

De la modélisation du cycle diurne et des bourrasques de vent au Sahel, et de leur prise en compte pour le soulèvement des poussières désertiques

Frédéric Hourdin¹, Moussa Gueye², F. Binta Diallo¹, Catherine Rio¹, J. Yves Grandpeix¹, Françoise Guichard³, Jean-Louis Dufresne¹, Jeronimo Escribano¹, Laurent Menut¹, Béatrice Marticoréna⁴

¹ Laboratoire de Météorologie dynamique, CNRS/IPSL/UPMC, paris, france

² Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan Siméon Fongang, UCAD, Dakar, Sénégal

³ CNRM-GAME, CNRS, Toulouse, France

⁴ LISA, Université Diderot-Paris 7, Créteil, France

I. Contexte et modèle

II. Effet des thermiques sur le cycle diurne du vent et l'émission.

III. Prise en compte des fronts de rafales associés à la convection profonde

I. Contexte et modèle

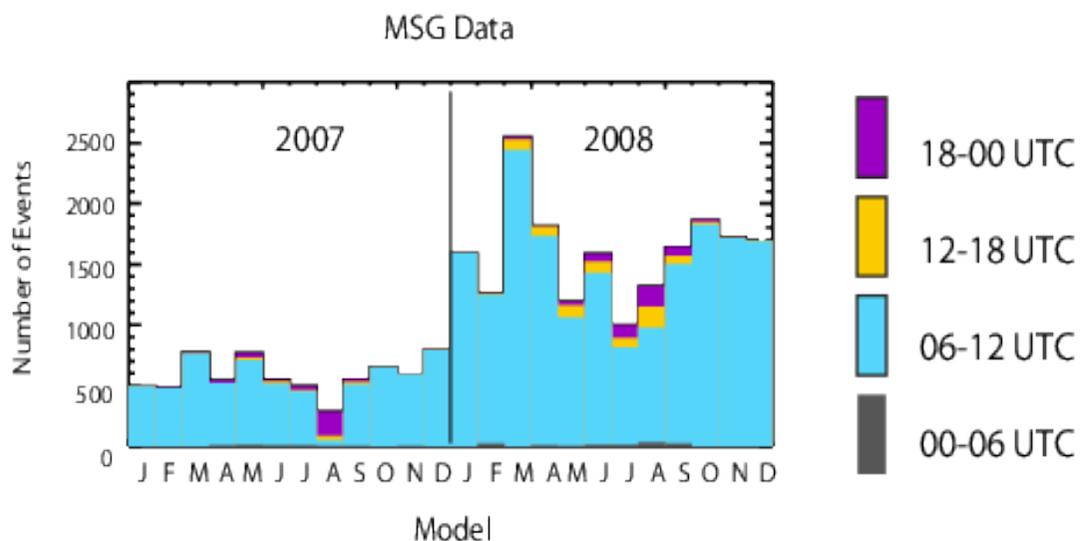
Motivation : Prise en compte des poussières Sahélo-sahariennes dans un modèle de climat

- Couplage entre système de Mousson et poussières
- Contribution aux vagues de chaleur ?
- Utilisation des données de flux de surface pour l'évaluation des modèles

Caractéristique des émissions de poussières dans la régions Sahélo-saharienne

Les émissions de poussières on lieu majoritairement le matin.
En lien avec un maximum de vent le matin

Les émissions associées aux poches froides pourraient contribuer à 30-50 % des émissions.



I. Contexte et modèle

La configuration utilisée pour l'étude

- Modèle global de climat LMDZ, zoomé sur l'Afrique
- Versions Standard (SP) et Nouvelle (NP) Physique
- Guidage par les réanalyses ERA-Interim

$$\frac{\partial X}{\partial t} = M(X) + \frac{X^a - X}{\tau} \quad X = u \text{ et } v, \tau = \text{qq heures}$$

- Branchement des émissions de Chimere-dust (Marticorena, Bergametti et al., fourni par Laurent Menut).

- émissions très non linéaires en vent.

$$F_h = \frac{K \rho_a}{g} U^{*3} \left(1 - \frac{U^* Th}{U^*}\right) \left(1 + \frac{U^* Th}{U^*}\right)^2$$

- Couplage à partir de U10m. Utilisation d'une distribution de Weibull P(U), $0 < U < 2 * U_{10m}$

- Poussières transportées : 12 bins en taille.

- On tient compte du dépôt sec et du lessivage mais pas de la rétroaction radiative sur le climat.

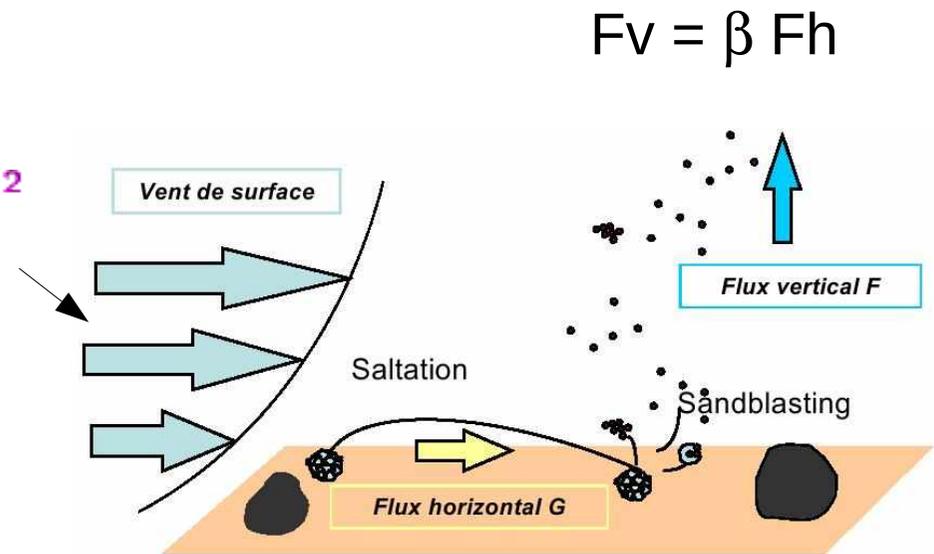
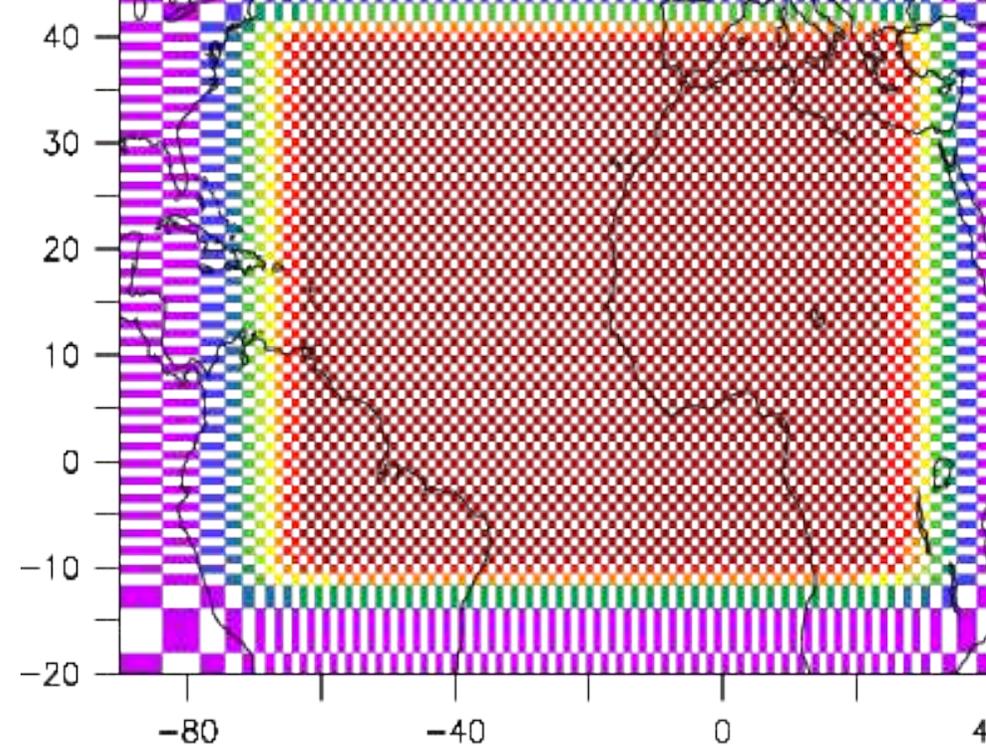


