

Paramétrisation du soulèvement de poussières au Sahel par les poches froides

M. L. THIAM^{1,2}, F HOURDIN¹, J. Y. GRANDPEIX¹, C. RIO³ et A. T. GAYE²

¹LMD/IPSL/SU, ²LPAO-SF/ESP/UCAD, ³CNRM

Atelier de Modélisation Atmosphérique (AMAs)
9 – 11 mai 2023, Toulouse

Contexte

- ✓ Le transport de la poussière sur de longue distance a un impact sur la qualité de l'air, affecte également à la fois la météorologie (Rodewell et Jung, 2008) et le climat (Carslaw et al. 2010).
- ✓ Introduction d'un module de poussières dans les modèles de climat pour suivre le transport de types d'aérosols afin de tenir compte leurs effets.
- ✓ Un travail de développement de modèle couplant climat et aérosols désertiques est réalisé en collaboration entre le **LMD** et le **LPAO-SF** autour de plusieurs thèses (Moussa, Habib, Bineta).
- ✓ Ces travaux ont permis d'avoir de très bonnes simulations de poussières de LMDZ en saison sèche.
- ✓ Ce travail s'intéresse sur la représentation du soulèvement de poussières dans LMDZ durant la saison des pluies, particulièrement les émissions de poussières convectives appelées "haboobs".

Contexte



Les “ haboobs” sont générés par les poches froides (ou wake) créées sous les cumulonimbus par évaporation des précipitations.

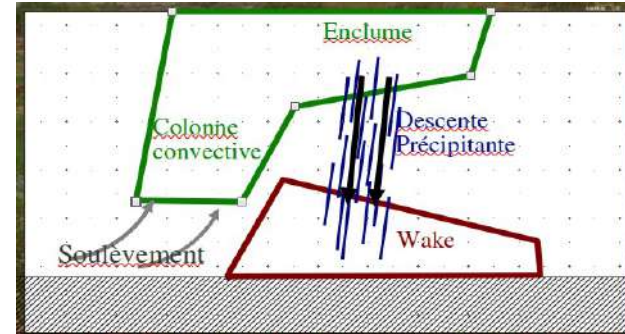


Photo d'un événement de “haboobs” au Mali en Août 2004 prise par F. Guichard et L. Kergoat

- Absence de ces types d'émissions de poussières dans la plupart des modèles de climat par manque de paramétrisation des poches froides et rafales associées (Pantillon et al. 2015)
- L'introduction de la paramétrisation des poches froides dans LMDZ a permis d'améliorer la représentation du cycle diurne des précipitations au Sahel (Rio et al. 2009)
- **Absence des rafales dans LMDZ**

Objectif

Développer une paramétrisation des rafales liées à l'étalement des poches froides afin de représenter les "haboobs" dans le modèle de climat LMDZ

Pour commencer, on va étudier les rafales sur l'océan

Données et méthodes

Notre référence sera les simulations de grand tourbillons (Large Eddy Simulations, LES) en mode équilibre radiatif convectif (RCE)

C'est quoi la LES ?

- ✓ La LES est une simulation à haute résolution permettant une représentation explicite et une description détaillée des mouvements turbulents et convectifs et des nuages associées.
- ✓ Elles sont de plus en plus utilisées pour dériver et évaluer les paramétrisations de la couche limite et de la convection.
- ✓ Elles ont servi également à comprendre les processus des poches froides et à guider leurs paramétrisations **mais jamais à les évaluer.**

Nous utilisons deux LES :

- LES réalisée avec le modèle SAM sur un domaine océanique de 200 x 200 km² avec une résolution horizontale de 200 m (simulation réalisée par Caroline Muller)
- LES réalisée avec le modèle Meso-NH sur un domaine océanique de 200 x 200 km² avec une résolution horizontale de 200 m (simulation réalisée par Catherine Rio)

Données et méthodes

Avant de passer au développement de la paramétrisation des rafales, nous allons évaluer quelques nouveaux aspects de la paramétrisation des poches froides

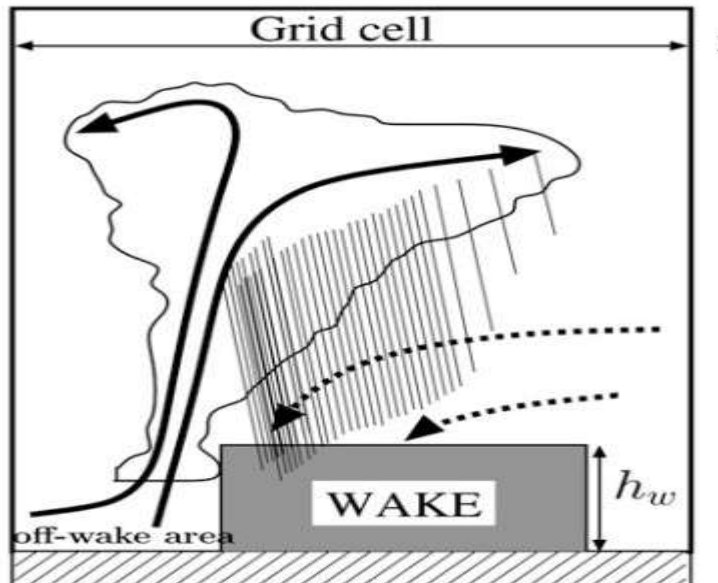
Plan de l'exposé

- 1)Présentation de la paramétrisation des poches froides
- 2)Étude des poches froides dans les LES
- 3)Confrontation entre LES et LMDZ
- 4)Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

1) Bref présentation de la paramétrisation des poches froides

Le modèle prétend décrire les situations observées où les poches sont diverses en tailles, en épaisseur, en température.

Le modèle caricature cela par une population de poches circulaires et identiques. La densité D (nombre de poches par unité de surface) est fixée.



