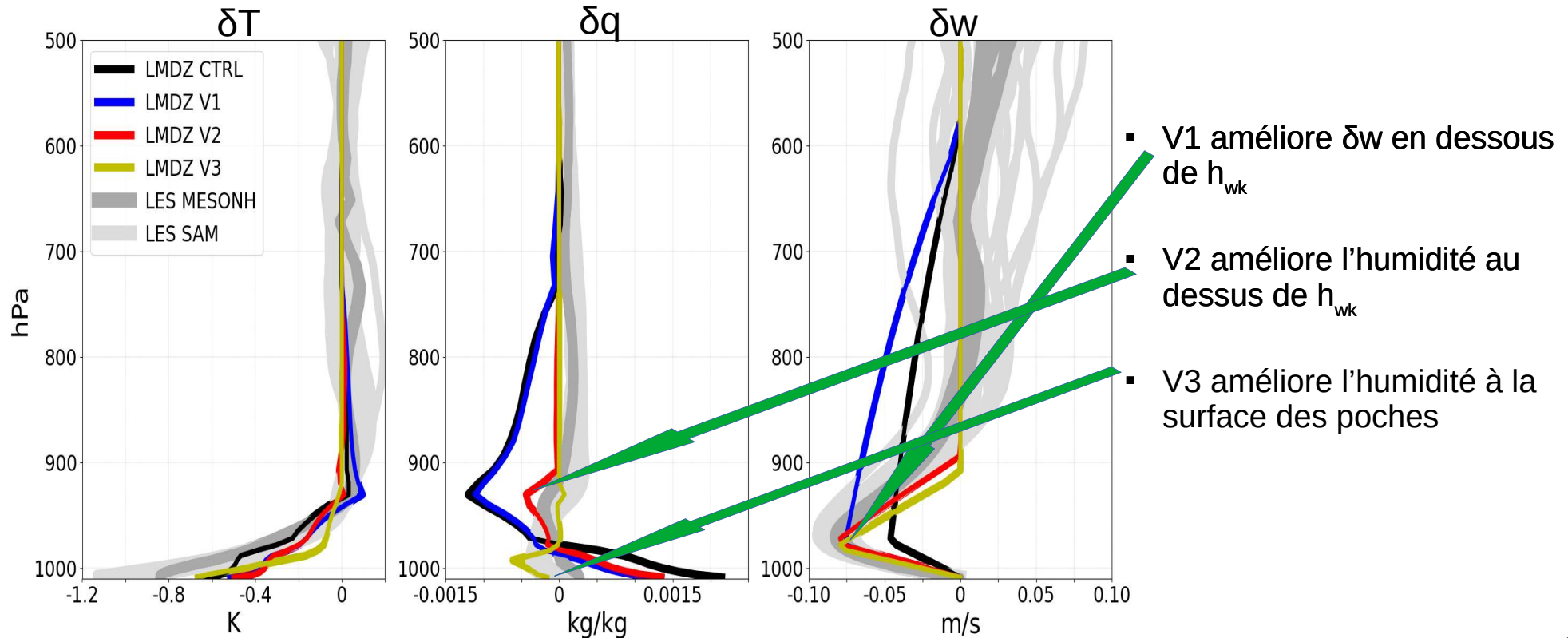
- V1 = CTRL + fixation coefficient k à 0.66
- V2 = V1 + baisse de l'altitude (P_{upper}) où $\delta w = 0$ ($P_{upper} = \alpha P_{top}$ avec $\alpha = 3$)
- V3 = V2 + activation des thermiques dans tout le domaine



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

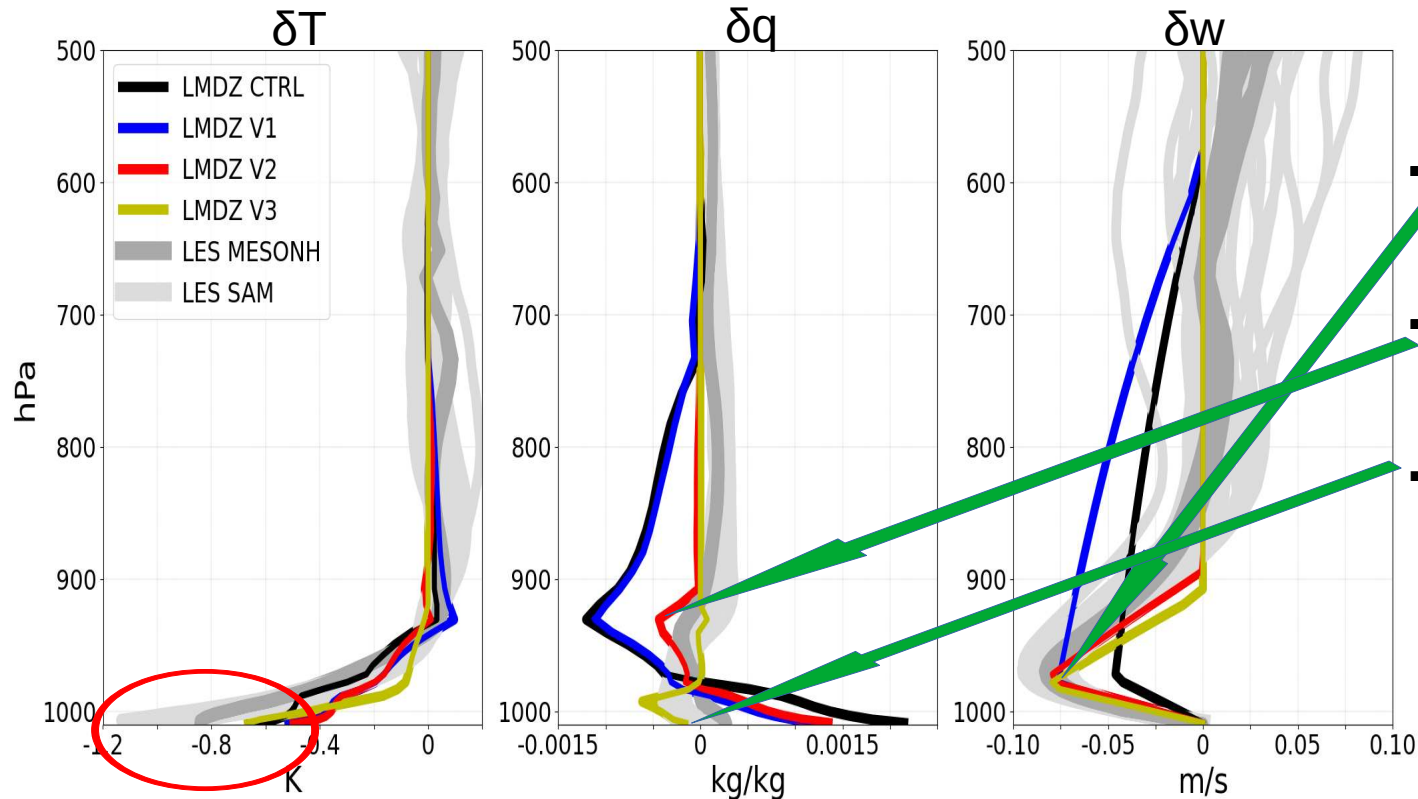


III.1/ Evaluation et amélioration de la paramétrisation des poches

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 δw 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 δT et les profils moyens (θ et qv), évaluées à partir de moyenne verticales à différents niveaux et de moyennes temporelles.
- C^* et WAPE, évaluées à partir d'une moyenne temporelle

Paramètres retenus :

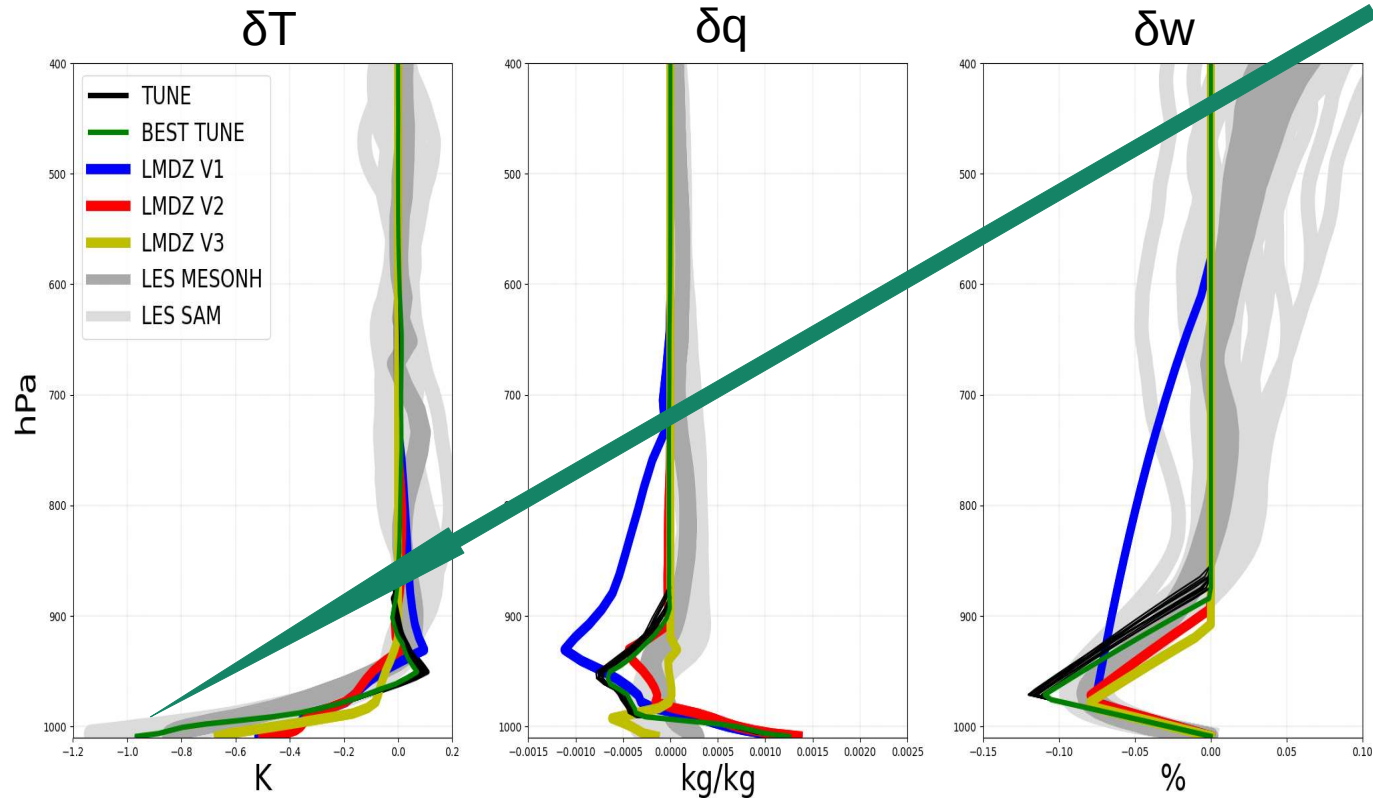
- 4 paramètres libres du schéma des poches froides
- 5 paramètres libres du pour le schéma de convection

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.

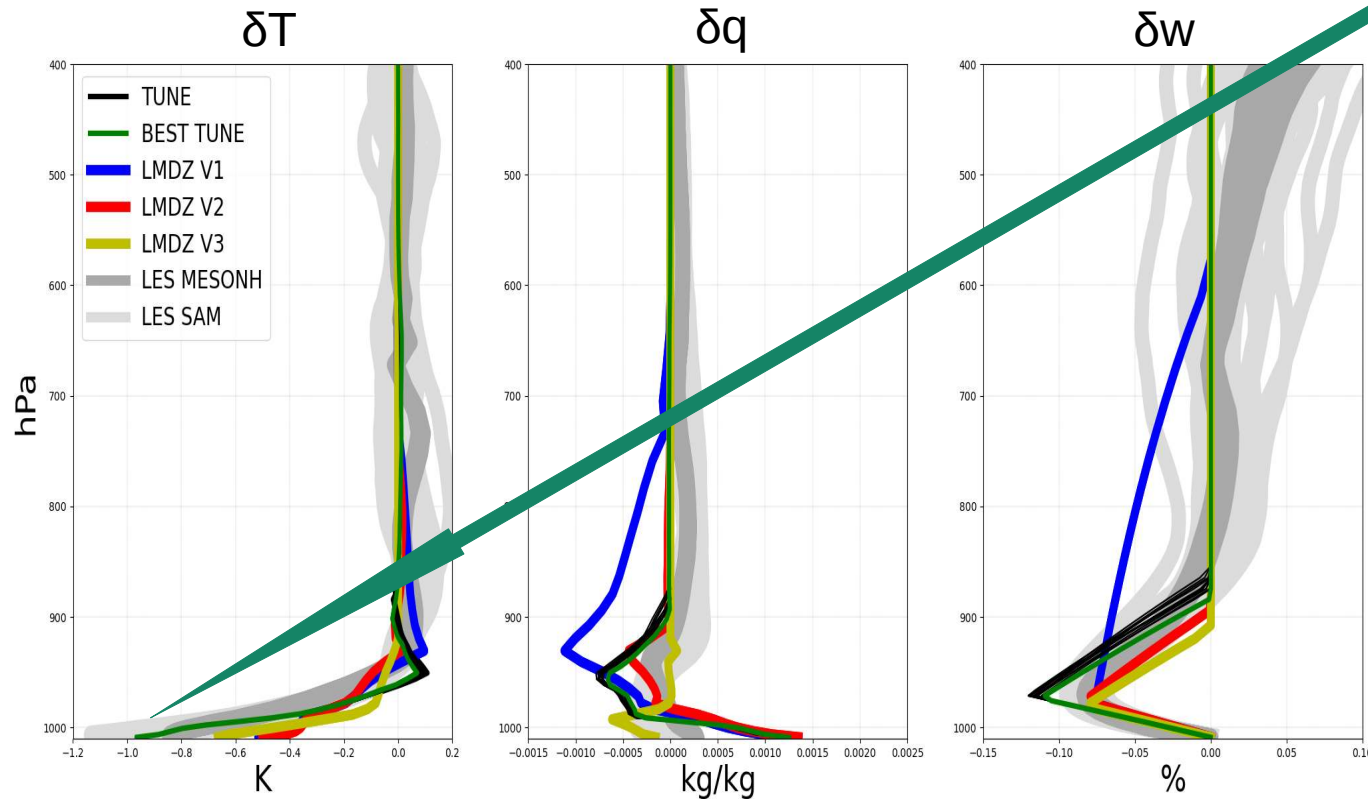


- Nette amélioration du profil de δT

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

III.1.d/ Les améliorations

Les exercices de tuning



- Nette amélioration du profil de δT
- WAPE, C_* , ALE_{wk} et ALP_{wk} sont aussi améliorées, grâce à V1 et le tuning (**non montrée**).
- Une nette amélioration du profil de qv grâce au tuning (**non montrée**)
- Un léger biais sur le profil de θ 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 corrigés grâce des modifications substantiels 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 corrigés grâce des modifications substantiels 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 jusqu'à 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