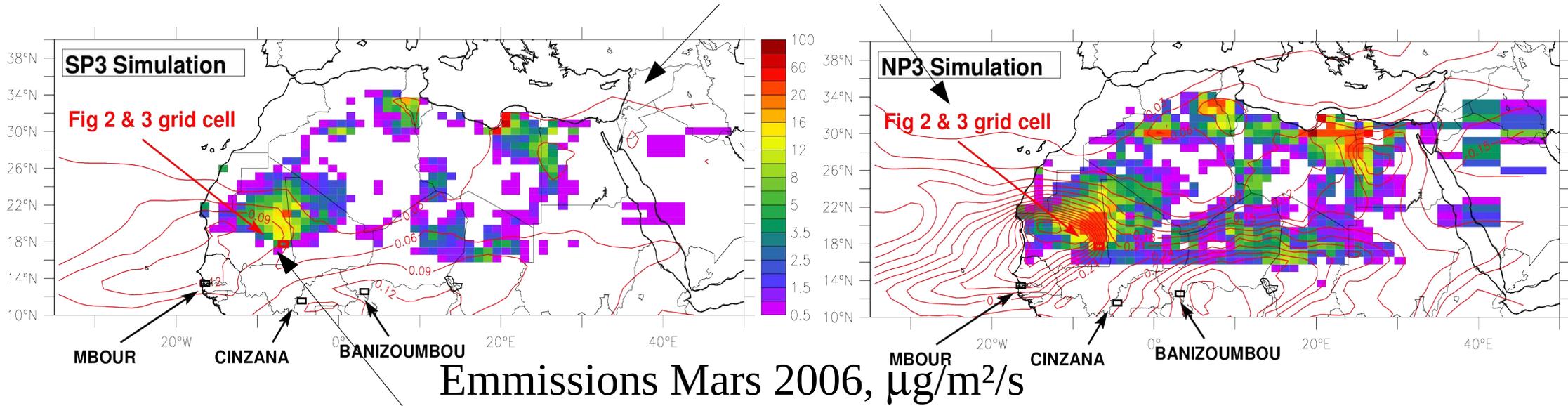
Figure4: Schéma du principe d'émission des aérosols désertiques (extrait de la thèse de BENOIT Laurent)