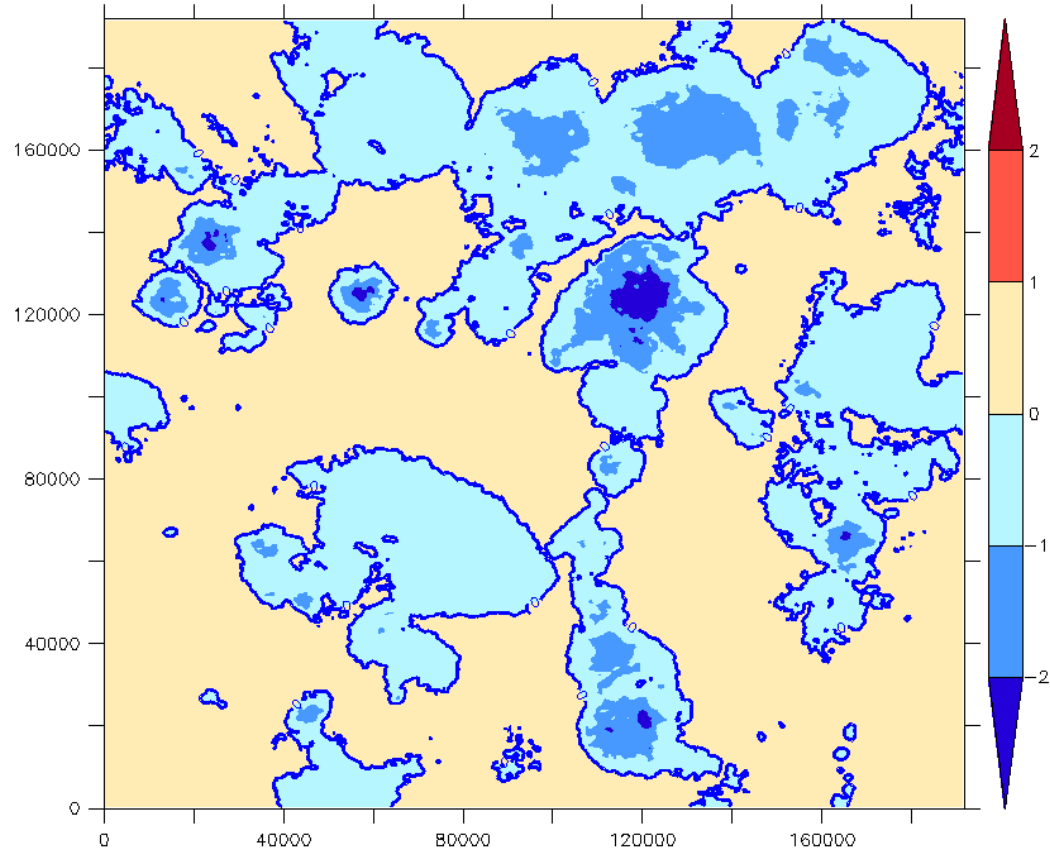
Les variables d'état du modèle sont :

- ✓ La fraction surfacique couverte par les poches froides ($\sigma = D\pi r^2$)
- ✓ Les profils des écarts de température (ΔT) et d'humidité (Δq) entre l'intérieur et l'extérieur des poches froides

Schéma conceptuel d'un courant de densité (Grandpeix and Lafore, 2010)

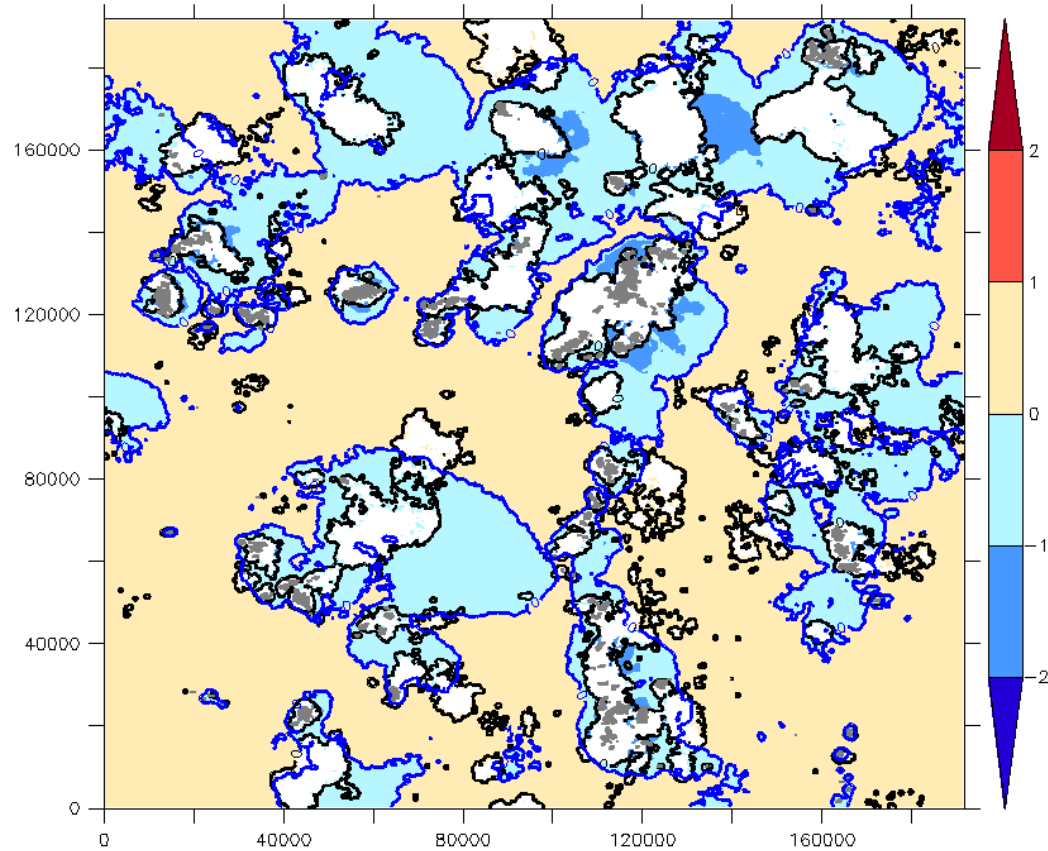
2) Étude des poches froides dans les LES