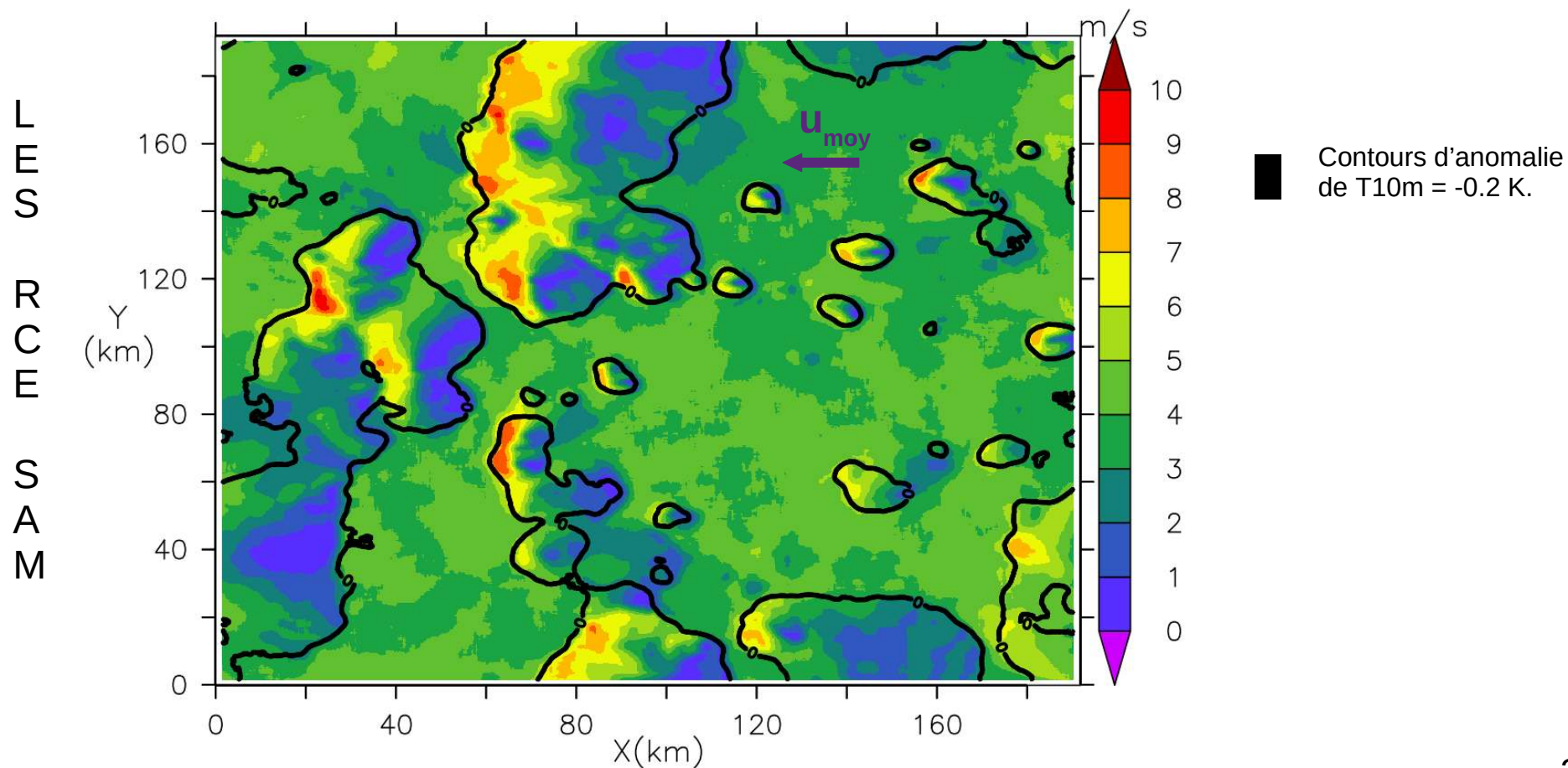
III.2.e/ Validation dans la version uni-colonne de LMDZ

III.2.d/ Conclusions et perspectives

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

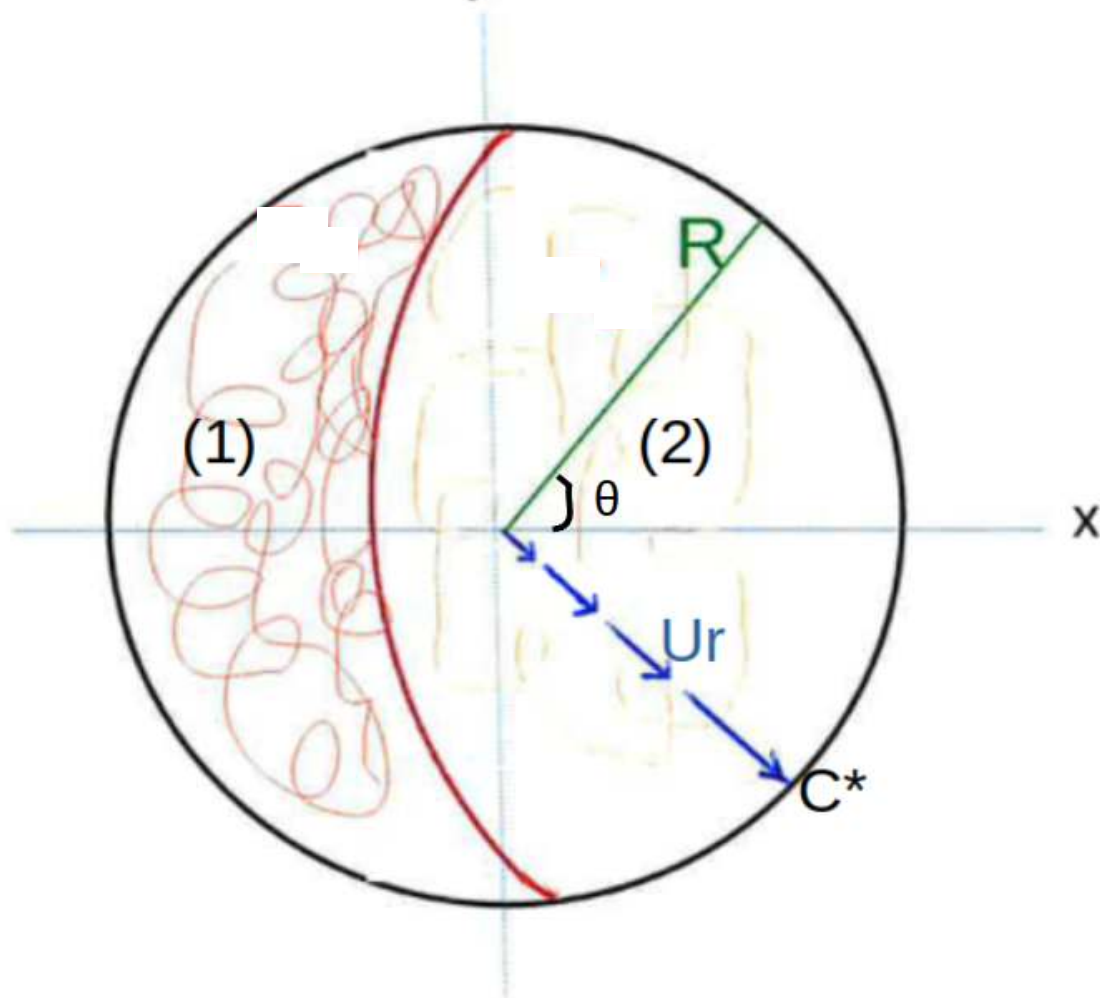
III.2.a/ Analyse du vent dans les LES

Carte du module du vent à 10 m



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

III.2.b/ Modèle conceptuel

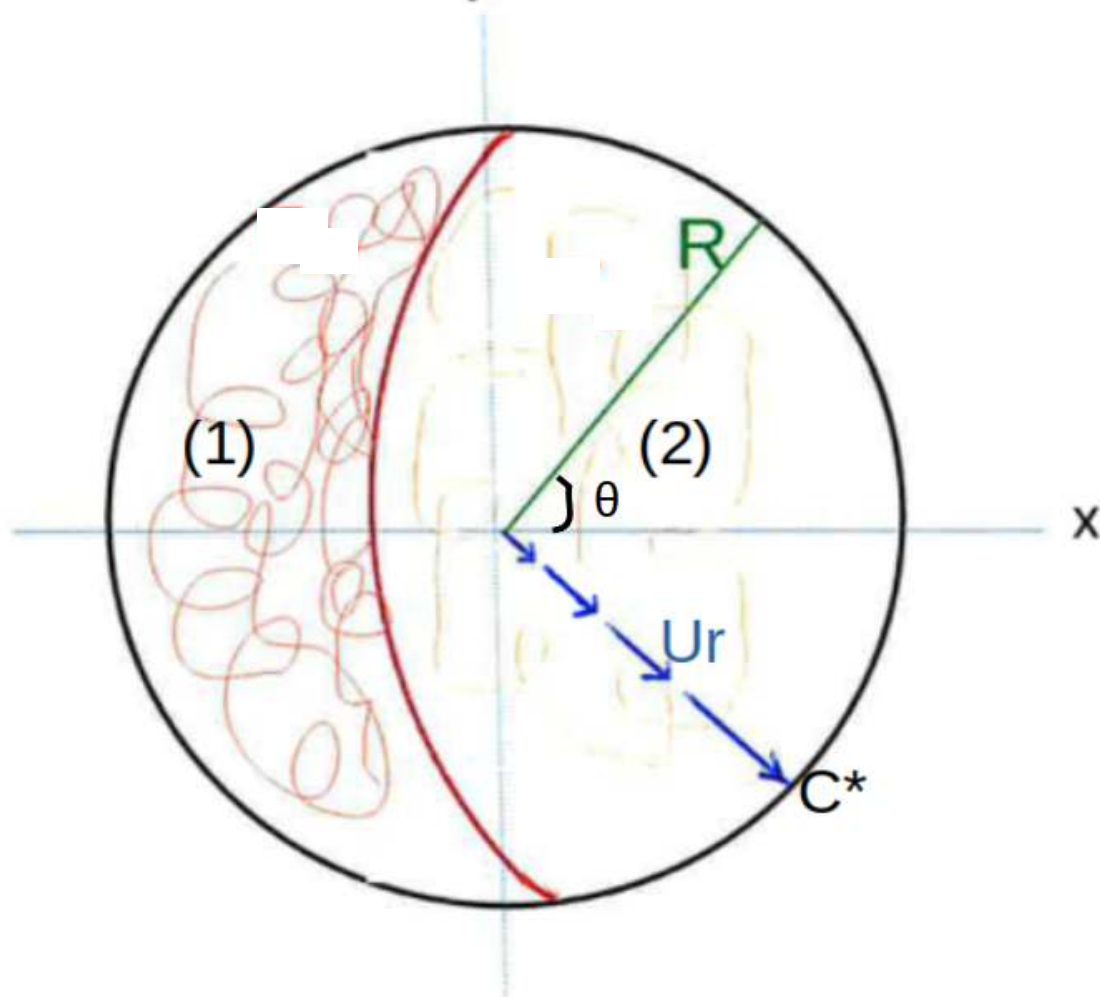


III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

III.2.b/ Modèle conceptuel

Modèle physique

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

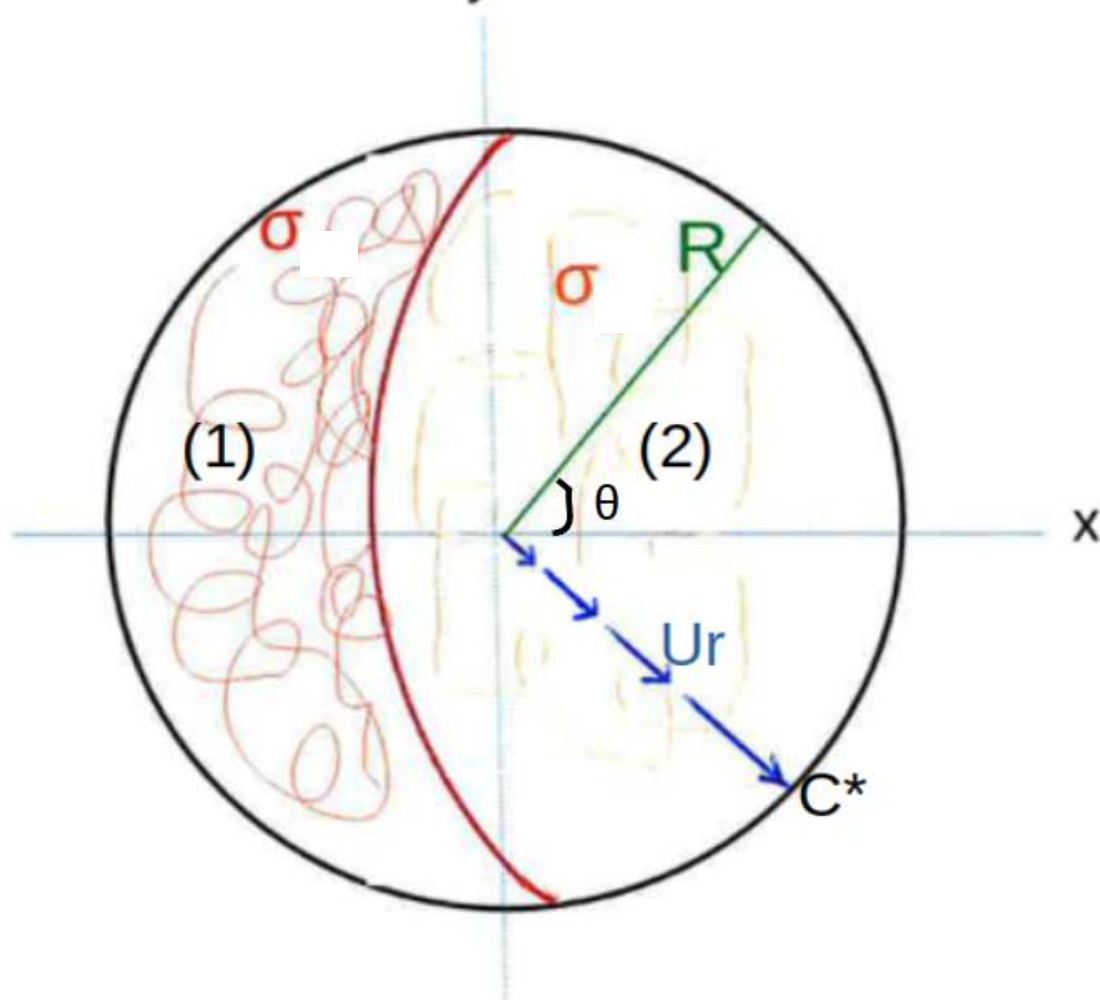


III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

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 $G(0, \sigma)$.