II. Thermiques, cycle diurne du vent et émissions

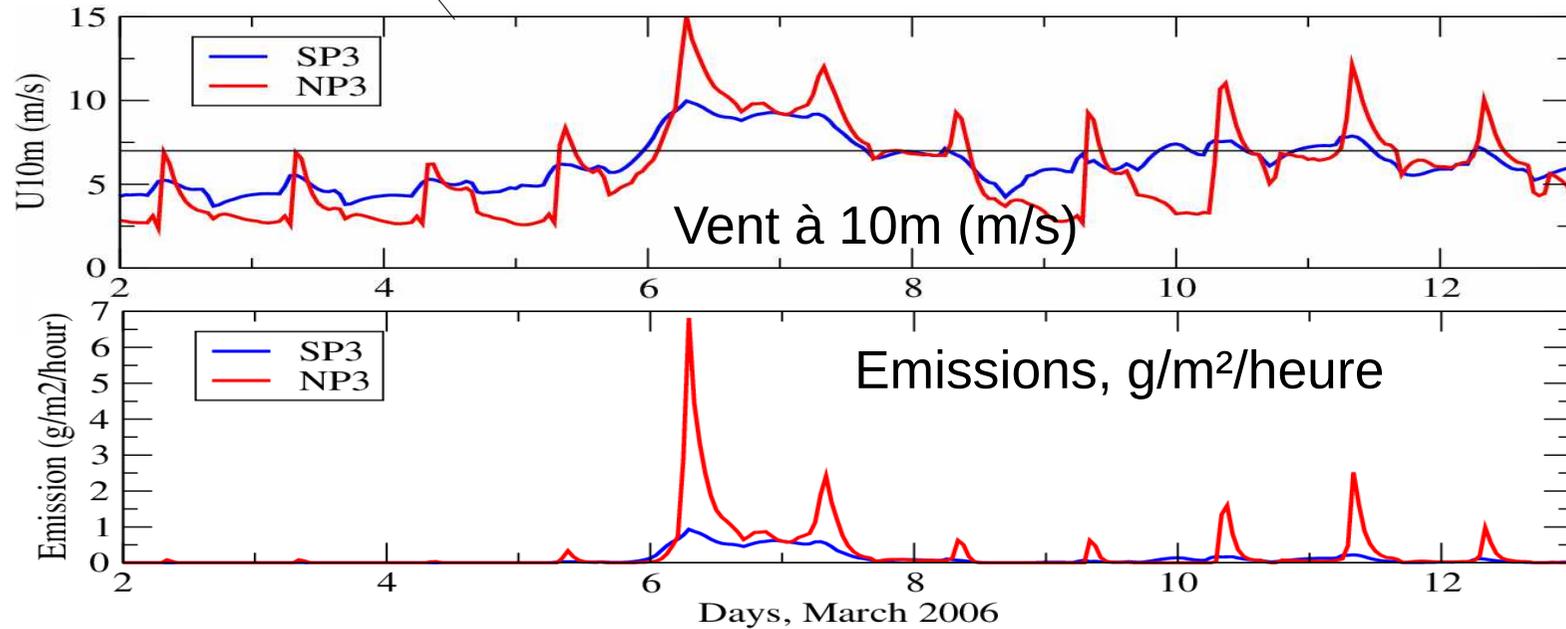
Mars 2006

Guidage de u et v à 3 heures

Simulations physique **standard** et **nouvelle**



Émissions Mars 2006, $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$



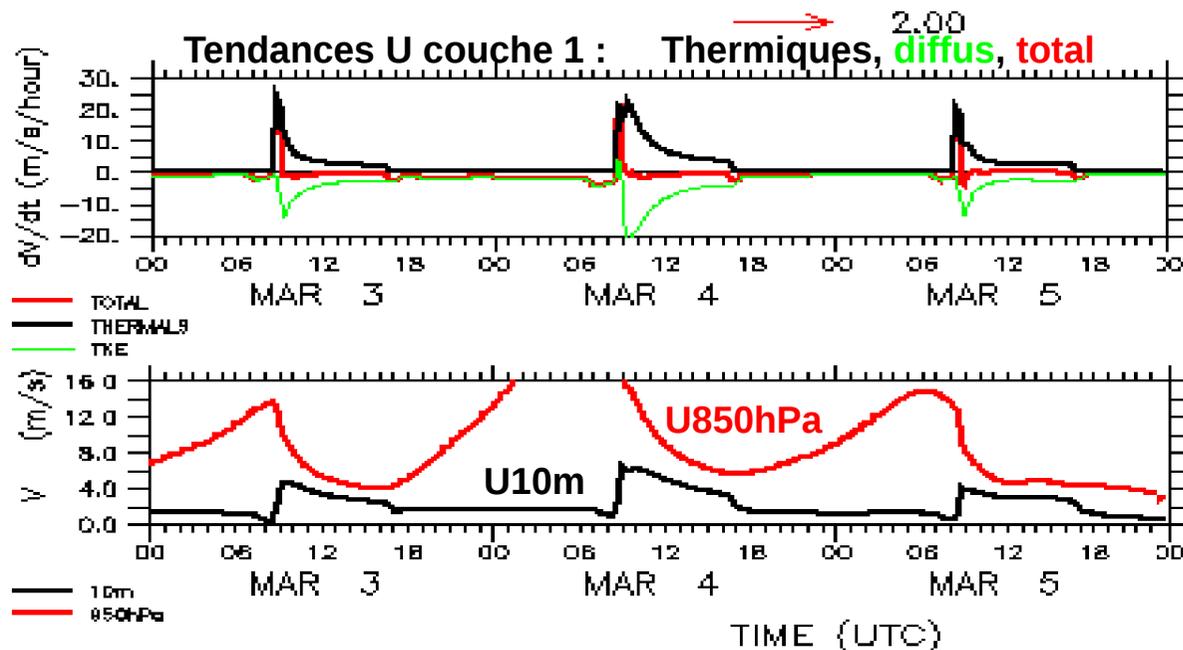
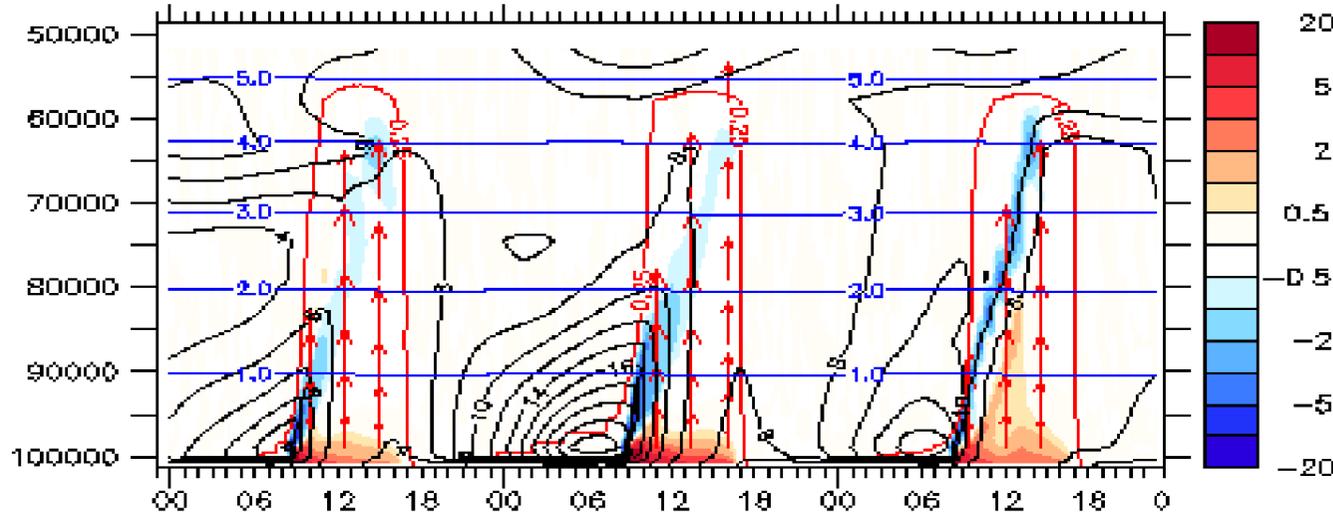
Vent à 10m (m/s)

Emissions, $\text{g}/\text{m}^2/\text{heure}$

Days, March 2006

II. Thermiques, cycle diurne du vent et émissions

Couleurs : Tendances des « thermiques »
 (transport non local) sur $\|V\|$ (m/s/jour)
 Contours noirs : $\|V\|$ (m/s)
 W thermiques (flèches rouges)



Conservation dans le panache

$$\frac{\partial f}{\partial z} = e - d, f = \rho \alpha w$$

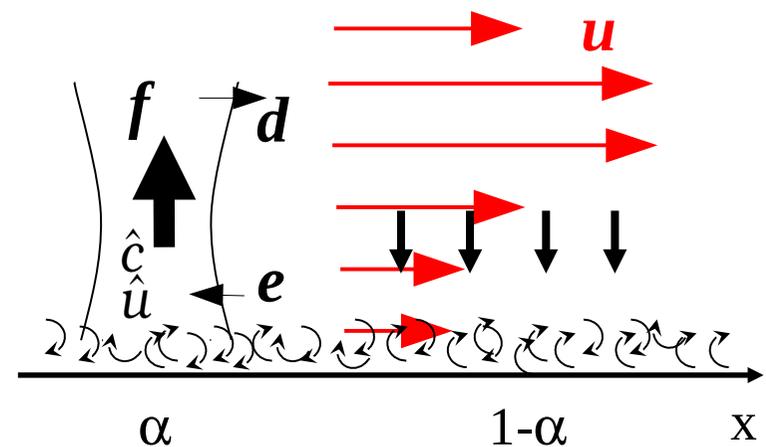
$$\frac{\partial f \hat{c}}{\partial z} = e c - d \hat{c} \quad \text{Couple de pression panache / environnement}$$

$$\frac{\partial f \hat{u}}{\partial z} = e u - d \hat{u} + C(\hat{u} - u)$$

Transport vertical de moment

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} = - \frac{\partial (\overline{\rho w' u'})}{\partial z}$$

$$\overline{\rho w' c'} = -\rho K z \frac{\partial u}{\partial z} + f(\hat{u} - u)$$



