



**INTERACTIONS ENTRE
POUSSIERES DESERTIQUES & CONVECTION PROFONDE
en AFRIQUE de l'OUEST :**

OBSERVATION & MODELISATION à ECHELLE CONVECTIVE

Cécile KOCHA

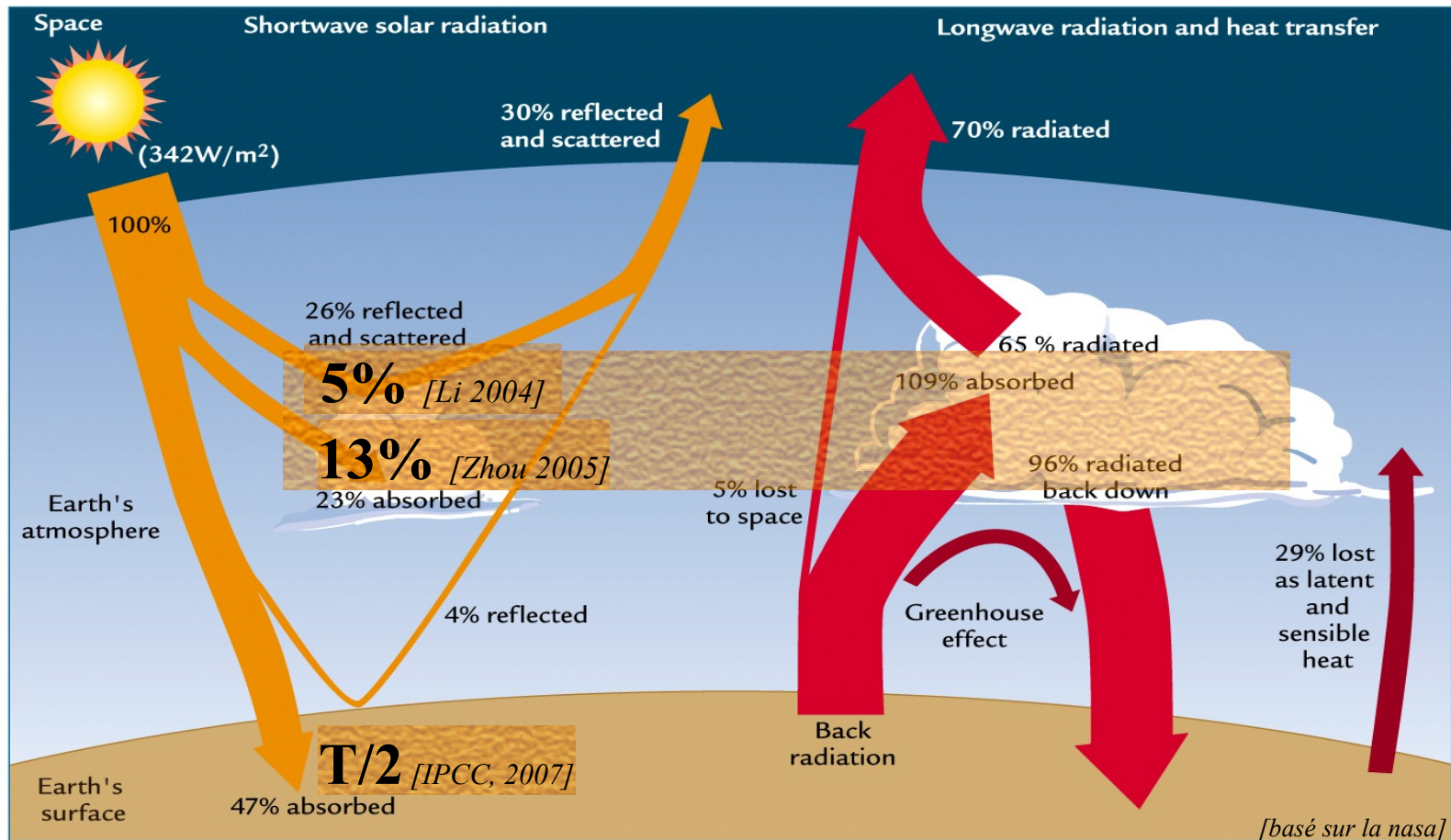
directeur & co-directeur :
Jean-Philippe LAFORE et Pierre TULET

Collaborations :
Y. Seity

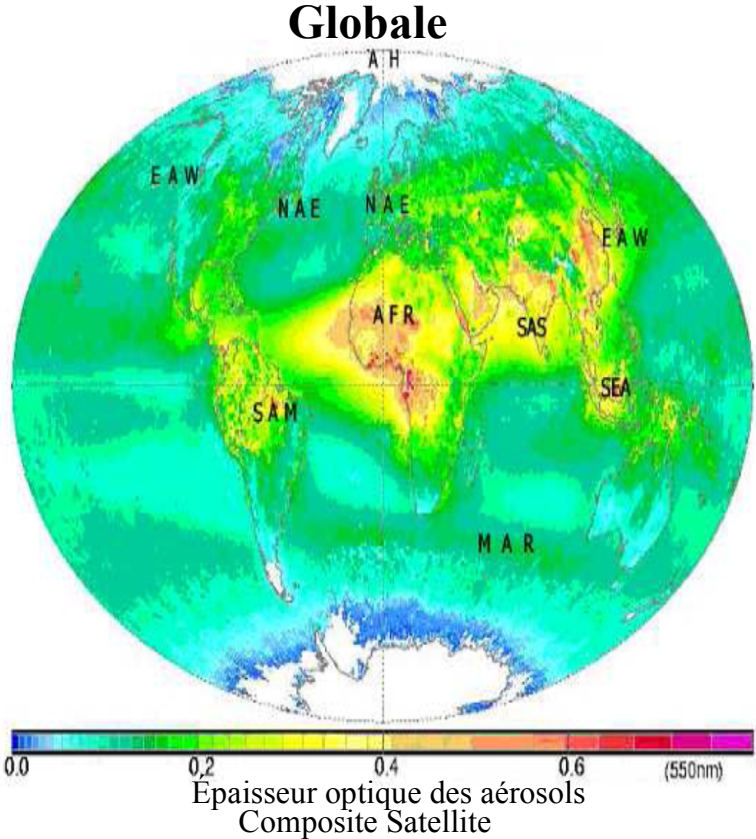
2004 Darfour [Chikwendiu]

Importance des poussières désertiques

- +1/3 de la masse d'aérosols [Andreae and Crutzen, 1997]
- Absorbent et diffusent le rayonnement solaire [Houghton et al. 2001]
- Modifient directement l'équilibre radiatif Terrestre [Smith 1986]
- Jouent sur la thermodynamique, la dynamique et le cycle de l'eau



De l'échelle globale à convective



De l'échelle globale à convective

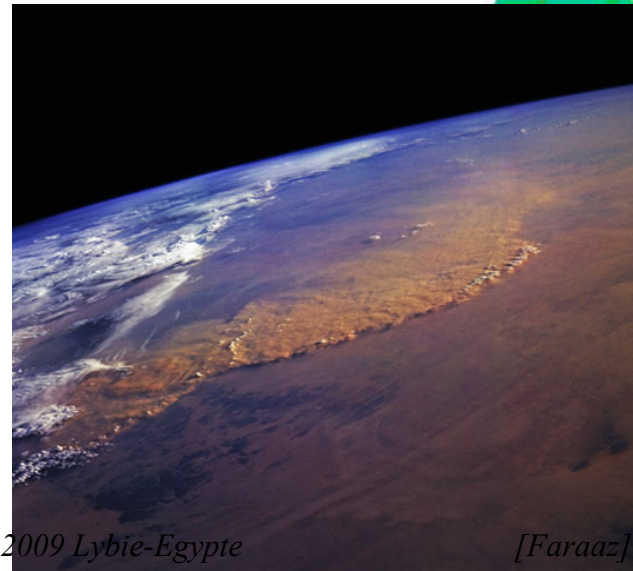
Impacts controversés :

Stabilisation, humidité, +/- précipitations,

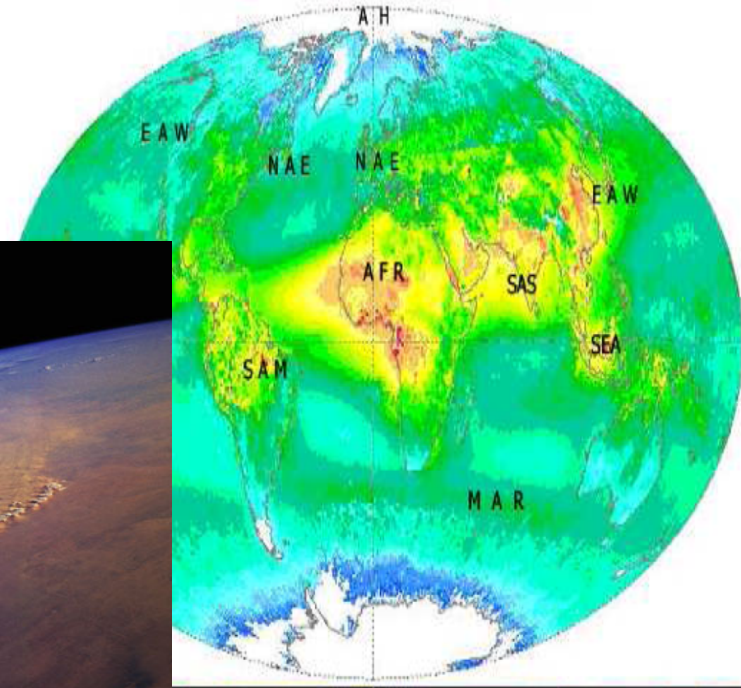
Rôle de l'air sec ou des poussières ?

[Dunion and Velden 2004, ..., Cuesta et al. 2010]

Synoptique



Globale



Épaisseur optique des aérosols
Composite Satellite

De l'échelle globale à convective

Impacts controversés :

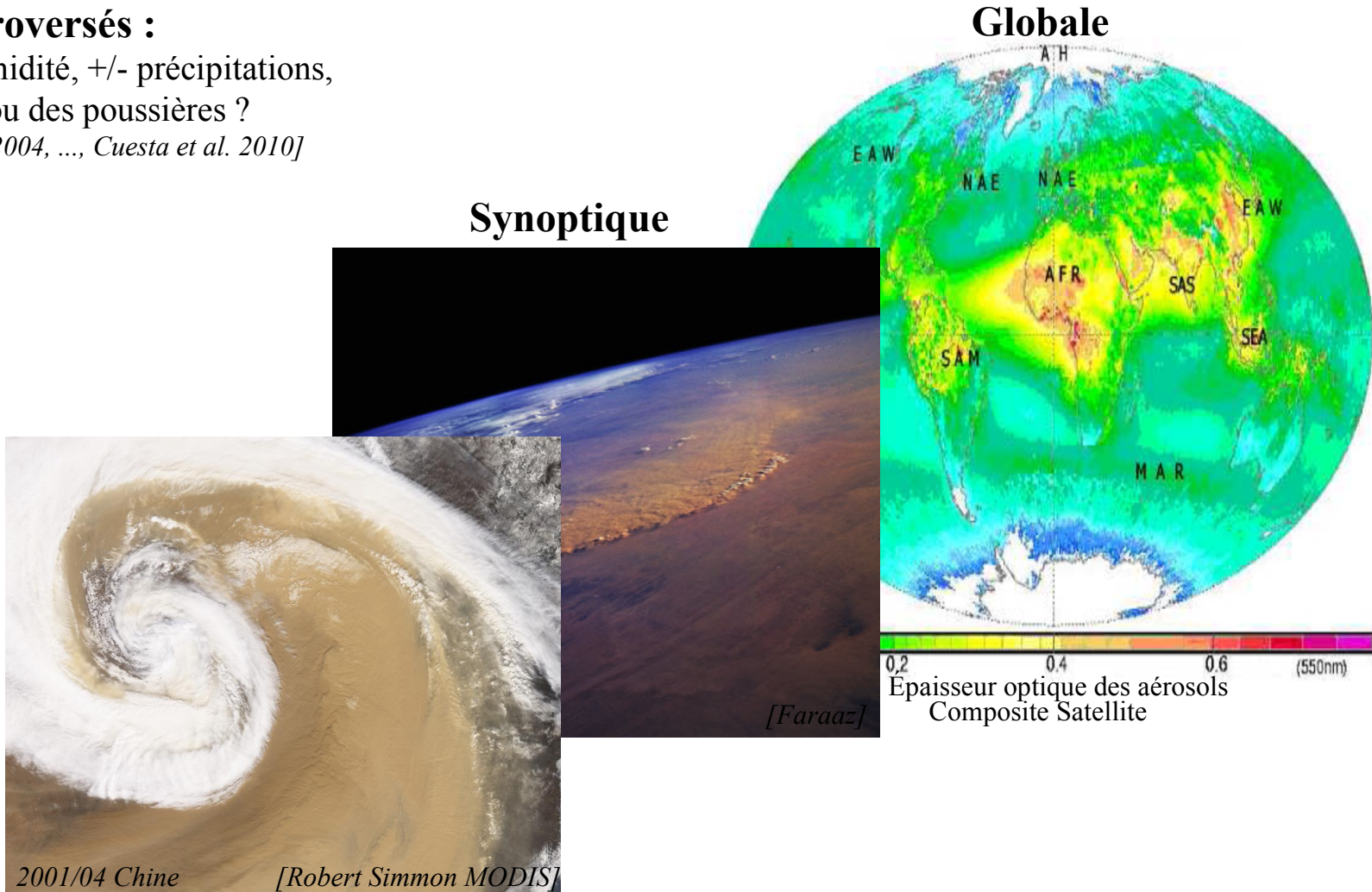
Stabilisation, humidité, +/- précipitations,

Rôle de l'air sec ou des poussières ?

[Dunion and Velden 2004, ..., Cuesta et al. 2010]

Synoptique

Globale



De l'échelle globale à convective

Impacts controversés :

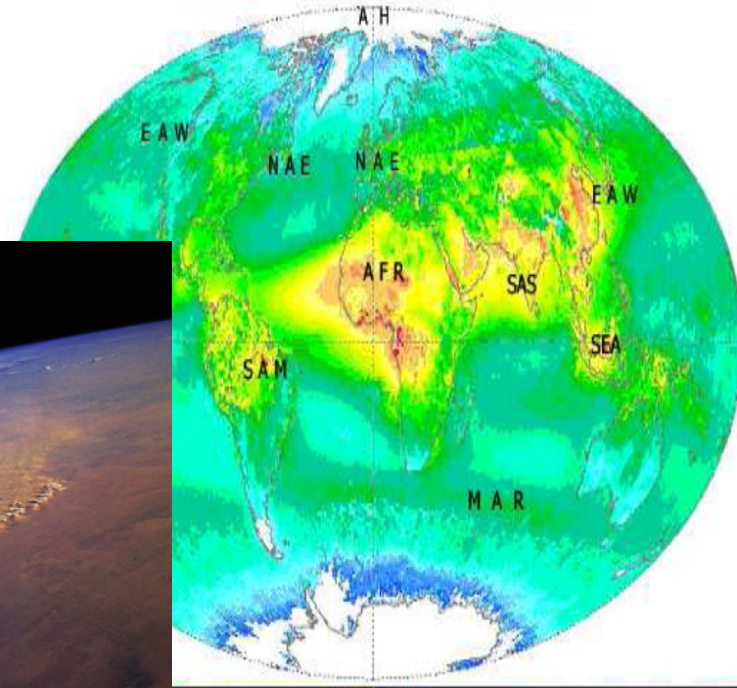
Stabilisation, humidité, +/- précipitations,
Rôle de l'air sec ou des poussières ?
[Dunion and Velden 2004, ..., Cuesta et al. 2010]

Systemes convectifs → poussières
[Tulet et al. 2010, Crumeyrolle et al. 2010]

Poussières → systèmes convectifs ?

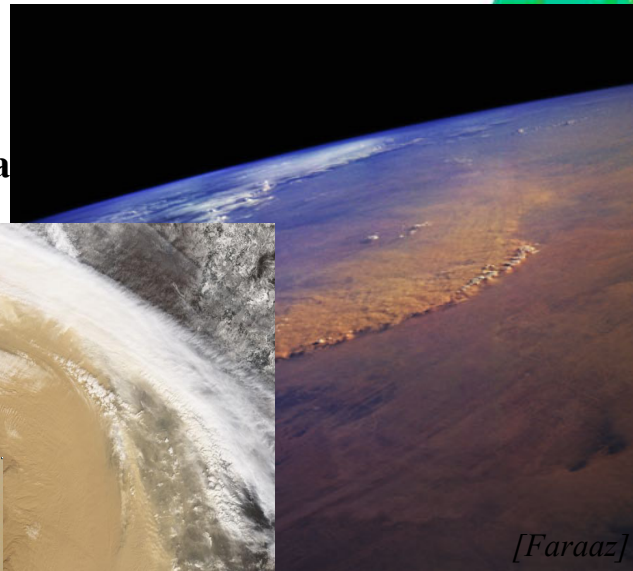
Processus en jeu complexes et variés
→ Grande source d'incertitude pour la
prévision numérique [IPCC, 2007]

Globale

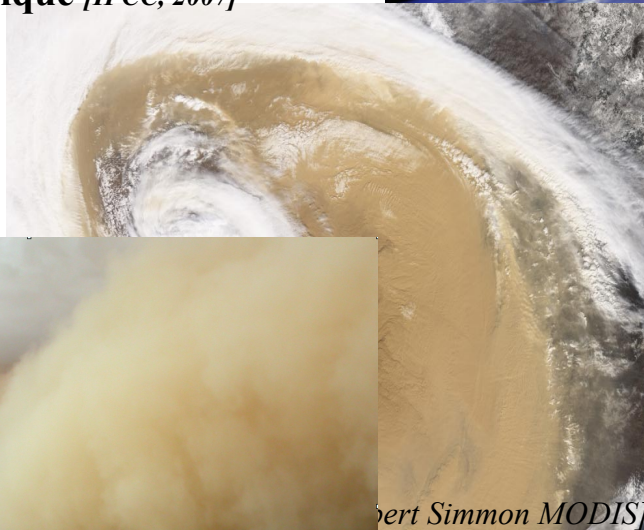


0.2 0.4 0.6 (550nm)
Épaisseur optique des aérosols
Composite Satellite

Synoptique



[Faraaz]



Robert Simmon MODIS]

Convective



[Guichard et Kergoat]

De l'échelle globale à convective

Impacts controversés :

Synoptique :

Stabilisation, humidité, +/- précipitations,

Rôle de l'air sec ou des poussières ?

[Dunin and Velden 2004, ..., Cuesta et al. 2010]

systèmes convectifs → poussières

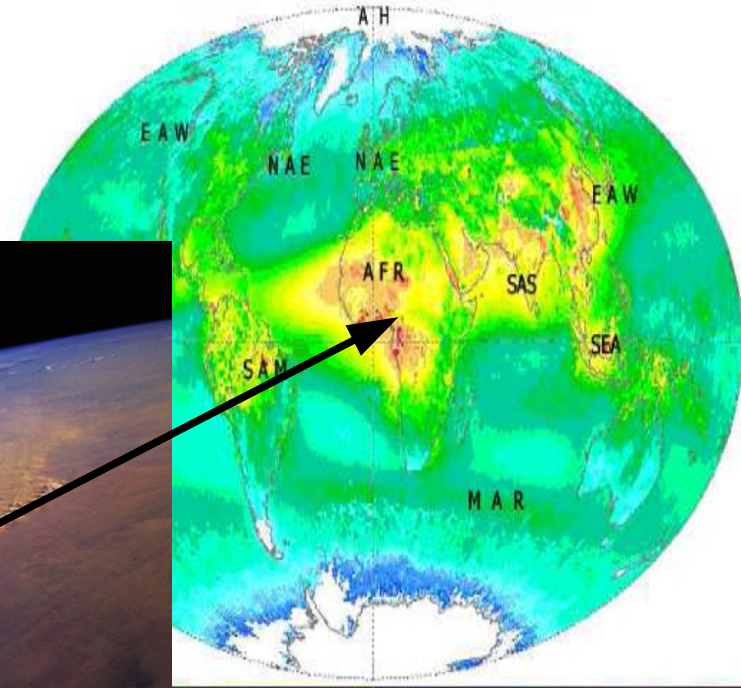
[Tulet et al. 2010, Crumeyrolle et al. 2010]

Poussières → systèmes convectifs ?

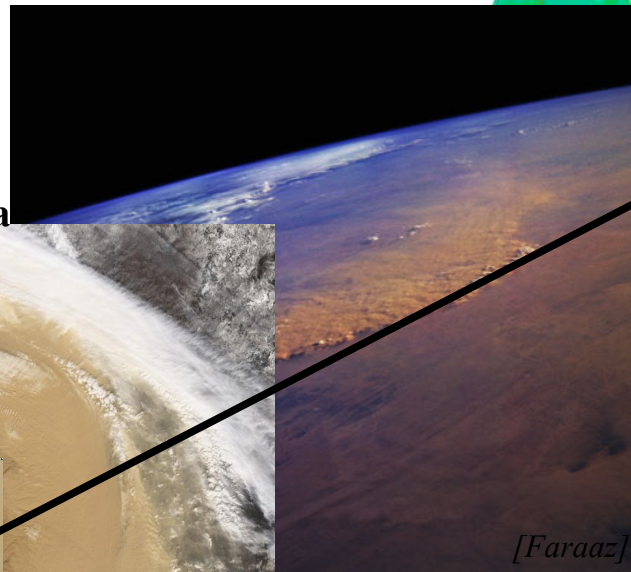
Processus en jeu complexes et variés

→ Grande source d'incertitude pour la
prévision numérique [IPCC, 2007]

Globale



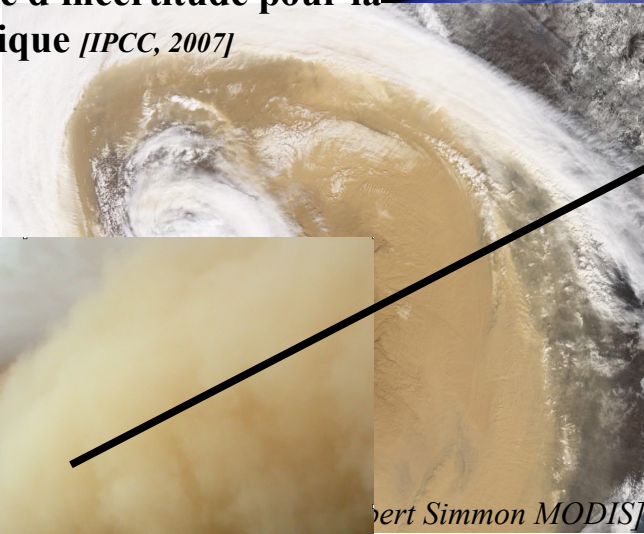
Synoptique



[Faraaz]



Convective



Robert Simmon MODIS



[Guichard et Kergoat]

Positionnement de la thèse

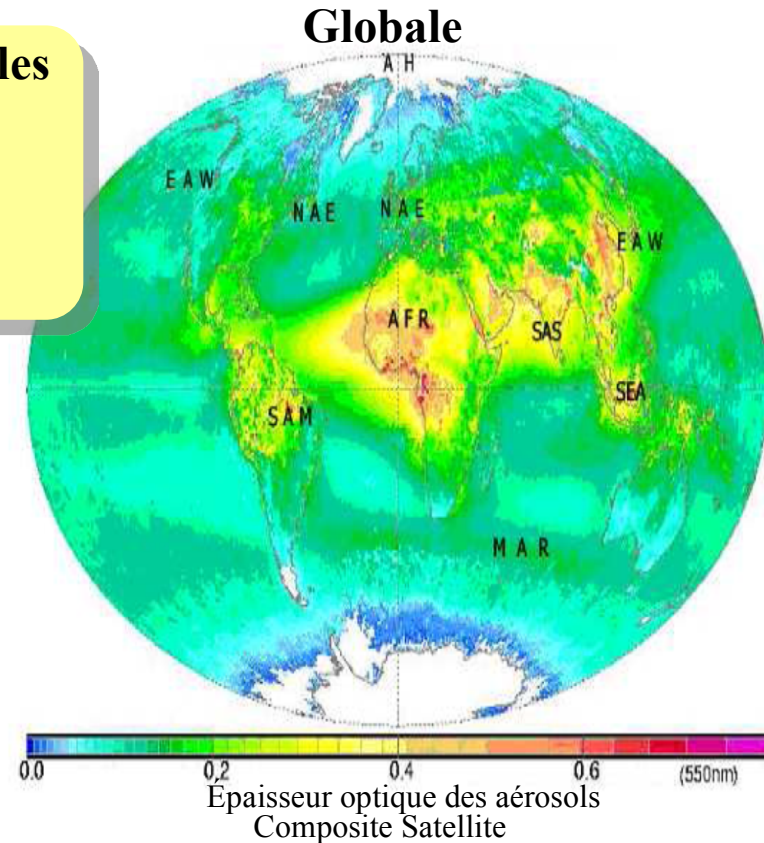
→ Quels sont les processus en jeu à fine échelle dans les interactions poussières désertiques-atmosphère ?

→ Quelle est la résultante de leurs impacts à échelle climatique ?