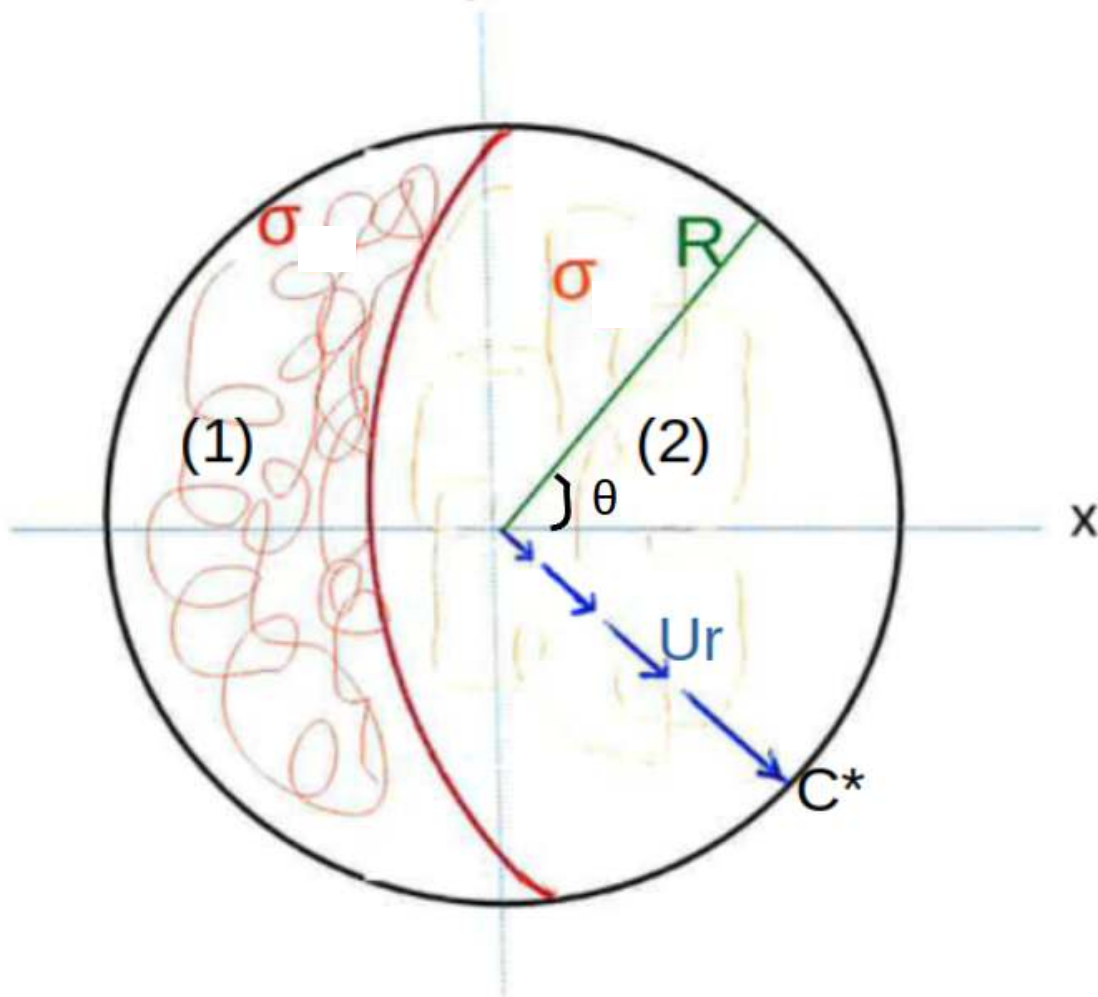


III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

III.2.b/ Modèle conceptuel

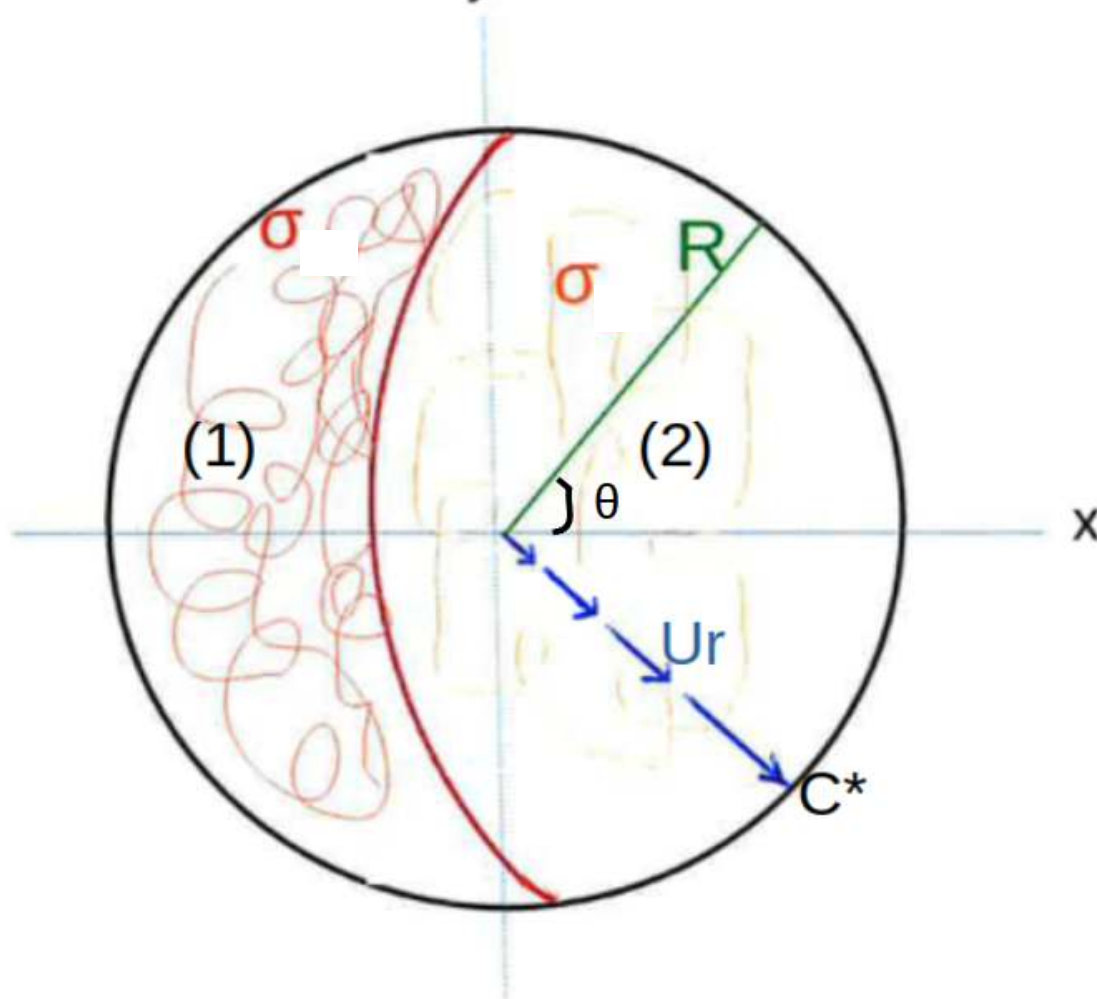
Modèle physique

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



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

III.2.b/ Modèle conceptuel



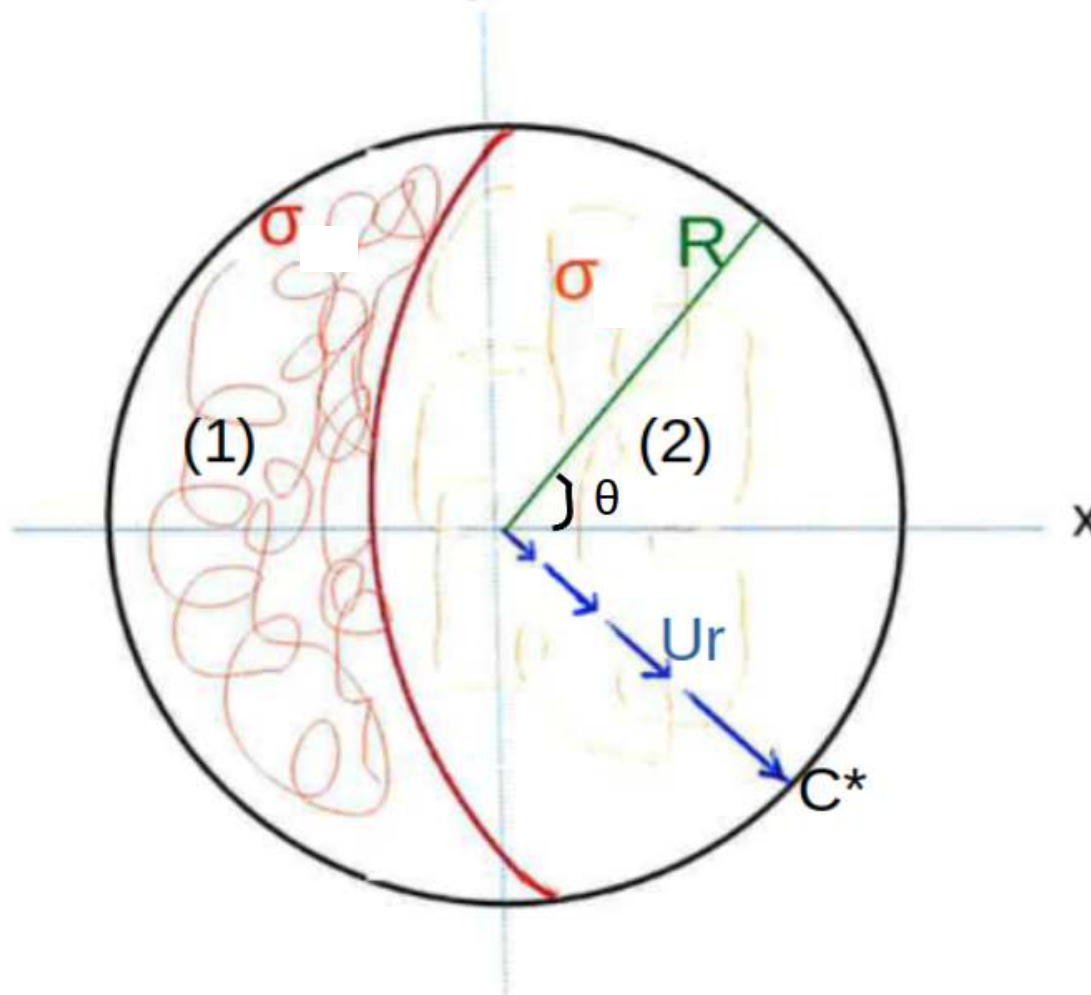
Modèle physique

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

$$U_{\text{tot, wk}} = u_{\text{moy, wk}} + \mathbf{u}_r + G(0, \sigma) ; \mathbf{u}_r = xC^*/R$$

$$\sigma = k_{\text{twk}} u_{\text{noturb}} \text{ (inspiré de Panofsky et al., 1977)}$$

$$K_{\text{twk}} = \text{réel} ; u_{\text{noturb}} = u_{\text{moy, wk}} + \mathbf{u}_r$$