LES SAM



2) Étude des poches froides dans les LES

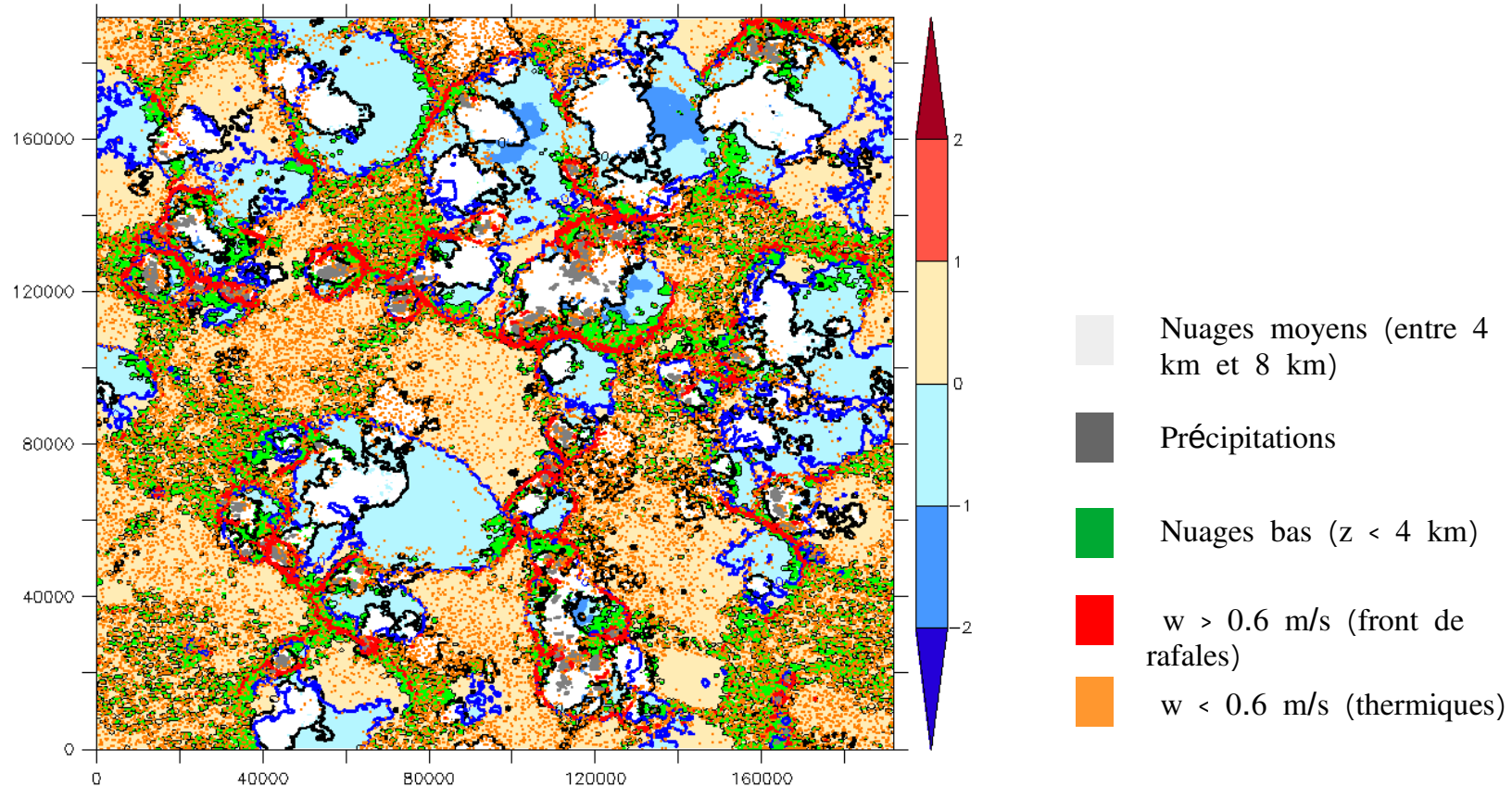
LES SAM



- Nuages moyens (entre 4 km et 8 km)
- Précipitations

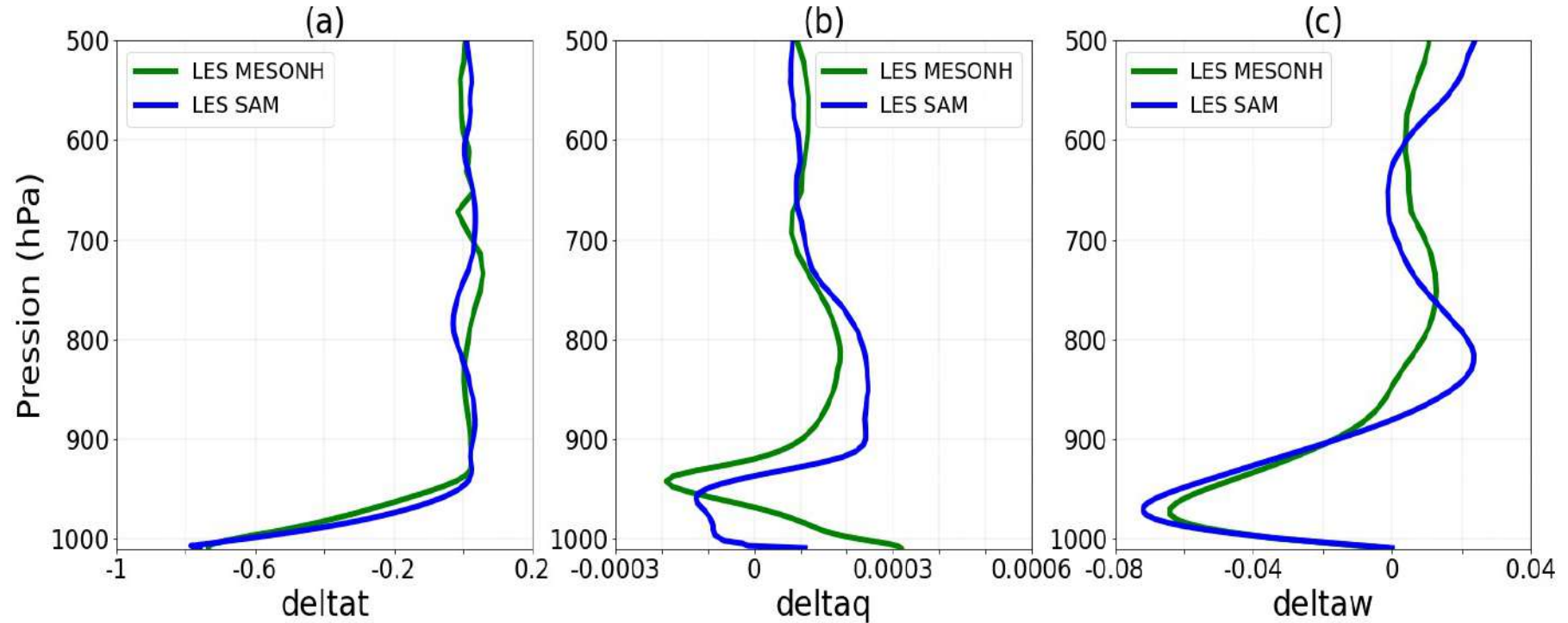
2) Étude des poches froides dans les LES