CADRE : Afrique de l'Ouest

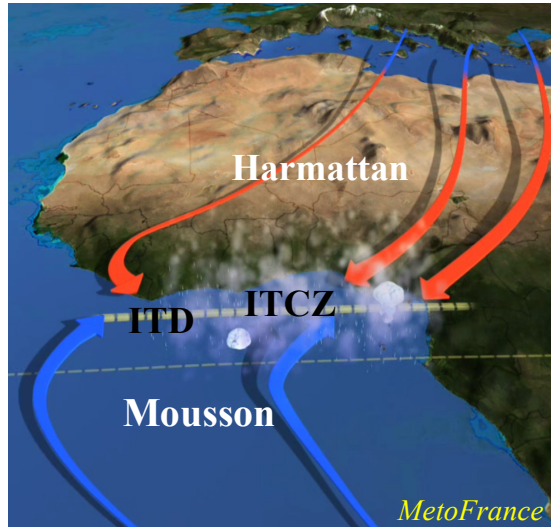
- 1^{ere} source de poussières désertiques
- Ensoleillement considérable
- Systèmes convectifs les plus intenses

→ **Système particulièrement approprié**

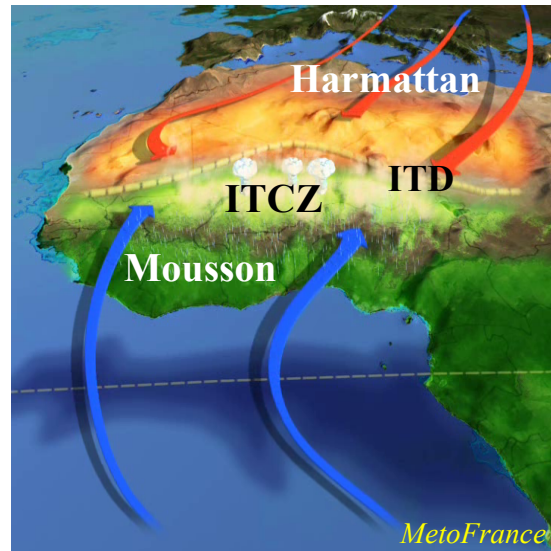


Cycle saisonnier de l'Afrique de l'Ouest

Hiver = $T_{\text{ocean}} > T_{\text{continent}}$

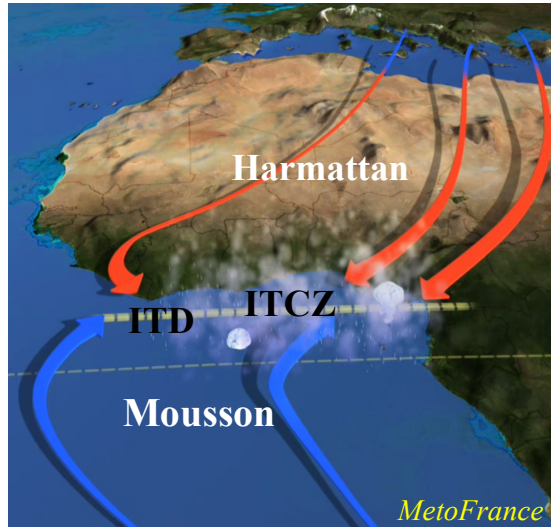


Été = $T_{\text{ocean}} < T_{\text{continent}}$

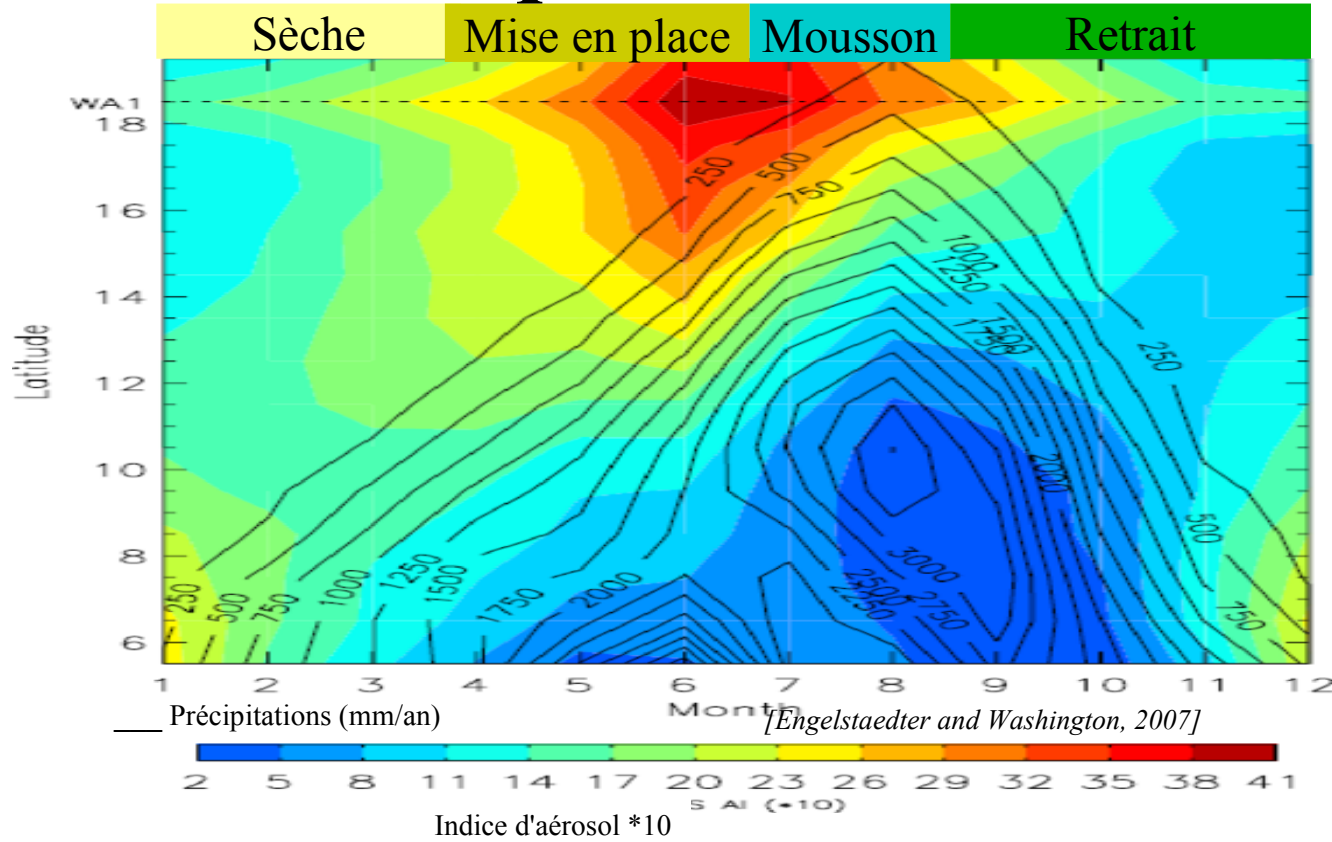
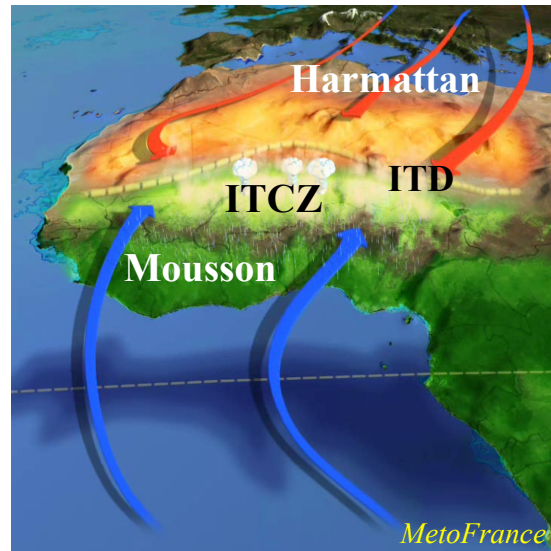


Cycle saisonnier de l'Afrique de l'Ouest

Hiver = $T_{\text{ocean}} > T_{\text{continent}}$

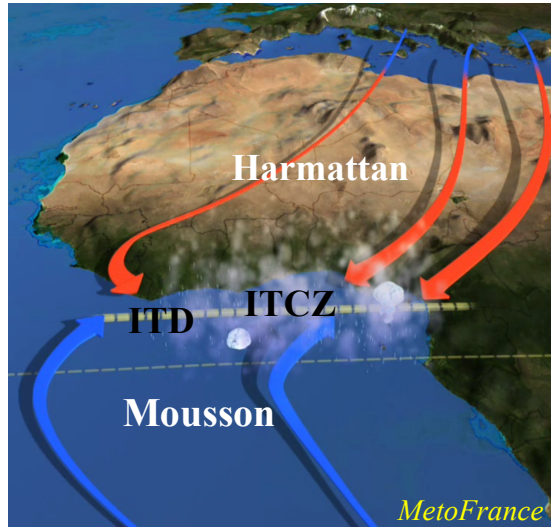


Été = $T_{\text{ocean}} < T_{\text{continent}}$

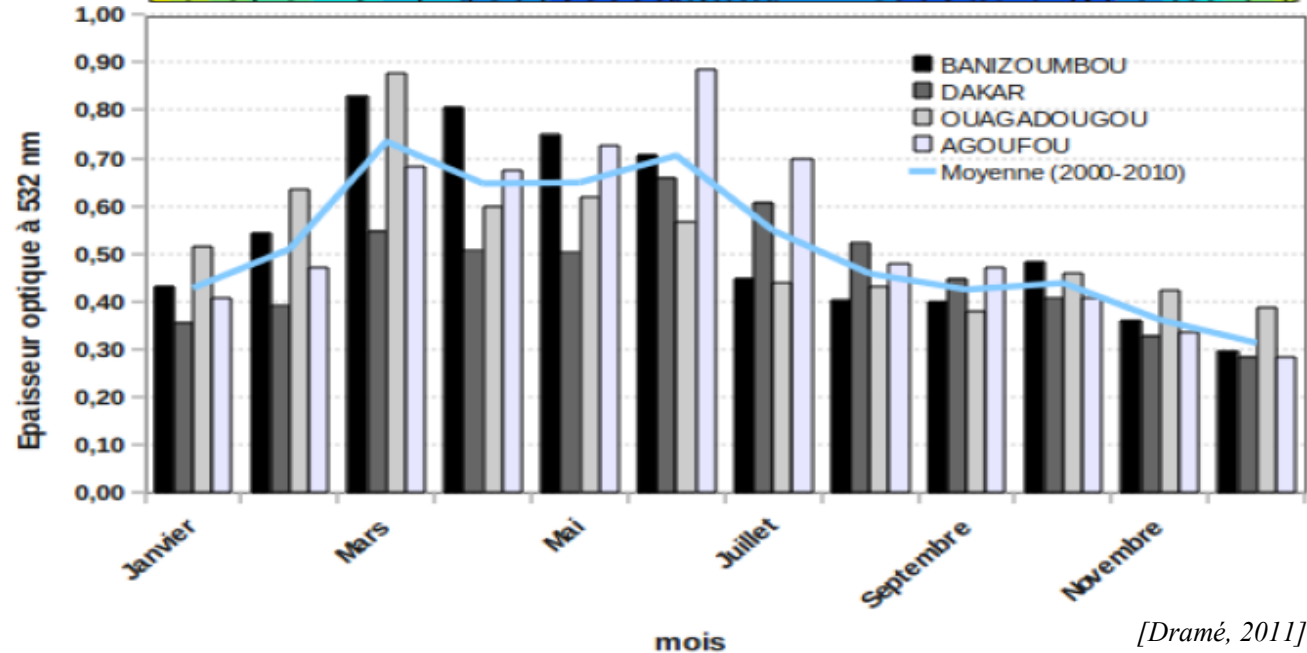
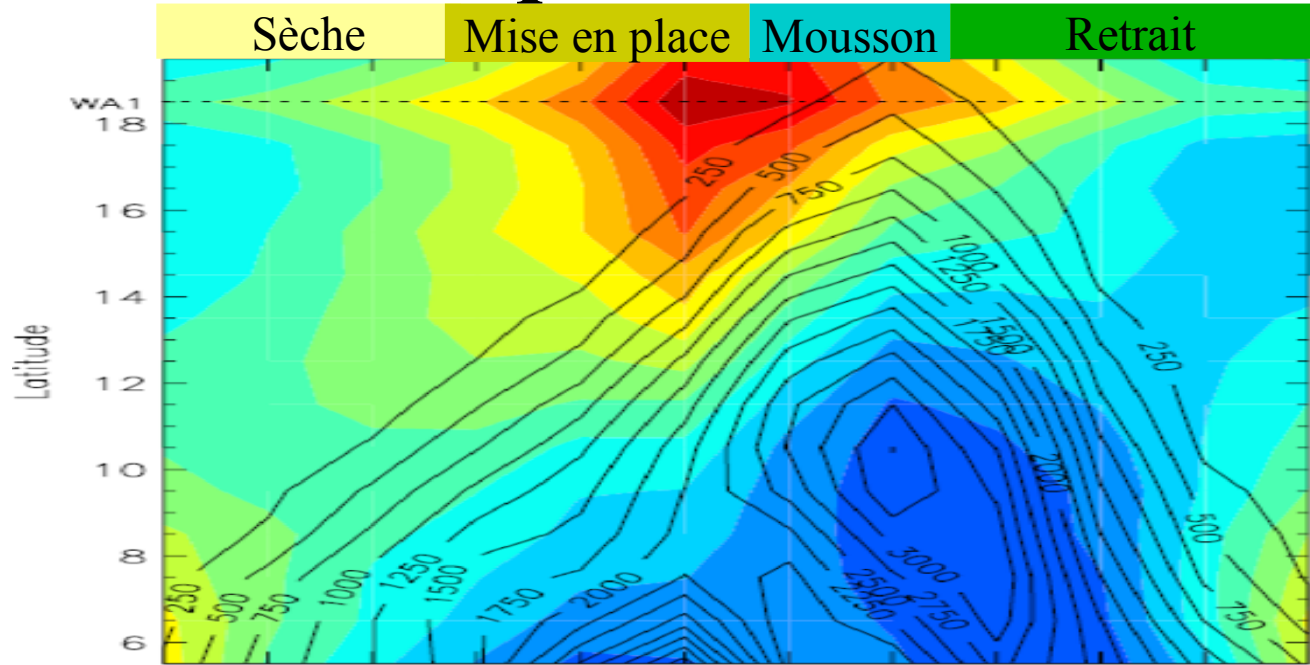
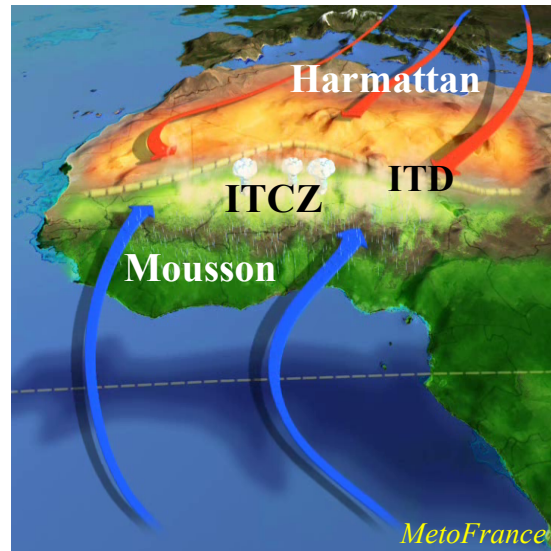


Cycle saisonnier de l'Afrique de l'Ouest

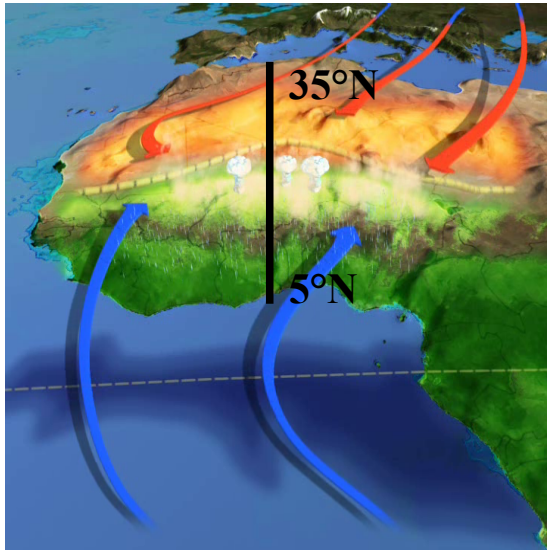
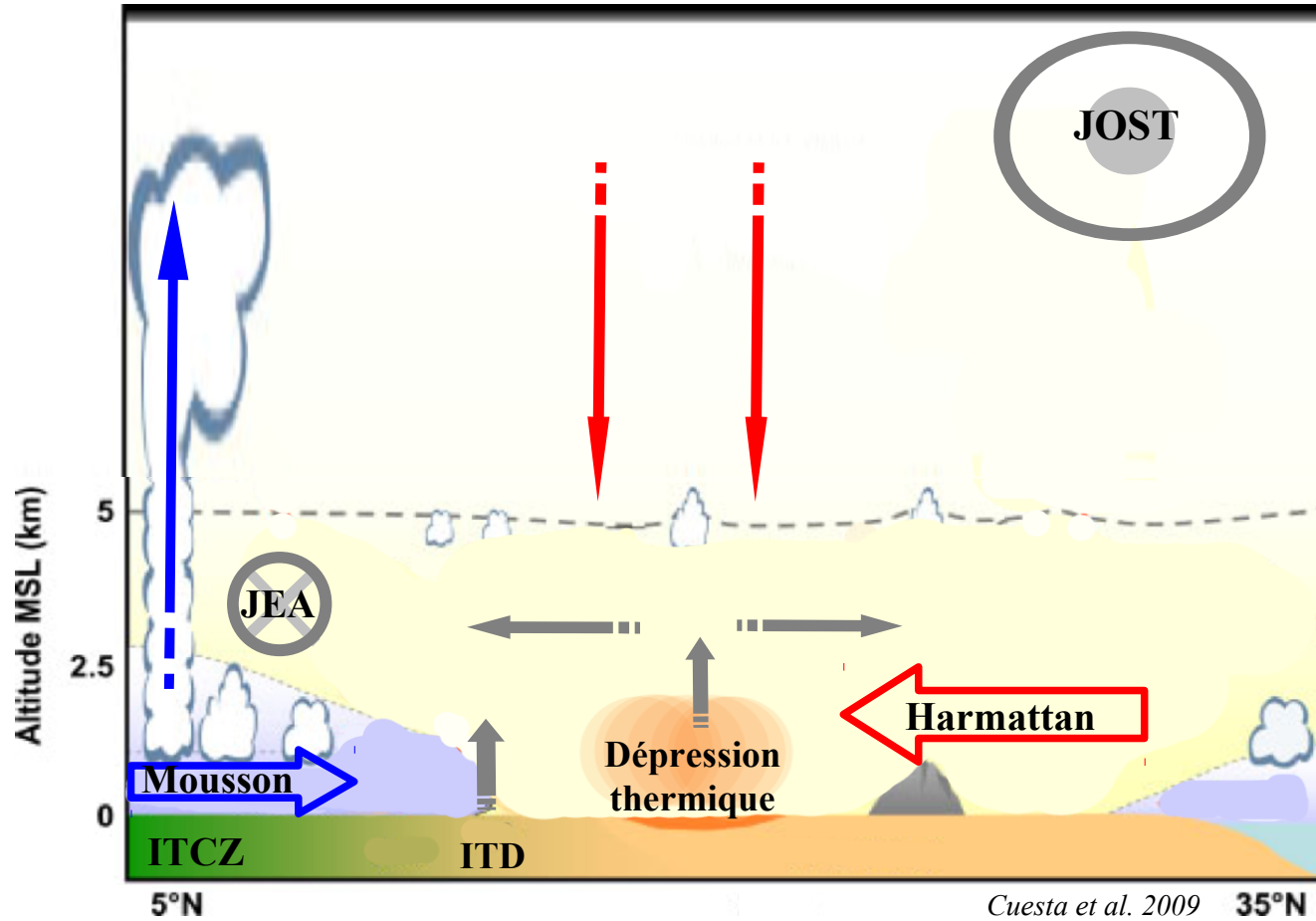
Hiver = $T_{\text{ocean}} > T_{\text{continent}}$



Été = $T_{\text{ocean}} < T_{\text{continent}}$



Structure verticale des éléments clés

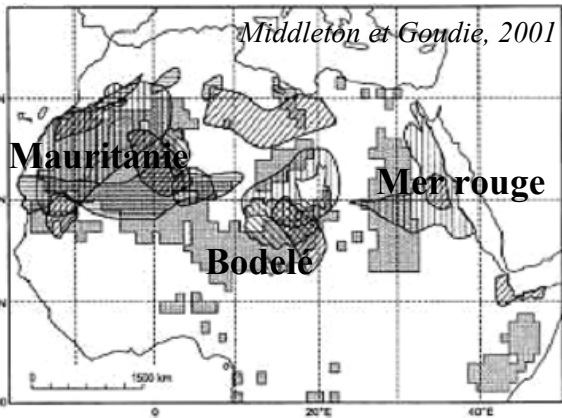


Cycle de vie des poussières désertiques

Dépend des **sources**
et de la **dynamique**

sources

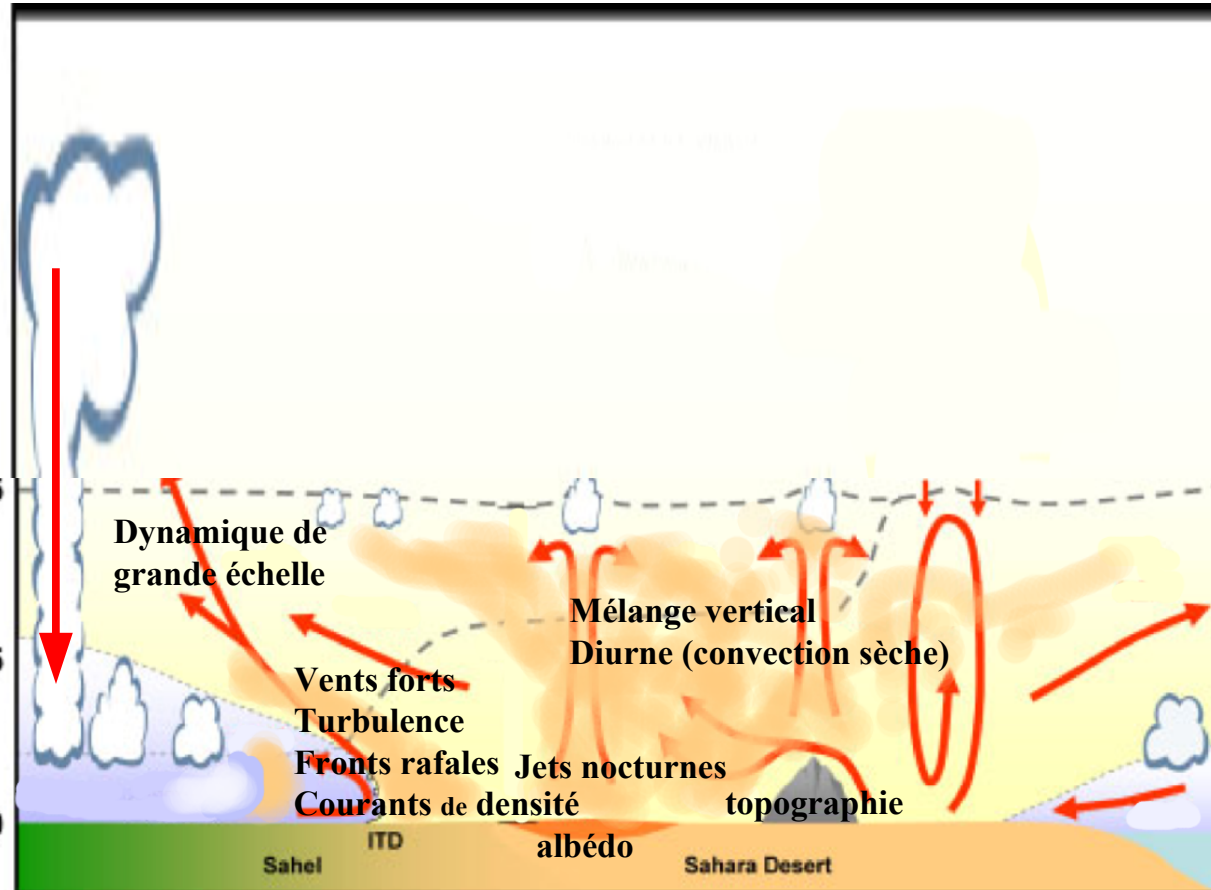
Middleton et Goudie, 2001



Dynamique

**Poussières
désertiques**

Altitude MSL (km)



25°N

Cuesta et al. 2009

35°N

- **Forte variabilité**
- **Forte incertitudes**

Effet direct

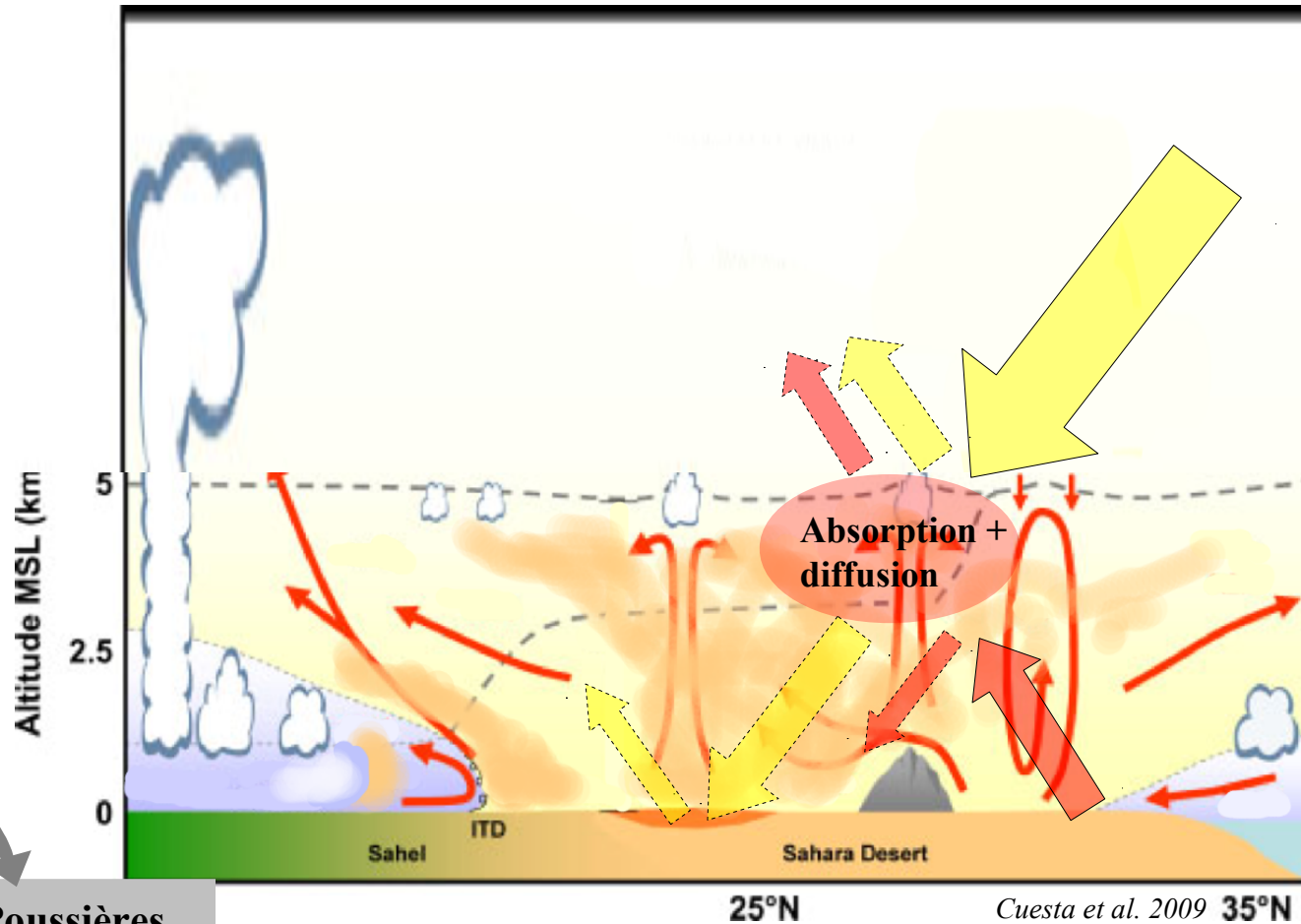
Dépend des **particules** :

- propriétés optiques
 - distribution spatiale
 - concentration
 - granulométrie
- et de l'**albédo du sol**

Dynamique

Poussières
désertiques

Rayonnement



- Forte variabilité
- Forte incertitudes

Effet direct

Dépend des **particules** :

- propriétés optiques
 - distribution spatiale
 - concentration
 - granulométrie
- et de l'**albédo du sol**