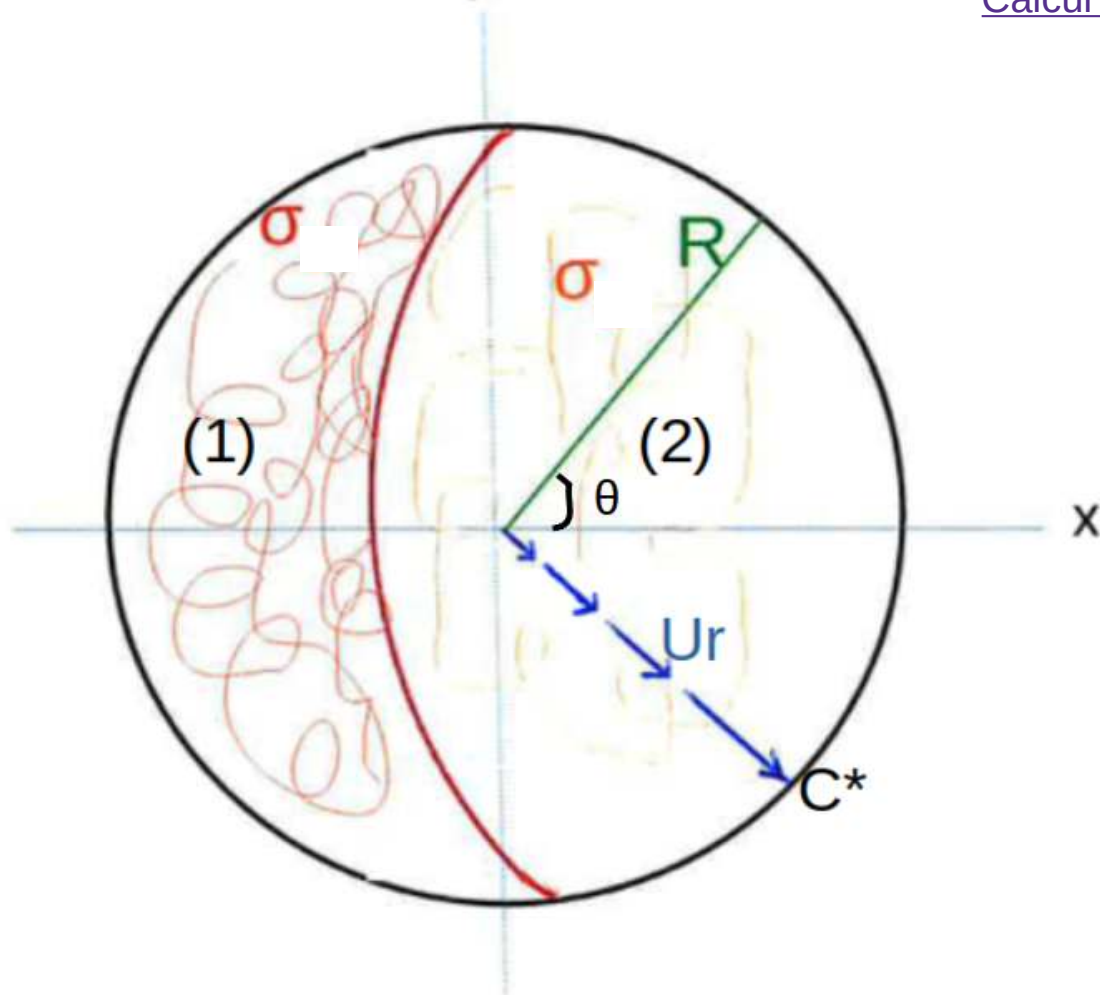
Les paramètres du modèle

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

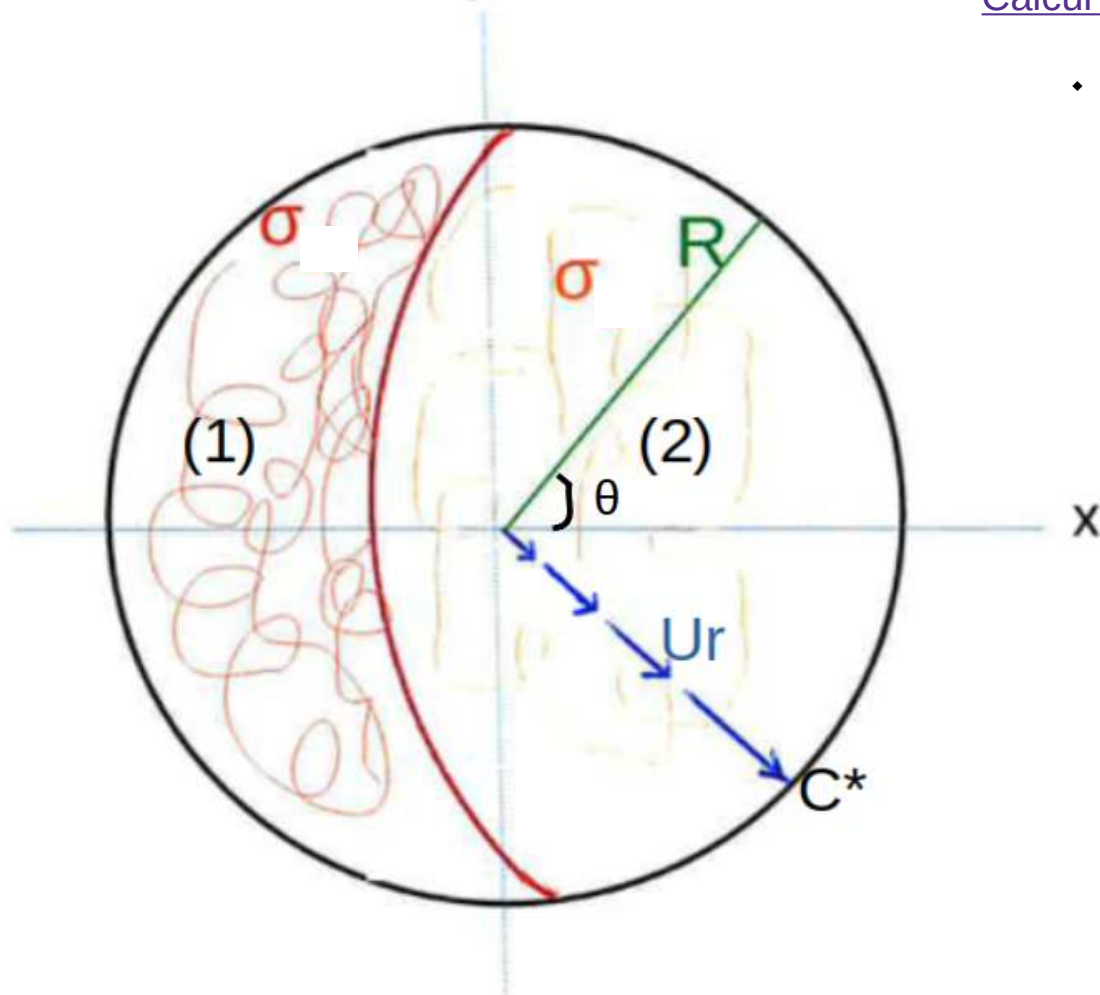
III.2.b/ Modèle conceptuel

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

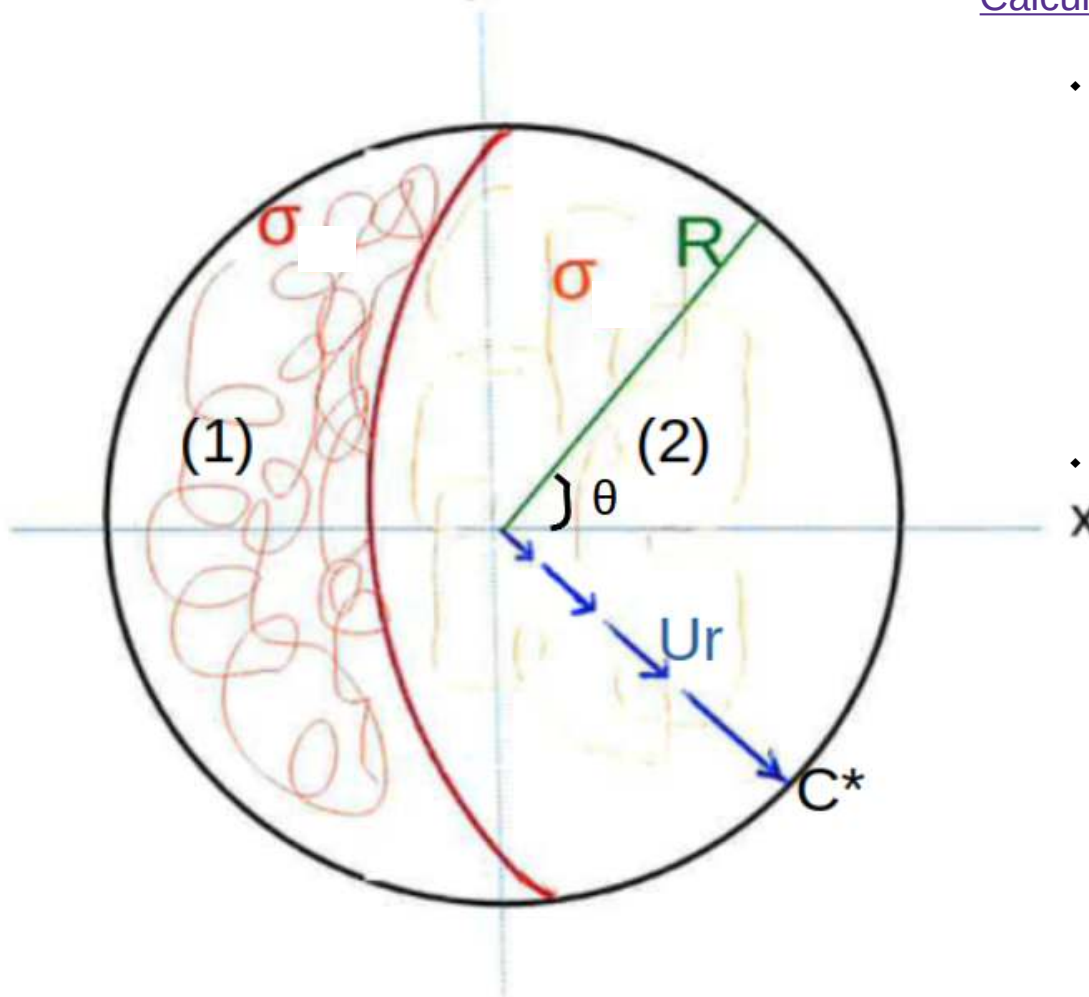
- Tirage d'un point m dans la poche

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

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

- 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

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

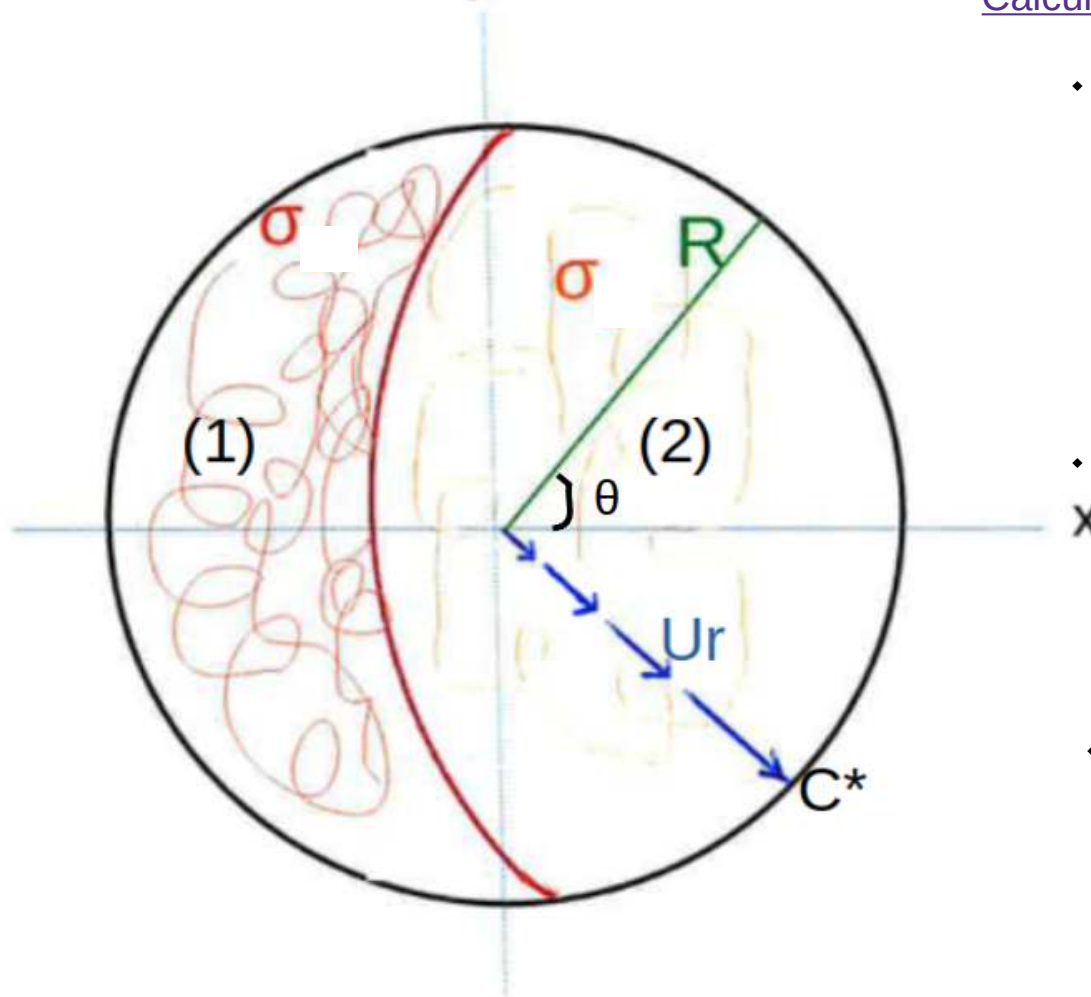
$$\begin{cases} x_m = (r_i^2)^{0.5} \cos(\theta_i) \\ y_m = (r_i^2)^{0.5} \sin(\theta_i) \end{cases}$$

- 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

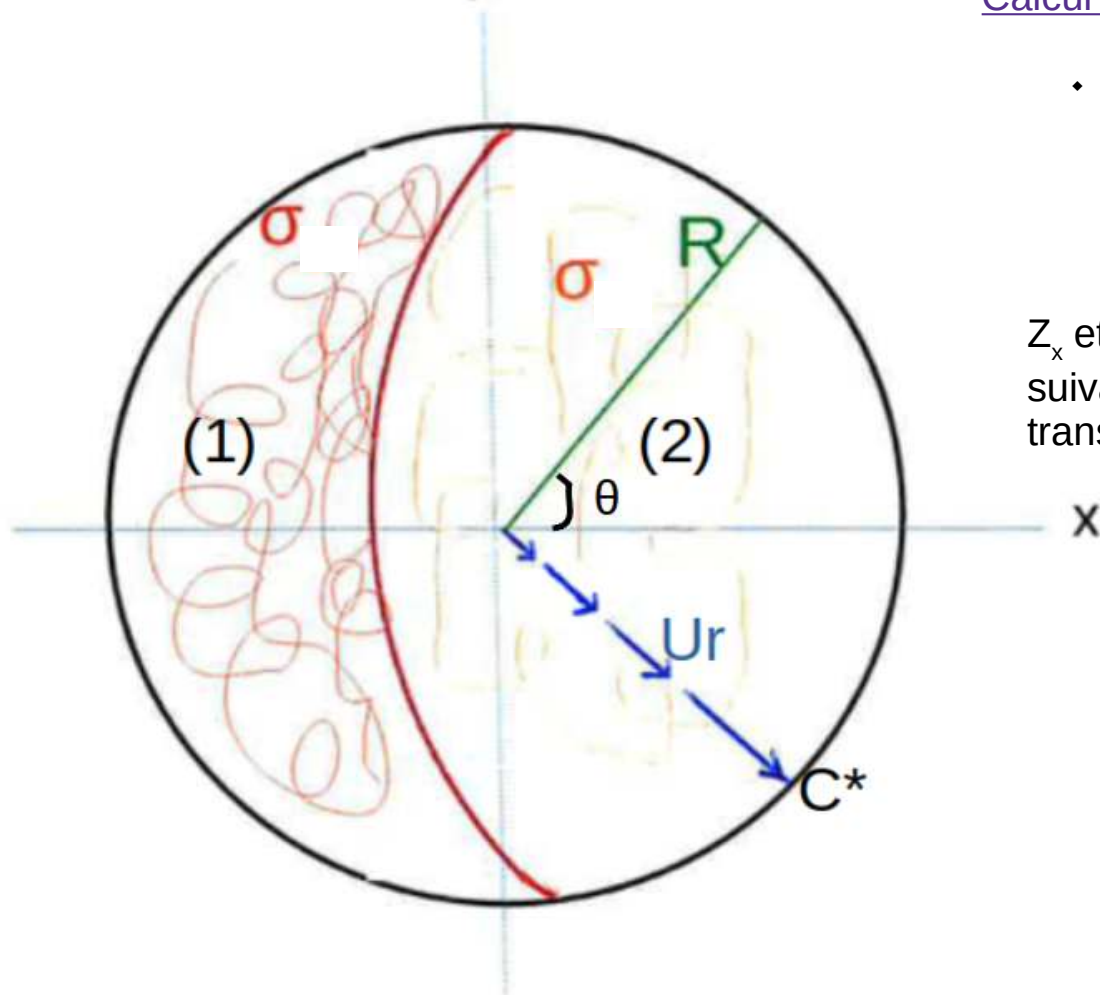
III.2.b/ Modèle conceptuel

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

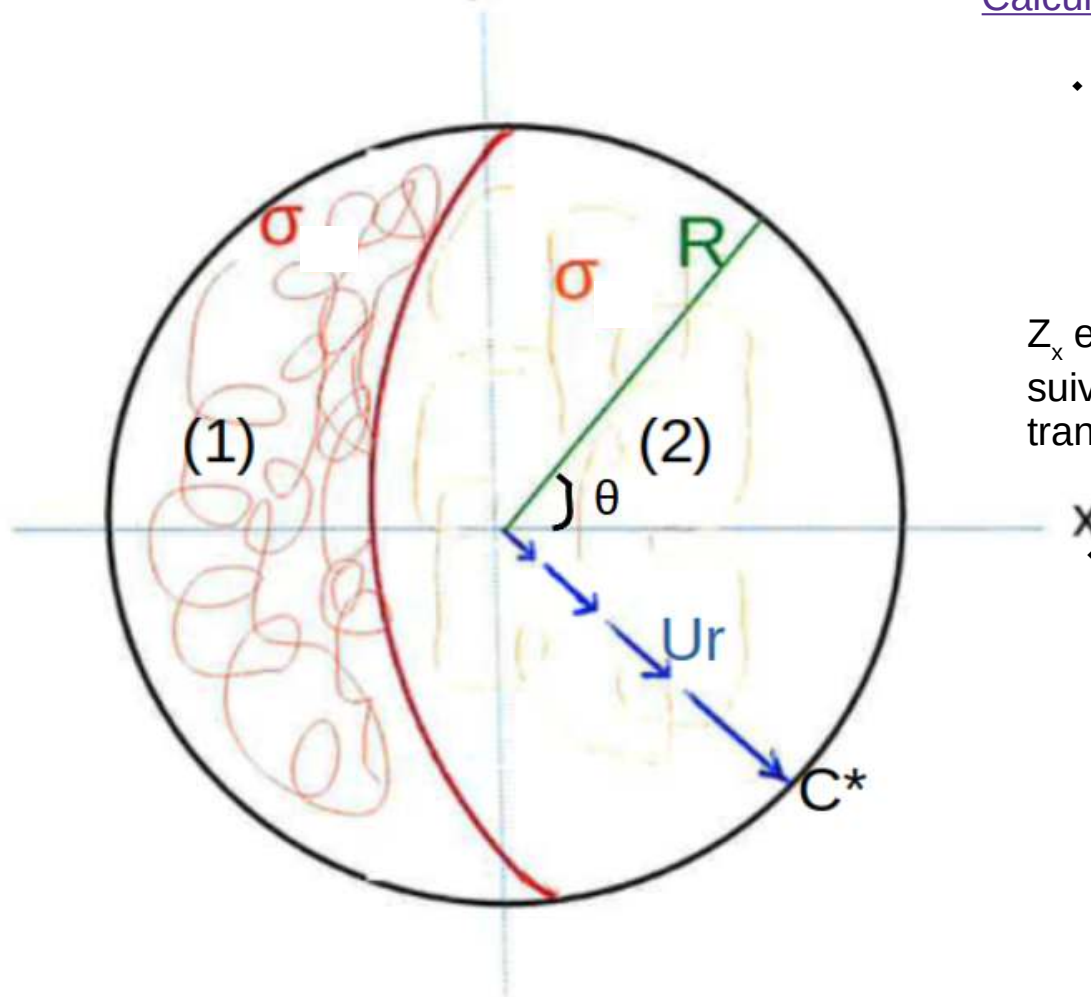
- Calcul du vent turbulent au point m tiré