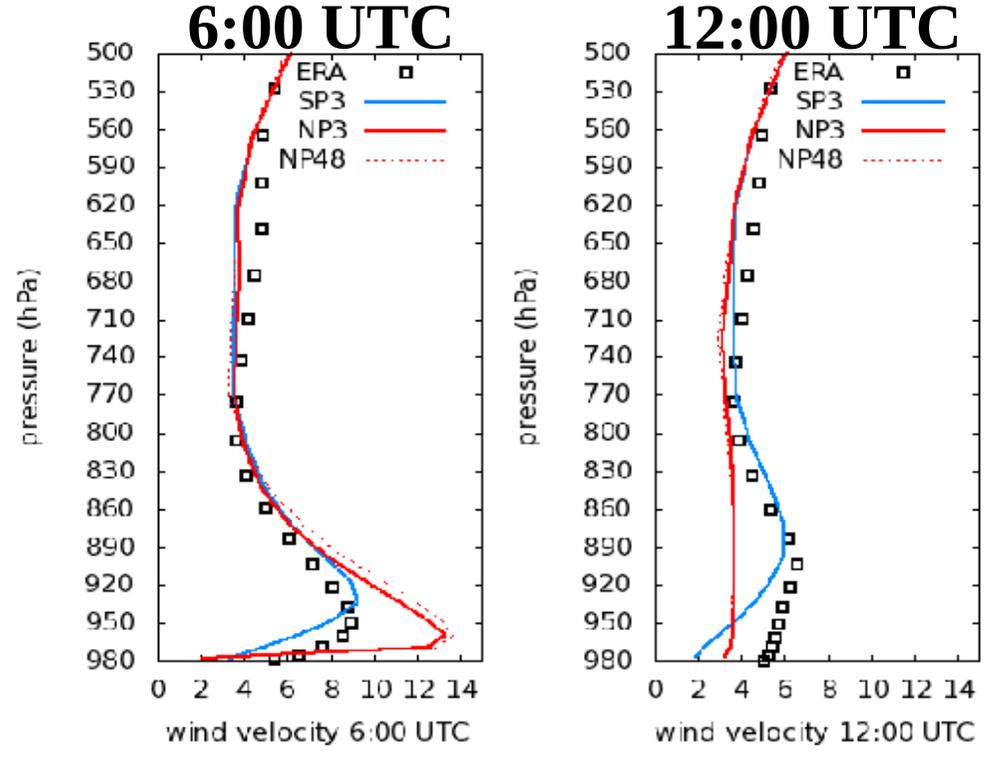
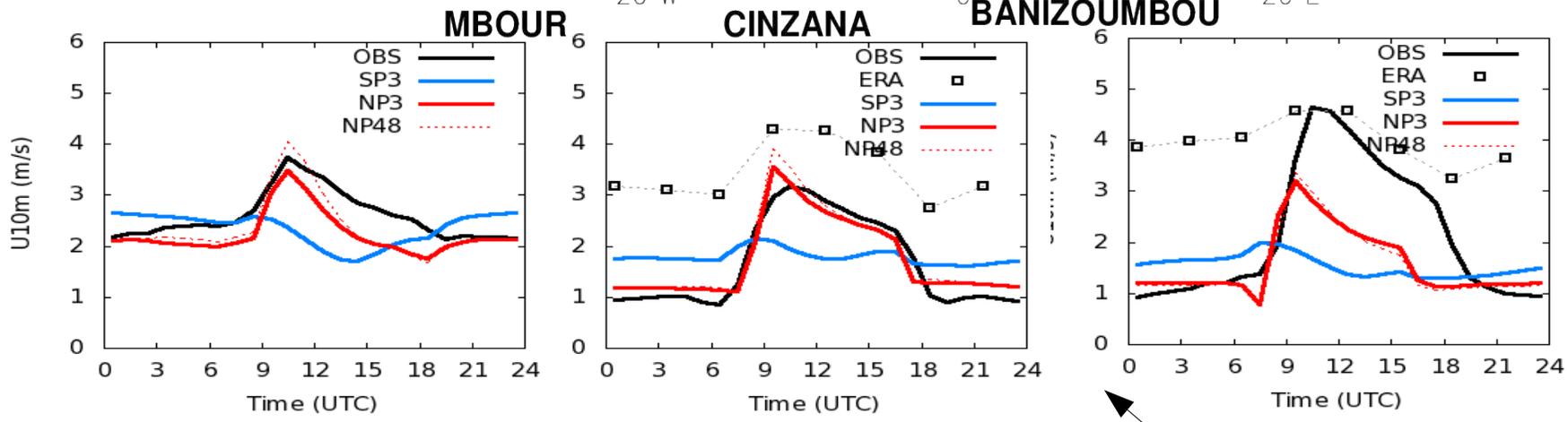
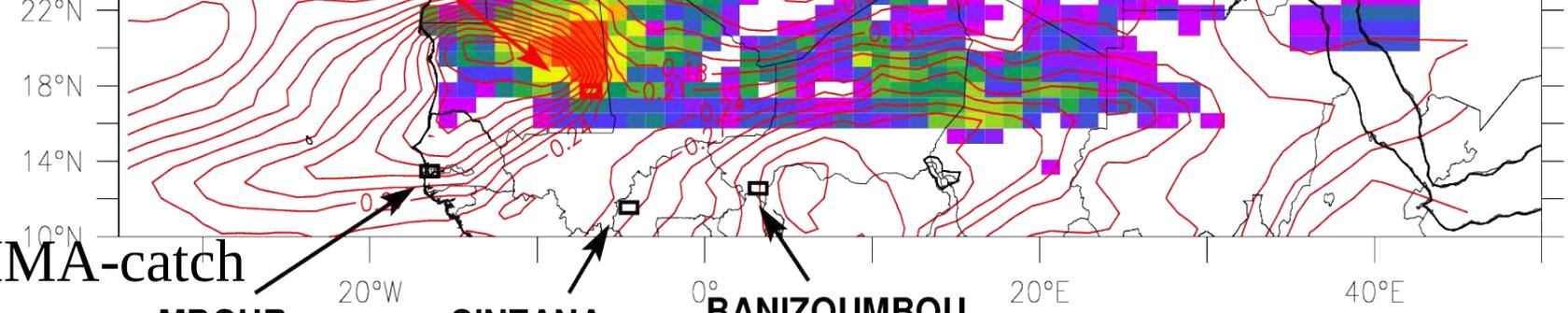
Vitesses ascendantes ~ 1 m/s

→ subsidence 10 cm/s

→ temps d'advection 2000s / 200m

Stations AMMA

Transect dust et AMMA-catch

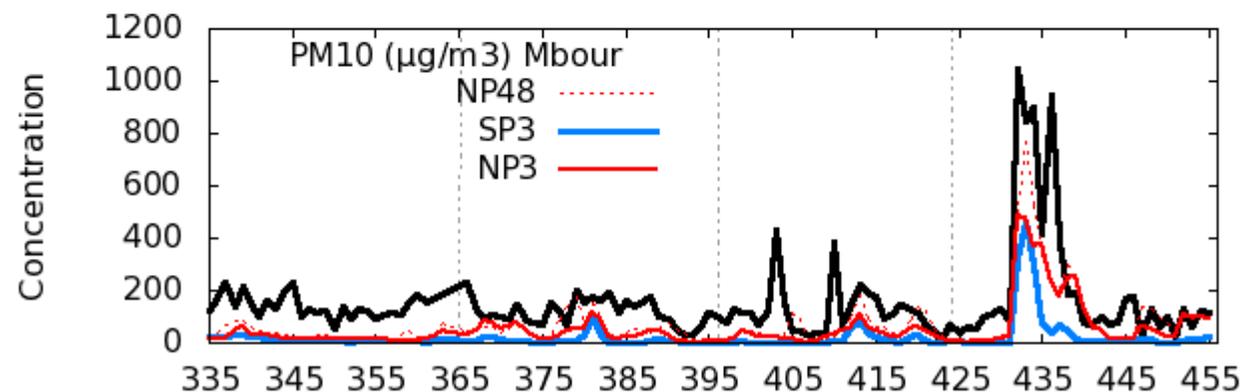
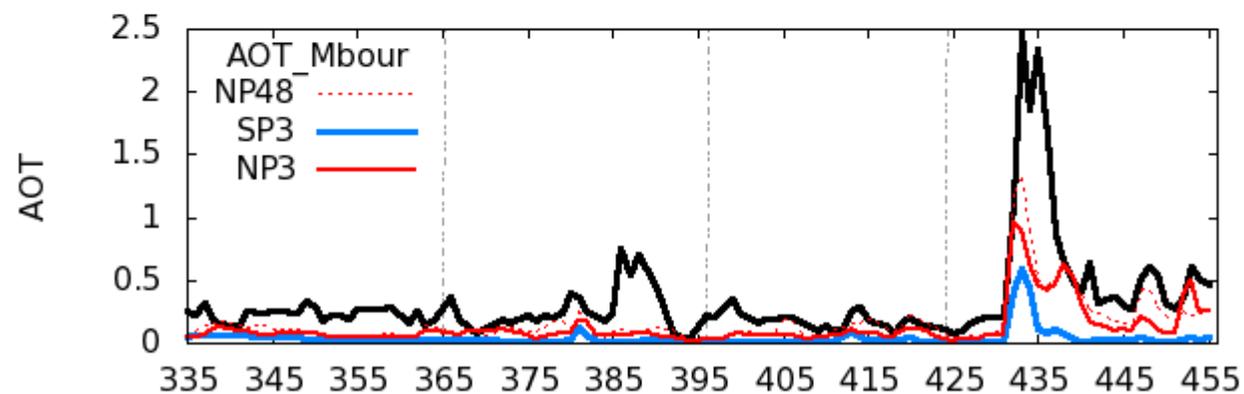


Cycle diurne du vent à 10m (m/s)