Effets semi-directs

- Chauffe la couche de poussières
- Refroidit au dessous

Changement du profil vertical de température

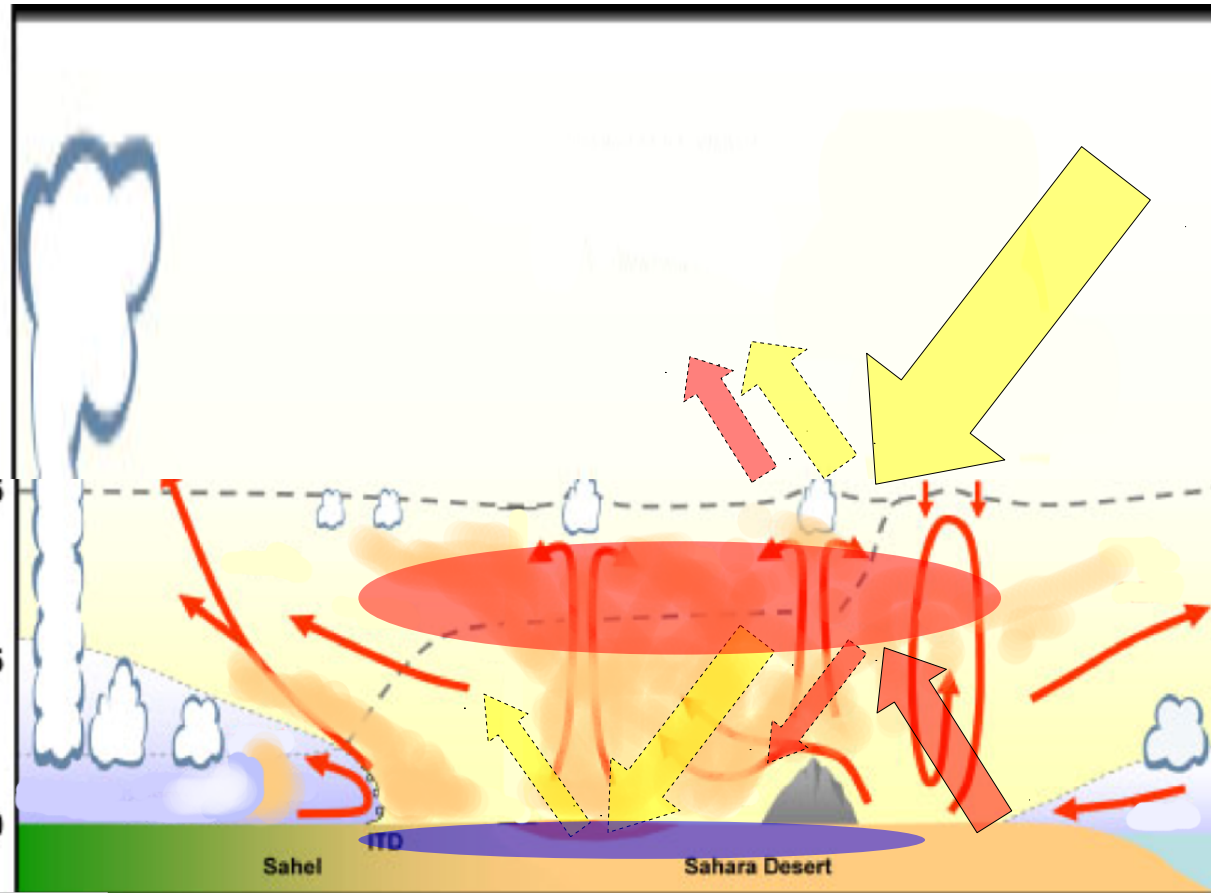
- **Nombreuses rétroactions**

Dynamique

Poussières désertiques

Rayonnement

Température



25°N

Cuesta et al. 2009 35°N

- **Forte variabilité**
- **Forte incertitudes**

Effet direct

Dépend des **particules** :

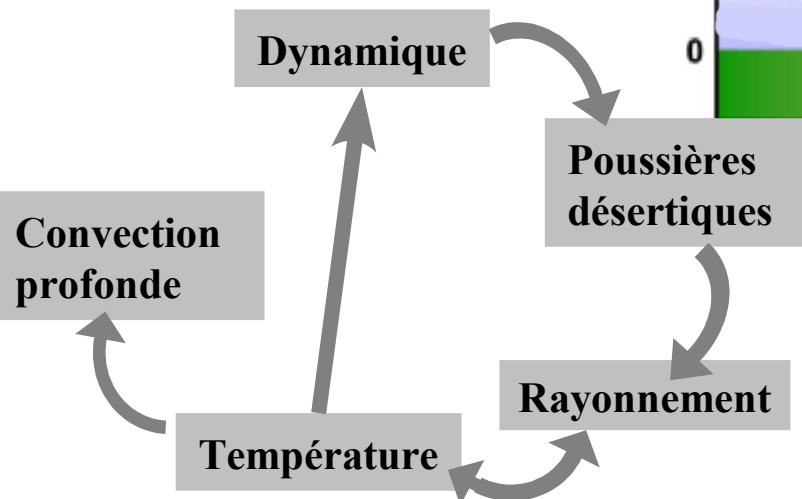
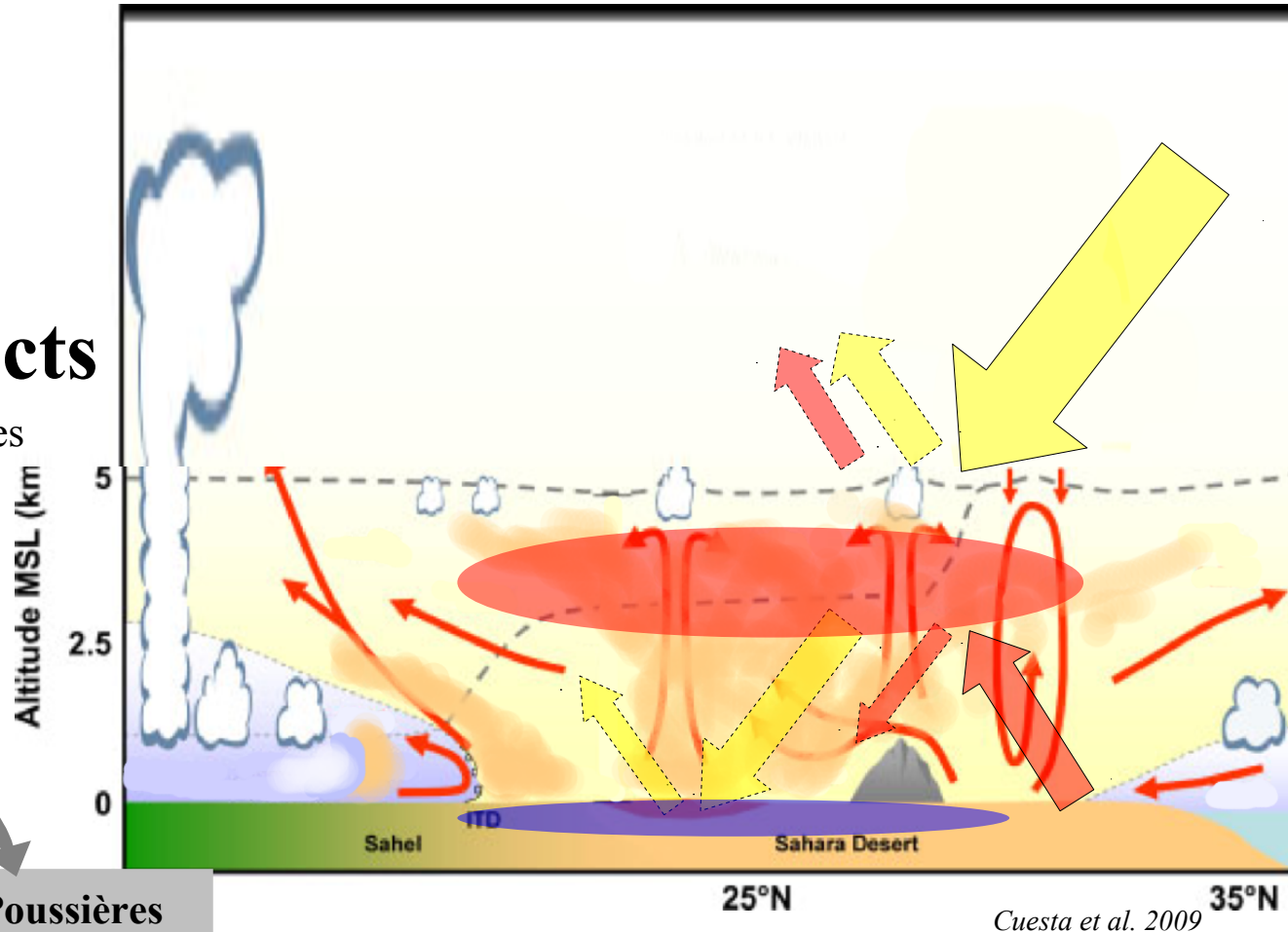
- propriétés optiques
 - distribution spatiale
 - concentration
 - granulométrie
- et de l'**albédo du sol**

Effets semi-directs

- Chauffe la couche de poussières
- Refroidit au dessous

Changement du profil vertical de température

- **Nombreuses rétroactions**



- **Forte variabilité**
- **Forte incertitudes**

Effet direct

Dépend des **particules** :

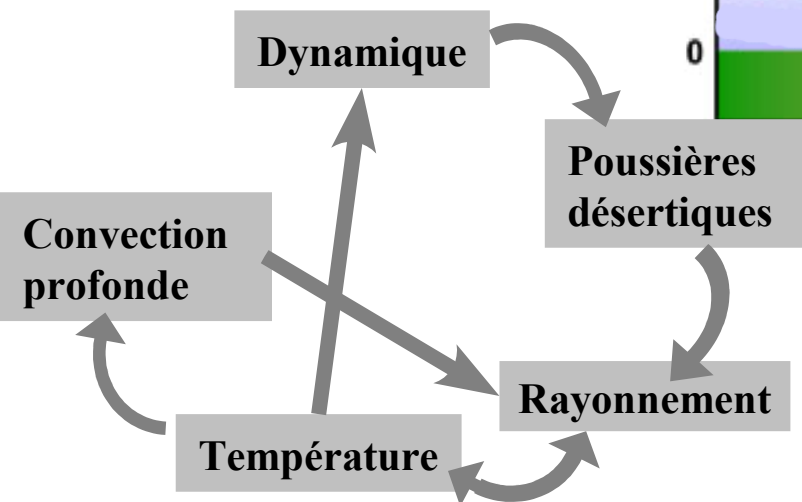
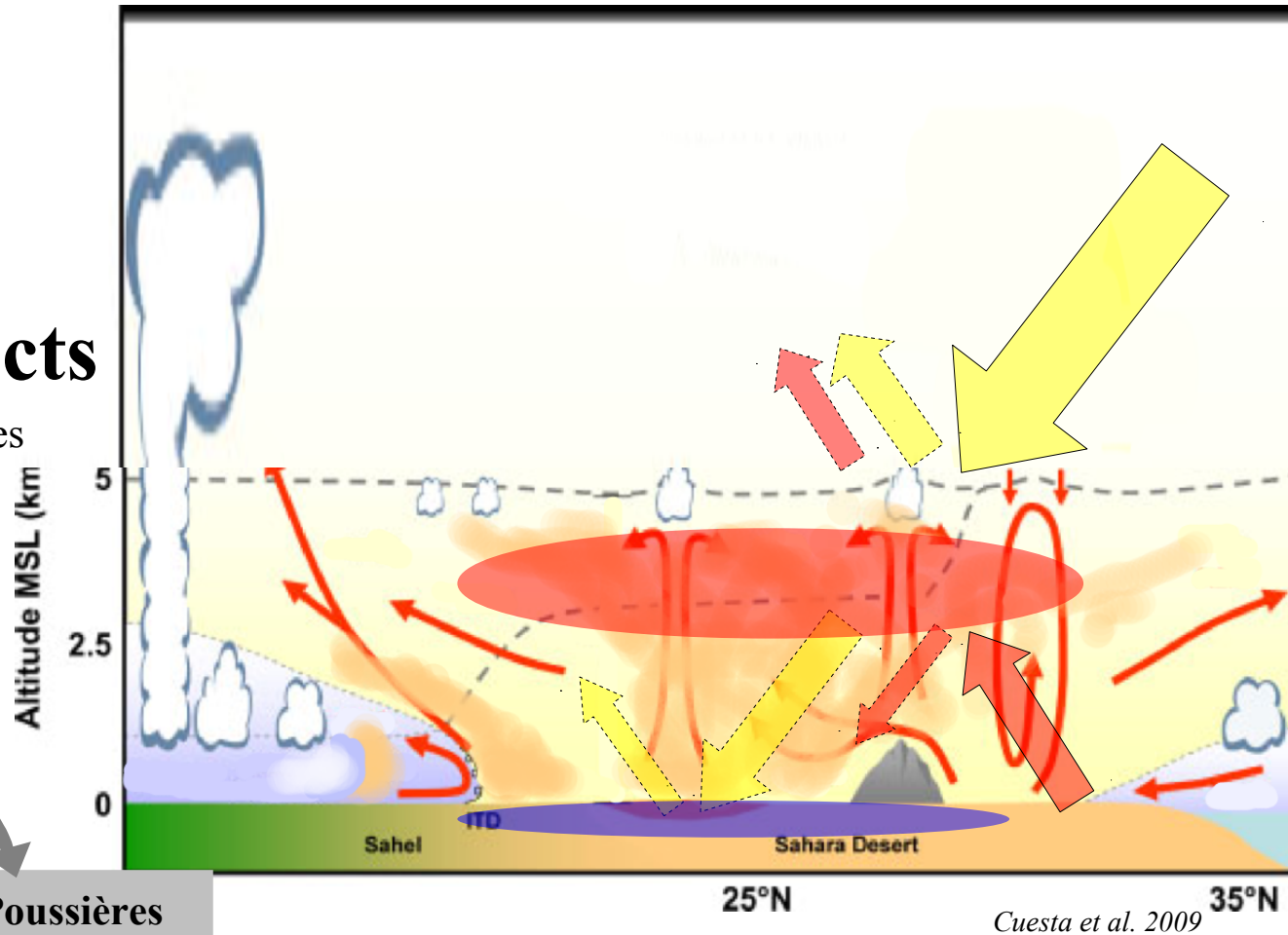
- propriétés optiques
 - distribution spatiale
 - concentration
 - granulométrie
- et de l'**albédo du sol**

Effets semi-directs

- Chauffe la couche de poussières
- Refroidit au dessous

Changement du profil vertical de température

- **Nombreuses rétroactions**



- **Forte variabilité**
- **Forte incertitudes**

Effet direct

Dépend des **particules** :

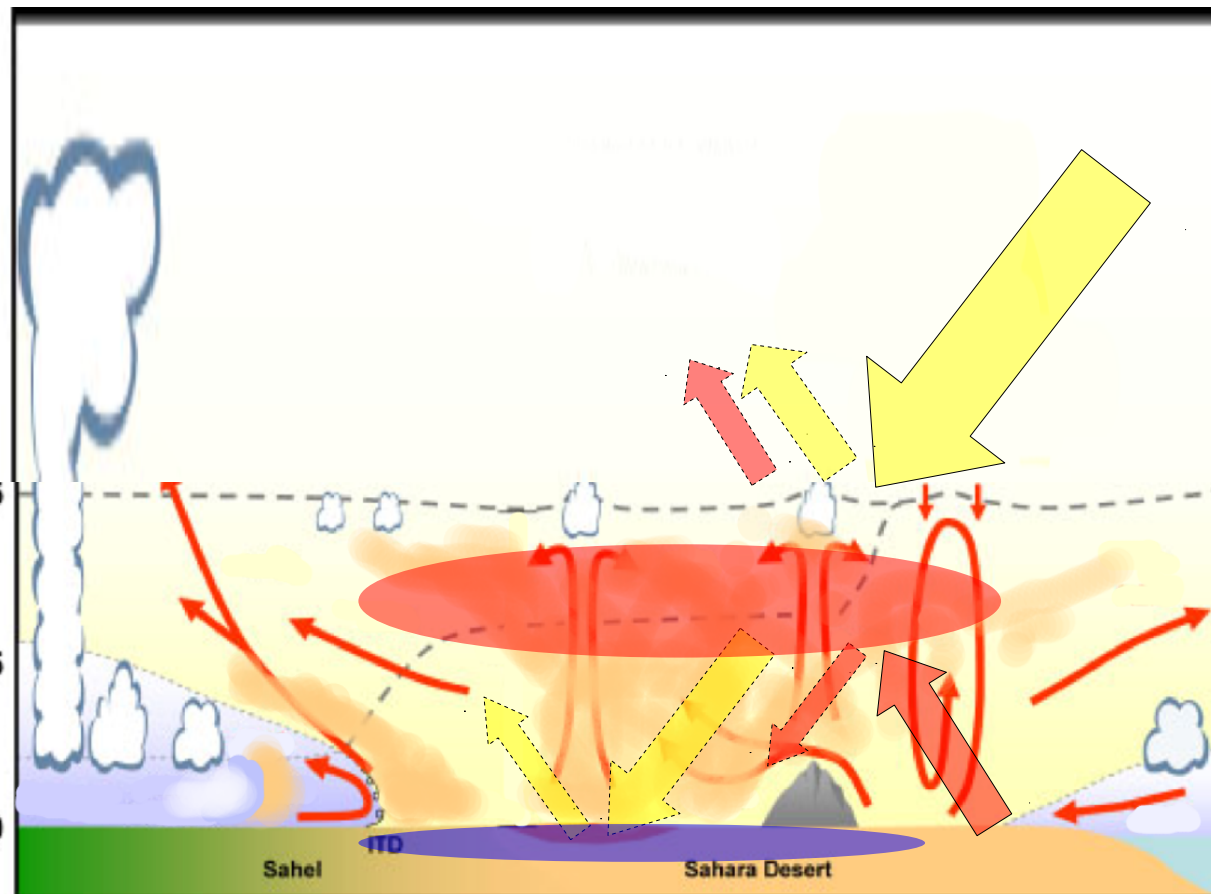
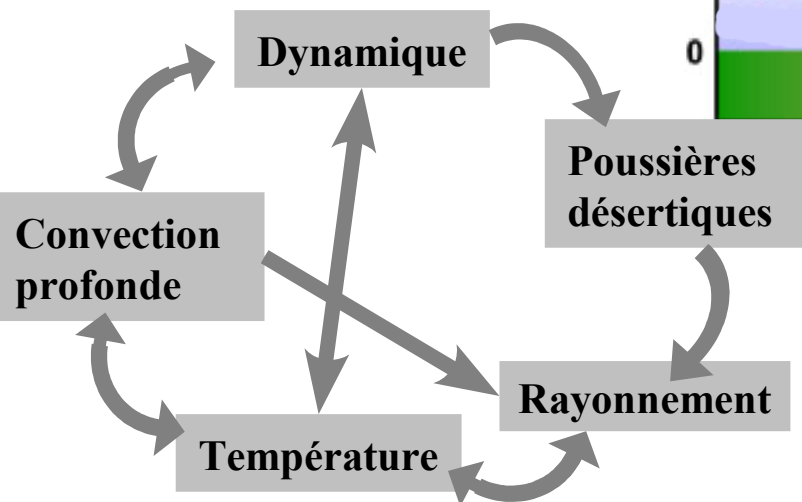
- propriétés optiques
 - distribution spatiale
 - concentration
 - granulométrie
- et de l'**albédo du sol**

Effets semi-directs

- Chauffe la couche de poussières
- Refroidit au dessous

Changement du profil vertical de température

- **Nombreuses rétroactions**



Cuesta et al. 2009

→ **Forte variabilité**
→ **Forte incertitudes**

Plan

1) Introduction

2) Stratégie & Outils

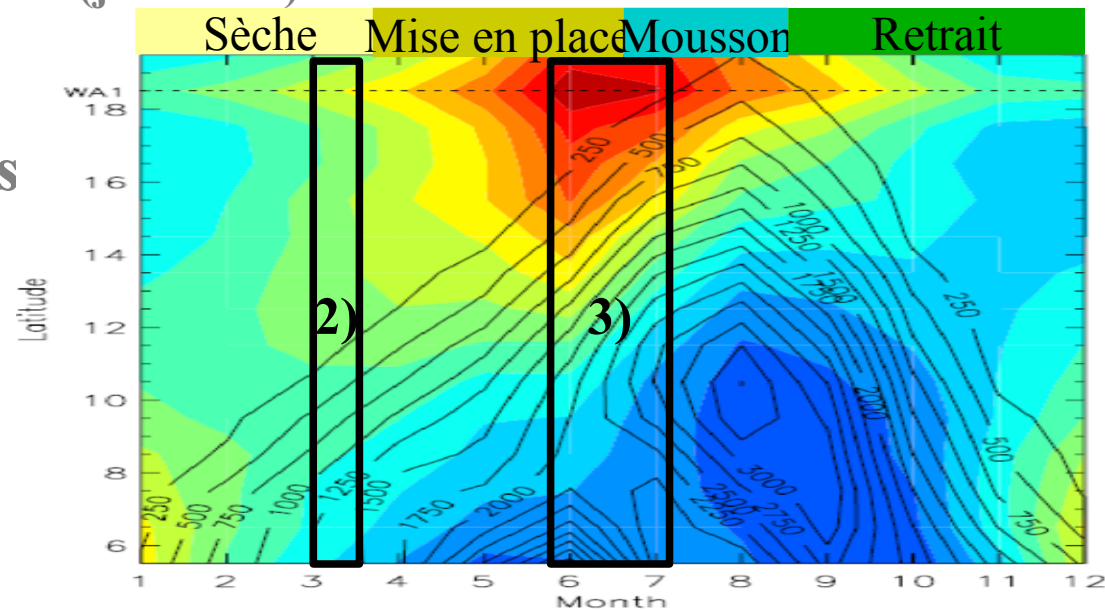
3) Tempête de poussières désertique (mars 2006)

--> Impacts radiatifs et dynamiques

4) Mise en place de la mousson (juin 2006)

--> Impacts sur la convection

5) Conclusion & Perspectives

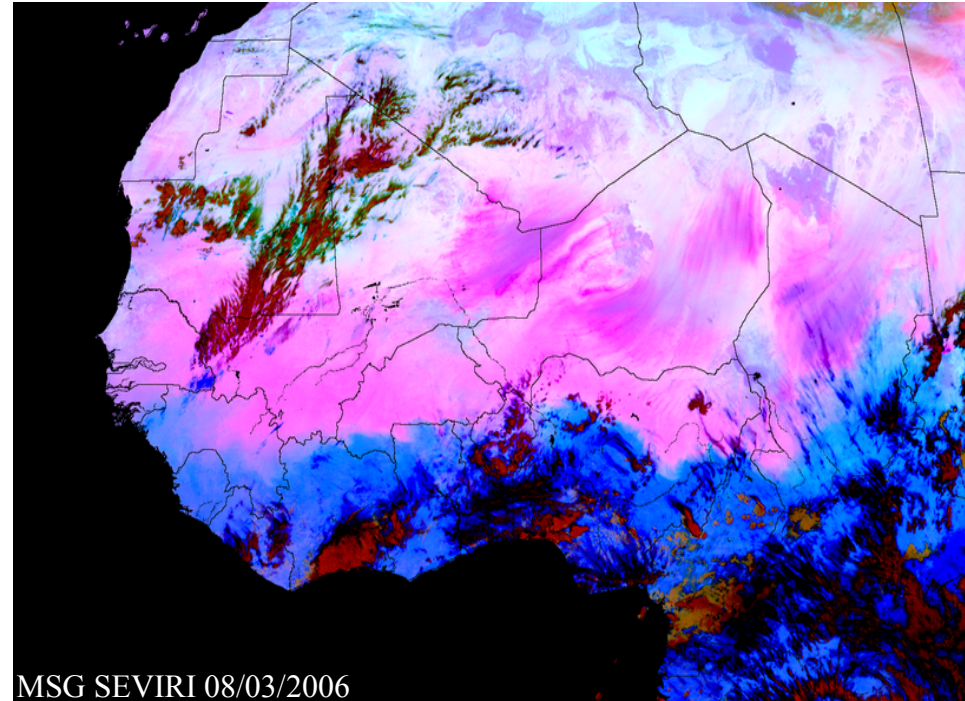


Domaine d'étude

Stratégie

Descendre à l'échelle du processus

- Haute résolution (convection)
- grand domaine (initiation, propagation)
- longues périodes (interactions)



Stratégie

Descendre à l'échelle du processus

- Haute résolution (convection)
- grand domaine (initiation, propagation)
- longues périodes (interactions)

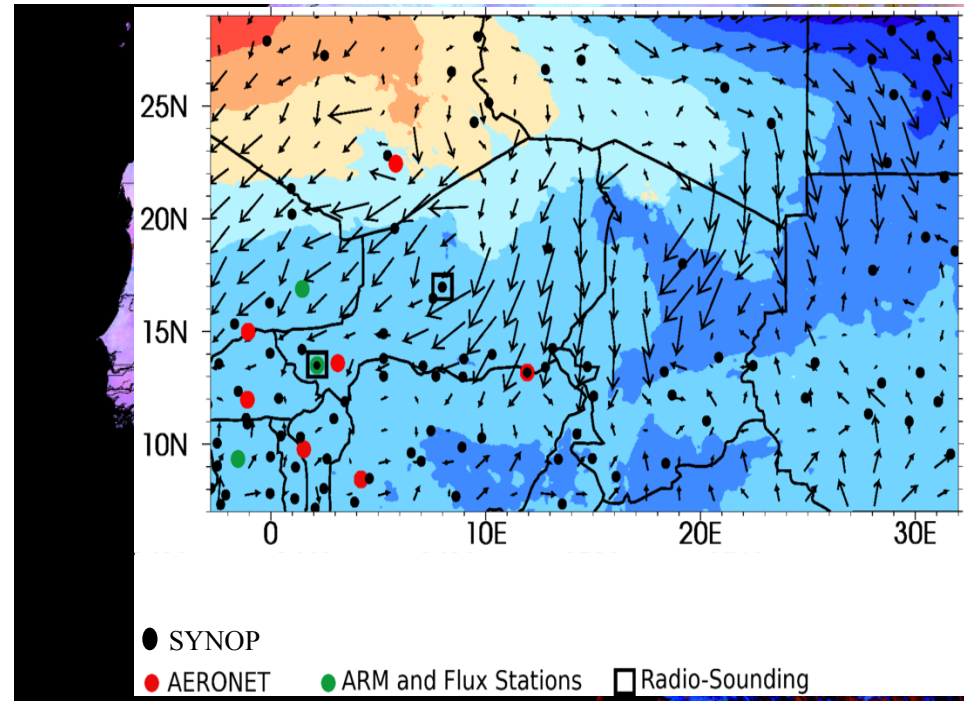
• Observations : AMMA

[Redelsperger et al. 2006]

- Multi-disciplinaire et Multi-échelle :

- ~ 8 satellites ($\sim 0,5^\circ/\sim 1\text{jr}$) (MODIS, MSG, OMI,...)
- ~ 100 stations synoptiques ($\sim 2^\circ/\sim 3\text{h}$)
- ~ 3 Stations Radiosondages ($\sim 3\text{h}$)
- ~ 7 Stations aérosols ($\sim 1\text{h}$) (AERONET)
- ~ 3 Stations flux radiatifs (ponctuel, $\sim 1\text{min}$) (ARM)

Domaine d'observation



→ La multiplicité des observations permet de contraindre le système complexe (nombreuses rétroactions)

Stratégie

Descendre à l'échelle du processus et évaluer leur impact à échelle climatique

- Haute résolution (convection)
- grand domaine (initiation, propagation)
- longues périodes (interactions)