LES SAM



2) Étude des poches froides dans les LES

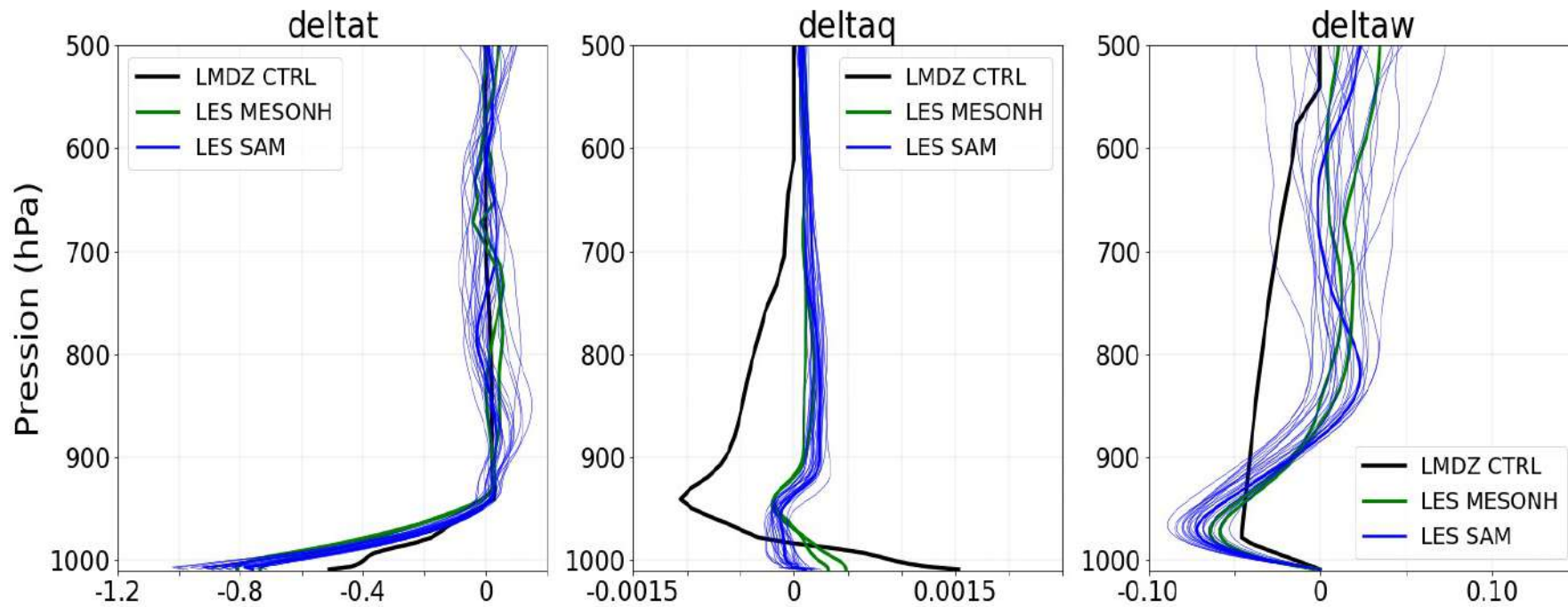
→ Profil des écarts de températures (deltat), d'humidité (deltaq) et de vitesse verticale (deltaw) entre poche et environnement dans les LES.



3) Confrontation entre LES et LMDZ

→ Évaluation de la paramétrisation des poches froides

Simulation de contrôle avec LMDZ 1D sur le cas rce_oce_les avec exactement les mêmes conditions initiales et aux limites que les LES



3) Confrontation entre LES et LMDZ

→ Amélioration de la paramétrisation des poches froides

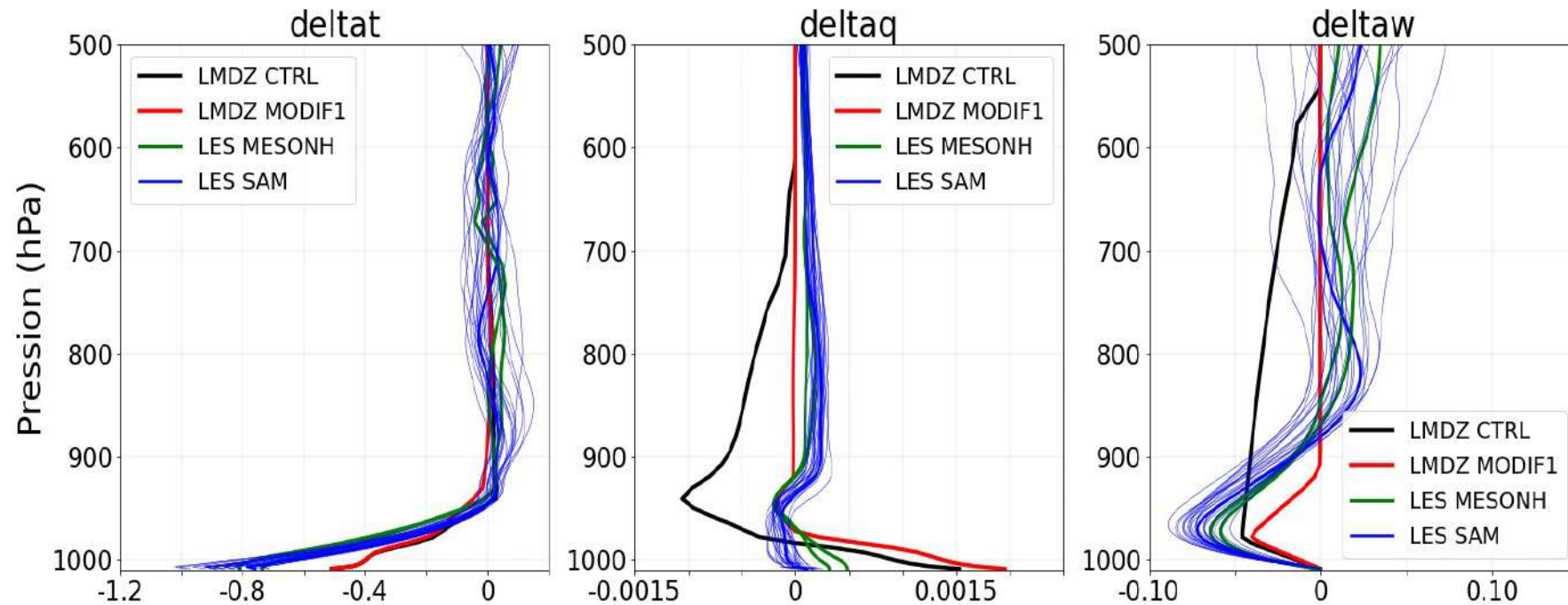
Nous avons apporté deux modifications :

- 1) La baisse de l'altitude maximum de subsidence des masses d'air à une hauteur égale à trois fois de l'altitude du sommet de la poche
- 2) Activation du traitement différencié de la couche limite turbulente et du flux de surface entre l'intérieur et l'extérieur des poches