Profils verticaux moyens
À Banizoumbou

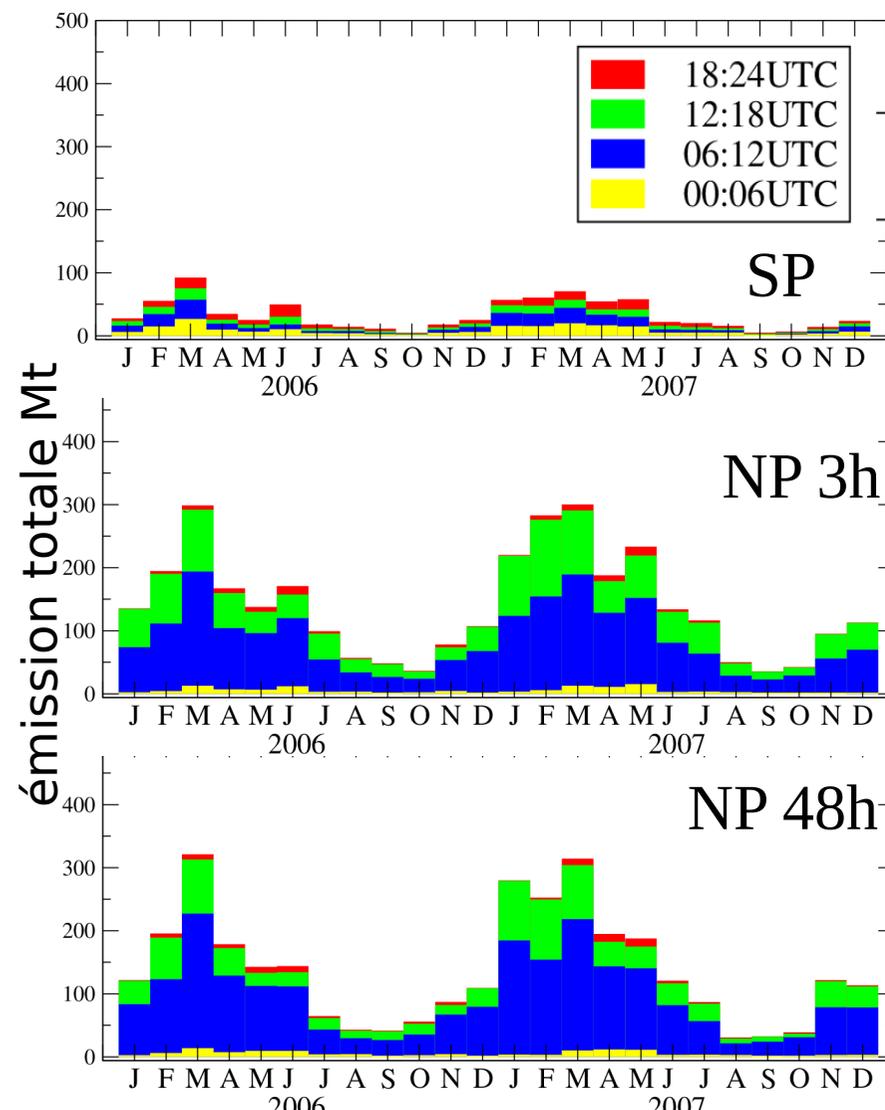
Comparaison des épaisseurs optiques (Aerosol Optical Depth) et PM10

- Augmentation des AOT et PM10 d'un facteur 3 avec la NP
- Amplification en diminuant le guidage ($\tau = 48h$ au lieu de 3h)



~ 75 % des émissions entre 6 et 12 h avec NP Un peu plus avec un guidage plus faible

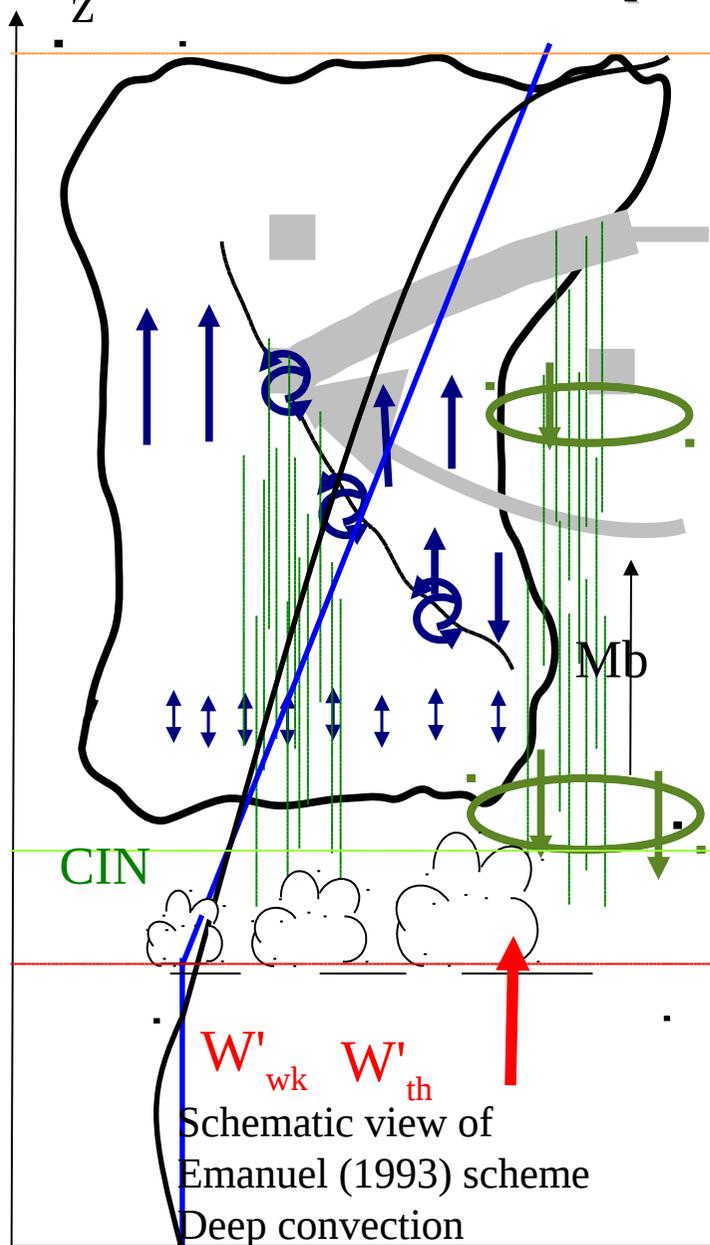
Répartition diurne des émissions Moyenne sur le Sahara/Sahel



III. Prise en compte des bourrasques associées aux poches froides

« Nouvelle physique » =

- « Modèle du thermique » (Hourdin, Rio et al, 2002-2013)
- Paramétrisations des poches froides (Grandpeix et Lafore 2010)
- Contrôle de la convection par les processus sous-nuageux



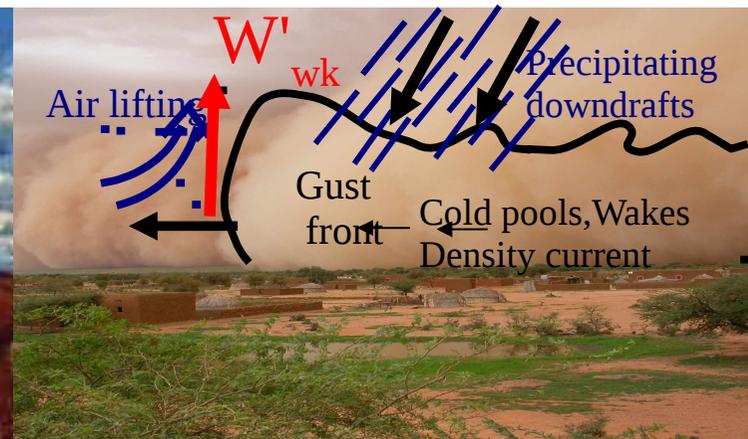
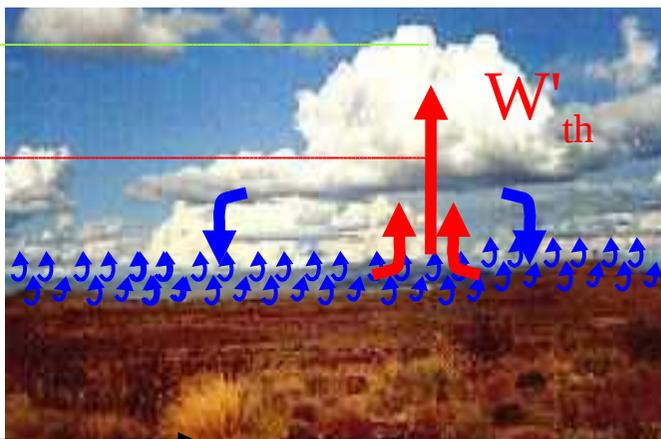
→ Fermeture basée sur les processus sous-nuageux
 Dans LMDZ : on se base sur la vitesse verticale W' estimée par les paramétrisations des thermiques et des poches froides.
 (thèse Catherine Rio)

K: Energie de soulèvement disponible
ALE en J/kg, proportionnel à w'^2 .