• Observations : AMMA

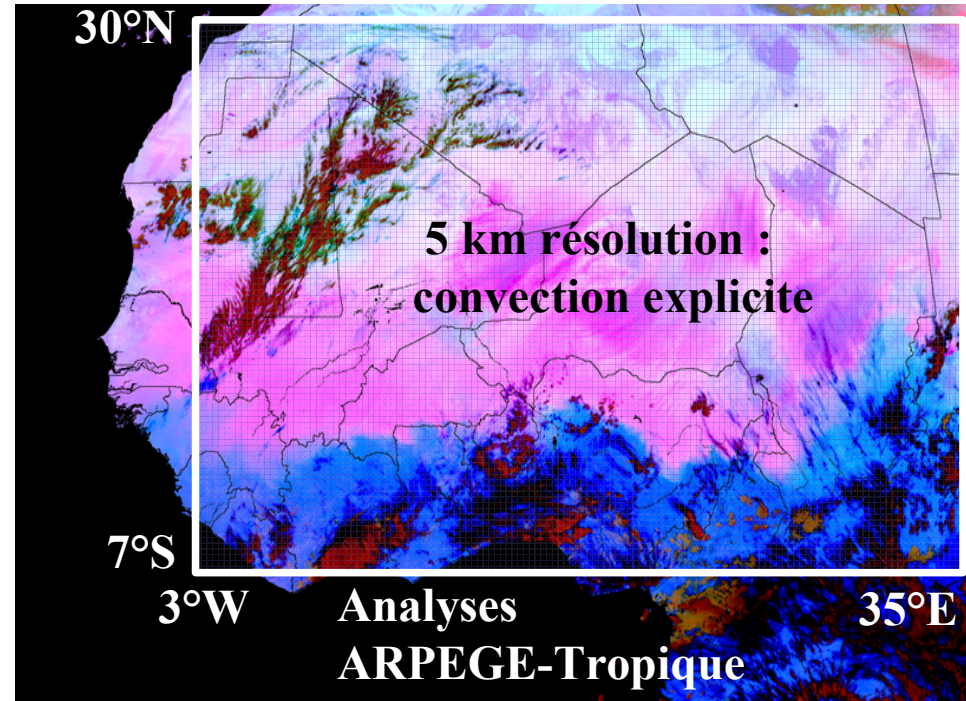
[Redelsperger et al. 2006]

- **Multi-disciplinaire et Multi-échelle :**
 - ~ 8 satellites (~0,5°/~1jr) (MODIS, MSG, OMI,...)
 - ~ 100 stations synoptiques (~2°/~3h)
 - ~ 3 Stations Radiosondages (~3h)
 - ~ 7 Stations aérosols (~1h) (AERONET)
 - ~ 3 Stations flux radiatifs (ponctuel, ~1min) (ARM)

• Modélisation : AROME [Seity et al. 2011]

- Dynamique d'un modèle opérationnel (ALADIN, [Courtier et al. 199...])
- Sophistication physique d'un modèle de recherche (Méso-NH,

Domaine de simulation



→ La multiplicité des observations permet de contraindre le système complexe (nombreuses rétroactions)

→ Son efficacité permet une résolution explicite de la convection et des rafales sur un grand domaine :
850x550x40/60s/1mois

Modélisation des poussières désertiques

→ **AROME CTRL** : Climatologie mensuelle de Tegen

→ **AROME DUST** : Résolution explicite des poussières désertiques

Modélisation des poussières désertiques

→ **AROME CTRL** : Climatologie mensuelle de Tegen

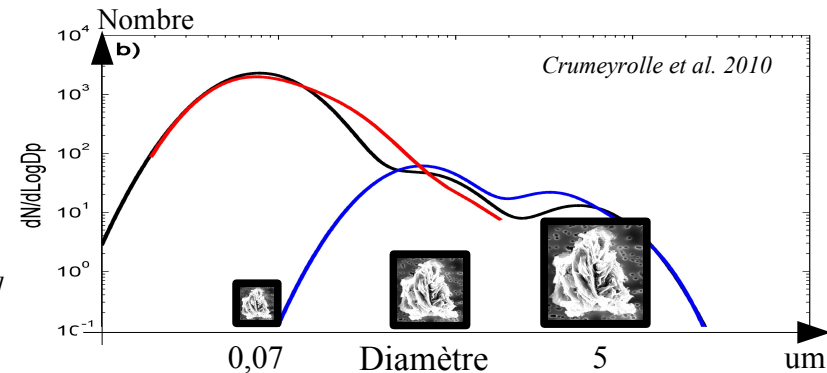
→ **AROME DUST** : Résolution explicite des poussières désertiques

- **Emission** : modèle **DEAD** [Grini et al. 2006]

- taille des particules
- vitesse du vent à la surface
- type de sol

- **Transport, dépôt et lessivage** : modèle **ORILAM** [Tulet et al. 2005]

- processus météorologiques



Modélisation des poussières désertiques

→ **AROME CTRL** : Climatologie mensuelle de Tegen

→ **AROME DUST** : Résolution explicite des poussières désertiques

- **Emission** : modèle **DEAD** [Grini et al. 2006]

- taille des particules
- vitesse du vent à la surface
- type de sol

- **Transport, dépôt et lessivage** : modèle **ORILAM** [Tulet et al. 2005]

- processus météorologiques

- **Propriétés radiatives** : [Grini et al. 2006, Tulet et al. 2008, Mallet et al. 2009]

- taille des particules
- longueur d'onde
- Couplé en ligne avec le schéma radiatif

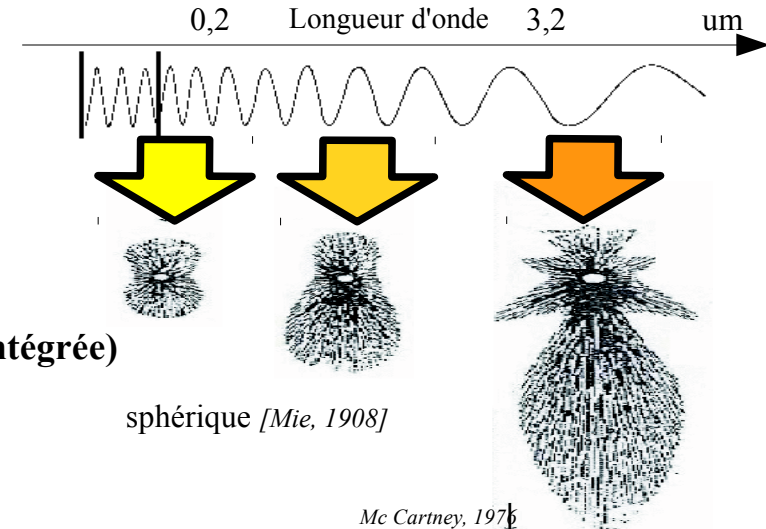
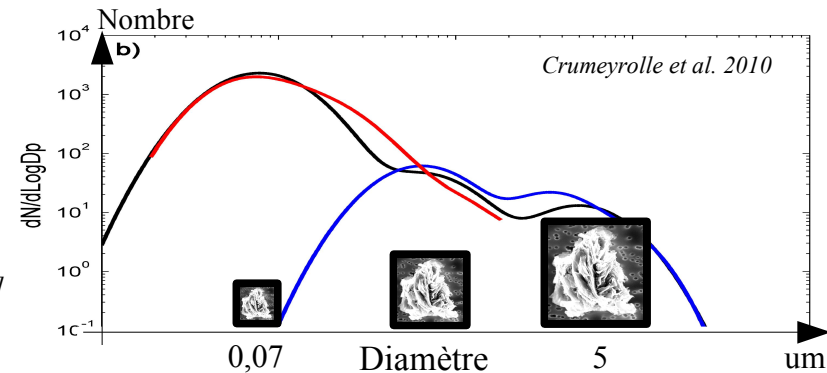
→ **extinction (absorption + diffusion)**

→ **visibilité (extinction au 1er niveau)**

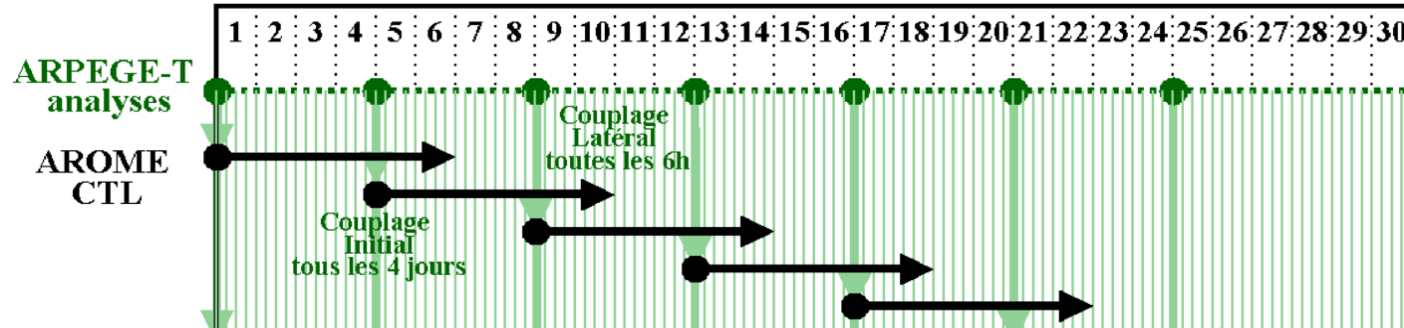
→ **épaisseur Optique des poussières désertiques (AOD) (extinction intégrée)**

→ **albédo de simple diffusion (fraction diffusée)**

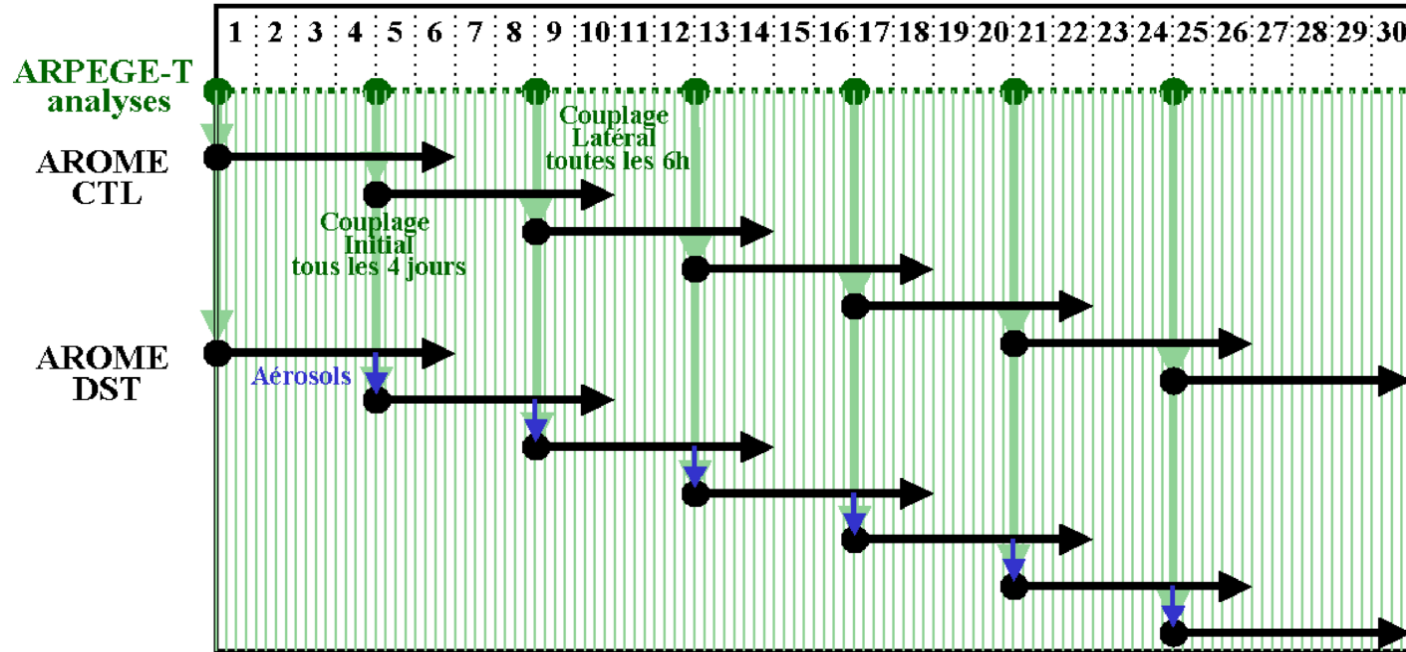
→ **facteur d'asymétrie (direction principale de rediffusion)**



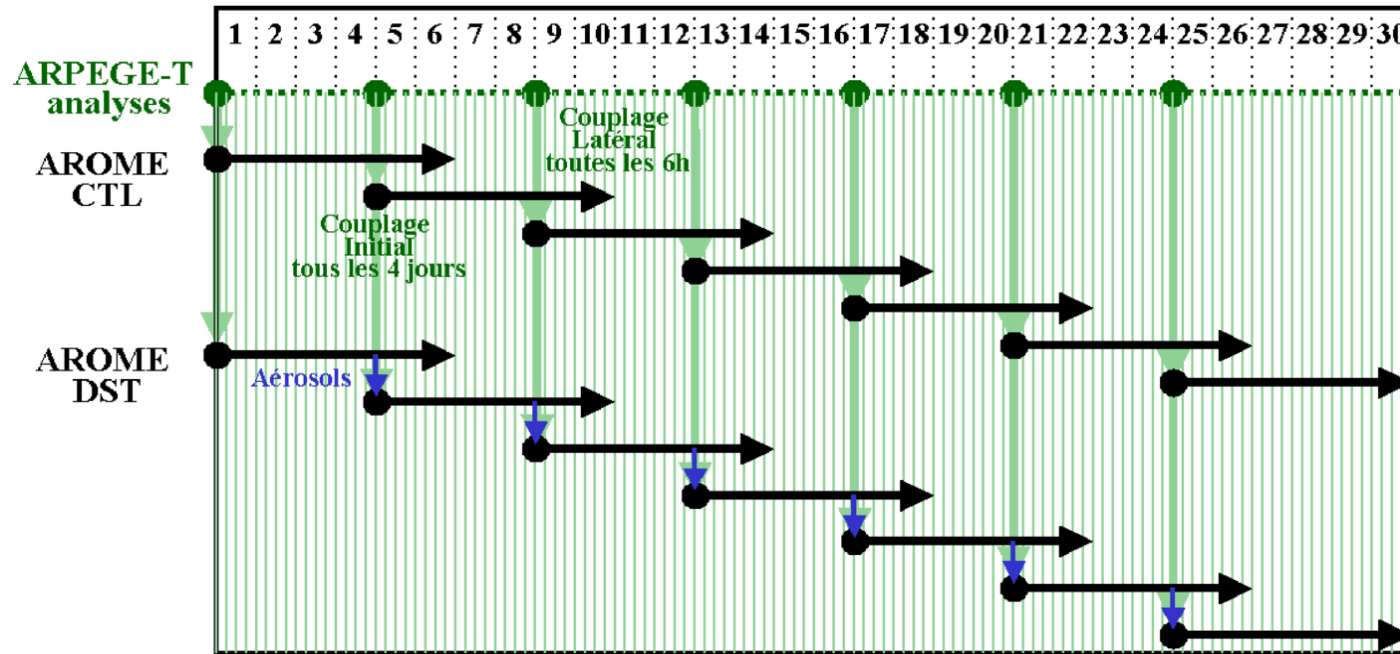
Modélisation : configuration



Modélisation : configuration



Modélisation : configuration



Changements par rapport à la configuration initiale d'AROME [collaboration avec le GMAP]:

- Résolution : 2.5km → 5km
- Domaine x 2
- Région : Europe → Afrique (diffusion horizontale, sédimentation des pluies, ...)
- Coupleur : ALADIN → ARPEGE-Tropiques
- Durée de simulation : 30h → 6jrs (temps d'équilibre, dérive)
- Couplage au module de poussières : (flux d'émission, granulométrie, domaine, ...)

→ **Systèmes convectifs parfois trop intenses en saison de mousson**

→ **Modèle adaptée à l'étude en saison sèche et pendant la mise en place de la mousson**

Plan

1) Introduction

2) Stratégie & Outils

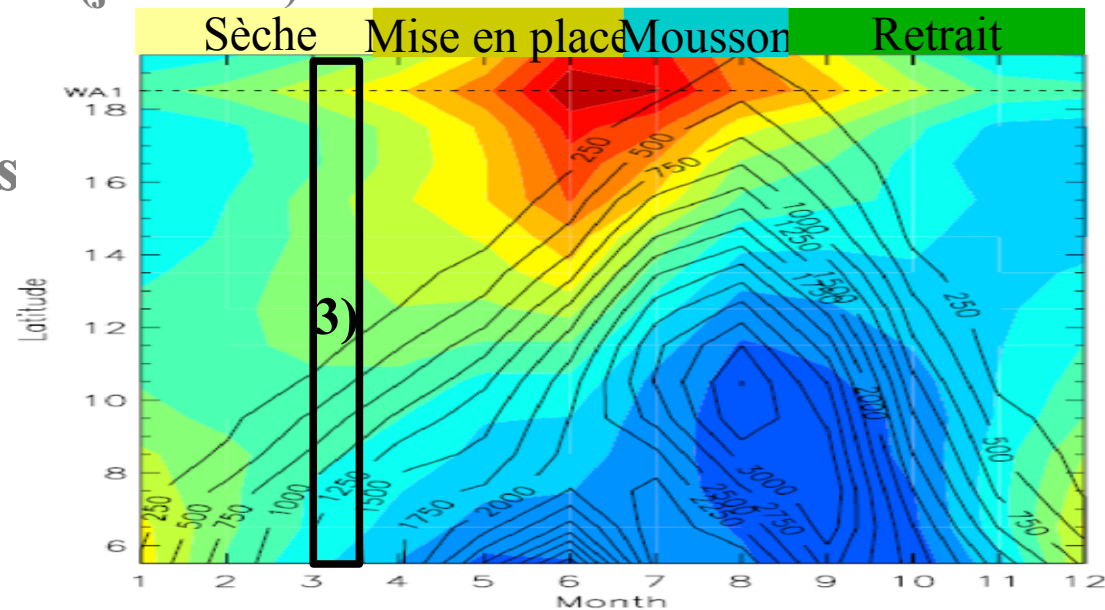
3) **Tempête de poussières désertique (mars 2006)**

--> Impacts radiatifs et dynamiques

4) Mise en place de la mousson (juin 2006)

--> Impacts sur la convection

5) Conclusion & Perspectives

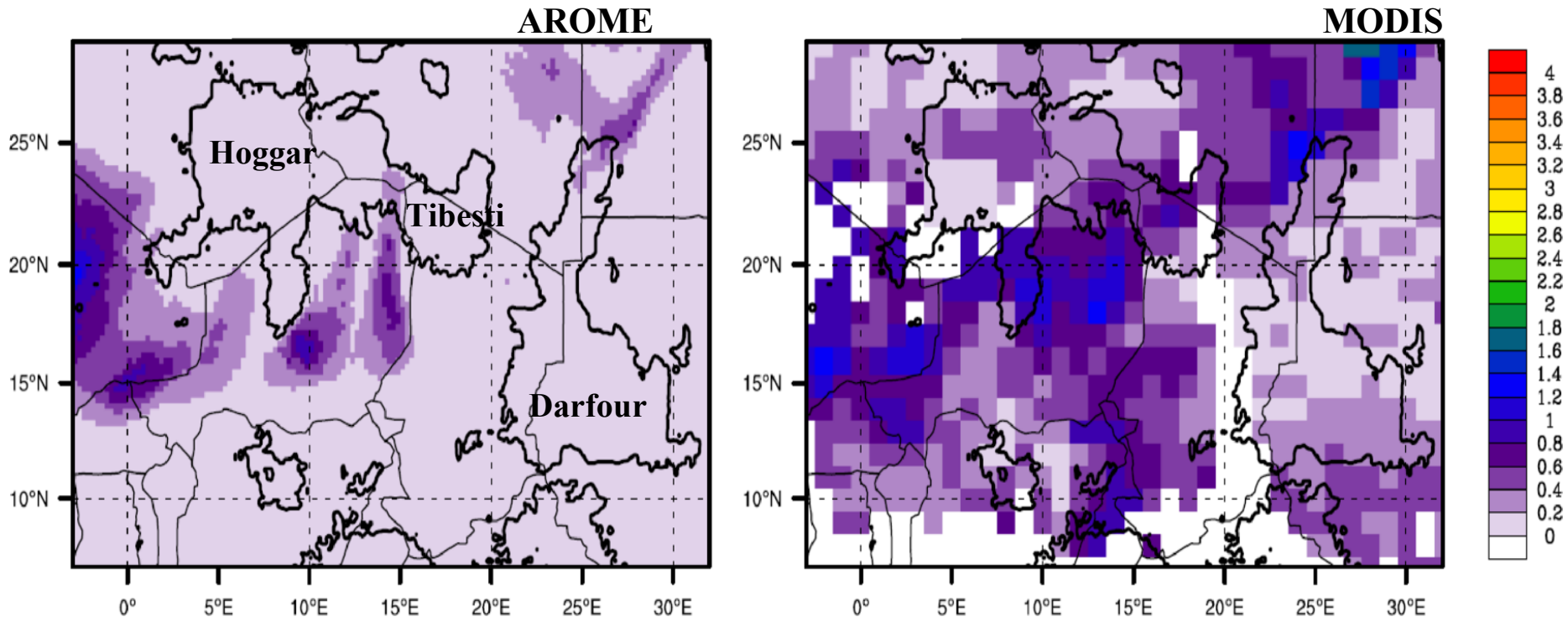


Tempête du 07-15 Mars 2006

Front froid extratropical venant du nord et se propageant vers le sud [Slingo et al. 2006]

07 Mars 2006

Épaisseur optique des poussières désertiques (moyennes journalières)

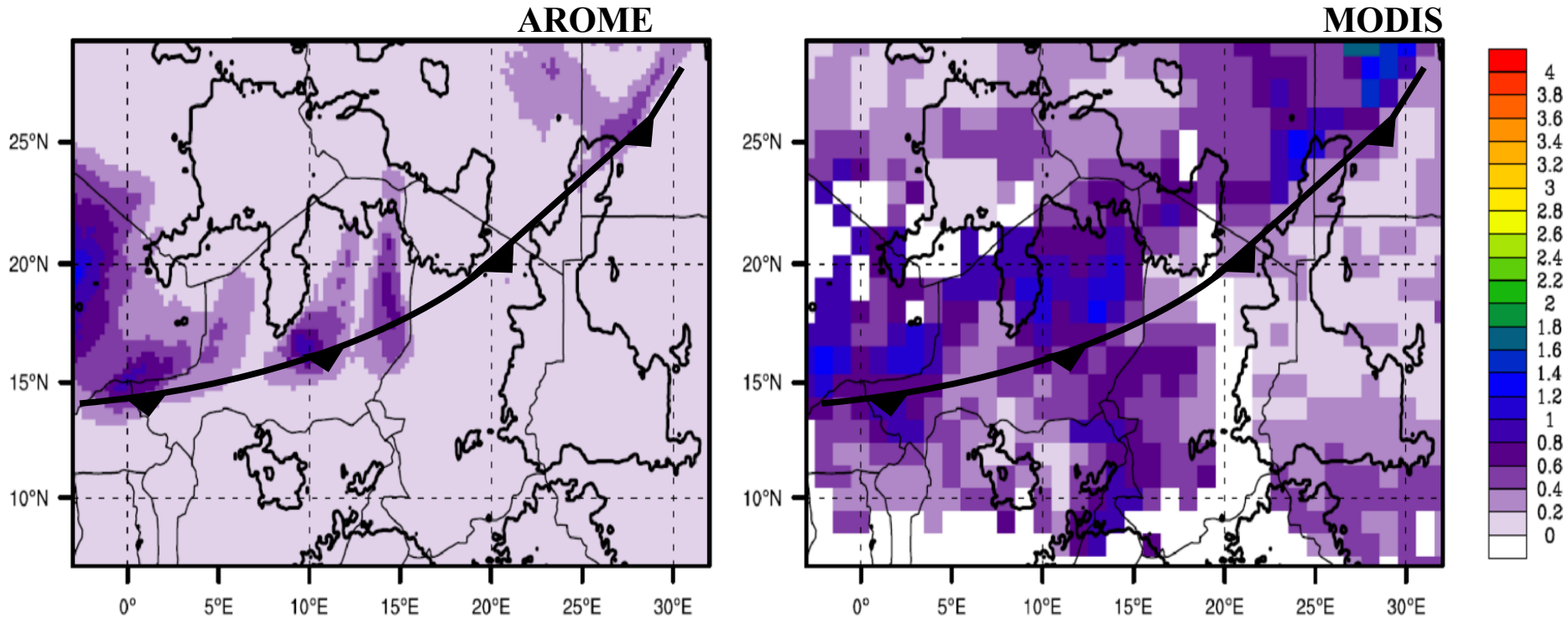


Tempête du 07-15 Mars 2006

Front froid extratropical venant du nord et se propageant vers le sud [Slingo et al. 2006]

07 Mars 2006

Épaisseur optique des poussières désertiques (moyennes journalières)

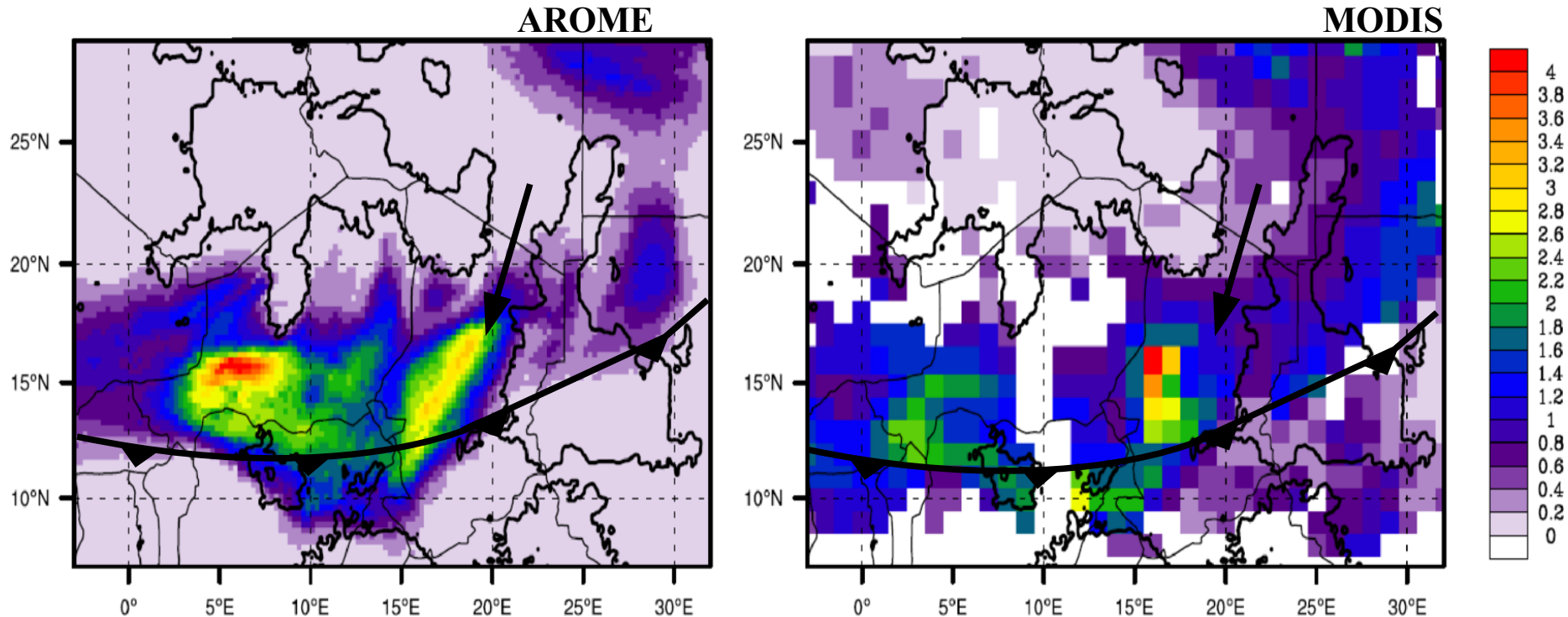


Tempête du 07-15 Mars 2006

Front froid extratropical venant du nord et se propageant vers le sud [Slingo et al. 2006]