3) Confrontation entre LES et LMDZ

→ Amélioration de la paramétrisation des poches froides

Simulation de LMDZ 1D avec la première modification

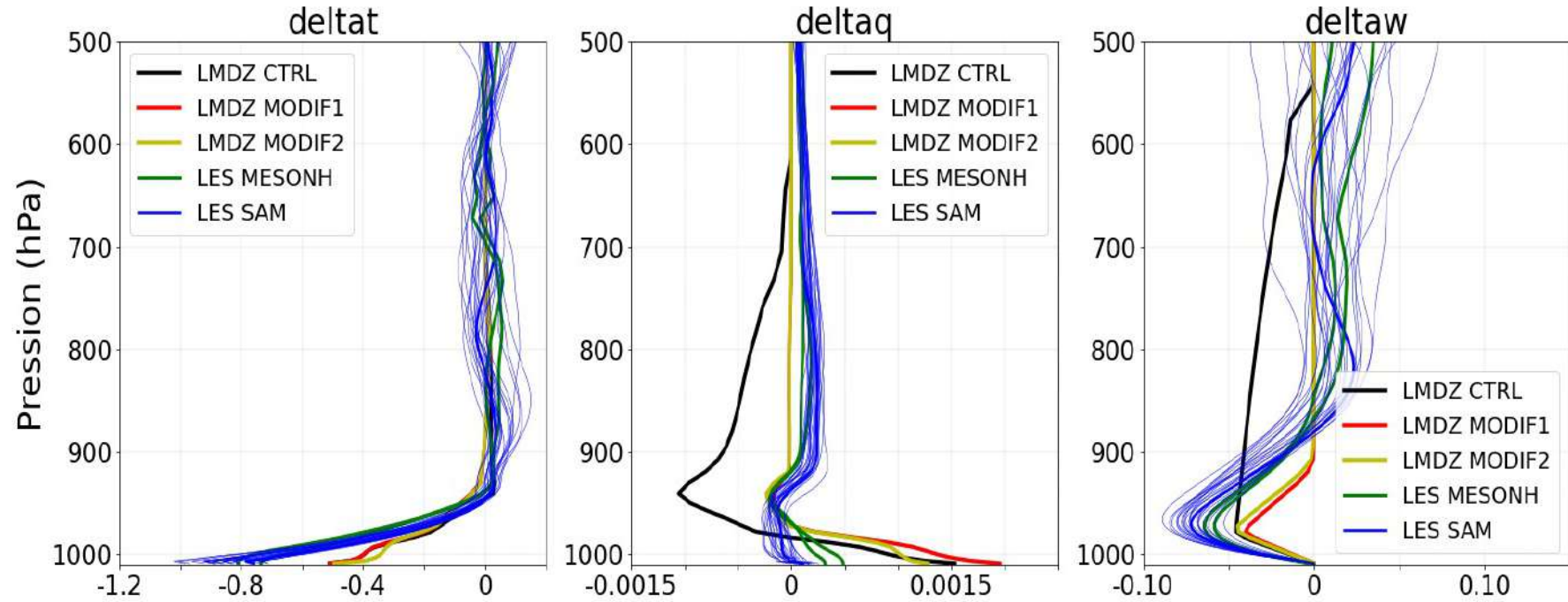


Une meilleure représentation de deltaq au sommet de la poche dans LMDZ MODIF1

3) Confrontation entre LES et LMDZ

→ Amélioration de la paramétrisation des poches froides

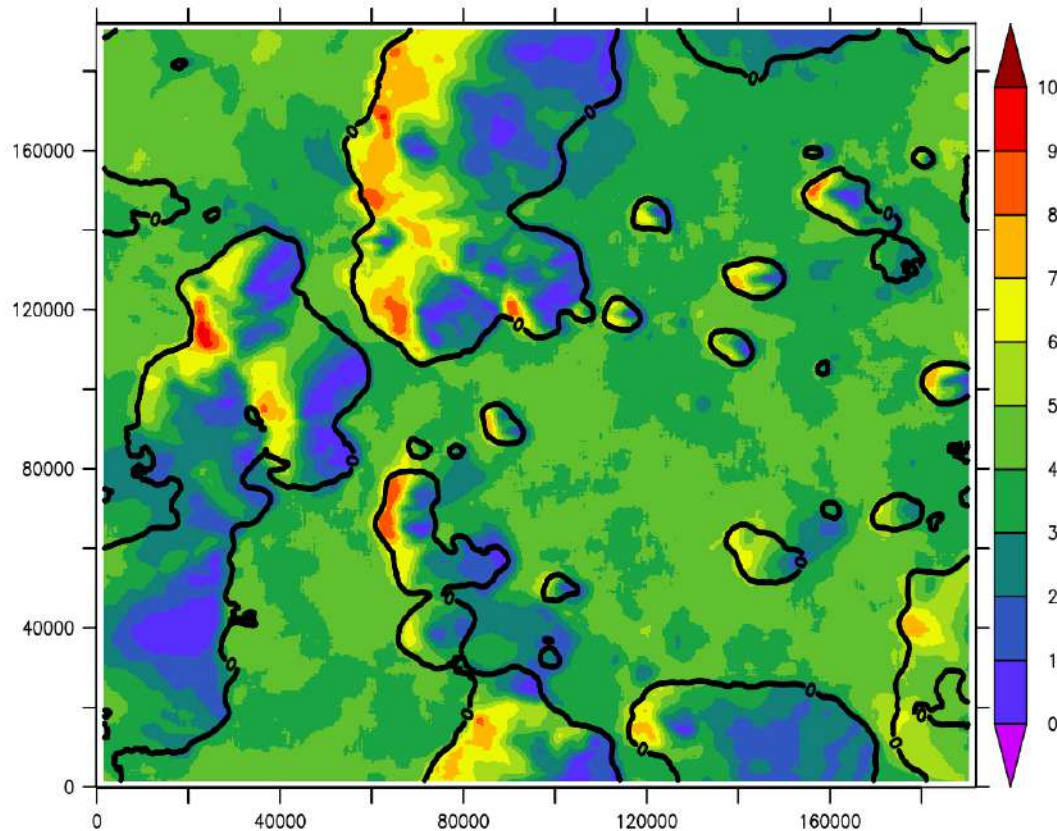
Simulation de LMDZ 1D avec les deux modifications



Cette nouvelle paramétrisation va être utilisée pour le soulèvement de poussières

4) Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

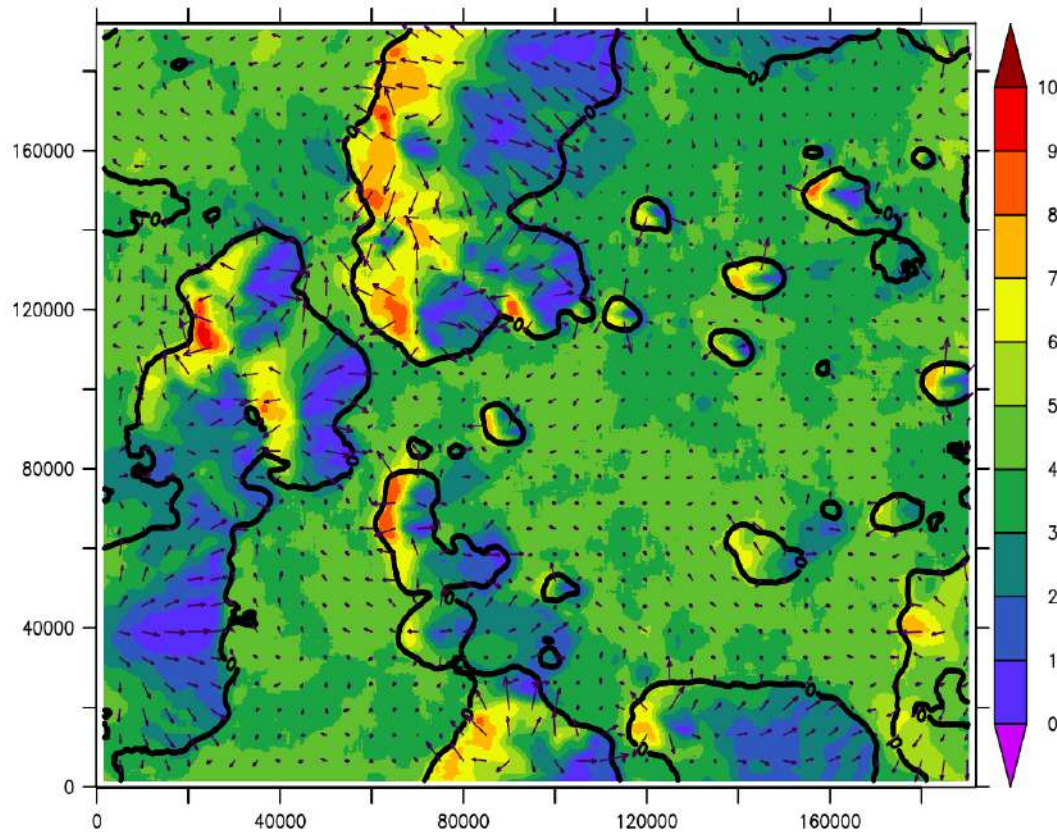
→ Distribution spatiale du module du vent à 10 m dans la LES SAM sur un instantané



Des vents plus forts que le vent moyen à l'avant de la poche (1) et plus faibles que le vent moyen à l'arrière de la poche (2).

4) Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

→ Distribution spatiale du module du vent à 10 m dans la LES SAM sur un instantané

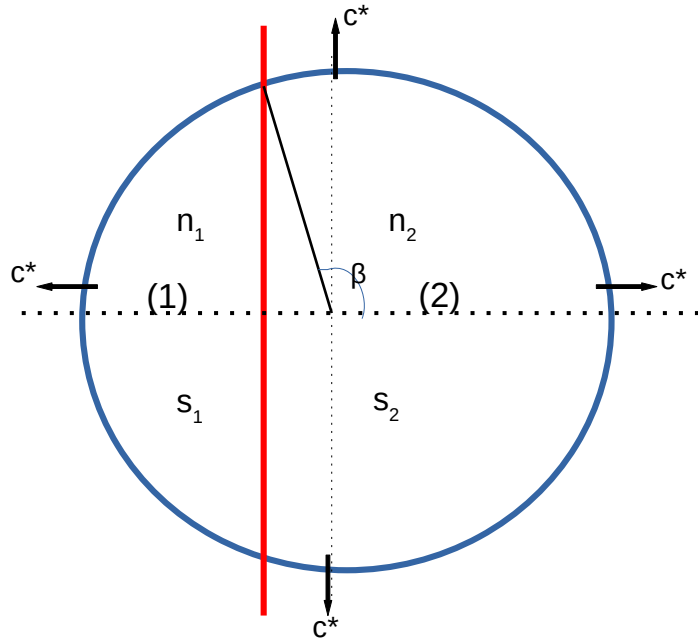


Des vents plus forts que le vent moyen à l'avant de la poche (1) et plus faibles que le vent moyen à l'arrière de la poche (2).

Un modèle de distribution de vent qui est la somme d'un vent radial et d'un vent turbulent

4) Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

→ Modèle de distribution du vent



vent dans la poche = vent moyen + vent radial + deux perturbations gaussiennes σ_1 dans (1) et σ_2 dans (2)

Les composantes u et v du vent radial moyen sur chaque région :

$$u_1 = -4c^*\sin^3\beta/(3(2\pi-2\beta+\sin(2\beta)))$$

$$u_2 = 4c^*\sin^3\beta/(3(2\beta-\sin(2\beta)))$$

$$v_{n1} = 2c^*(1+\cos\beta)^2(2-\cos\beta)/(3(2\pi-2\beta+\sin(2\beta)))$$

$$v_{n2} = 2c^*(1-\cos\beta)^2(2+\cos\beta)/(3(2\beta-\sin(2\beta)))$$

$$v_{s1} = -v_{n1}$$

$$v_{s2} = -v_{n2}$$

La fraction surfacique couverte par (2) est

$$\alpha = (2\beta-\sin(2\beta))/2\pi$$

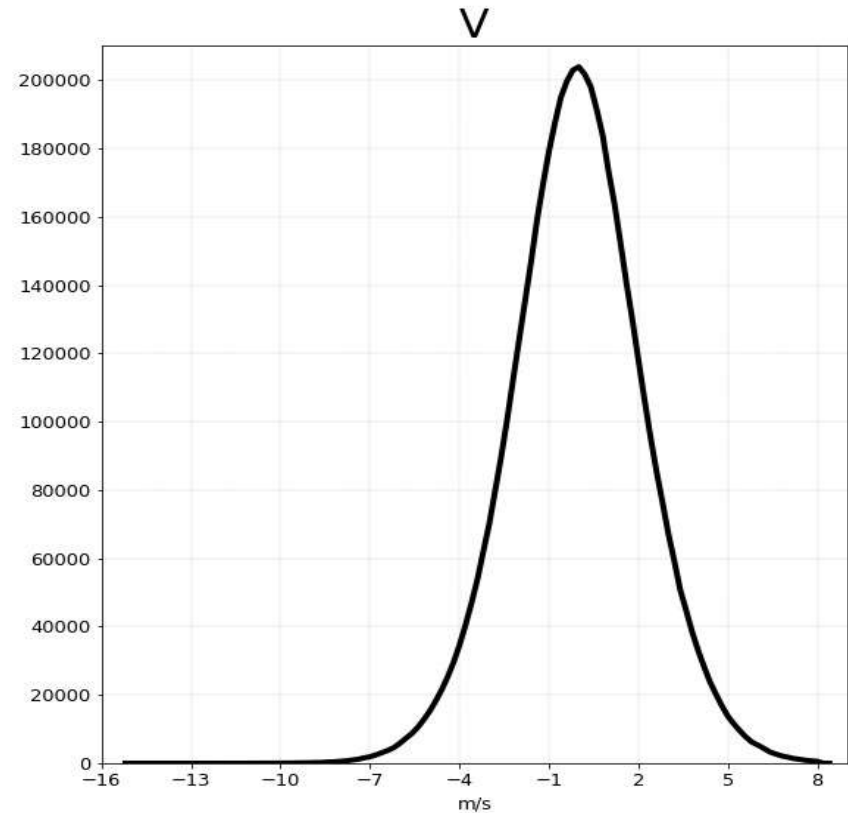
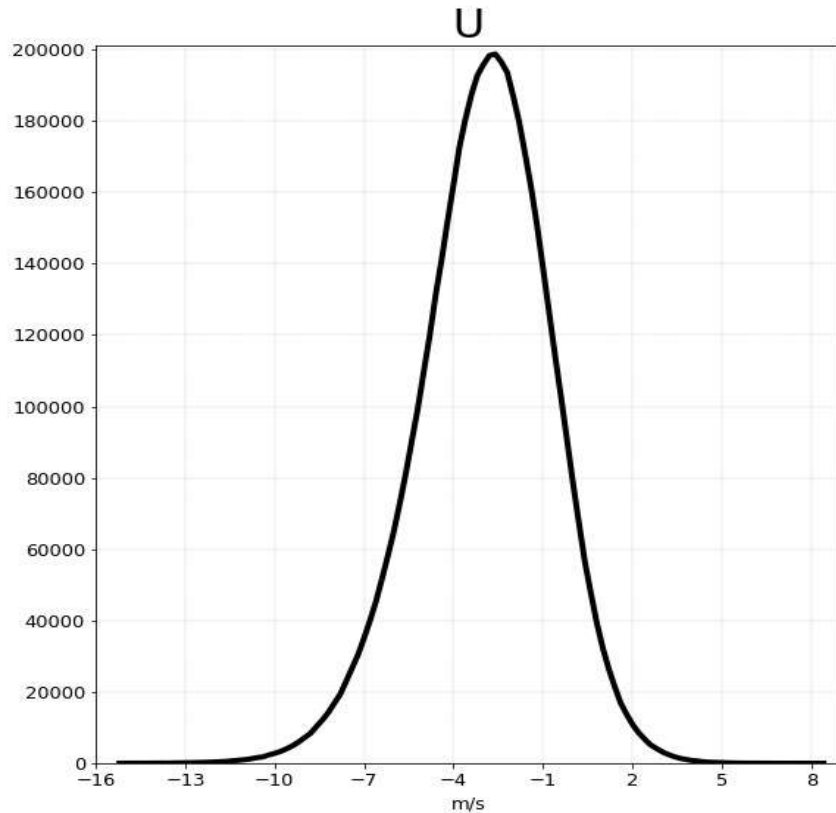
$$P(u) = (1-\alpha)G(u|\bar{u}_1;\sigma_1) + \alpha G(u|\bar{u}_2;\sigma_2)$$