→ **Déclenchement : $\max(ALE_{th}, ALE_{wk}) > |CIN|$**

P: Puissance de soulèvement disponible
ALP en W/m², proportionnel à w'^3 .

→ **Fermeture : $MB = f(ALP_{th} + ALP_{wk})$**

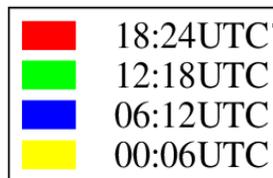


Prise en compte des bourrasques dans le module d'émission de Chimere

$$U_{10m}^{eff} = \sqrt{U_{10m}^2 + W^{*2}}$$

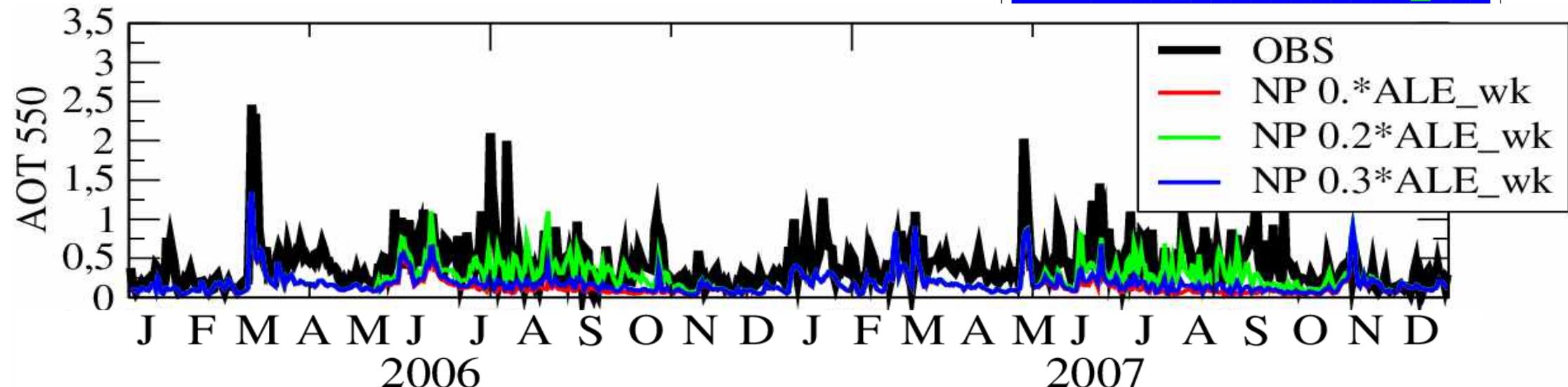
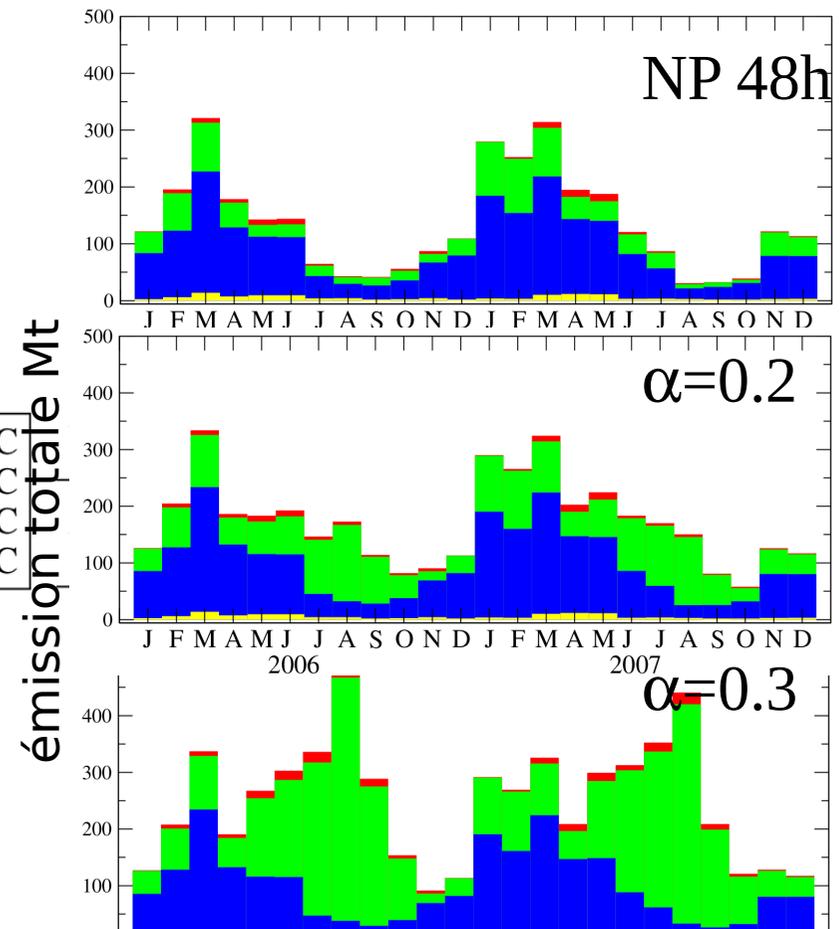
$$W^* = \left[\frac{g}{\theta} h \overline{w' \theta'_0} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Beljaars et Viterbo, 1994



Ici :

$$W^* = \sqrt{2(ALE_{BL} + \alpha ALE_{WK})}$$



Conclusions / perspectives (1/2)

- La nouvelle physique renforce les émissions grâce à une meilleure représentation du cycle diurne du vent en surface.
- Ce cycle diurne pique le matin (comme dans les observations) quand la couche limite convective commence à « grignoter » le jet nocturne qui s'est créé dans la nuit. Les subsidences transportent le moment vers le bas en 1 heure.
- Ce cycle diurne est mieux représenté que dans les différentes réanalyses.
- Ce cycle diurne est réduit quand on guide trop fort par les réanalyses
- La prise en compte des bourrasques de vent associées aux poches froides permet (au travers d'une correction de U_{10m}) permet de renforcer les émissions l'été et d'obtenir des AOT et concentrations beaucoup plus proches des observations.

Conclusions / perspectives (2/2)

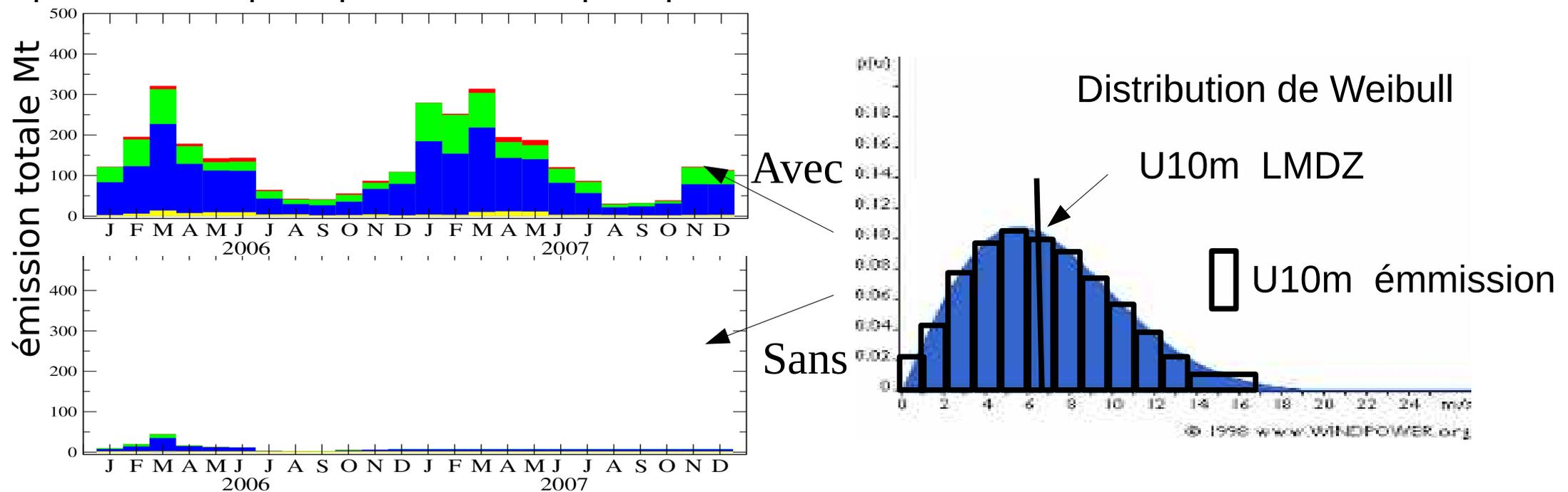
→ α devant ALEwk ad hoc, ajusté / cycle saisonnier des poussières. Bon résultat pour les bonnes raisons ? Dépendance convection / ALE et ALE / bourrasques U10m ?