08 Mars 2006

Epaisseur optique des poussières désertiques (moyennes journalières)

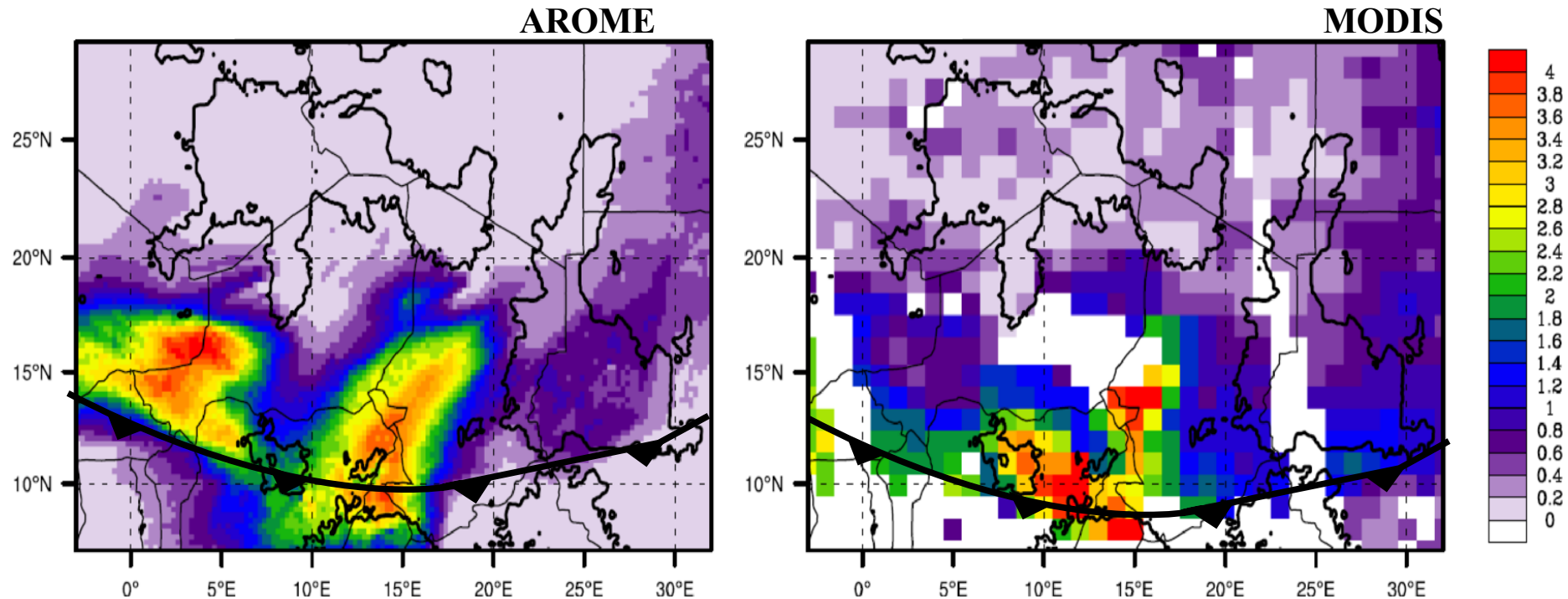


Tempête du 07-15 Mars 2006

Front froid extratropical venant du nord et se propageant vers le sud [Slingo et al. 2006]

09 Mars 2006

Epaisseur optique des poussières désertiques (moyennes journalières)

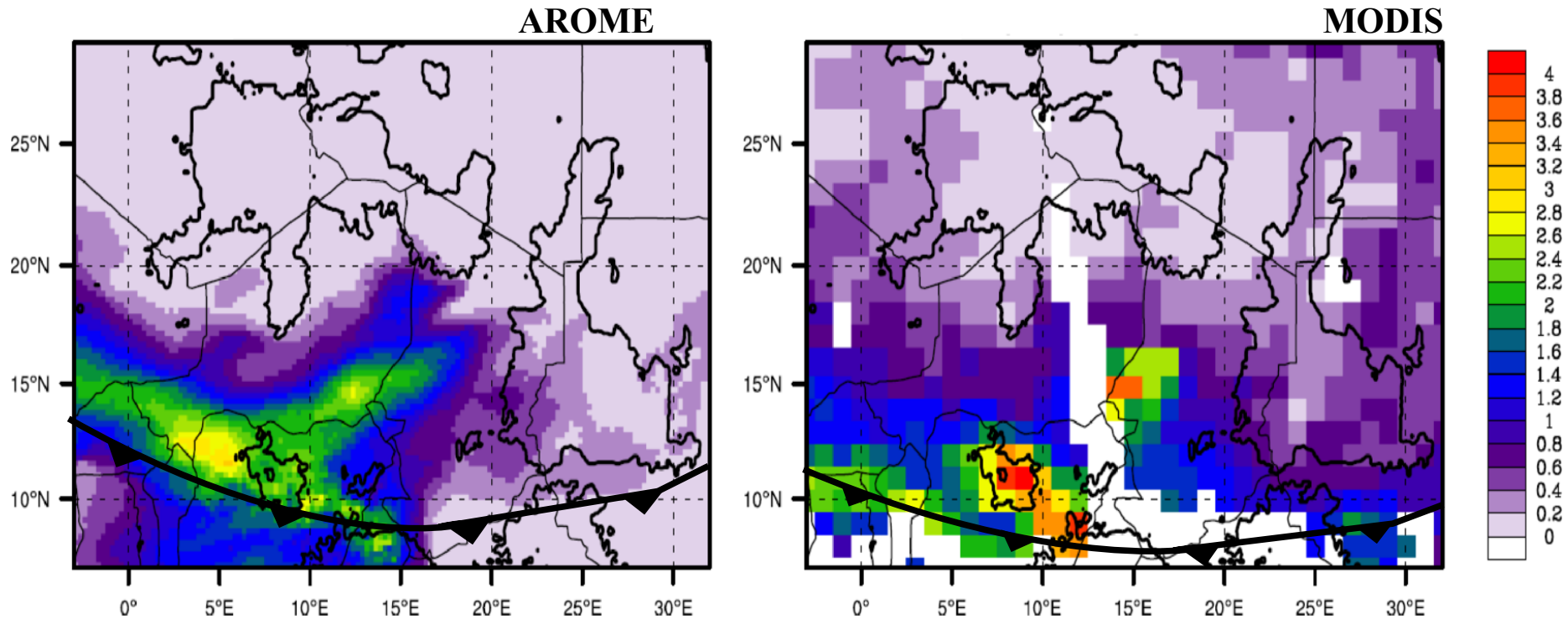


Tempête du 07-15 Mars 2006

Front froid extratropical venant du nord et se propageant vers le sud [Slingo et al. 2006]

10 Mars 2006

Epaisseur optique des poussières désertiques (moyennes journalières)



Tempête du 07-15 Mars 2006

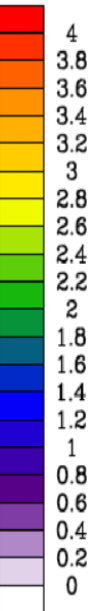
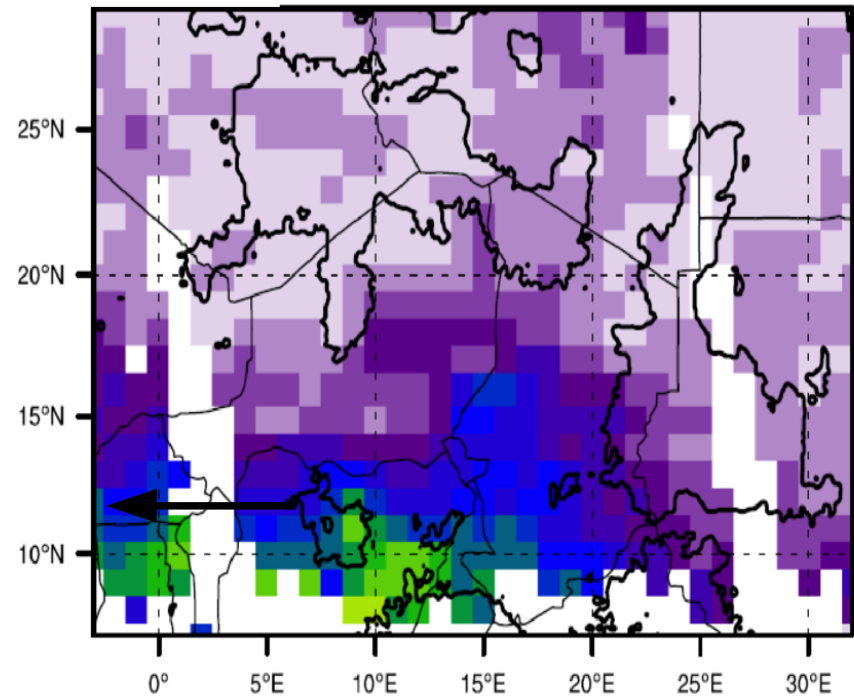
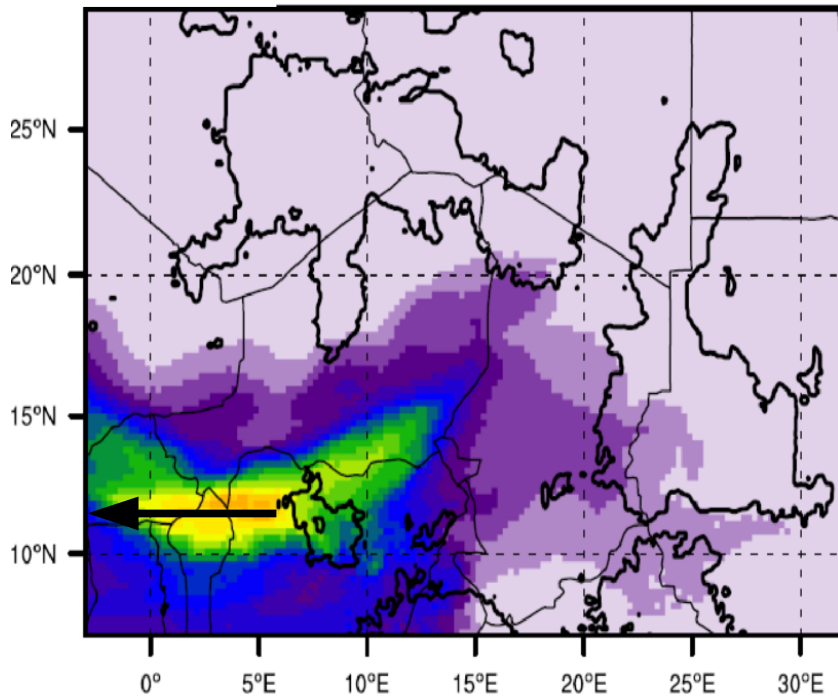
Front froid extratropical venant du nord et se propageant vers le sud [Slingo et al. 2006]

11 Mars 2006

Epaisseur optique des poussières désertiques (moyennes journalières)

AROME

MODIS



Evaluation approfondie des simulations

- **Extinction des poussières désertiques** (Satellites MODIS, OMI et MSG SEVIRI, 7 stations AERONET, ~100 stations synoptiques)
- **Flux radiatifs** (Satellite Land Saf, Stations ARM et 3 stations de flux)
- **Température** (~ 100 stations synoptiques, 3 radiosondages)

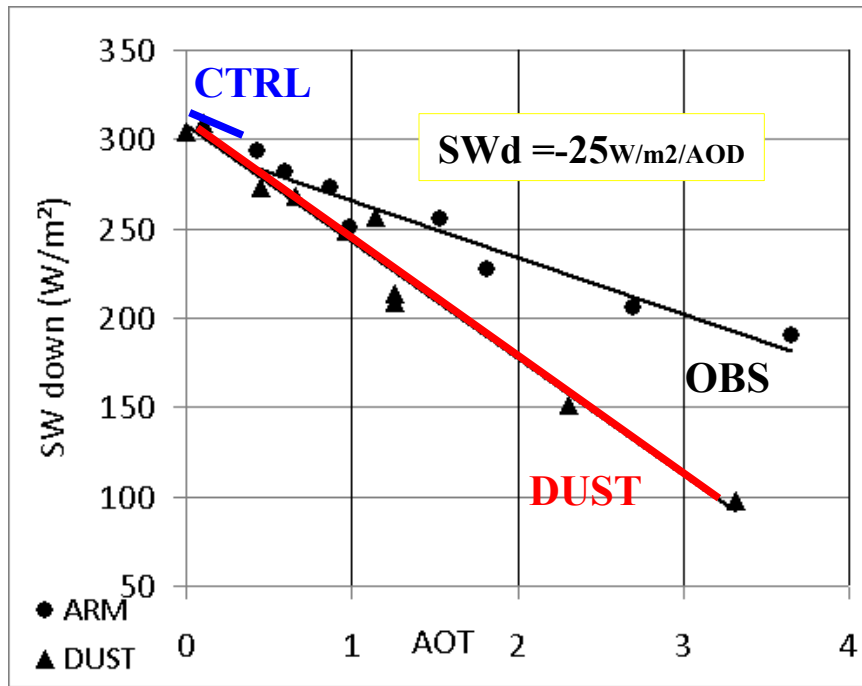
→ **Biais du modèle toujours présents**

→ **En terme d'évolution la représentation explicite des poussières désertiques améliore la prévisibilité de :**

- **l'extinction**
- **des flux radiatifs à la surface**
- **de la température atmosphérique**

Impacts radiatifs

Flux solaire incident à la surface en fonction de l'épaisseur Optique des poussières désertiques

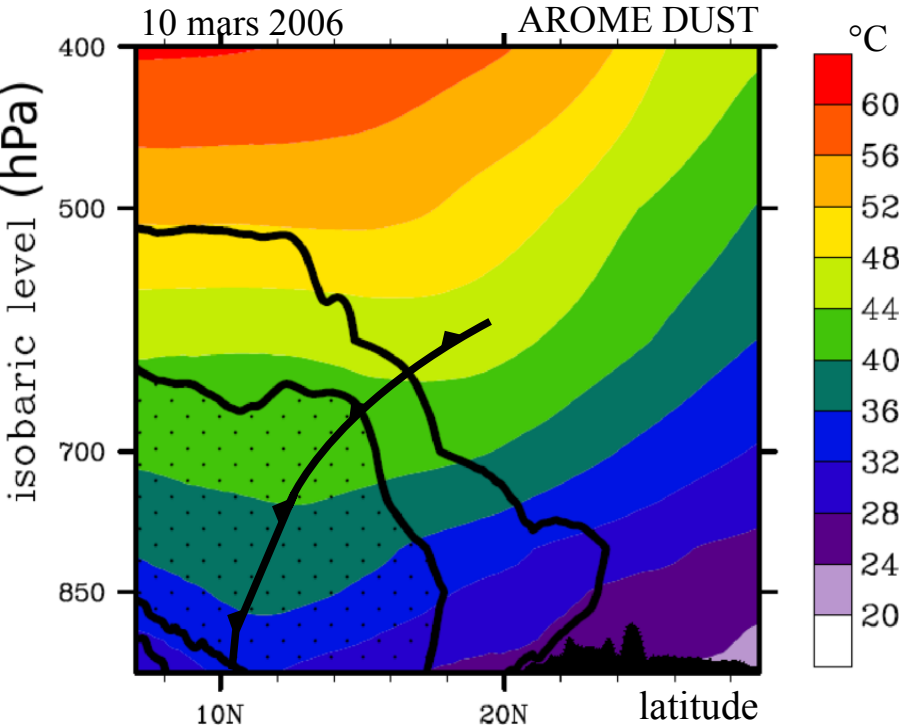


Etude de l'impact thermodynamique et dynamique

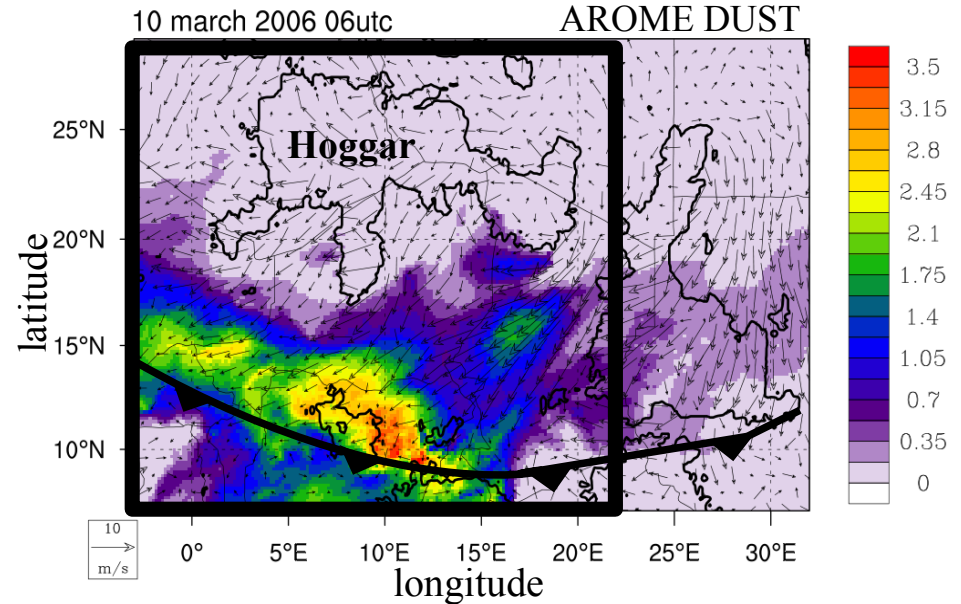
→ Extinction du rayonnement visible
→ Impact surestimée par le modèle sur ce cas (Travaux en cours)

Distribution verticale

Température potentielle



AOD et Vent à la surface



→ Diminution de la température $\sim 8^{\circ}\text{C}$ au passage du front froid



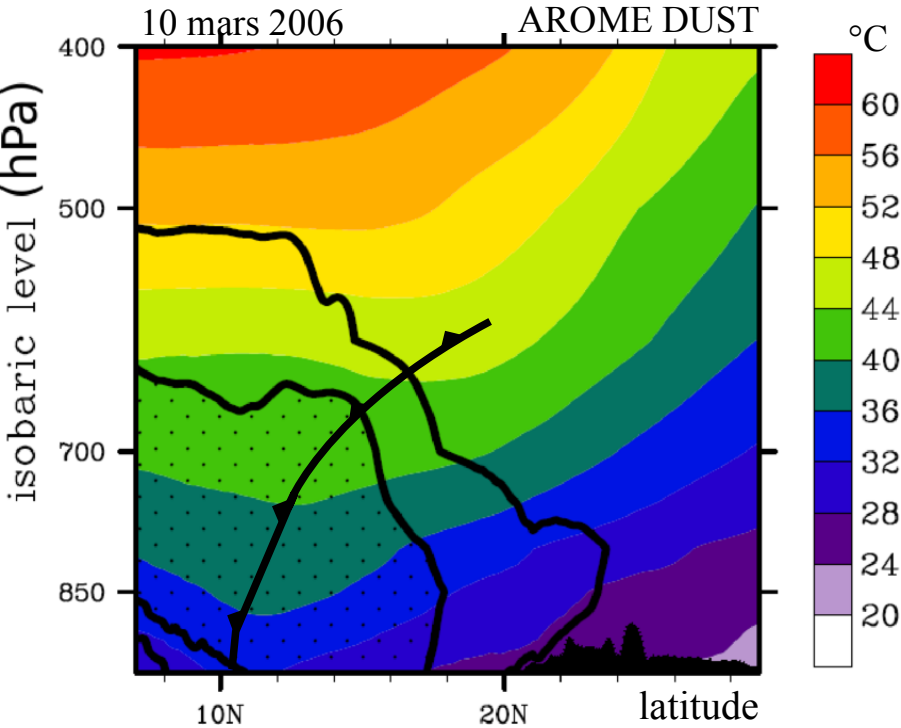
Front froid



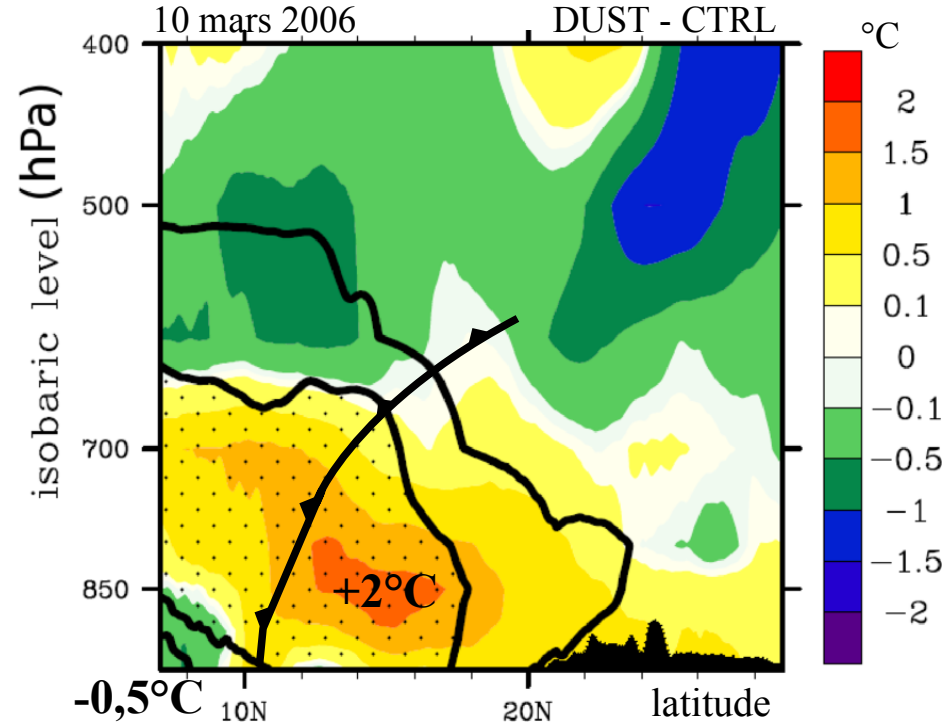
Extinction des poussières désertiques $> 0.05\text{m}^{-1}$

Impacts thermodynamiques

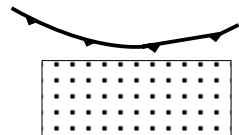
Température potentielle



Différence de Température potentielle



- Augmentation de la température dans la couche de poussières
- Diminution de la température au dessous de la couche de poussières



Front froid

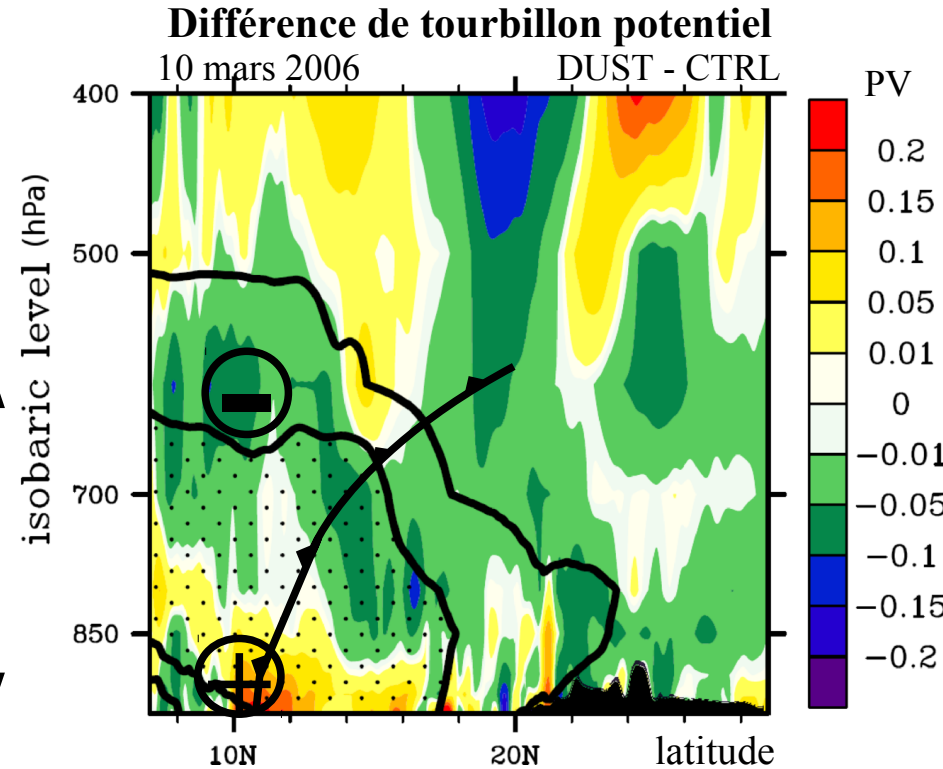
Extinction des poussières désertiques $> 0.05\text{m}^{-1}$

Impacts sur la stabilité de l'atmosphère

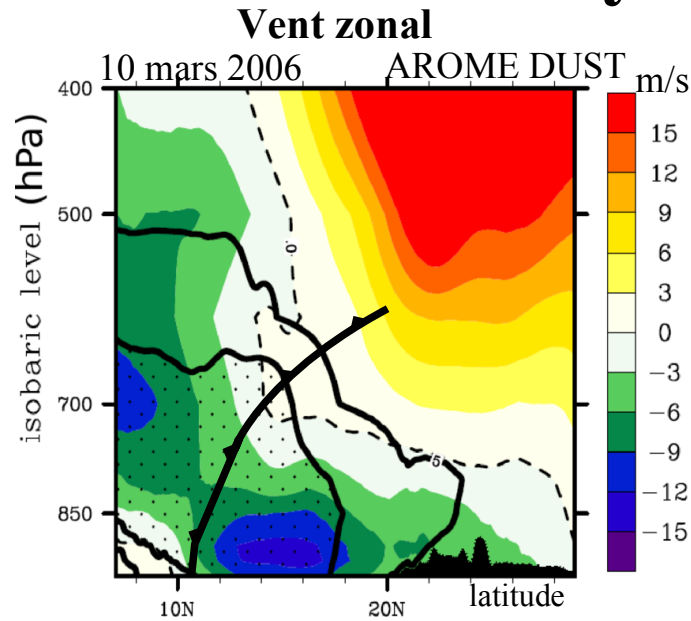
- Déstabilisation par chauffage en altitude
- Stabilisation des basses couches

Gradient x 2

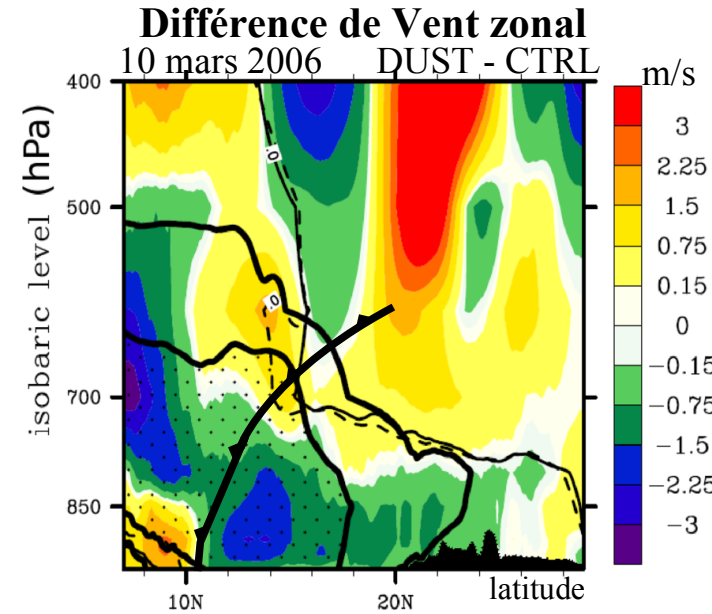
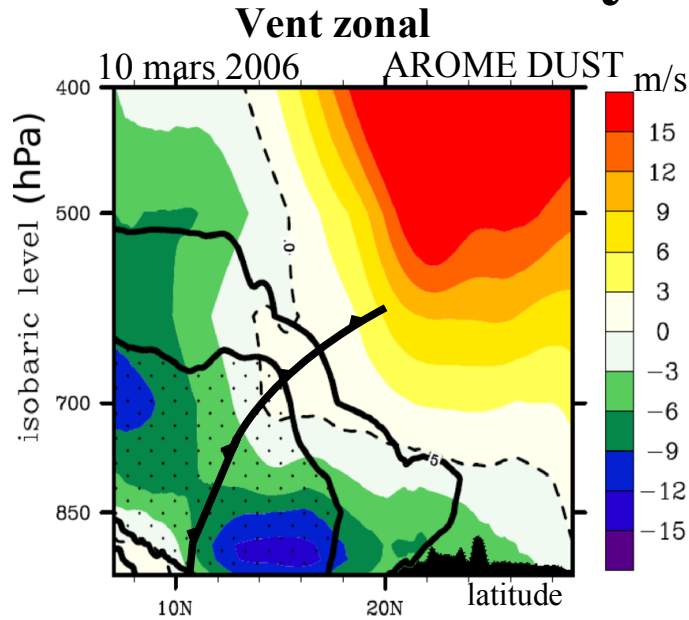
- Amplifie la structure du front froid