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

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

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



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

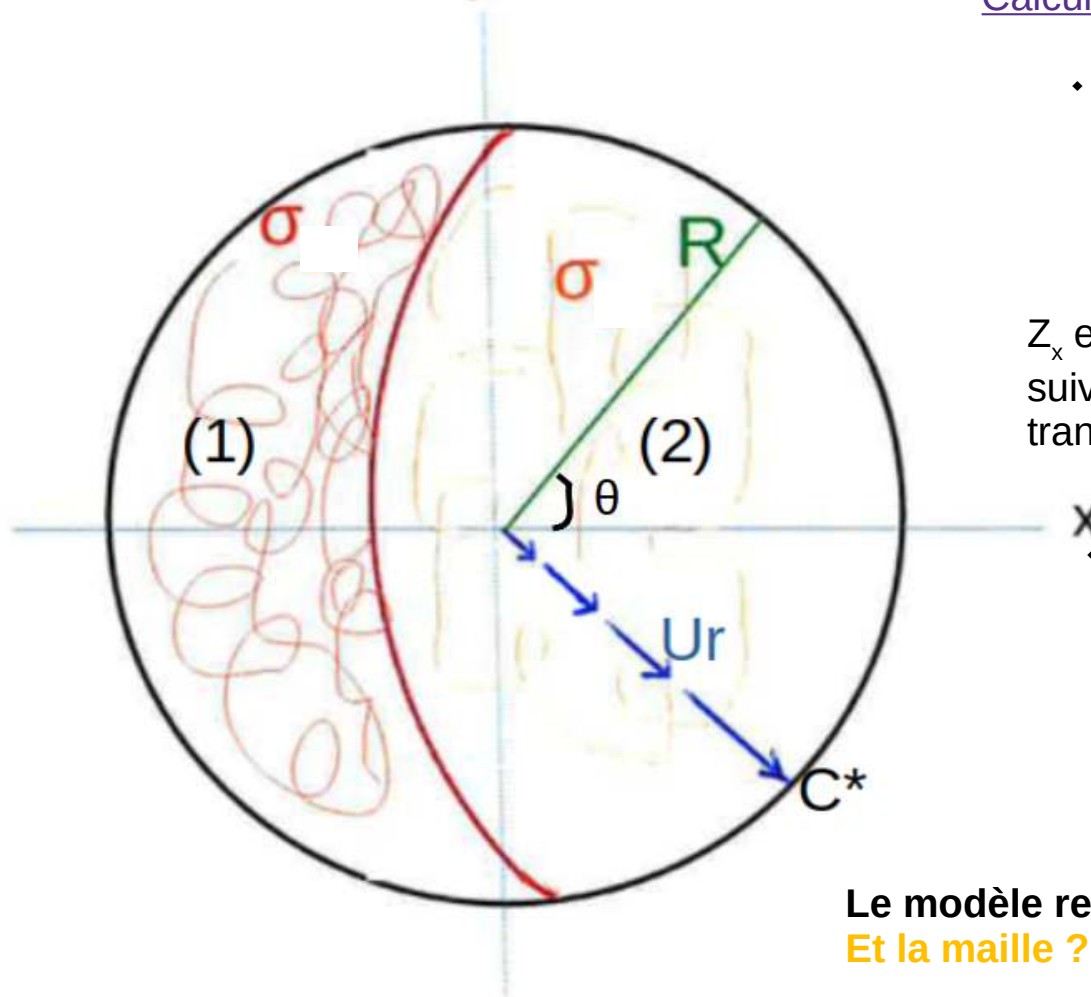
$$\begin{cases} u_{\text{turb},x} = \sigma Z_x \\ v_{\text{turb},y} = \sigma Z_y \end{cases}$$

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

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

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 σ_{wk} (fraction surfacique des poches).
Si $n_t < \sigma_{wk} \Rightarrow$ application du schéma des rafales des poches
si $n_t > \sigma_{wk} \Rightarrow$ 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 σ_{wk} (fraction surfacique des poches).
- Si $n_t < \sigma_{wk} \Rightarrow$ application du schéma des rafales des poches
- si $n_t > \sigma_{wk} \Rightarrow$ application du schéma des rafales des thermiques

→ Les paramètres du modèle combiné

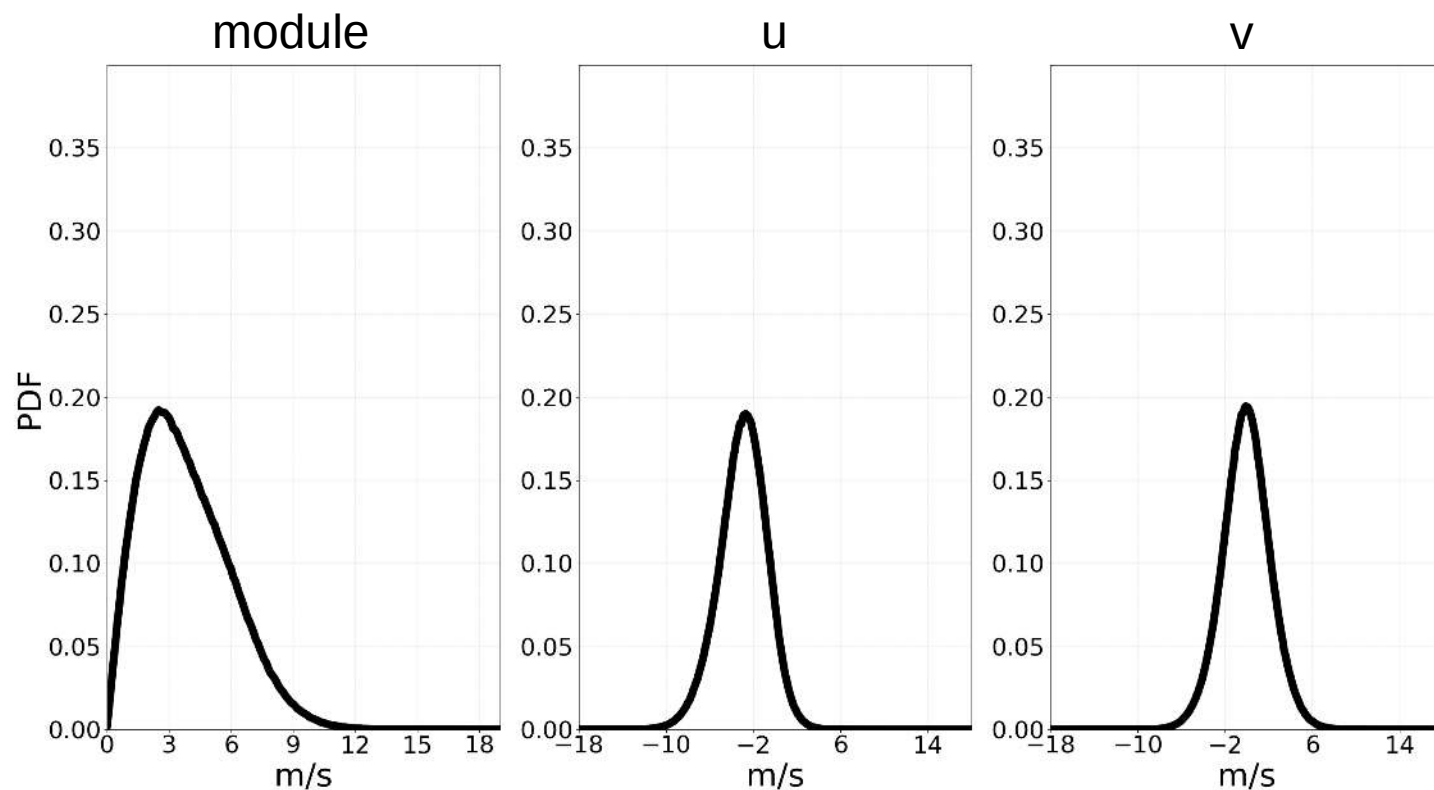
- 5 paramètres fournies par le GCM : c^* , $u_{moy, gcm}$, σ_{wk} , u^* et ALE_{bl}
- 4 paramètres libres : R , k_{twk} , k_{tth} , k_{zth}