→ Les fronts de rafales ne couvrent qu'une fraction de la maille. Peut on estimer cette surface effective plutôt que d'utiliser $W^{*2} = 2 * ALE_wk$?

→ Importance de la distribution sous-maille ? Est-ce pour de bonnes raisons ? Prédire la largeur de la distribution à partir des bourrasques ? Hétérogénéité du terrain ?

→ **Besoin d'évaluation directe à partir des distributions de vent observées.**

On ne peut se reposer ni sur les réanalyses, trop loin des obs, ni sur les simulations de poussières, qui dépendent de trop de paramètres incertains.



II. Evaluation des simulations LMDZ-Chimere-dust NP/SP

Epaisseurs optiques et concentrations au Sénégal

- cycle saisonnier raisonnable des concentrations de surface
- faible sous-estimation l'hiver et forte sous-estimation l'été (attention quand même au fait qu'on compare des observations des aérosols en général aux seules poussières sahariennes).
- AOT beaucoup trop faible avec un cycle saisonnier qui pique au printemps au lieu de l'été dans les obs.

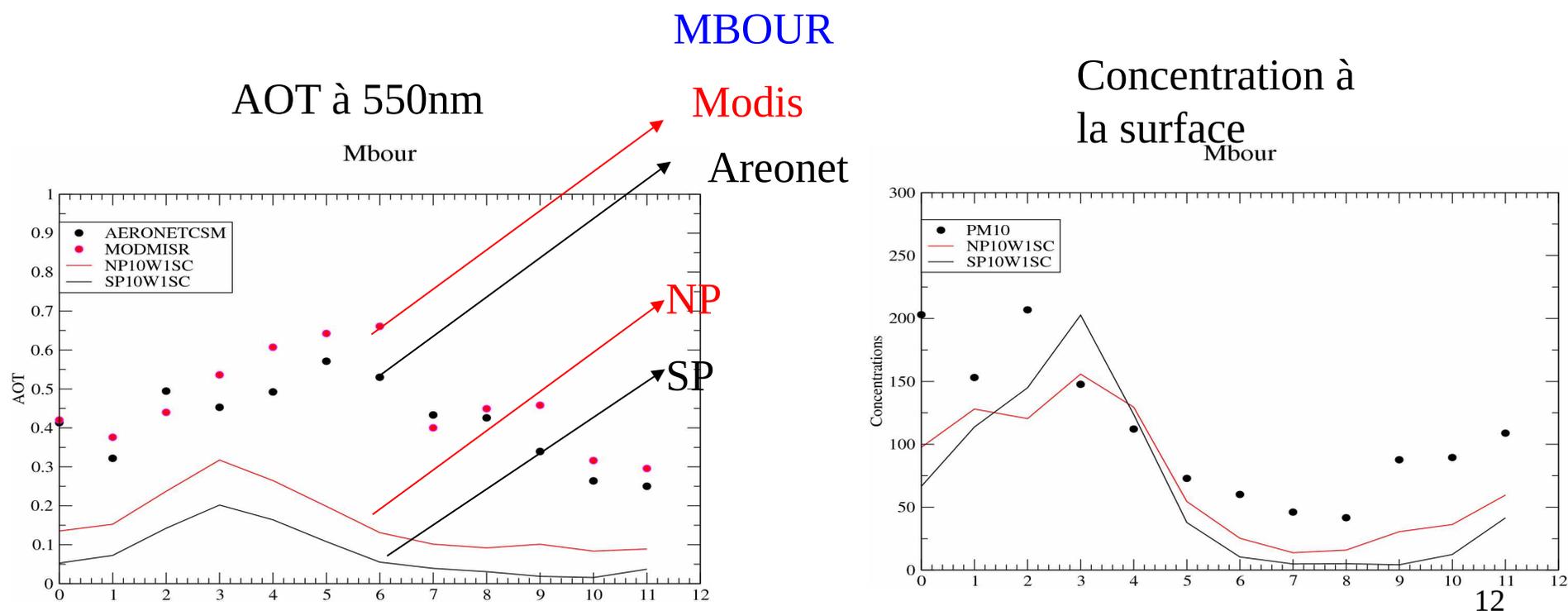
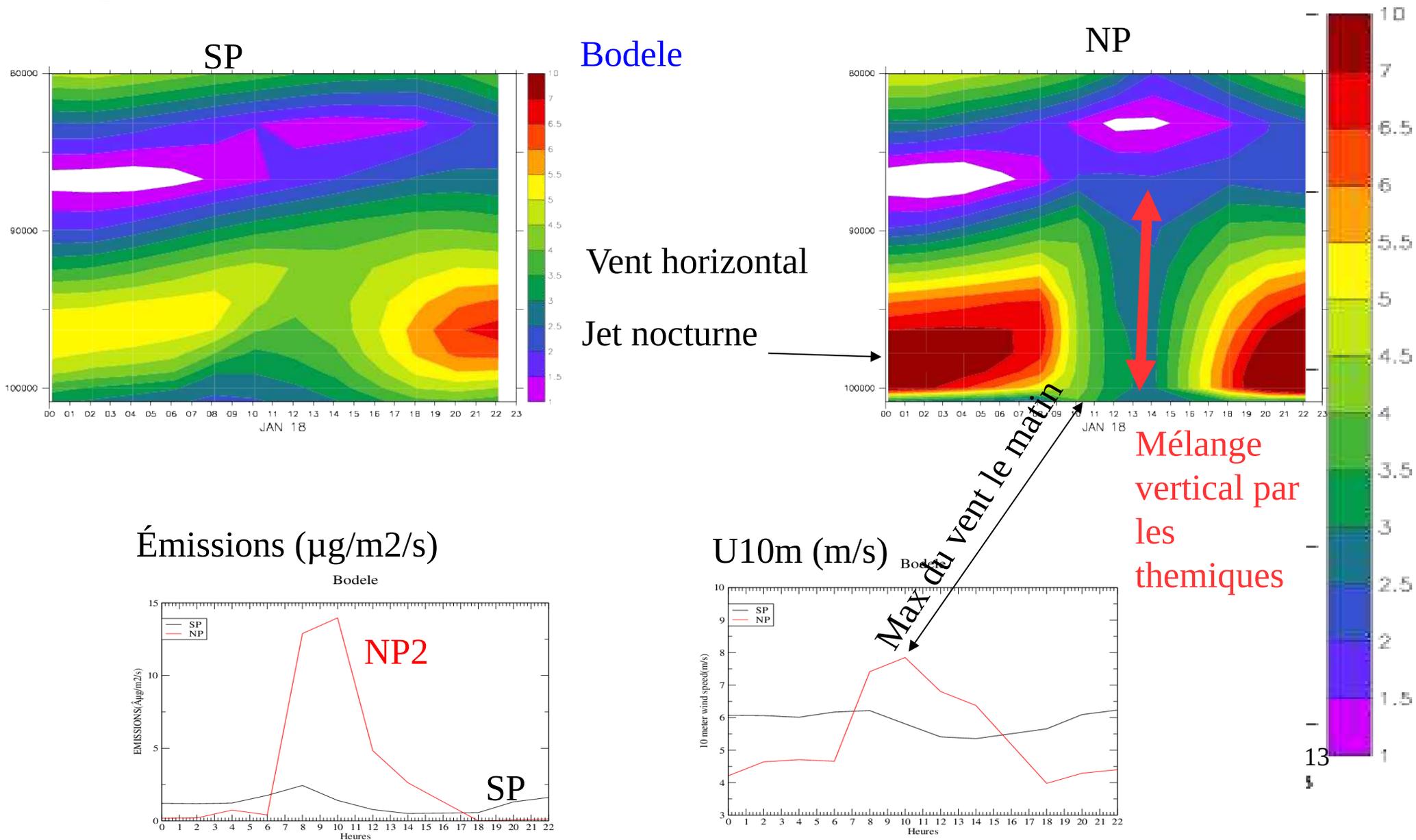


Figure : Cycle saisonnier moyen des poussières sur la période 2005 à 2008. En haut, l'AOT à 550nm, issus de Aeronet(points noirs), de MODIS-MISR(points violets), les courbes noir et rouge donnent respectivement les simulations avec la SP et la NP.