Impacts sur les circulations dynamiques



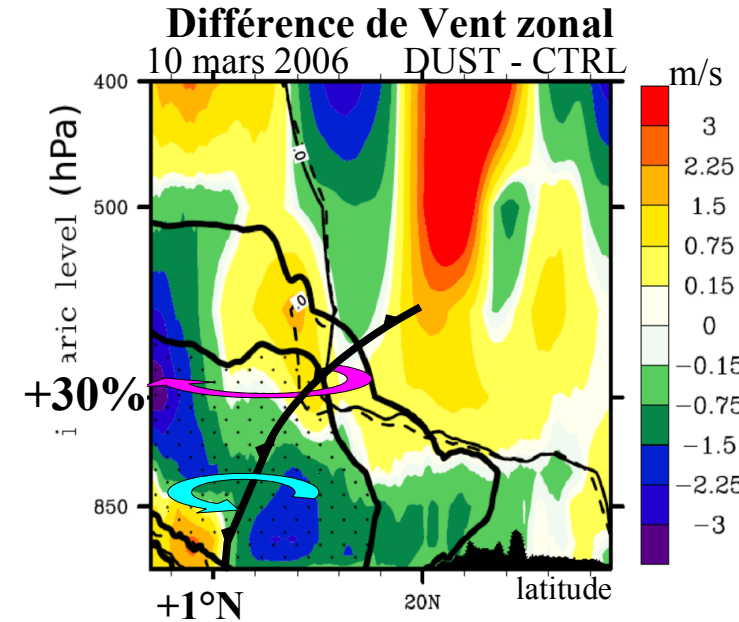
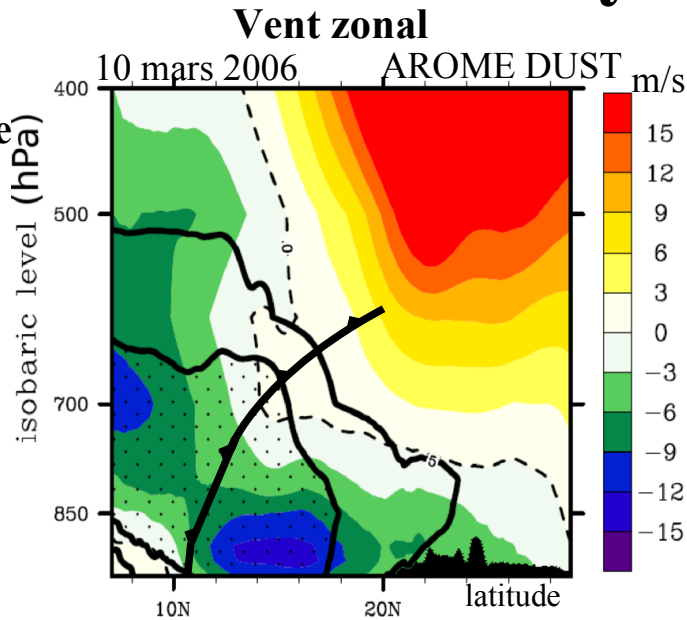
Impacts sur les circulations dynamiques



Impacts sur les circulations dynamiques

+ **convergence cyclonique**
en basses couches
→ flux de mousson x 2
→ ITD 1° + Nord
→ +15% Harmattan
→ **rétroaction positive**

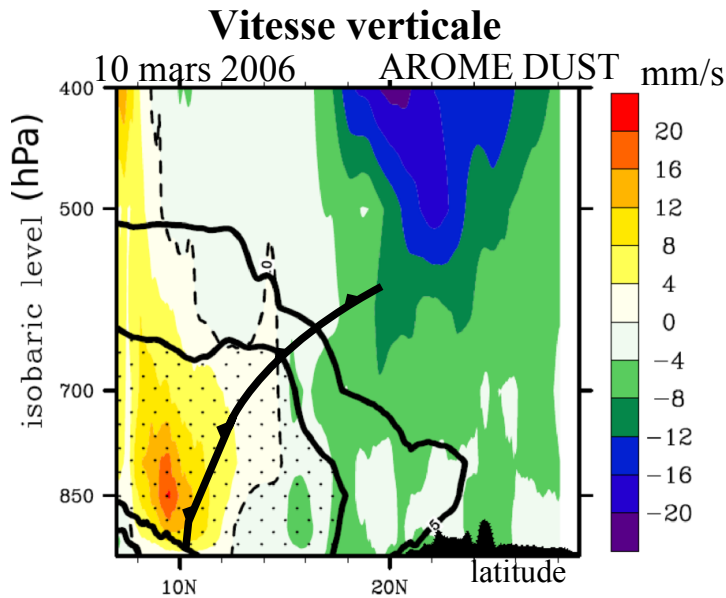
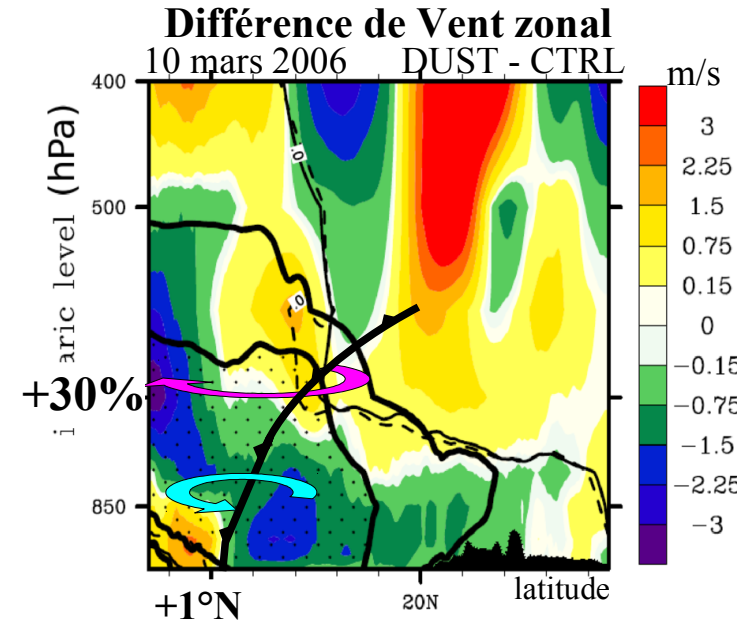
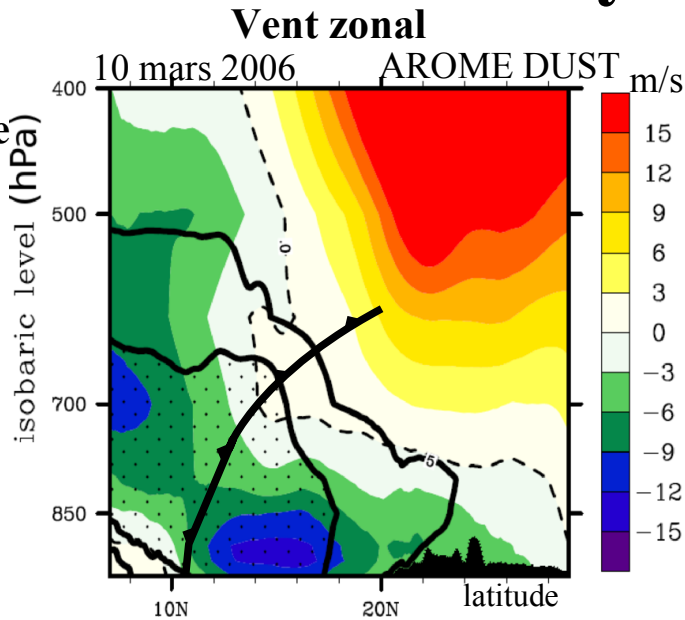
+ **divergence**
anticyclonique dans la
couche de poussières
→ +30% Jet d'Est Africain
(transport longue distance)



Impacts sur les circulations dynamiques

+ convergence cyclonique en basses couches
→ flux de mousson x 2
→ ITD 1° + Nord
→ +15% Harmattan
→ **rétroaction positive**

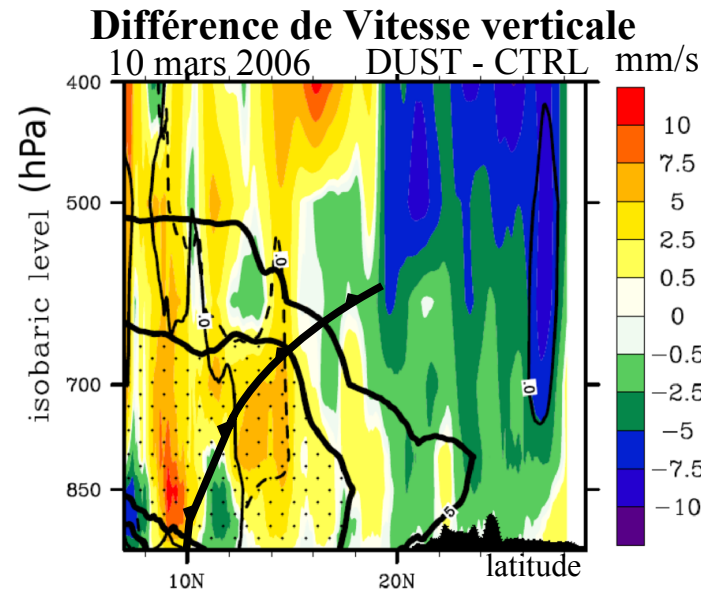
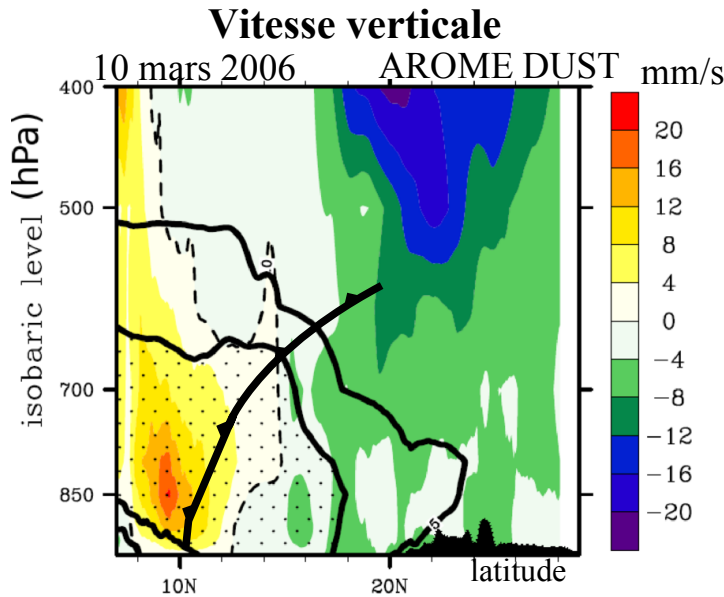
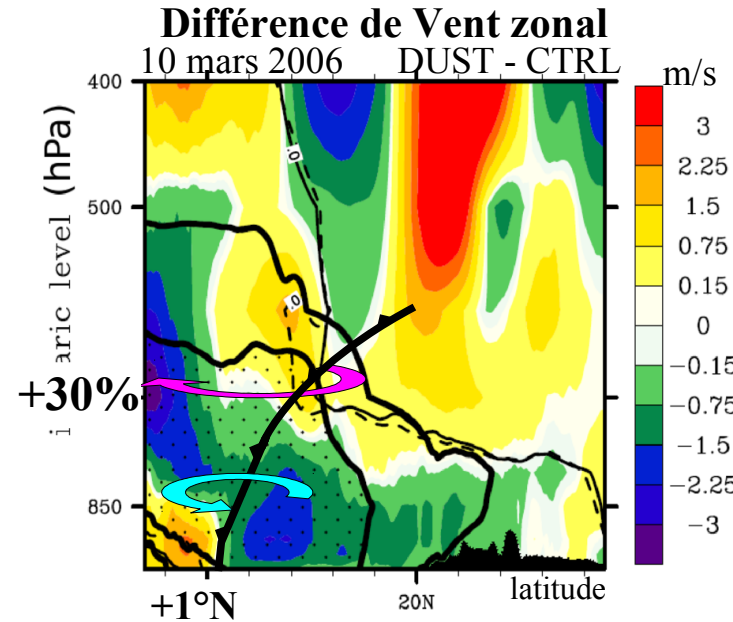
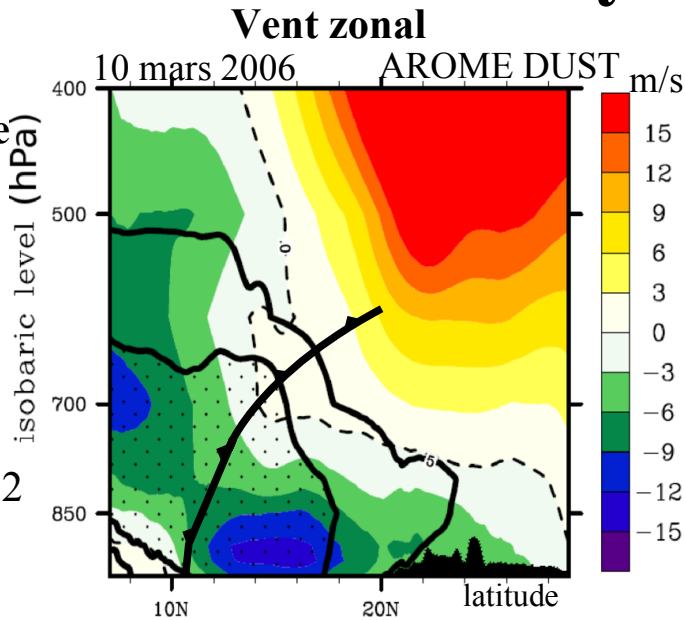
+ divergence anticyclonique dans la couche de poussières
→ +30% Jet d'Est Africain (transport longue distance)



Impacts sur les circulations dynamiques

- + convergence cyclonique en basses couches
- flux de mousson x 2
- ITD 1° + Nord
- +15% Harmattan
- **rétroaction positive**
- ascendances (front) x 2
- subsidences (altitude) x 2

- + divergence anticyclonique dans la couche de poussières
- +30% Jet d'Est Africain (transport longue distance)

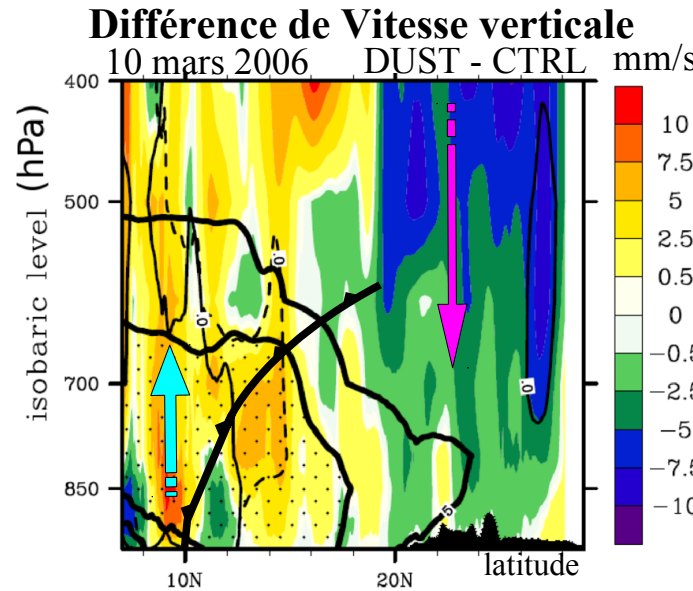
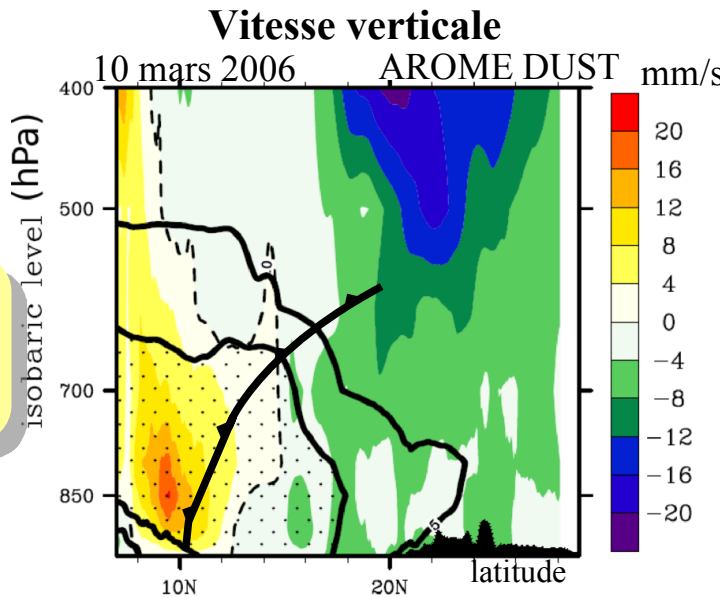
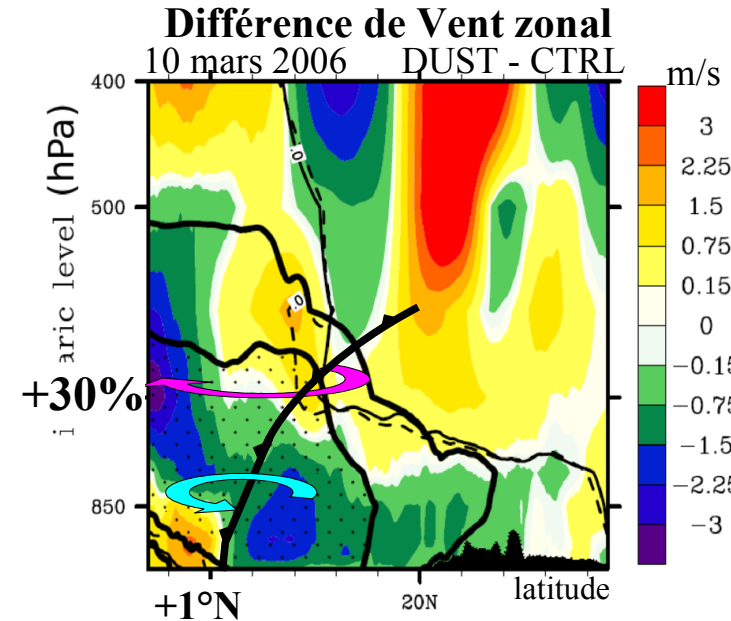
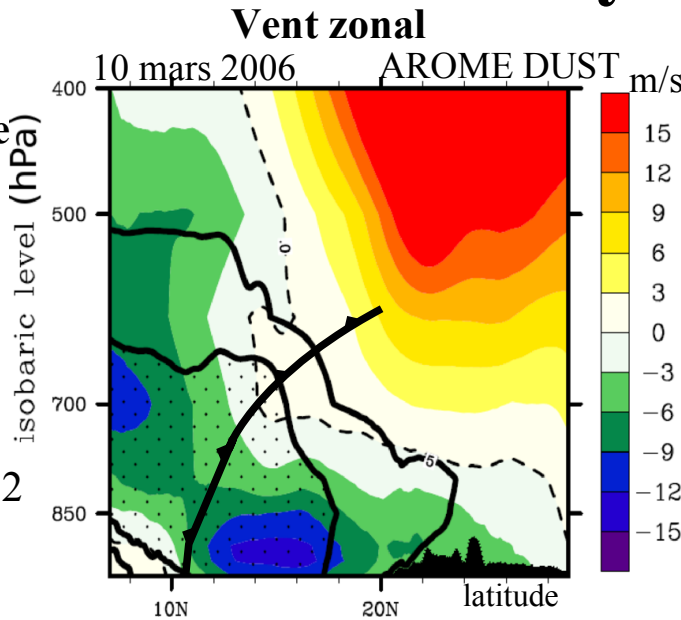


Impacts sur les circulations dynamiques

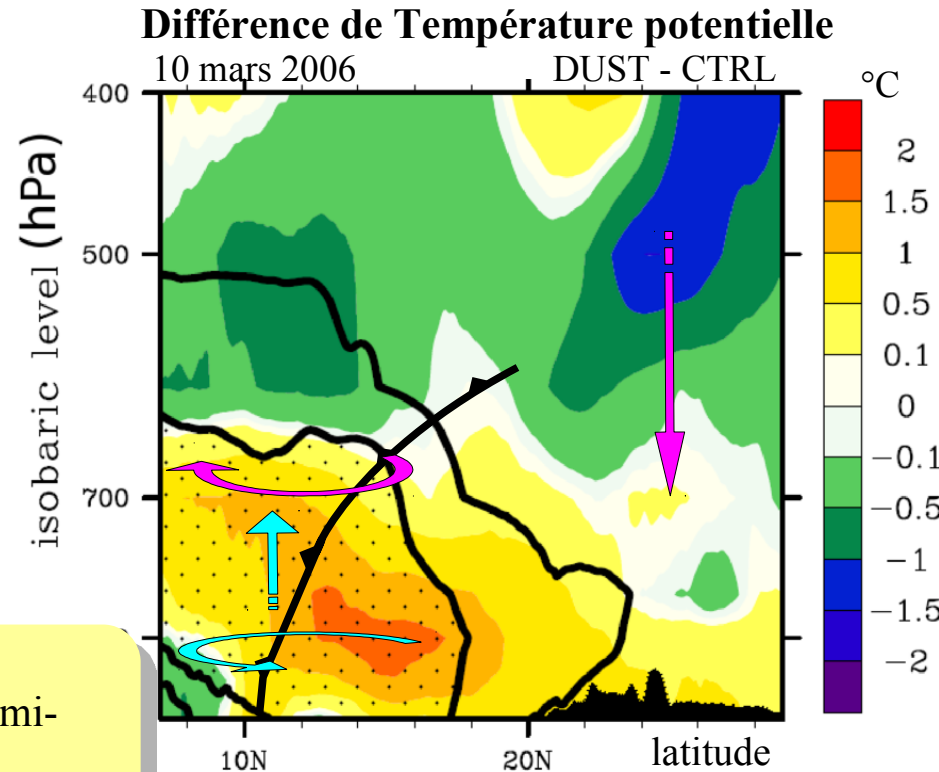
- + convergence cyclonique en basses couches
- flux de mousson x 2
- ITD 1° + Nord
- +15% Harmattan
- **rétroaction positive**
- ascendances (front) x 2
- subsidences (altitude) x 2

- + divergence anticyclonique dans la couche de poussières
- +30% Jet d'Est Africain (transport longue distance)

→ Amplification de la signature de la tempête



Conclusion de la tempête de mars 2006



Cas de référence dans le domaine : [Slingo et al. 2006, ...]