$$P(v) = 0.5[(1-\alpha)G(v|v_{n1};\sigma_1) + \alpha G(v|v_{n2};\sigma_2)] + 0.5[(1-\alpha)G(v|v_{s1};\sigma_1) + \alpha G(v|v_{s2};\sigma_2)]$$

→ Minimisation de l'écart entre les distributions de u et v du modèle et celles de la LES

4) Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

→ Distributions de u et v à l'intérieure des poches dans la LES SAM (moyenne sur 24 instantanées)

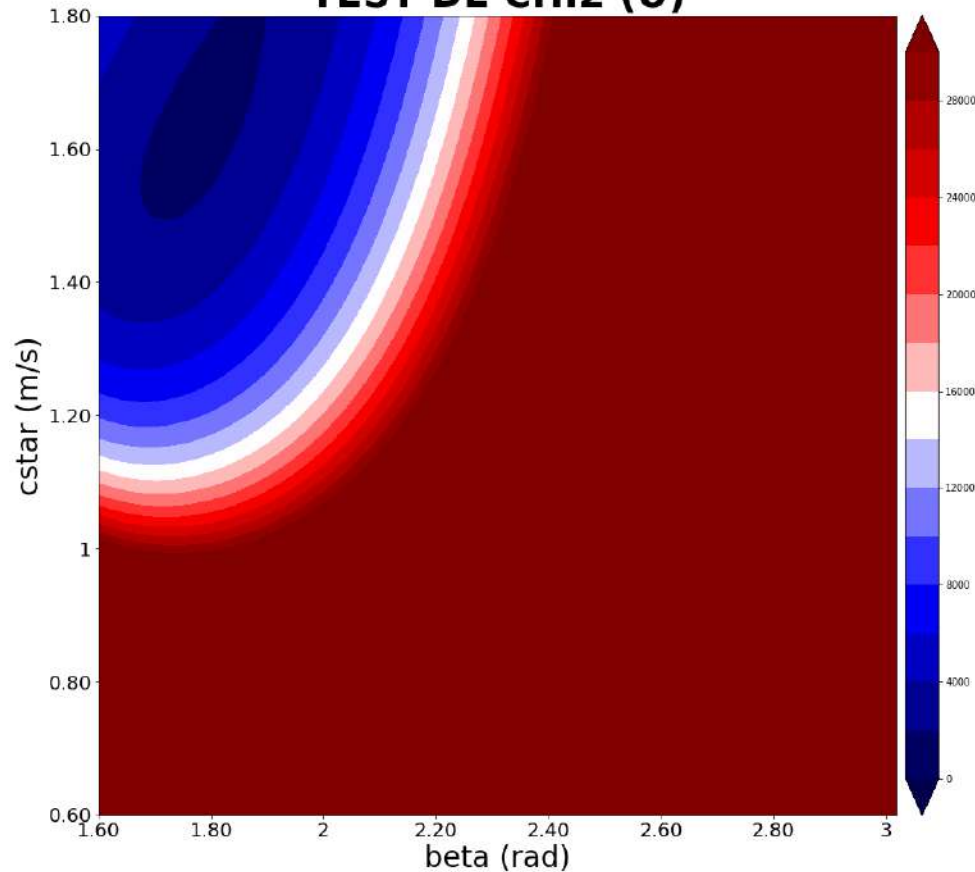


Pour déterminer les distributions de u et v à l'intérieure des poches dans le modèle de distribution du vent, nous avons deux inconnus qui sont c^* et β

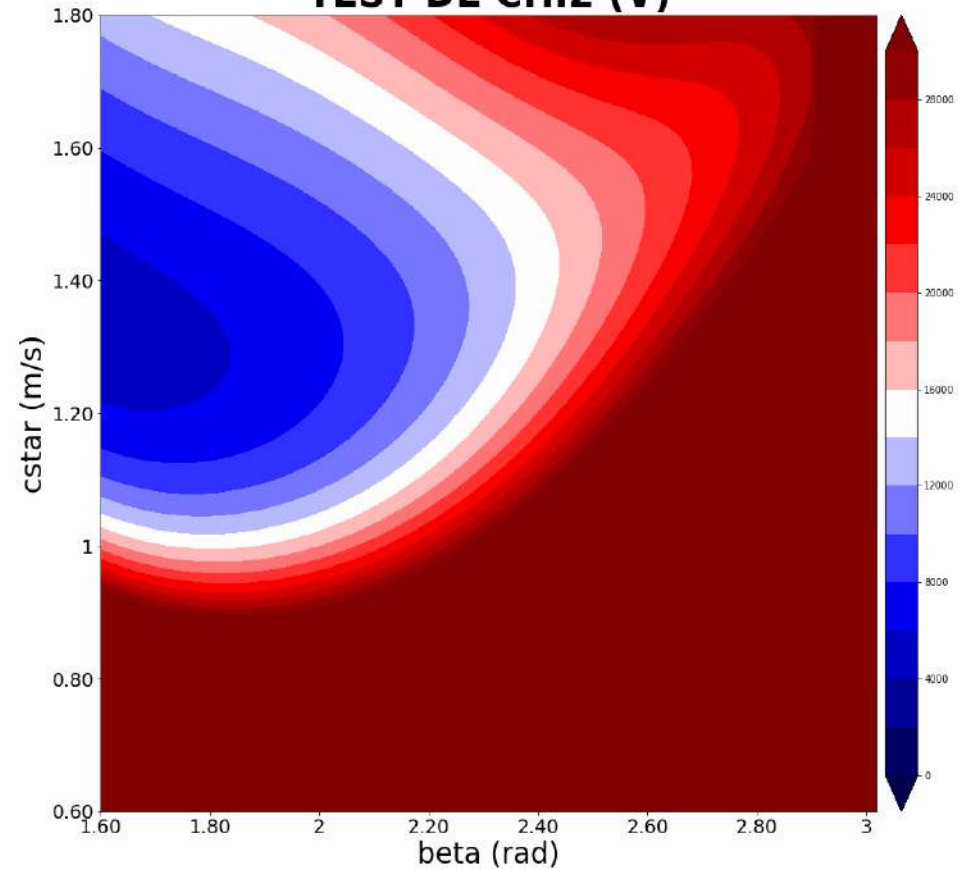
4) Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

$$\text{Chi2} = \Sigma(\text{LES} - \text{modèle})^2 / \text{modèle}$$

TEST DE CHI2 (U)