III. Analyse des différences NP/SP

Analyse du cycle diurne moyen sur le cas d'étude en bas à gauche de la figure précédente

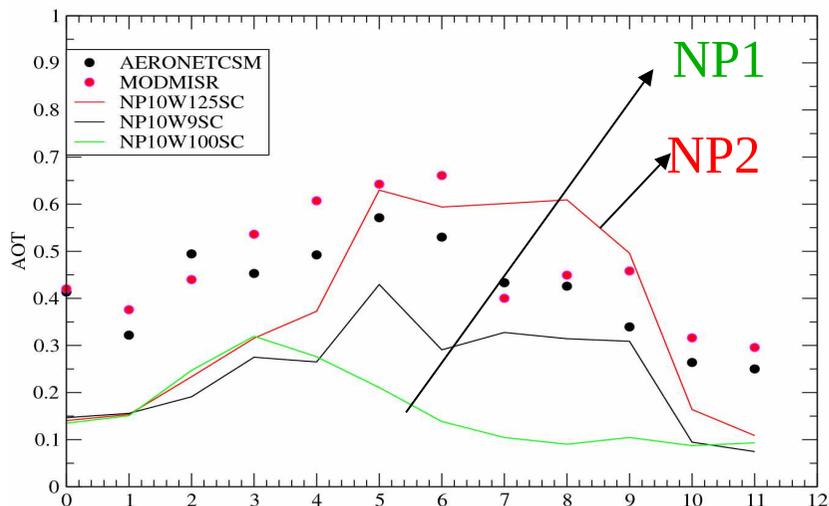


IV. Prise en compte des bourrasques associées aux poches froides

variation de la concentration du bin n°3 en fonction de l'altitude sur 4 ans pour NP1 (en haut) et NP2 (en bas)

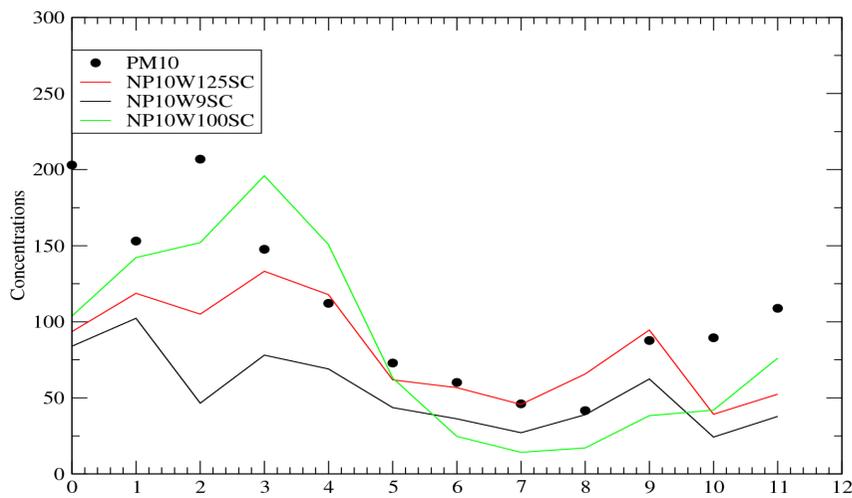
MBOUR

Mbour



AOT à 550nm

Mbour



Concentration à la surface

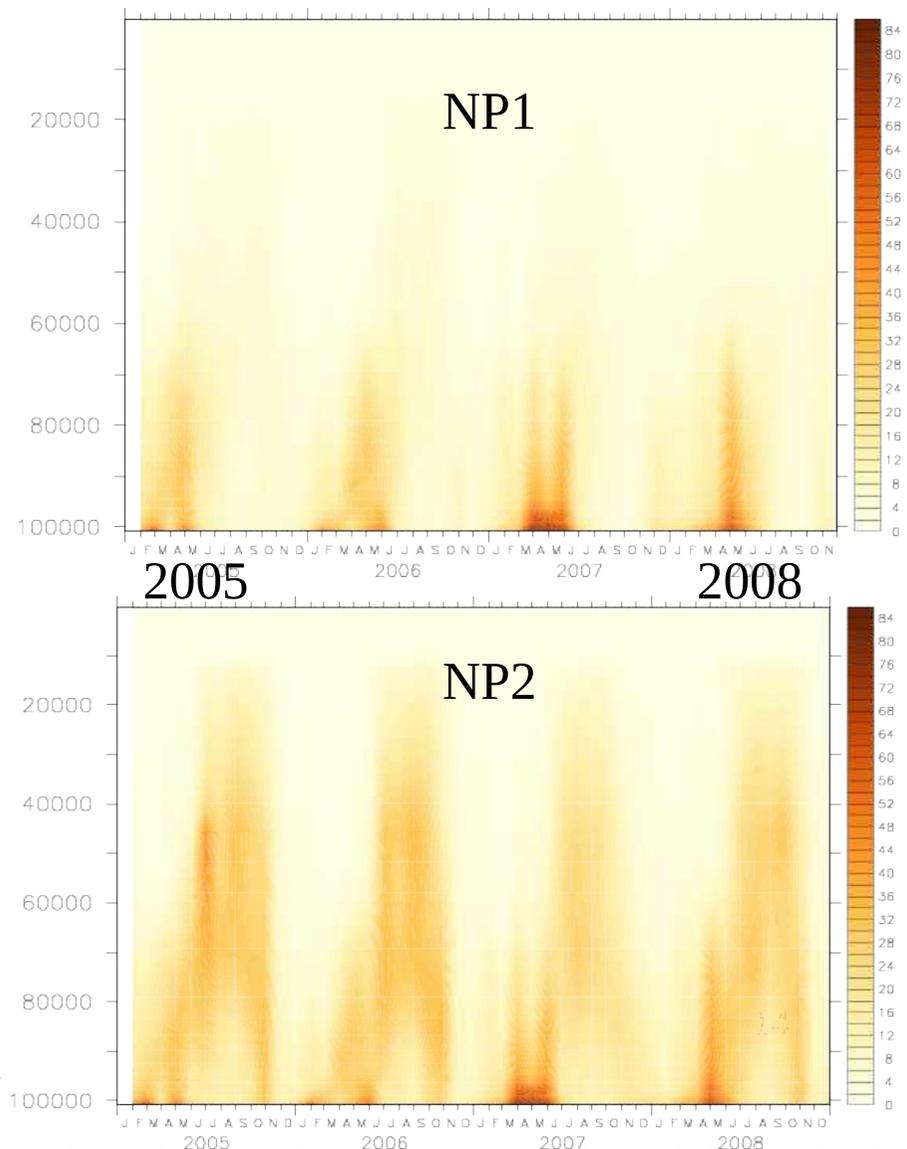


Figure : Cycle saisonnier moyen des poussières sur la période 2005 à 2008. En haut, l'AOT à 550nm, issus de Aeronet(points noirs), de MODIS-MISR(points violets), les courbes lisses représentent les simulations avec différentes configuration de la NP.