- Représentation à échelle convective
- Evaluation par rapport aux observations des effets semi-directs (température)
- La présence de poussières dans un front froid entraîne :
 - **une meilleure représentation des flux radiatifs et des températures**
 - **un chauffage/déstabilisation dans la couche de poussière**
 - **un refroidissement/stabilisation des basses couches**
 - **une amplification de la structure thermodynamique et dynamique du front**

→ Kocha et al. soumit au QJRMS

Plan

1) Introduction

2) Stratégie & Outils

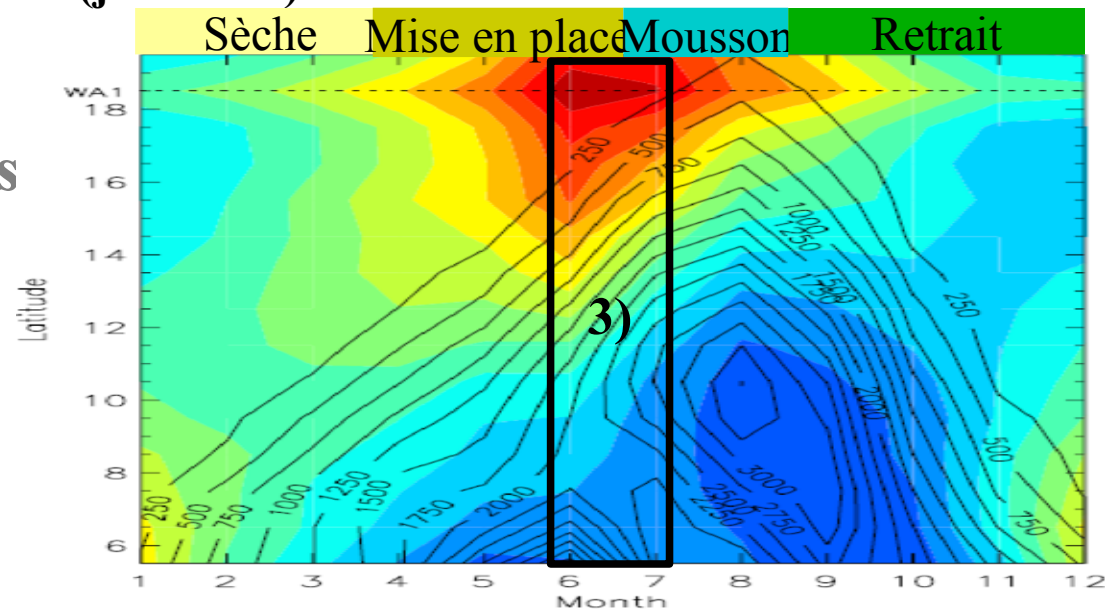
3) Tempête de poussières désertique (mars 2006)

→ Impacts radiatifs et dynamiques

4) Mise en place de la mousson (juin 2006)

→ Impacts sur la convection

5) Conclusion & Perspectives

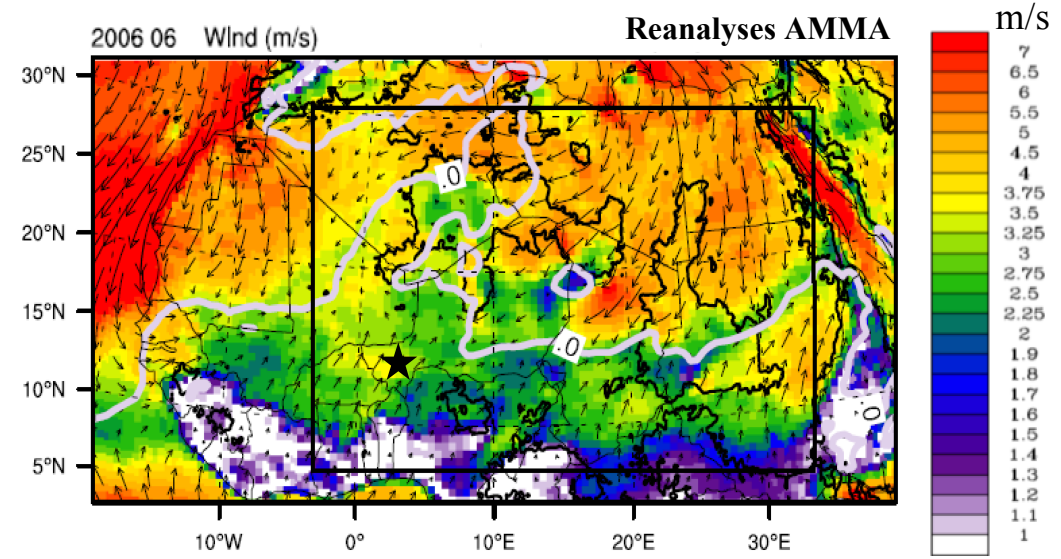
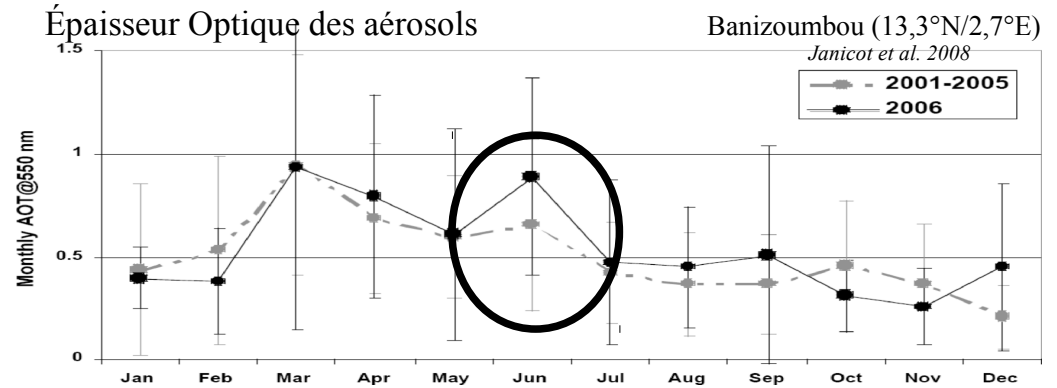


Situation synoptique

Mise en place de la mousson

→ **Juin 2006** : conditions particulièrement favorables au soulèvement de poussières désertiques

- Sol sec
- Fort vents d'Harmattan
- Forte activité convective peu précipitante sur le Sahel

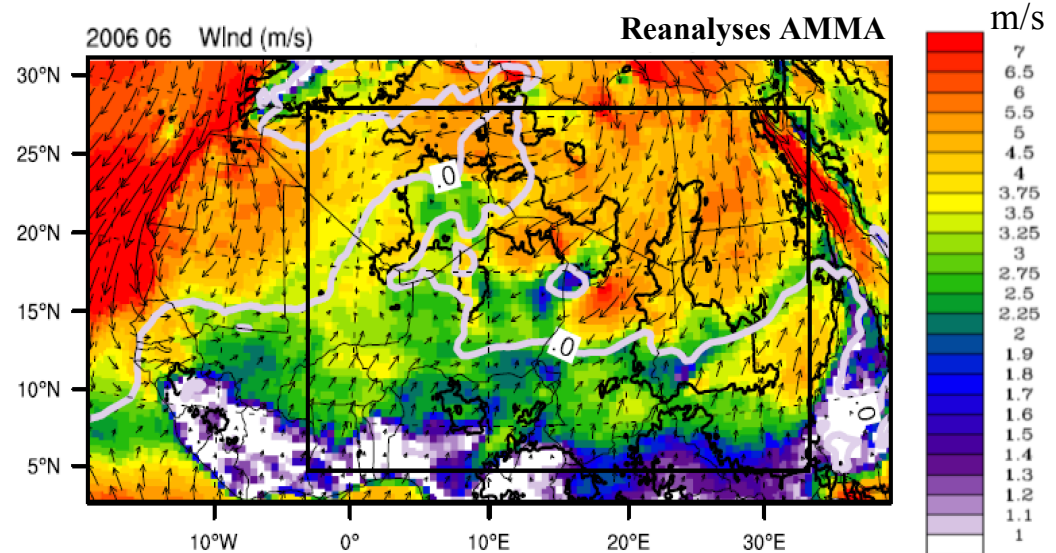
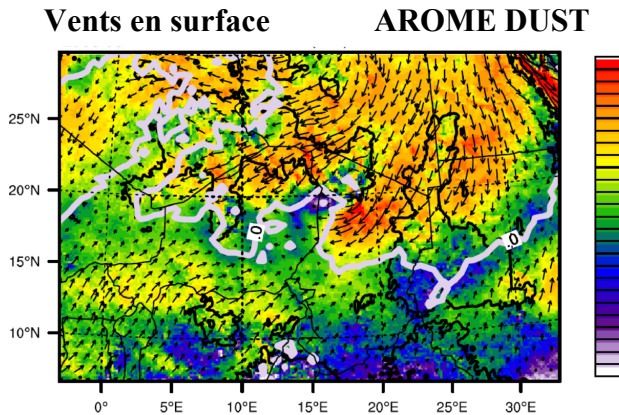
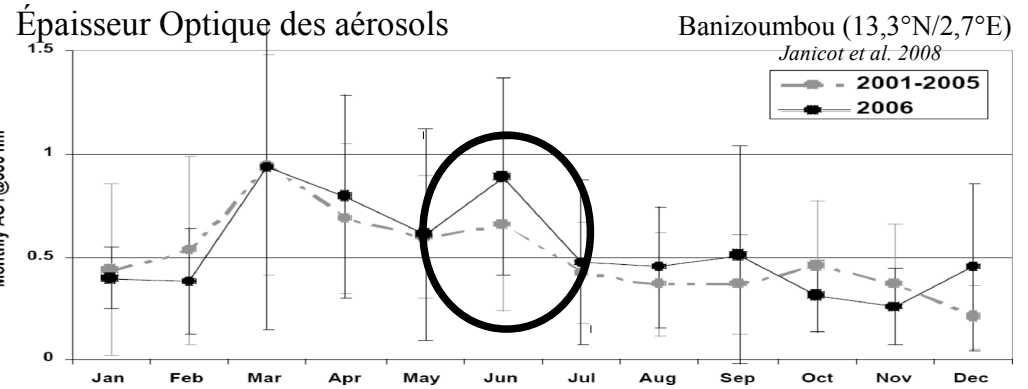


Situation synoptique

Mise en place de la mousson

→ **Juin 2006** : conditions particulièrement favorables au soulèvement de poussières désertiques

- Sol sec
- Fort vents d'Harmattan
- Forte activité convective peu précipitante sur le Sahel

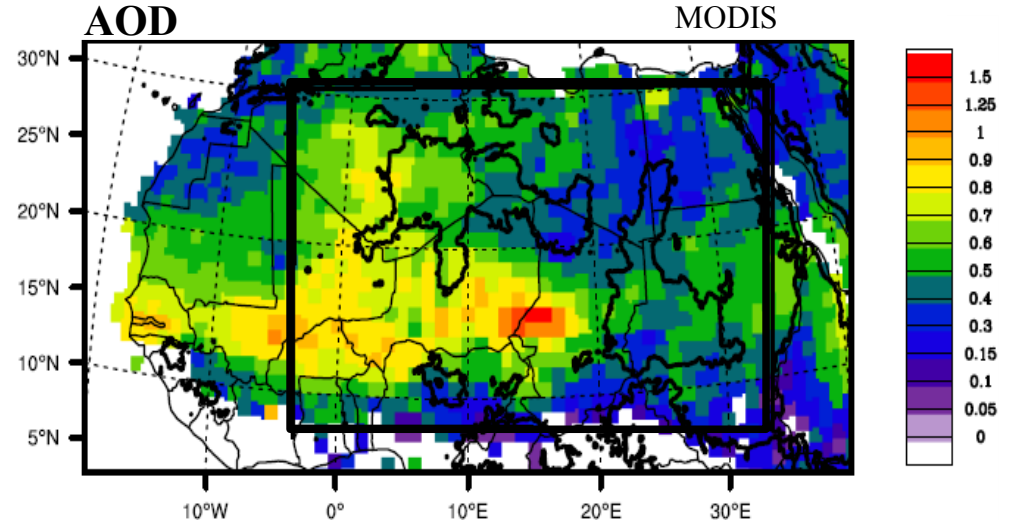


Evaluation synoptique (Réanalyses AMMA du modèle ECMWF)

→ Vents, températures et précipitations réalistes sur le mois de juin 2006

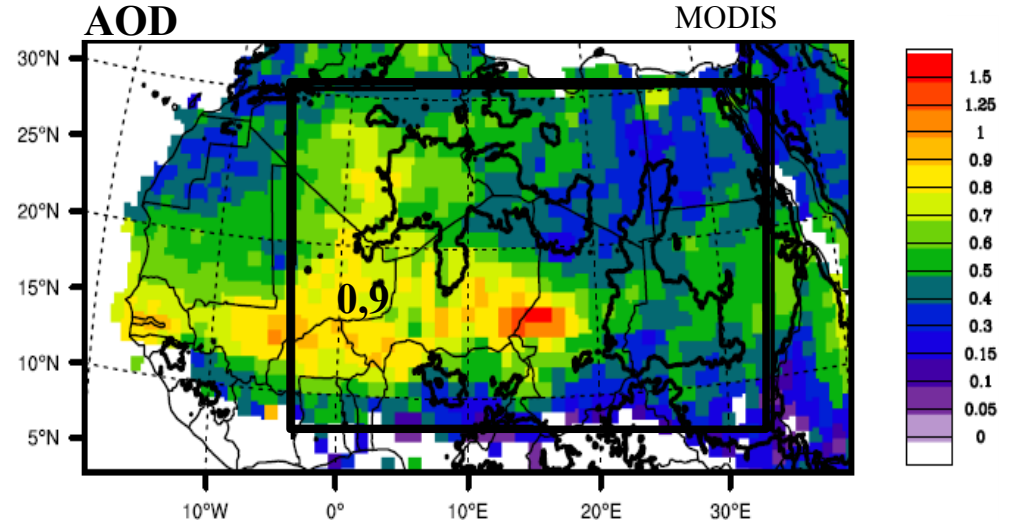
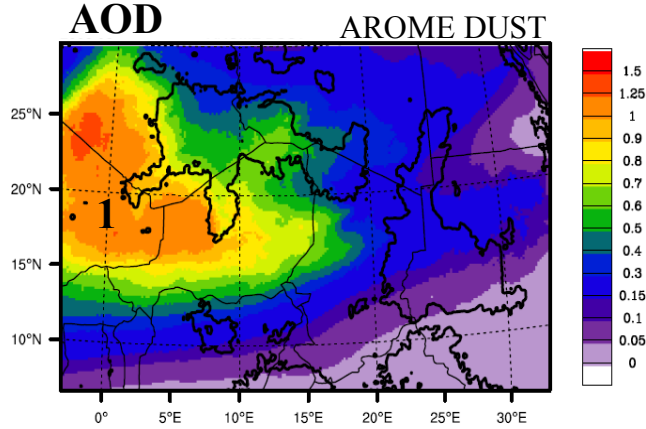
Distribution des poussières

En moyenne mensuelle :



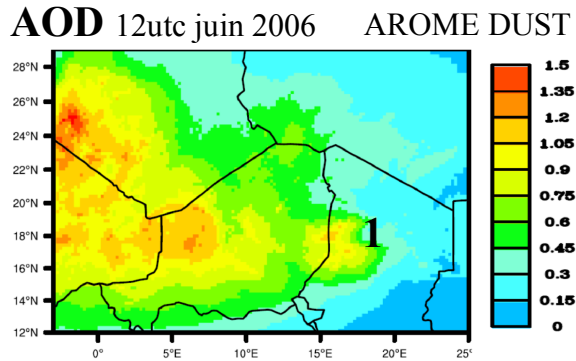
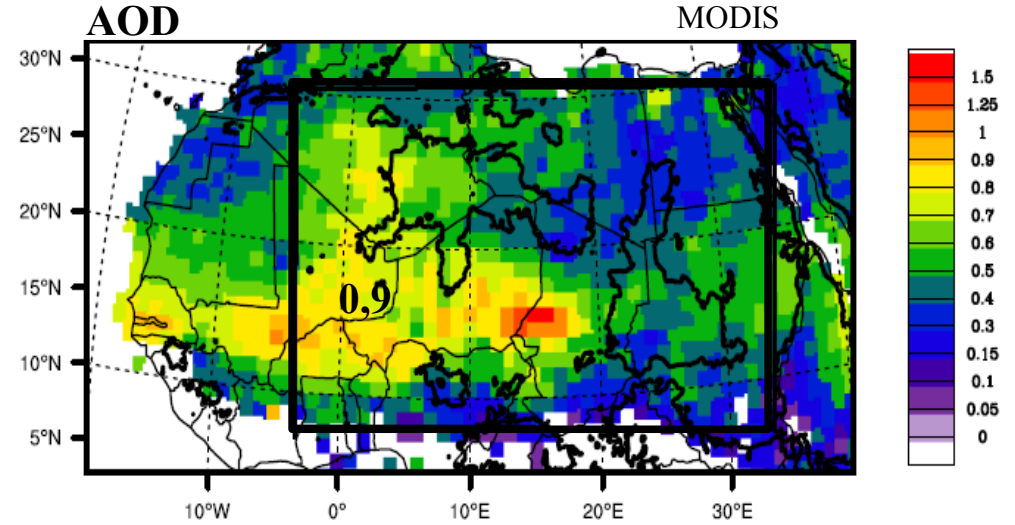
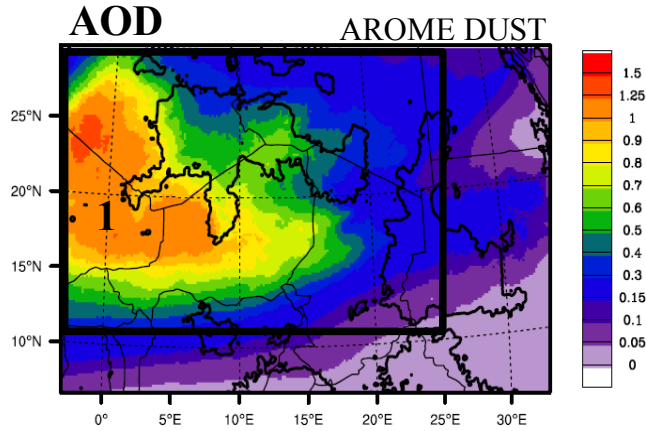
Distribution des poussières

En moyenne mensuelle :



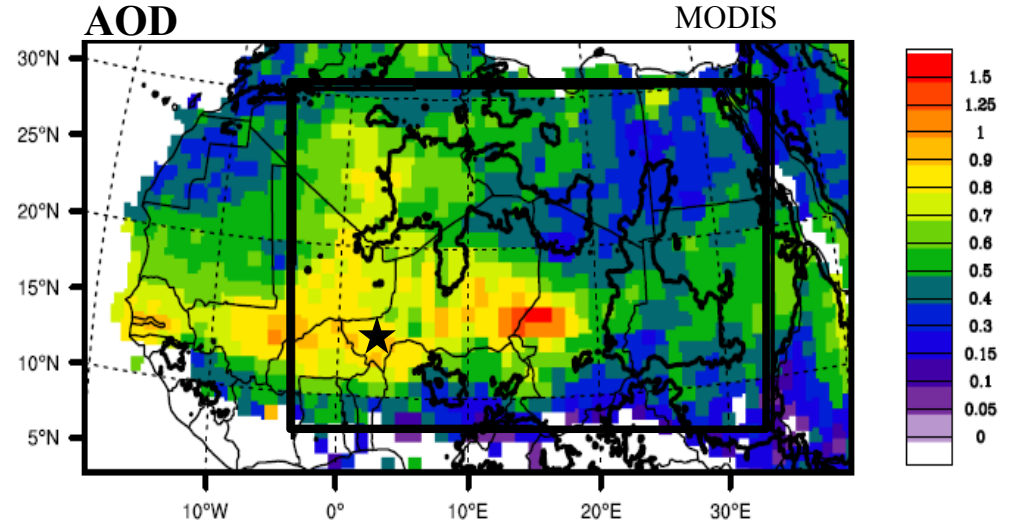
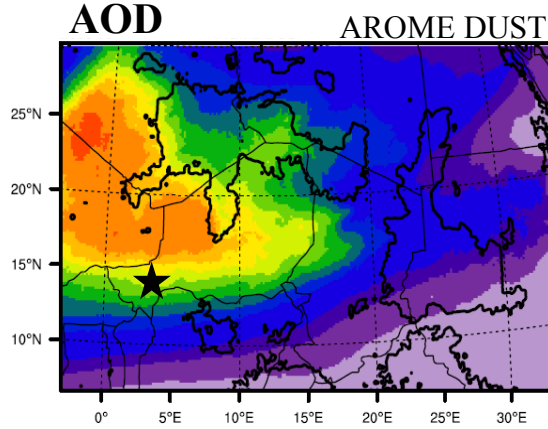
Distribution des poussières

En moyenne mensuelle :

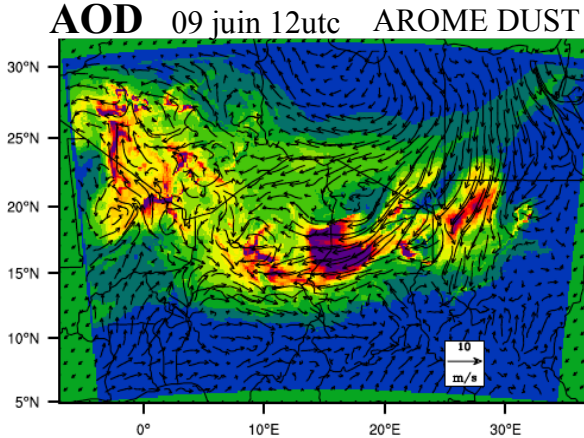


Distribution des poussières

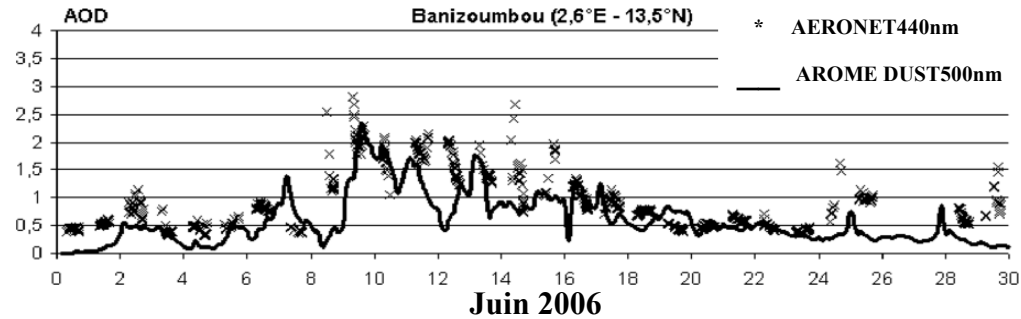
En moyenne mensuelle :



Variabilité spatiale

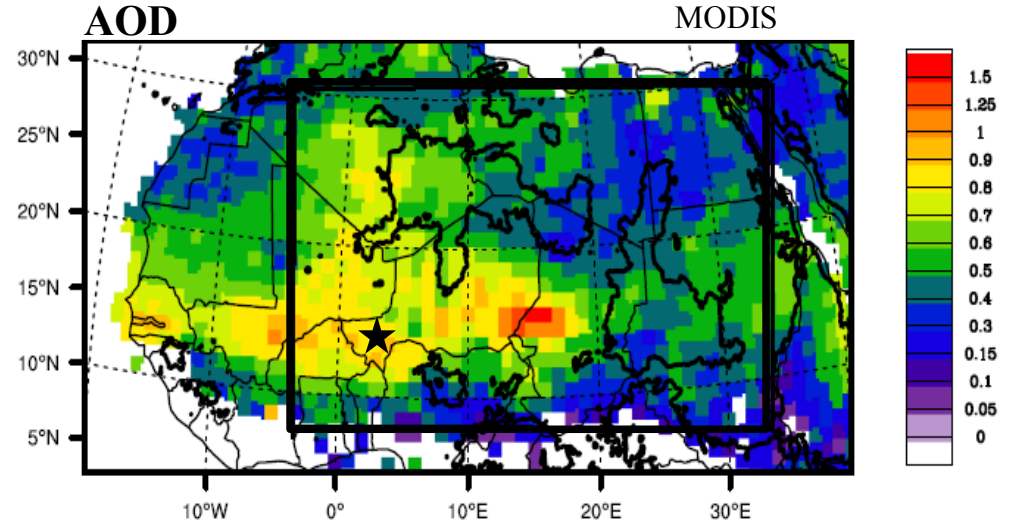
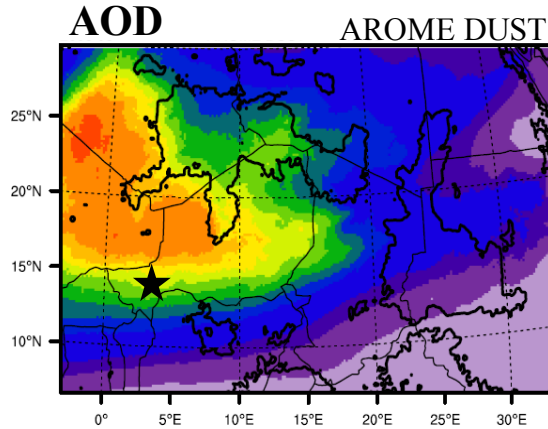


Variabilité temporelle

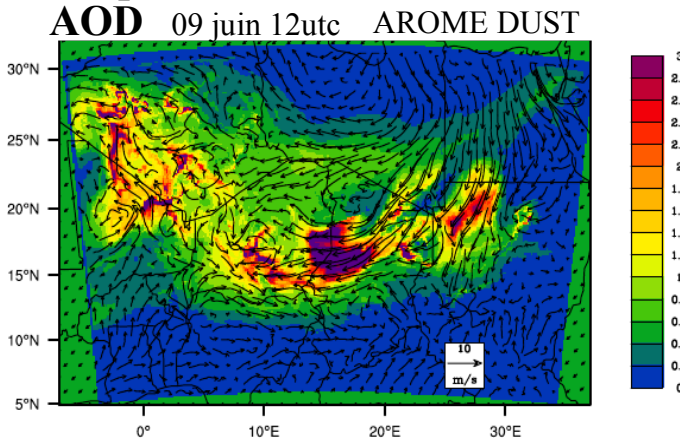


Distribution des poussières

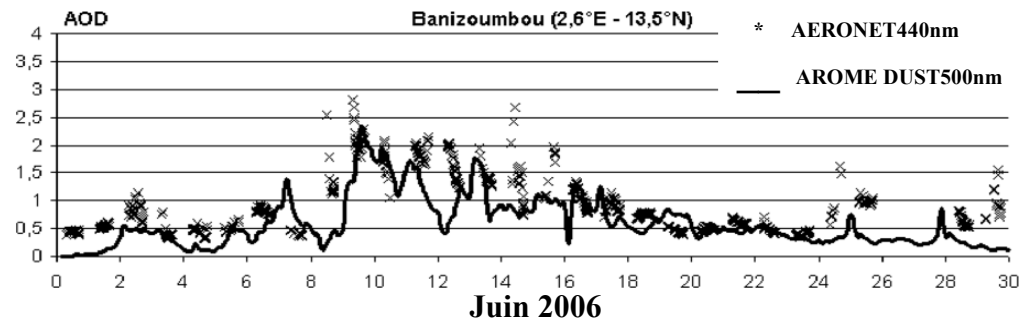
En moyenne mensuelle :



Variabilité spatiale



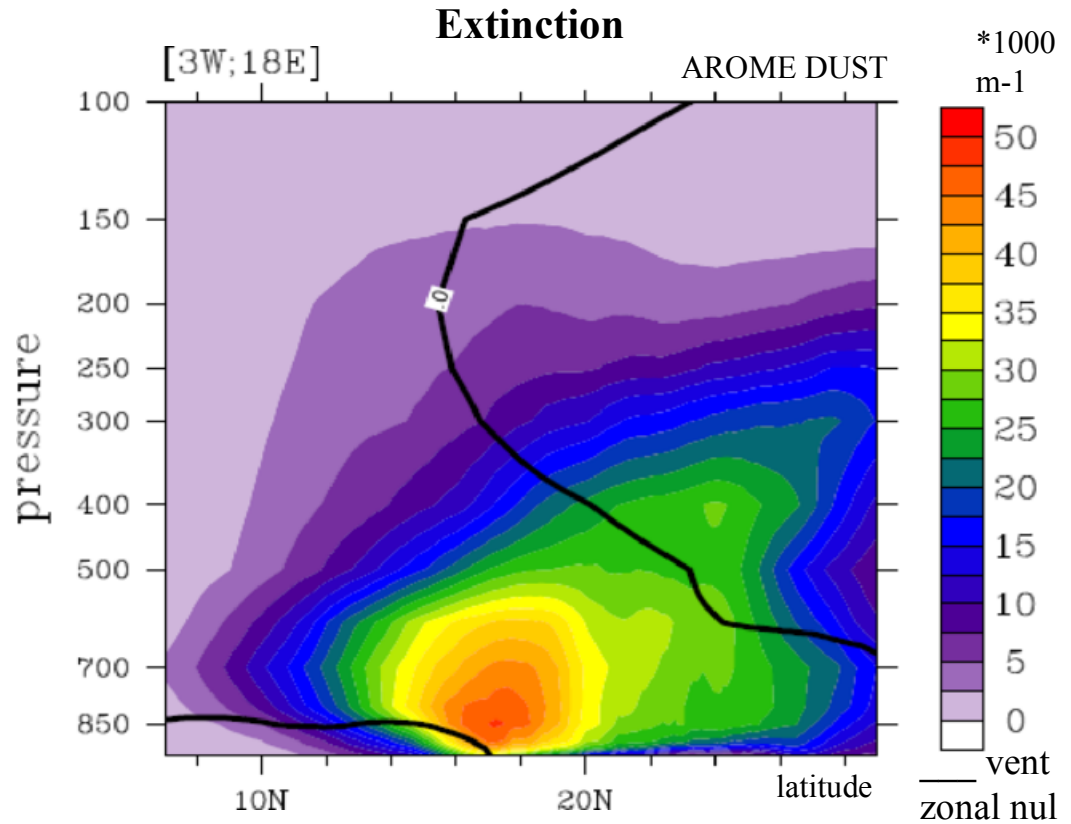
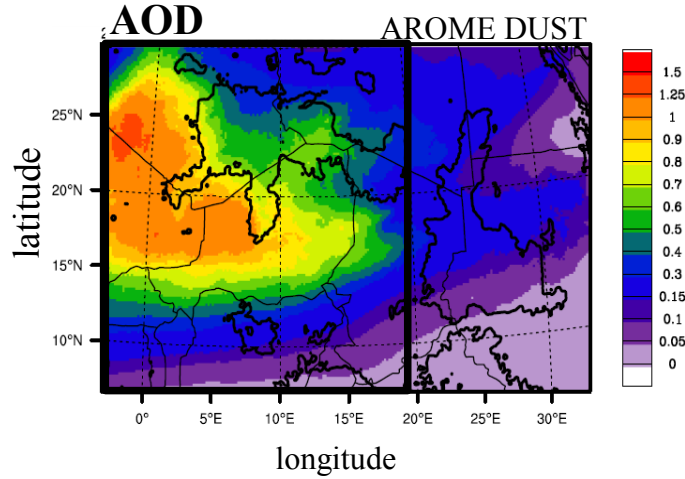
Variabilité temporelle