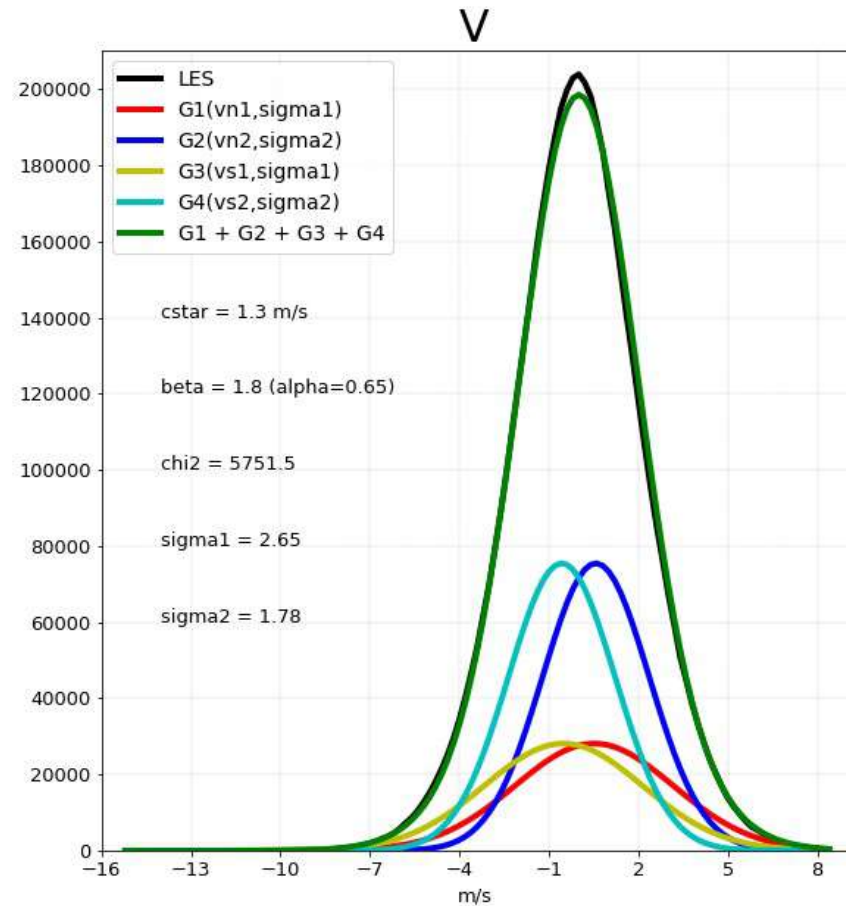
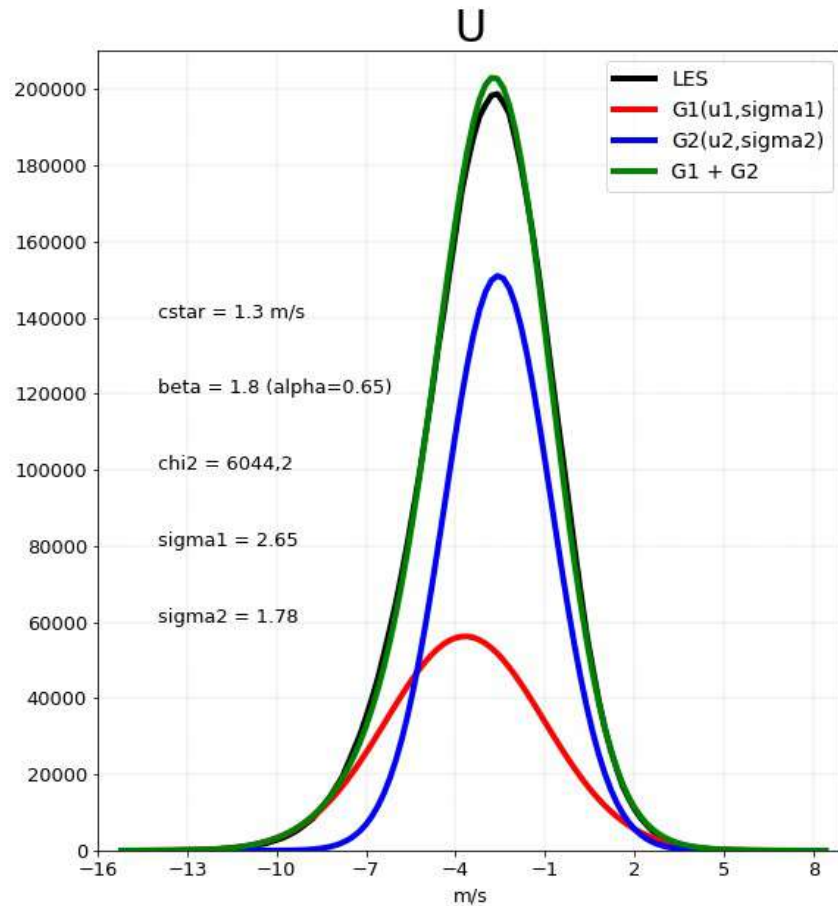


TEST DE CHI2 (V)



4) Paramétrisation des rafales associées aux poches froides

→ Distribution de u et v à l'intérieure des poches dans la LES et dans le modèle de distribution du vent



Conclusions

- Nous avons amélioré la paramétrisation des poches froides par rapport aux LES.
- Le modèle de distribution du vent donne des distributions de vent à l'intérieur des poches froides qui collent bien avec celles des LES pour $\beta = 1.8$ rad (i.e $\alpha \sim 65$ %) et $c^* > 1.3$ m/s.

Perspectives

- Étude du module du vent
- Paramétrisation :
 - × C^* est donnée par la paramétrisation des poches froides
 - × α imposée à 0.65 (i.e $\beta = 1.8$ rad)
 - × Comment faire avec σ_1 et σ_2 ?
- Tester le modèle de distribution du vent dans LMDZ en se focalisant sur les soulèvement de poussières durant la saison des pluies au Sahel.

Merci de votre attention !!!