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

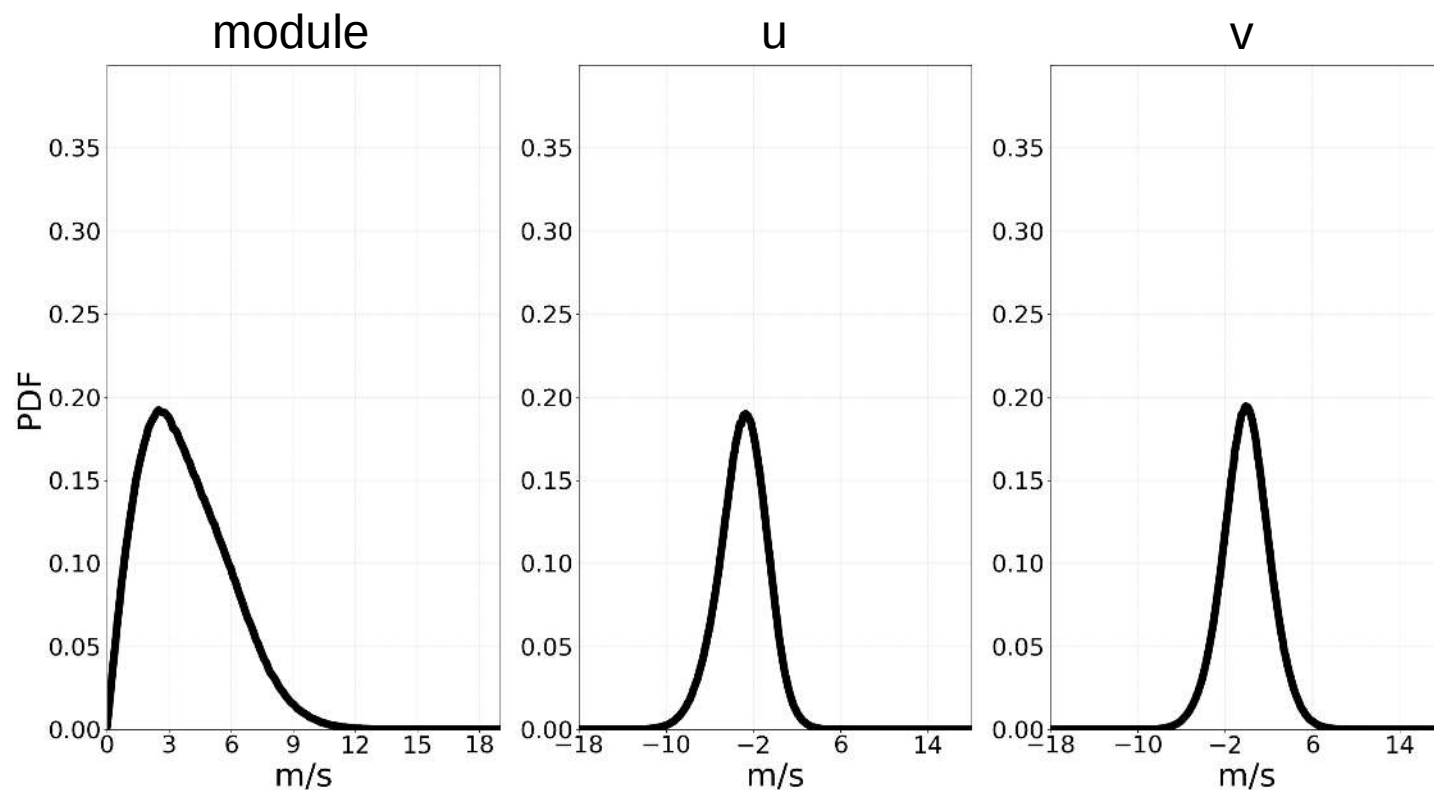


III.2/ Paramétrisation des rafales de vent générées par les poches

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



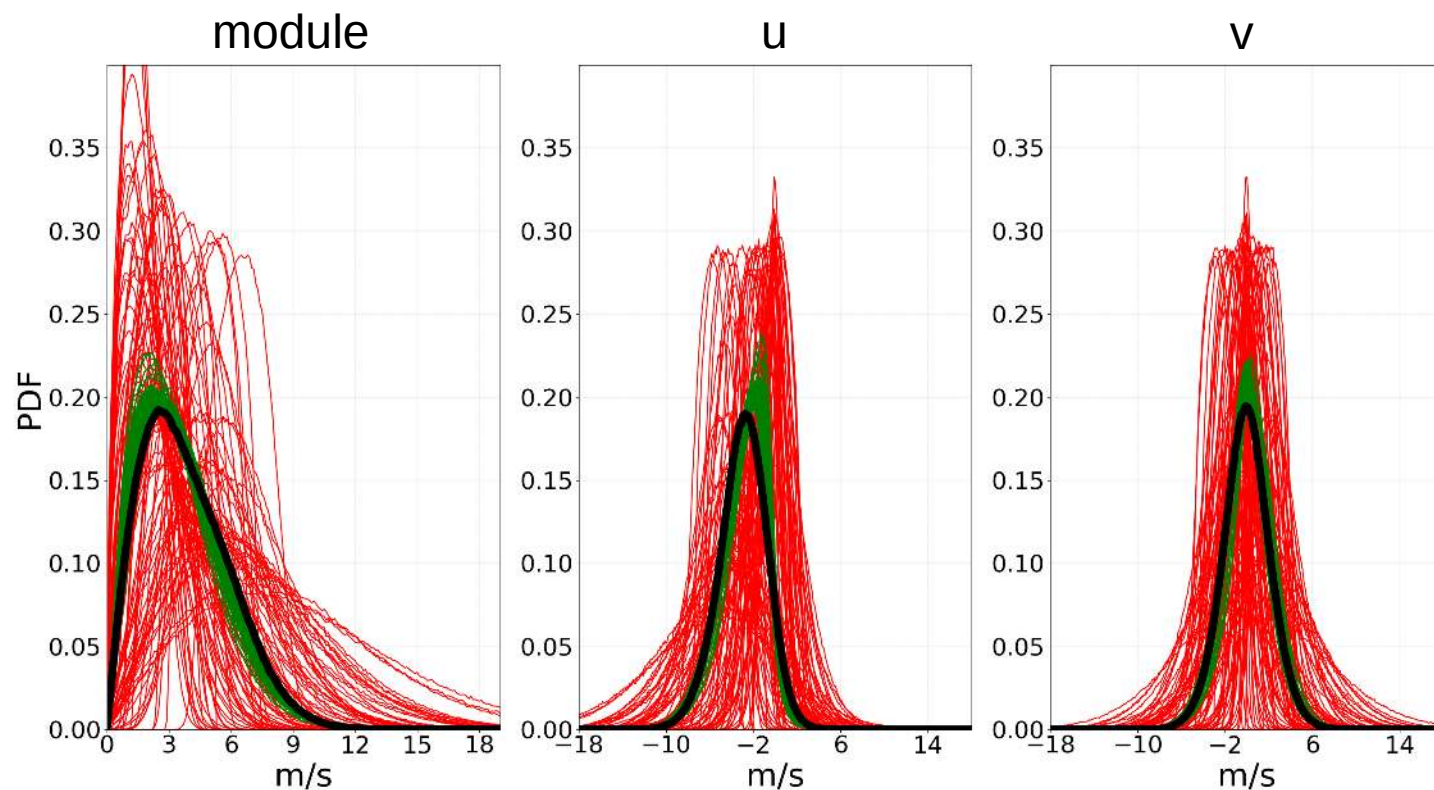
■ LES (moy sur 24 instants)

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 (moy sur 24 instants)

■ vague 1 (90 simulations)

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

■ vague 5 (90 simulations)

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

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

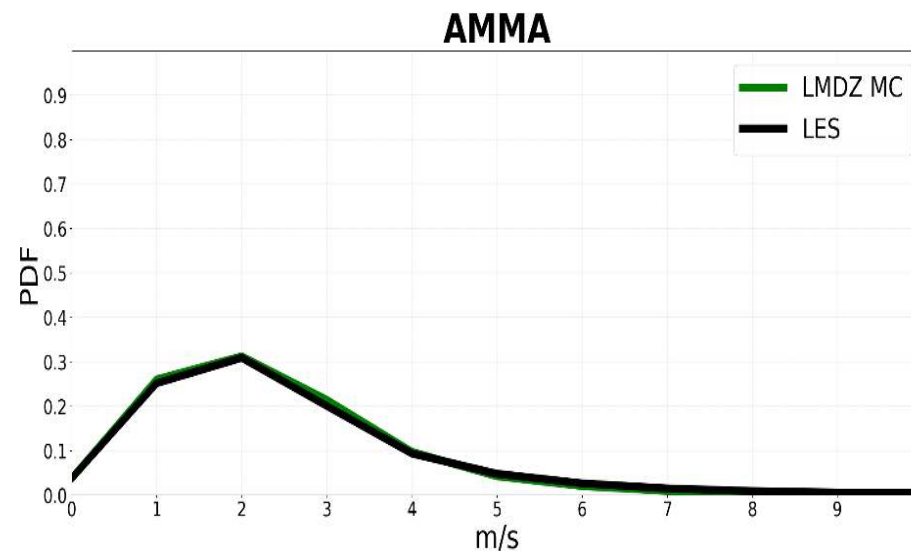
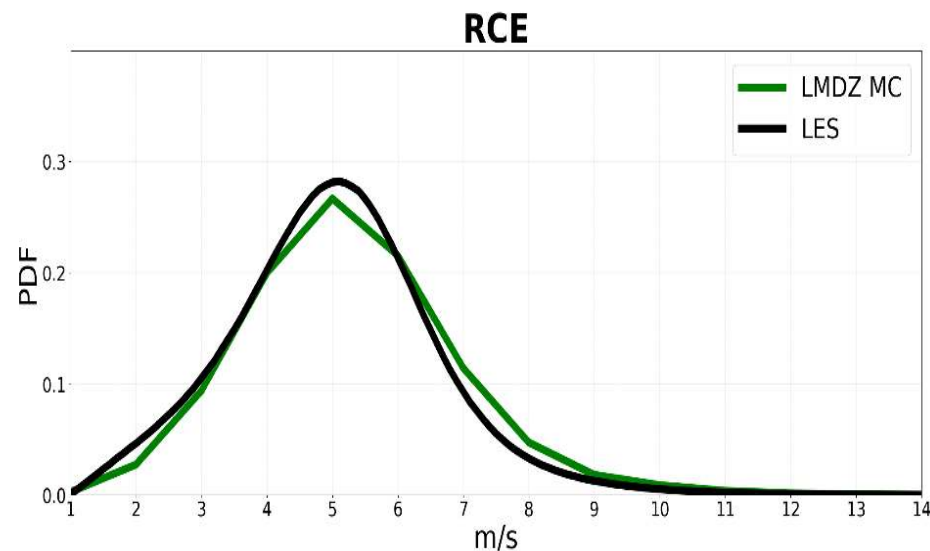
III.2.e/ Validation dans la version uni-colonne de LMDZ

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.

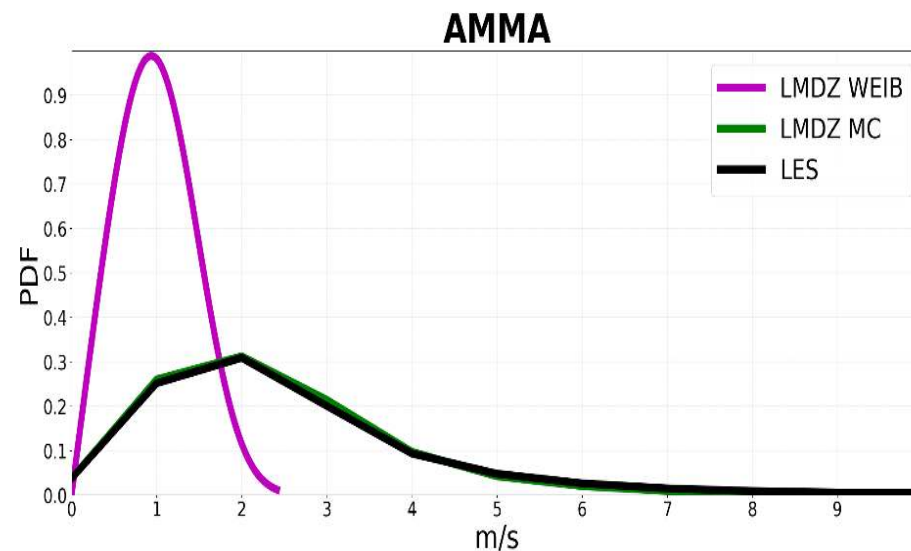
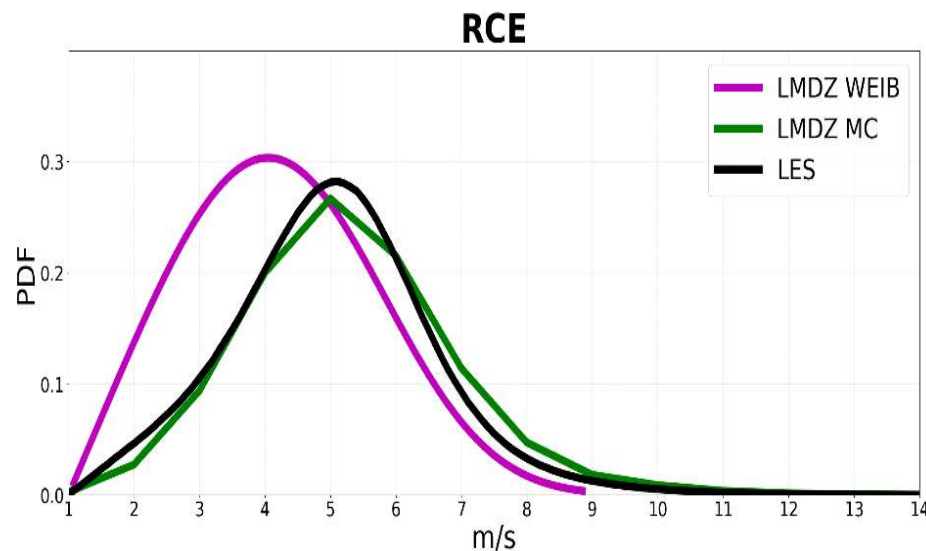


Bonne représentation de la distribution du vent avec le schéma des rafales (LMDZ MC)

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 tâche 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 tâche 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

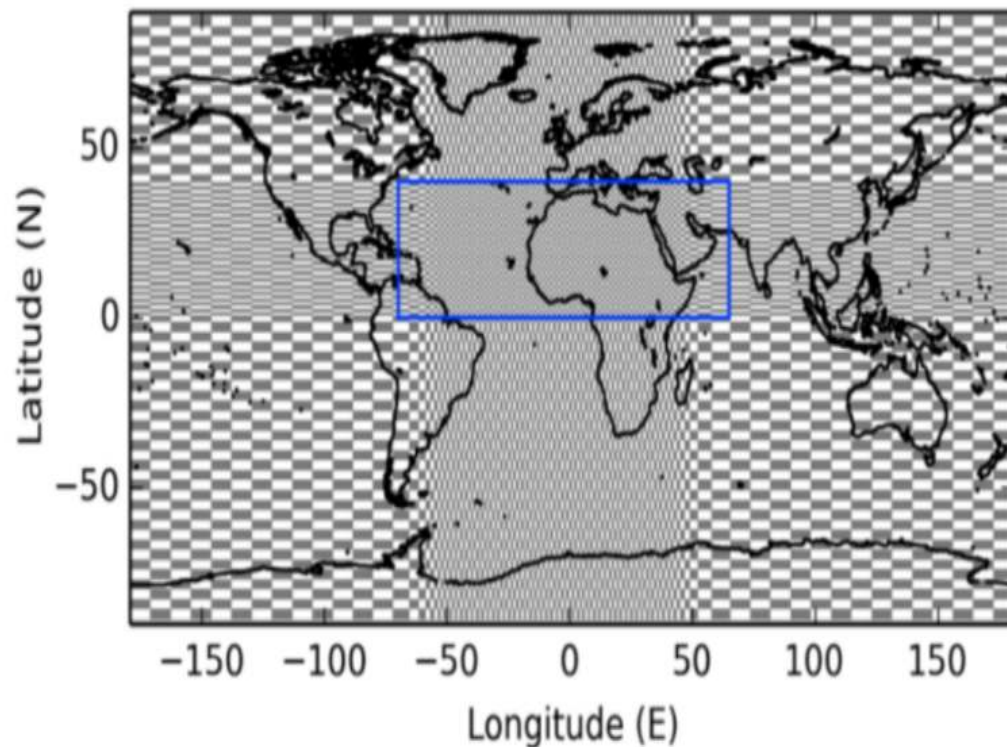
III.3.d/ Comparaisons des simulations de poussières par rapport aux observations

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



Escibano et al. (2016)

Deux simulations de poussières réalisées :

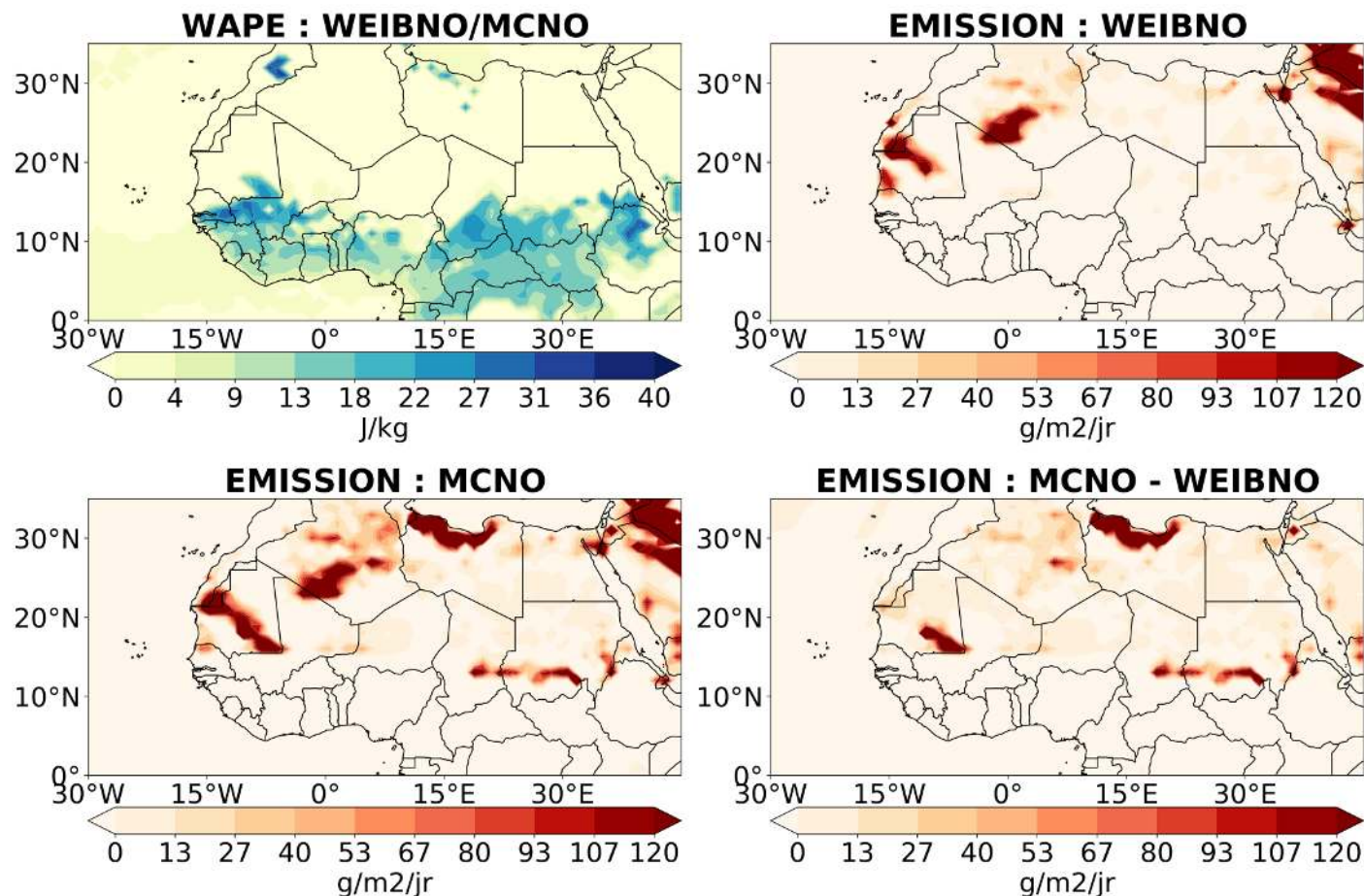
- ♦ LMDZ utilisant Weibull (WEIBNO)
- ♦ LMDZ utilisant le modèle des rafales (MCNO)

- ✓ 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 intérim
- ✓ 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

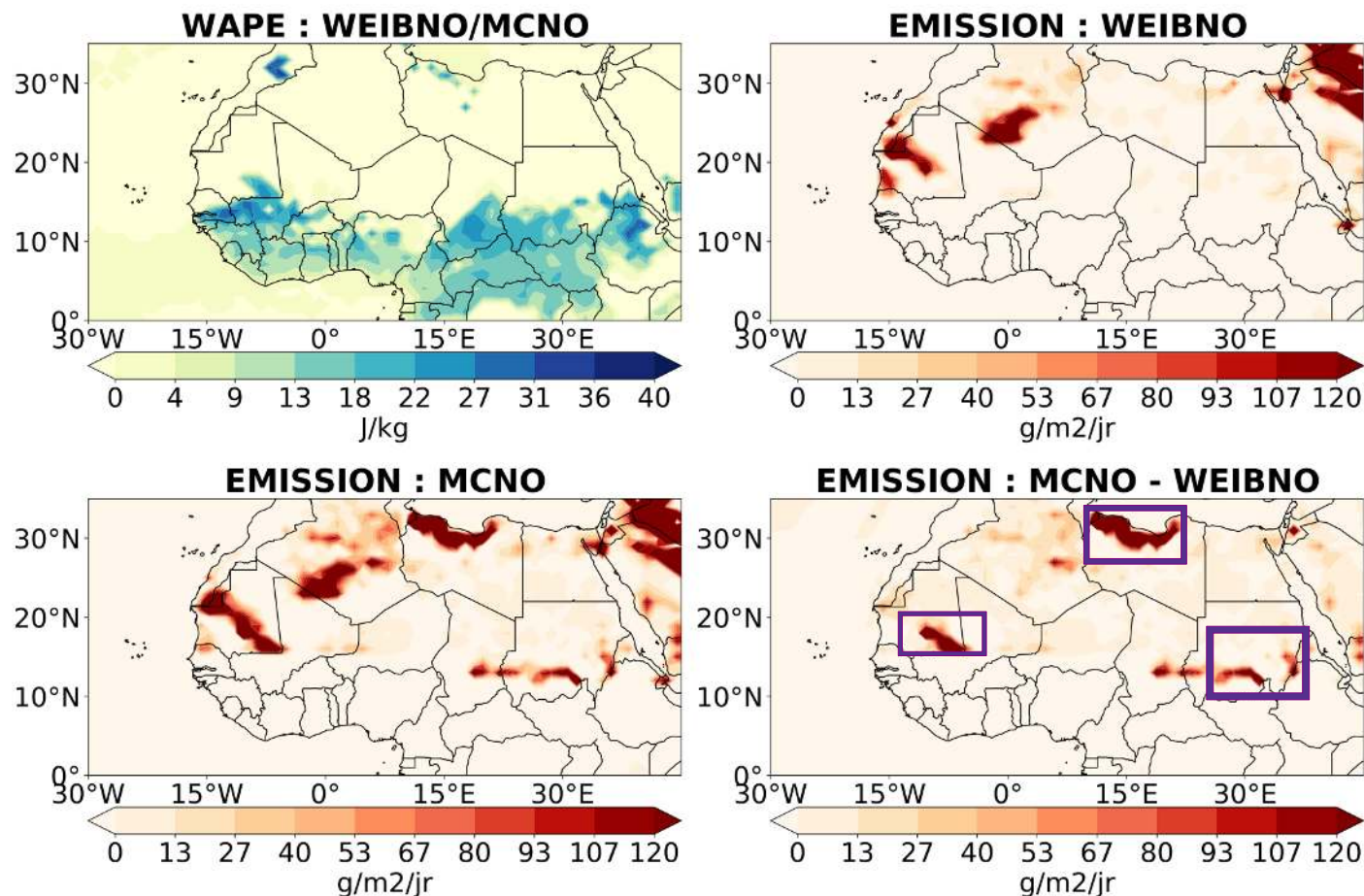
Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006



III.3/ Les simulations de poussières

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

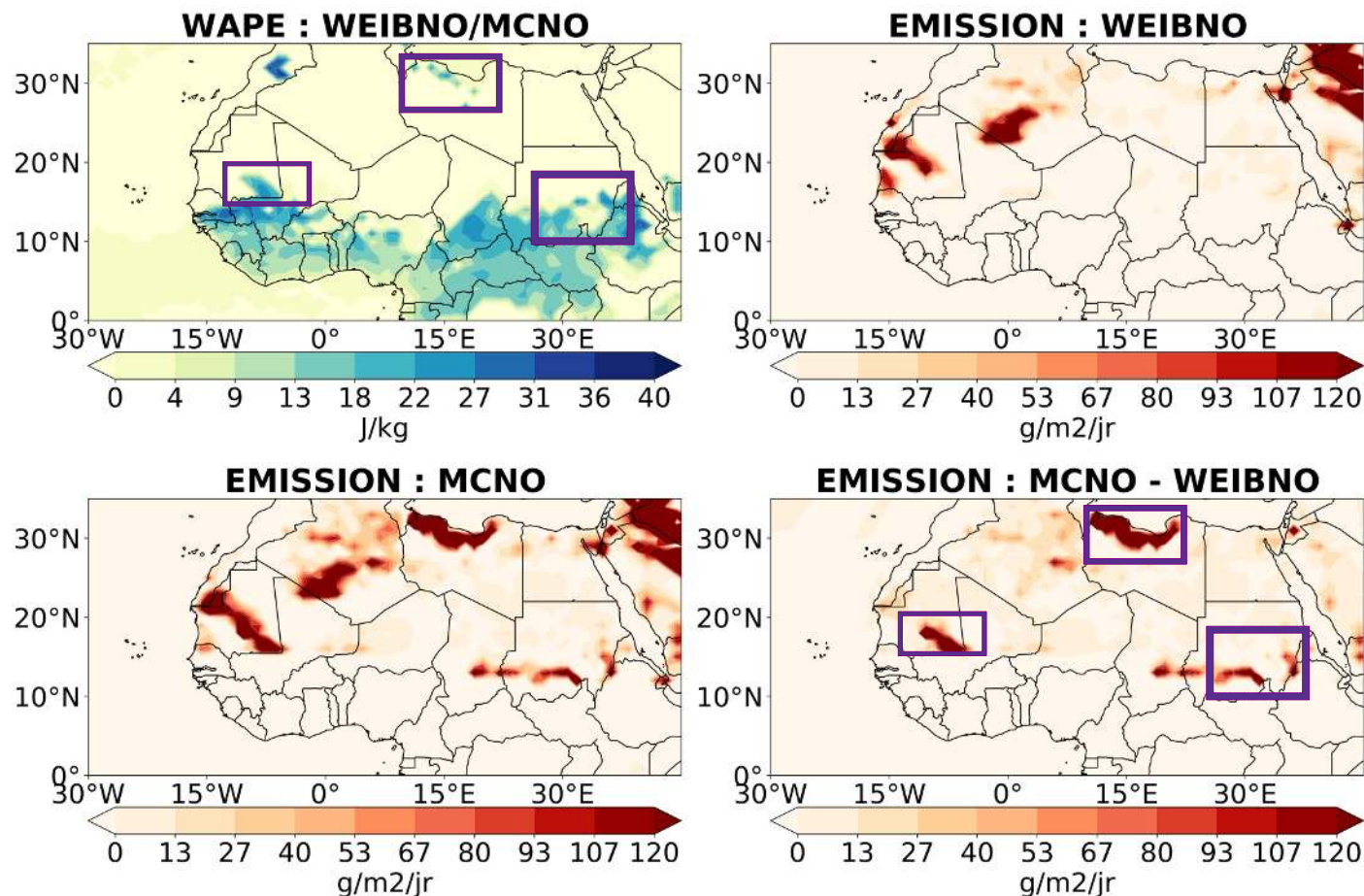
Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006



III.3/ Les simulations de poussières

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

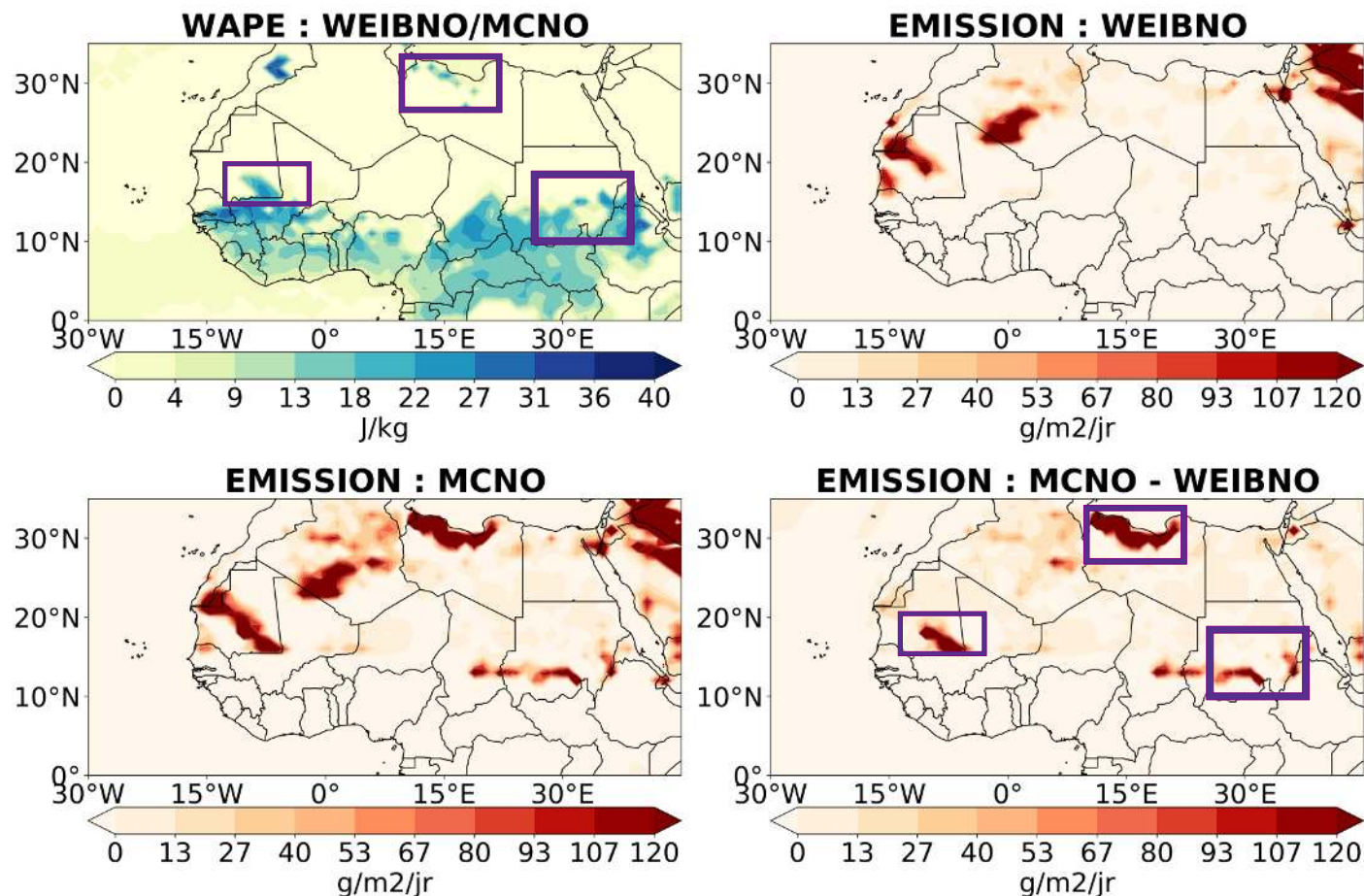
Analyse effectuée sur la journée convective du 11 juillet 2006



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

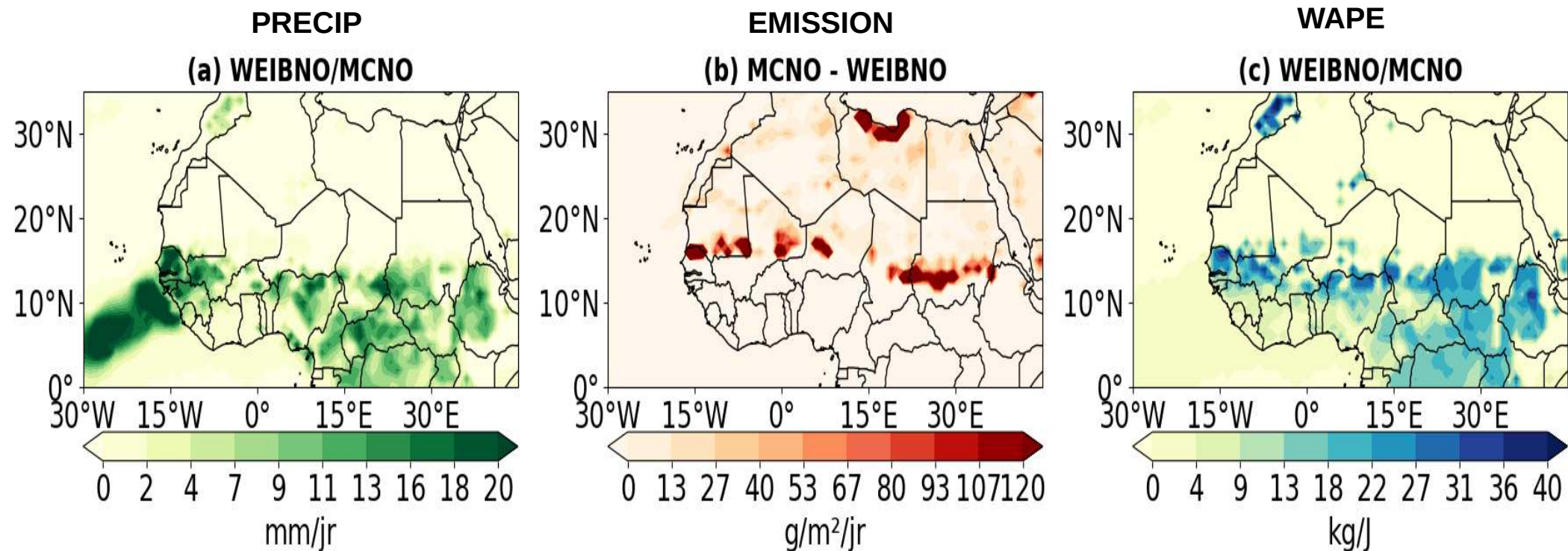


Bonne performance du schéma des rafales pour simuler les émissions liées aux poches

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

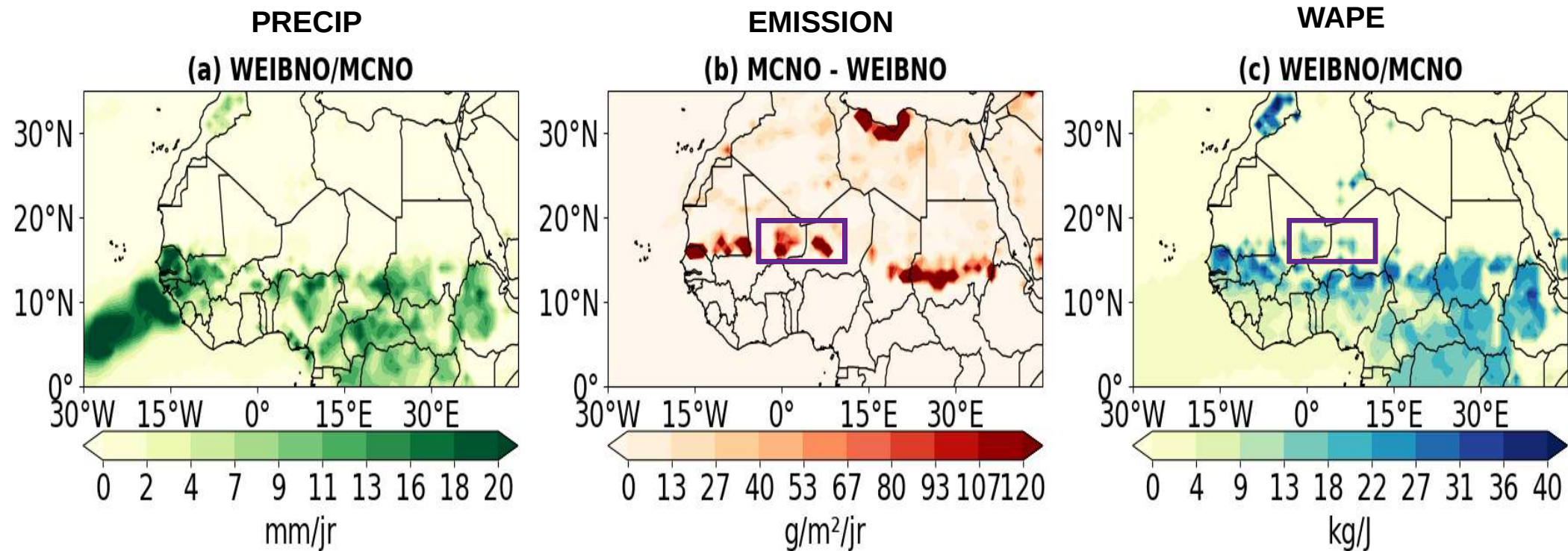


Je pense que tu peux ne montrer que le 21 juillet
En allant jusqu'aux profils de pluies.

III.3/ Les simulations de poussières

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

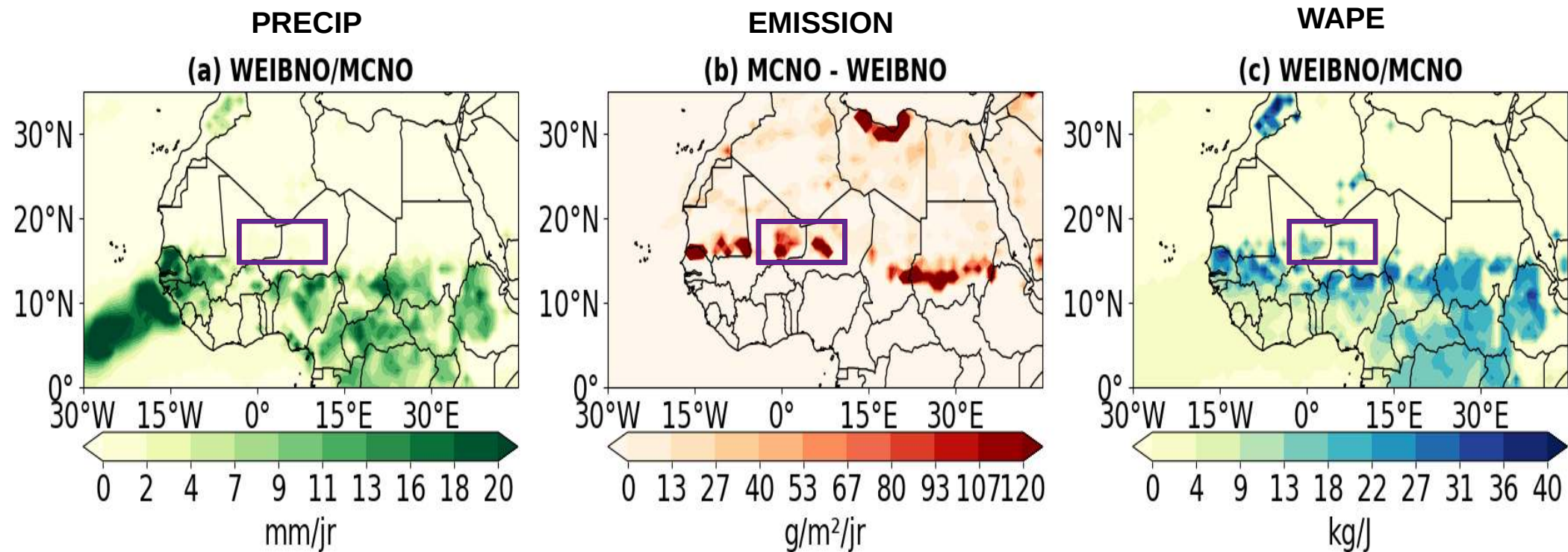
Analyse effectuée sur la journée convective du 21 juillet 2006



III.3/ Les simulations de poussières

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

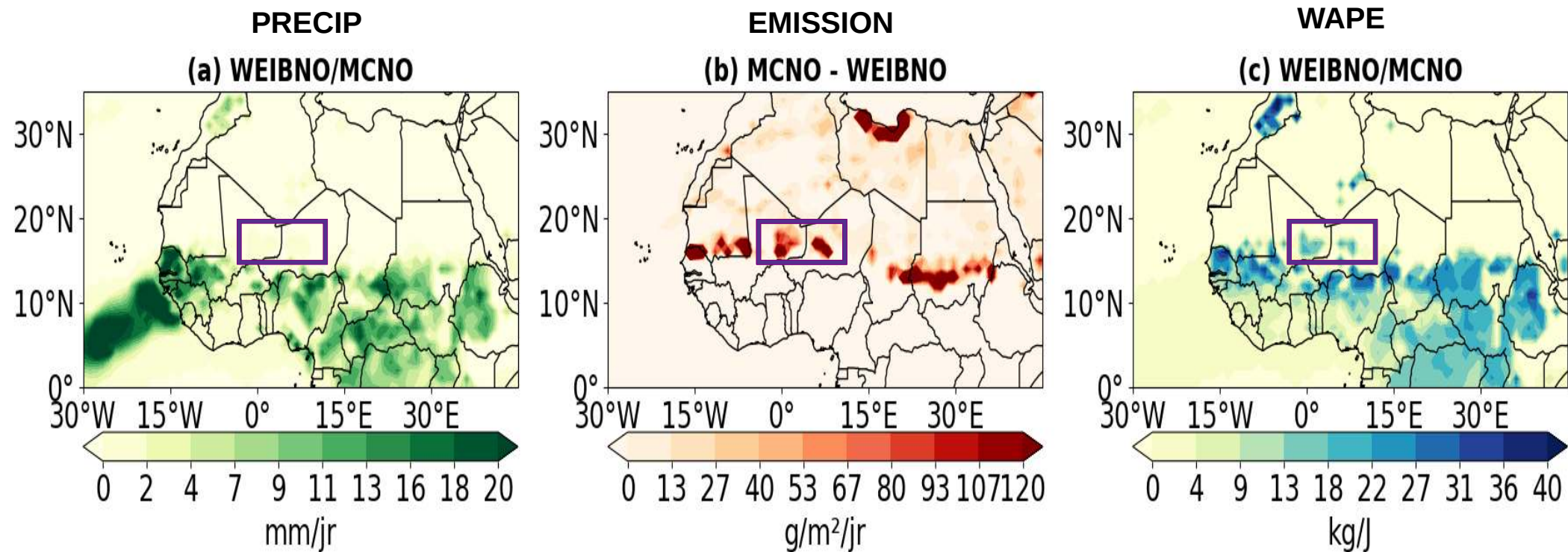
Analyse effectuée sur la journée convective du 21 juillet 2006



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

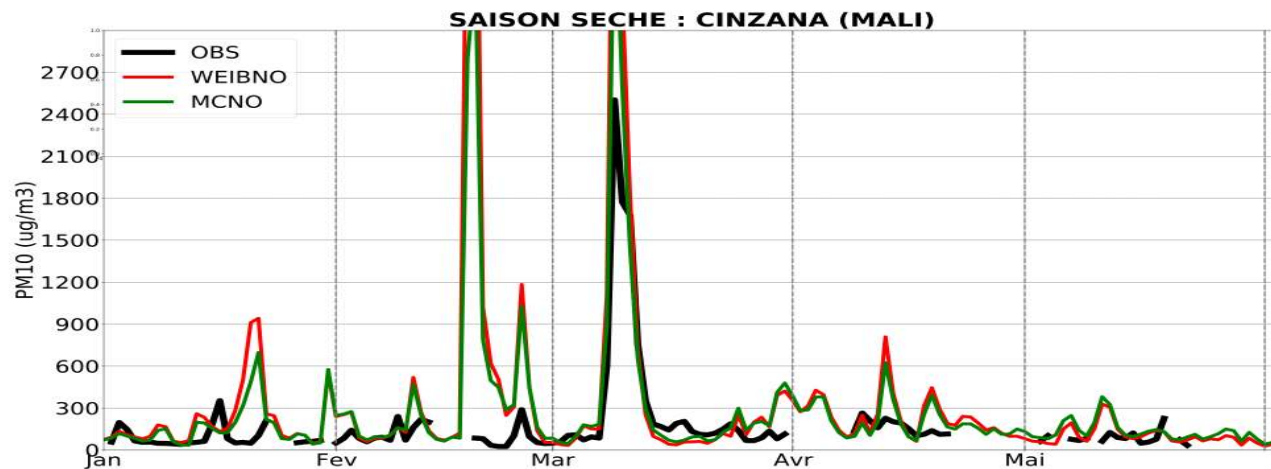


III.3/ Les simulations de poussières

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

III.3/ Les simulations de poussières

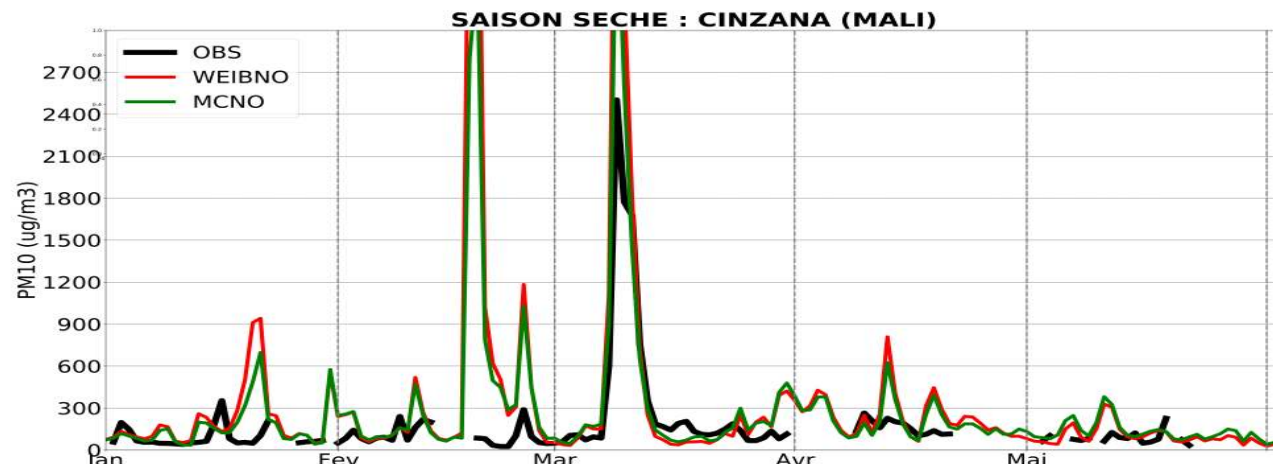
III.3.d/ Validation des simulations de poussières sur quelques stations sahéliennes



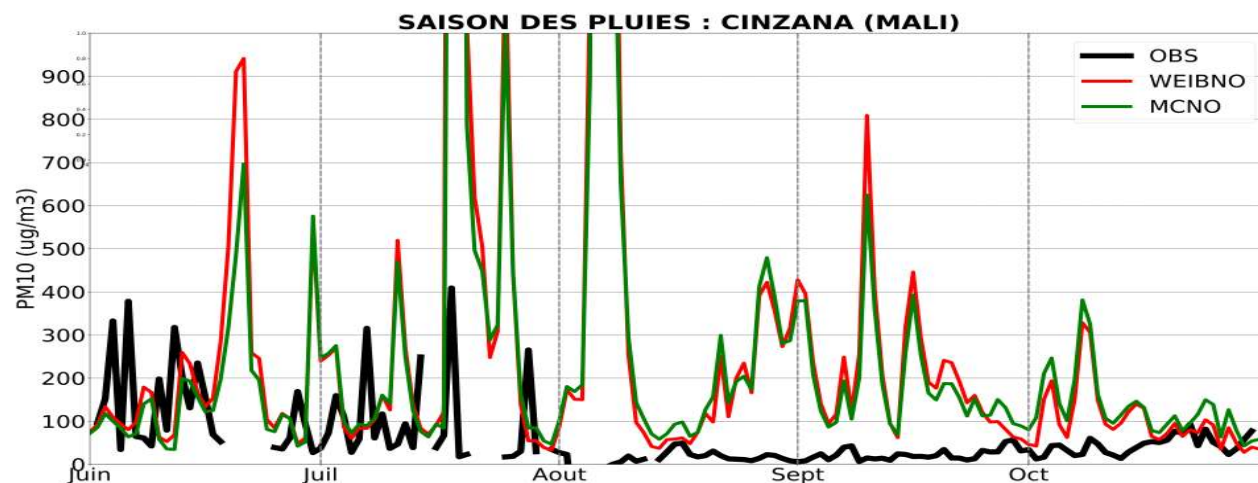
Amélioration grâce à la prise en compte des rafales liées aux thermiques.

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 ça a résolu des problèmes 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 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
- 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 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
- 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 imposée dans LMDZ.**

**seront prise en compte
dans les prochaines
simulations climatiques
avec CMIP7**

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.

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 !!!**