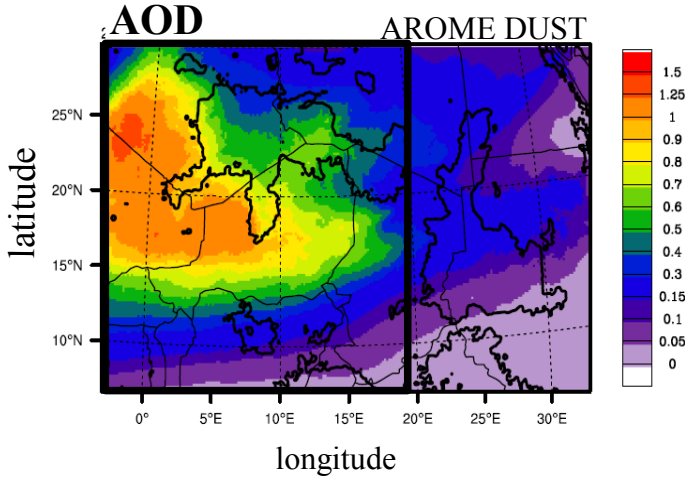
Évaluation de l'épaisseur optique des poussières désertiques (Satellite MODIS, 7 stations AERONET)

→ Distribution des poussières désertiques réalistes sur le mois de juin 2006

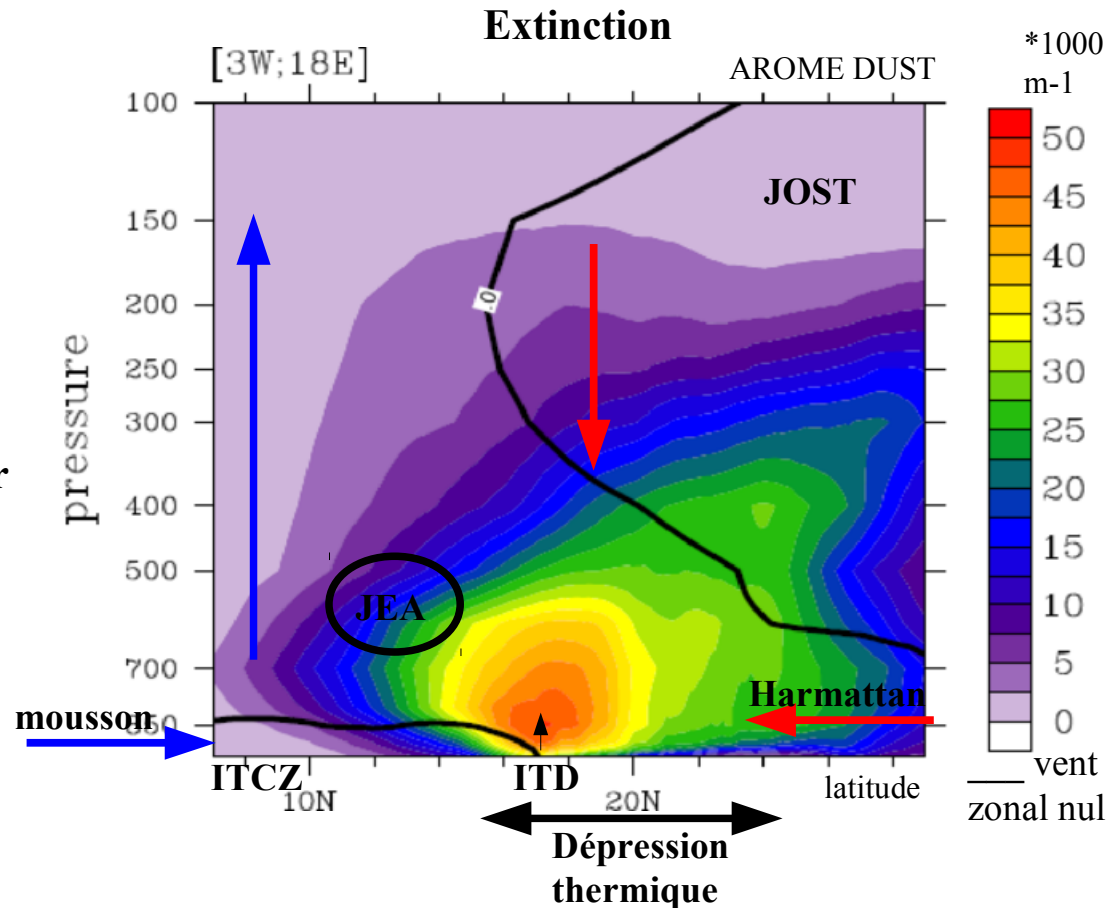
Structure verticale



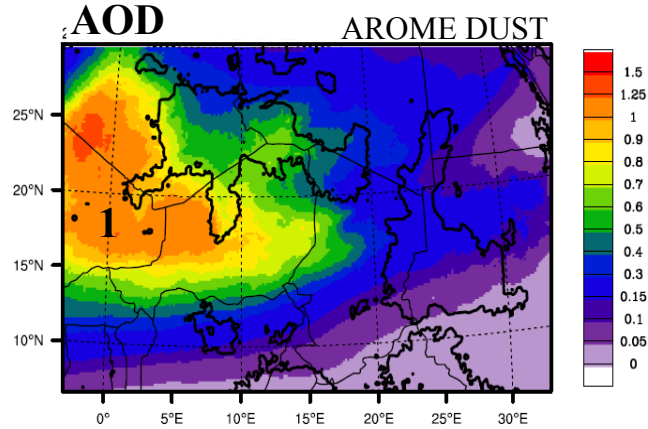
Structure verticale



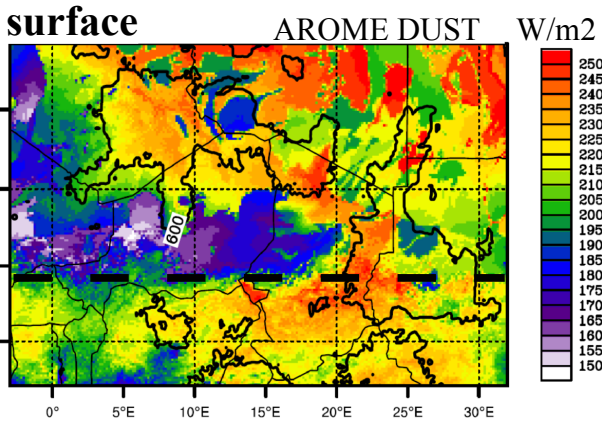
- **Soulèvements au niveau de l'ITD**
[Bou Karam et al. 2008, 2009]
- **Transport longue distance par le JEA et le JOST**
- **altitude beaucoup + élevée qu'en hiver**
[Chiapello et al. 1995]
- **impact radiatif différent ?**



Impacts radiatifs



Flux solaire net

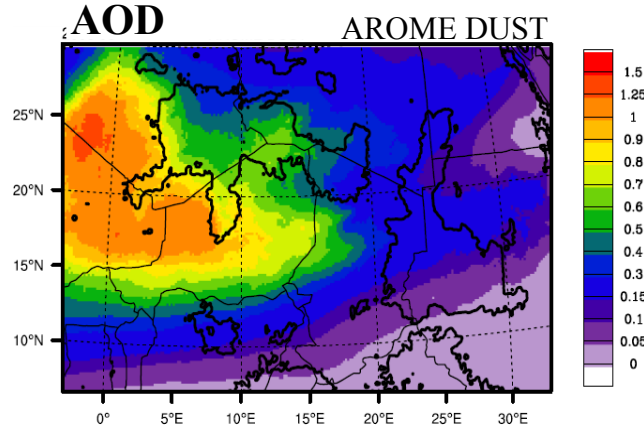


$$-50\text{W/m}^2/\text{AOD} = -24\%$$

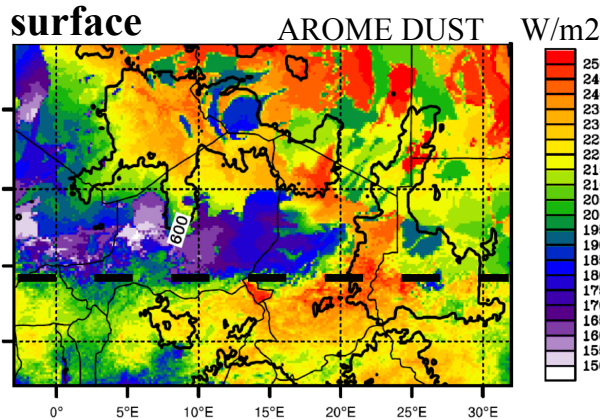
dépend

- des poussières
- de l'albédo
- de la nébulosité

Impacts radiatifs



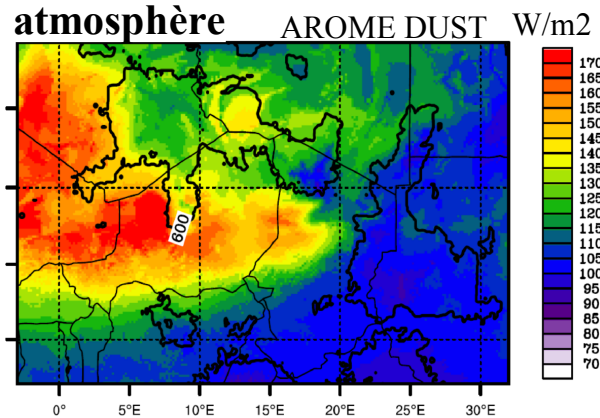
Flux solaire net



-50W/m2/AOD = -24%

dépend

- des poussières
- de l'albédo
- de la nébulosité

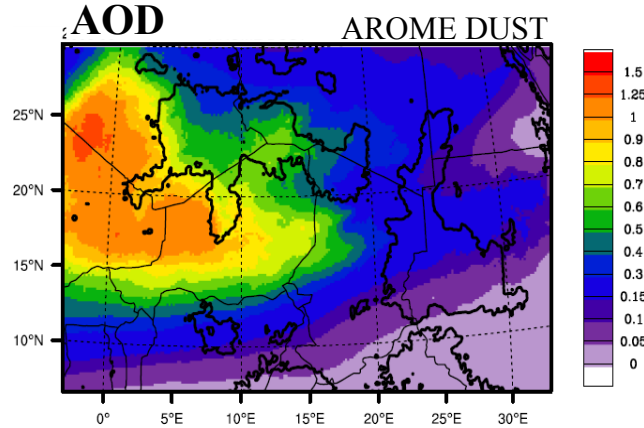


+58W/m2/AOD = +37%

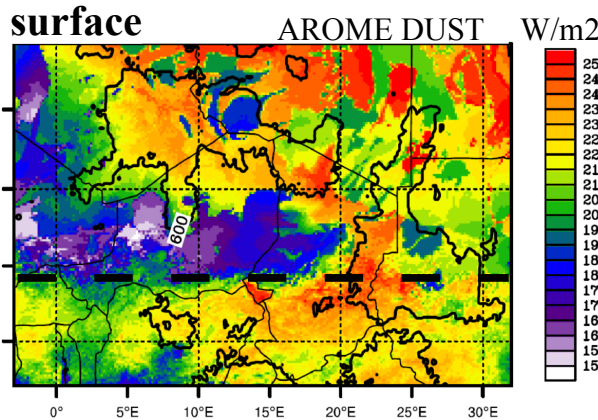
dépend

- des poussières
- paramètre le plus absorbant de l'atmosphère

Impacts radiatifs



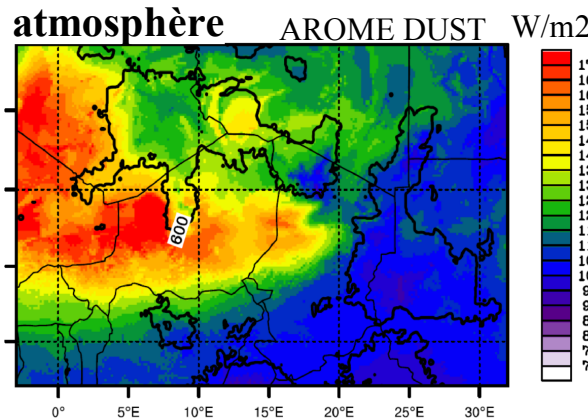
Flux solaire net



$-50\text{W/m}^2/\text{AOD} = -24\%$

dépend

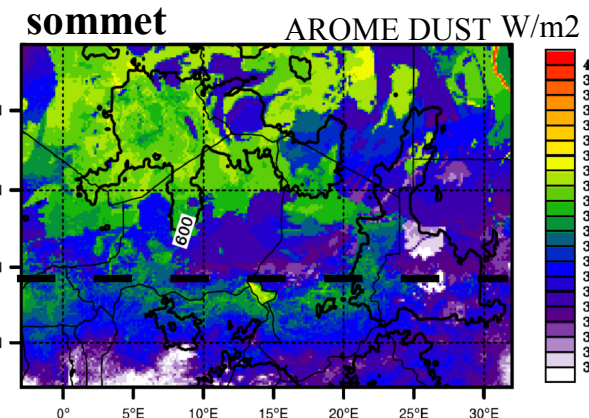
- des poussières
- de l'albédo
- de la nébulosité



$+58\text{W/m}^2/\text{AOD} = +37\%$

dépend

- des poussières
- paramètre le plus absorbant de l'atmosphère

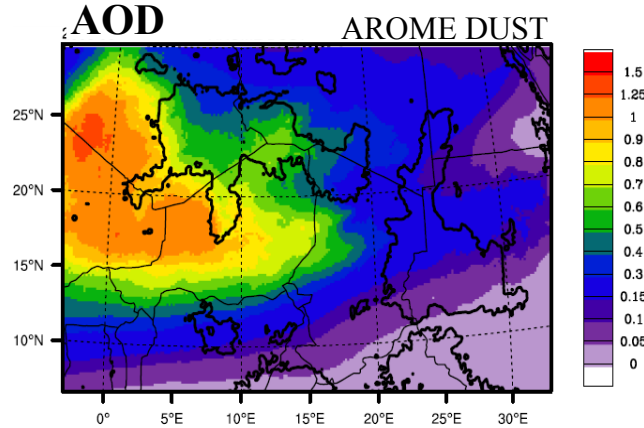


$+8\text{W/m}^2/\text{AOD} = \text{effet serre}$

dépend

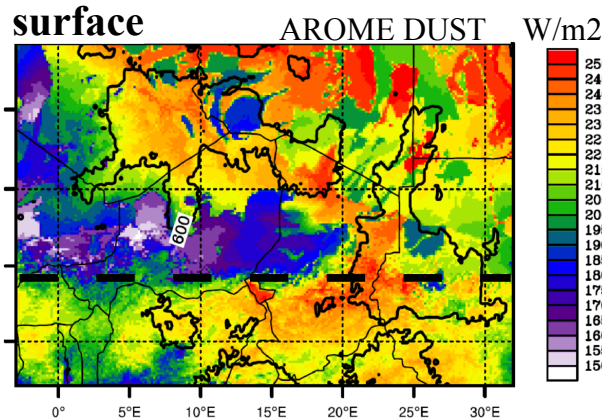
- de l'albédo
- de la nébulosité

Impacts radiatifs



→ Impact moyen sur le mois le plus fort que pendant la tempête de mars (changement de nébulosité ?)

Flux solaire net



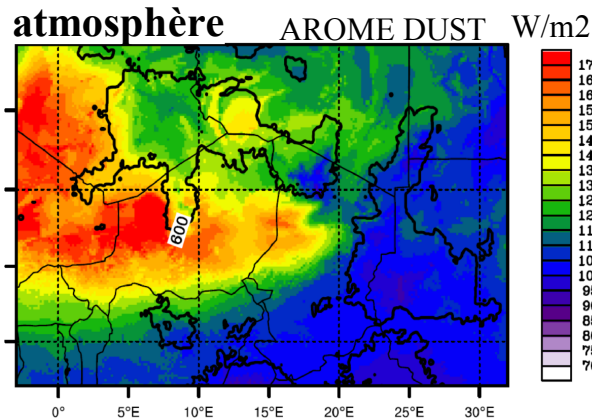
$-50 \text{ W/m}^2 / \text{AOD} = -24\%$

dépend

→ des poussières

→ de l'albédo

→ de la nébulosité

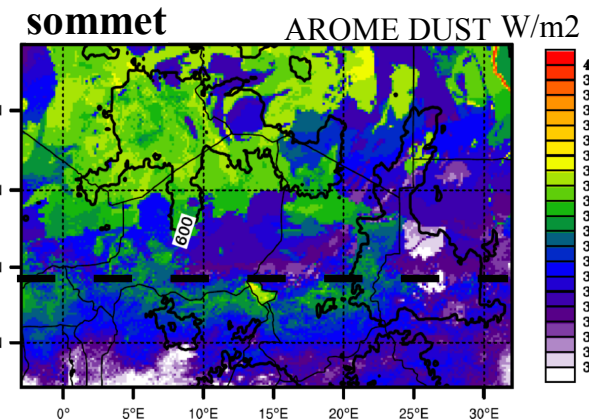


$+58 \text{ W/m}^2 / \text{AOD} = +37\%$

dépend

→ des poussières

→ paramètre le plus absorbant de l'atmosphère



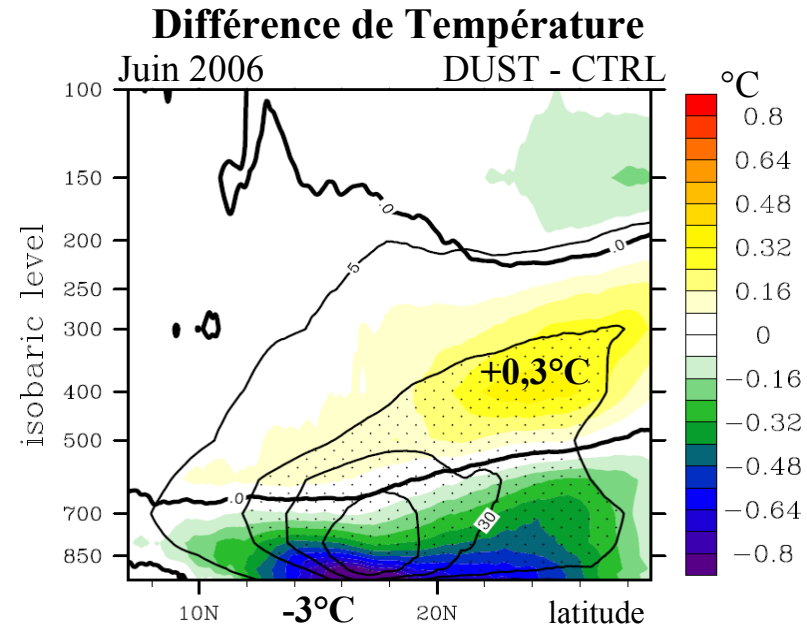
$+8 \text{ W/m}^2 / \text{AOD} = +2\%$

dépend

→ de l'albédo

→ de la nébulosité

Impacts thermodynamiques



- **Stabilisation thermique :**

- **Affaiblissement de la dépression thermique (+0,5hPa)**

- **Affaiblissement des circulations associées :**

- **Harmattan, Flux de mousson, JEA (-5%), ascendances (-20%)**

Impacts thermodynamiques

- **Stabilisation thermique :**

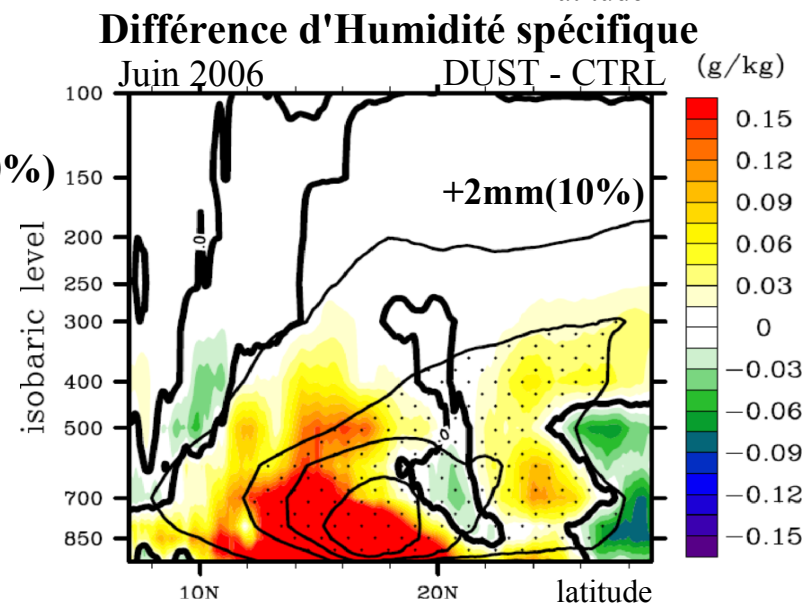
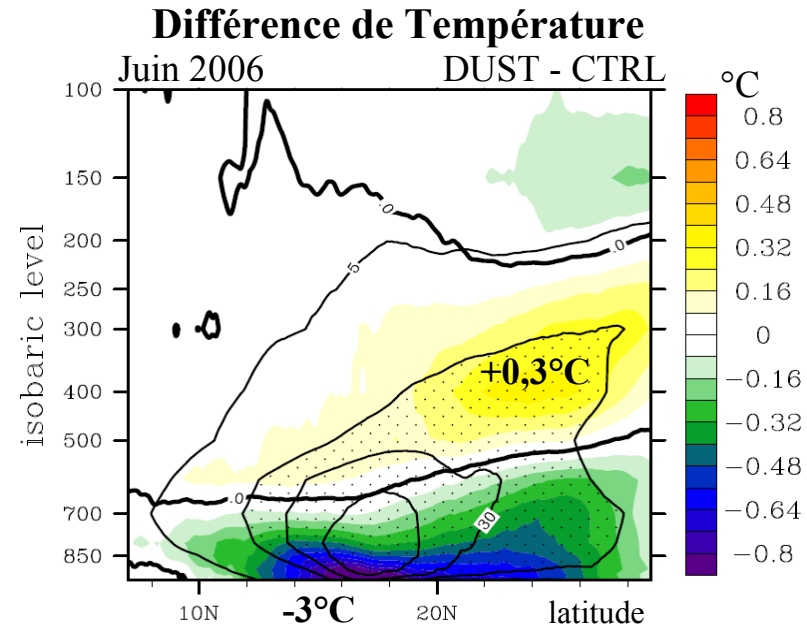
- Affaiblissement de la dépression thermique (+0,5hPa)

- Affaiblissement des circulations associées :

- Harmattan, Flux de mousson, JEA (-5%), ascendances (-20%)

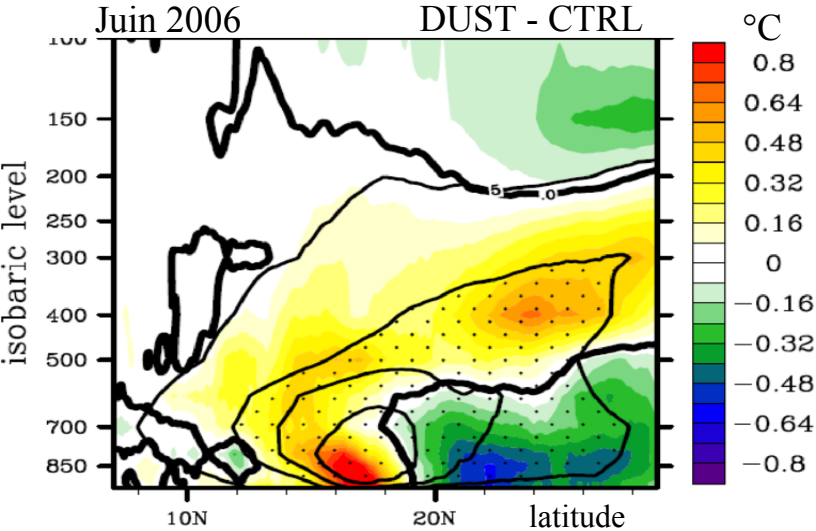
- **Equilibre plus humide :**

- + d'énergie statique humide



Impacts thermodynamiques

Différence de Température potentielle équivalente



- **Stabilisation thermique :**

- Affaiblissement de la dépression thermique (+0,5hPa)

- Affaiblissement des circulations associées :

- Harmattan, Flux de mousson, JEA (-5%), ascendances (-20%)

- **Equilibre plus humide :**

- + d'énergie statique humide

- **Déstabilisation de la partie supérieure du panache**

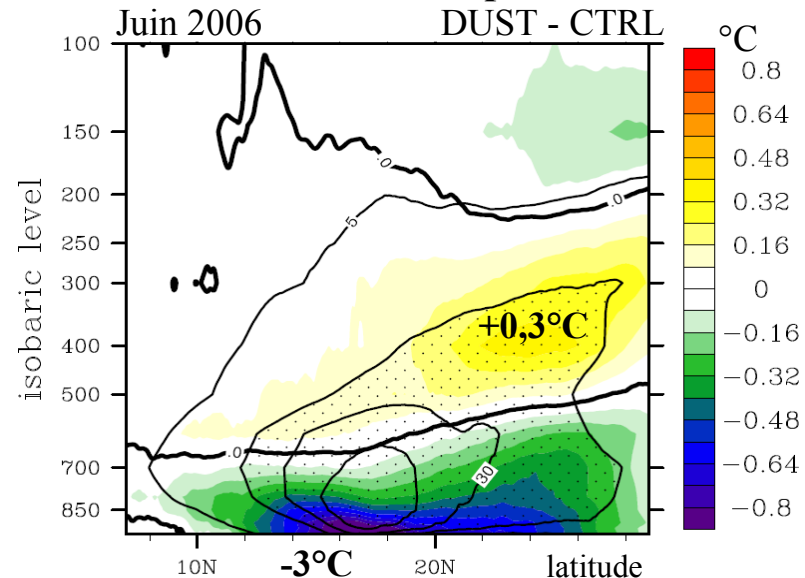
- ITD : + convergence

- Déplacement vers le nord du coeur des circulations de

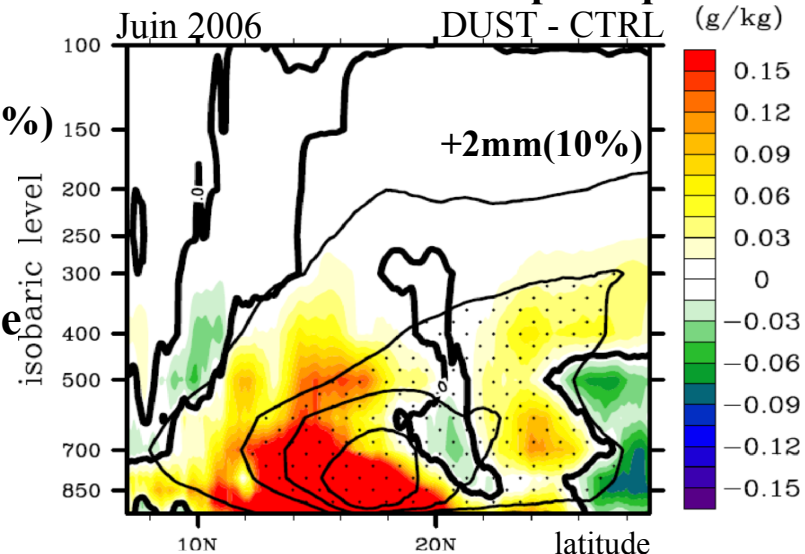
- grande échelle : ITCZ (dipôle +/- 30%), JOST, cellule

- subsidente de Hadley (-20%)

Différence de Température

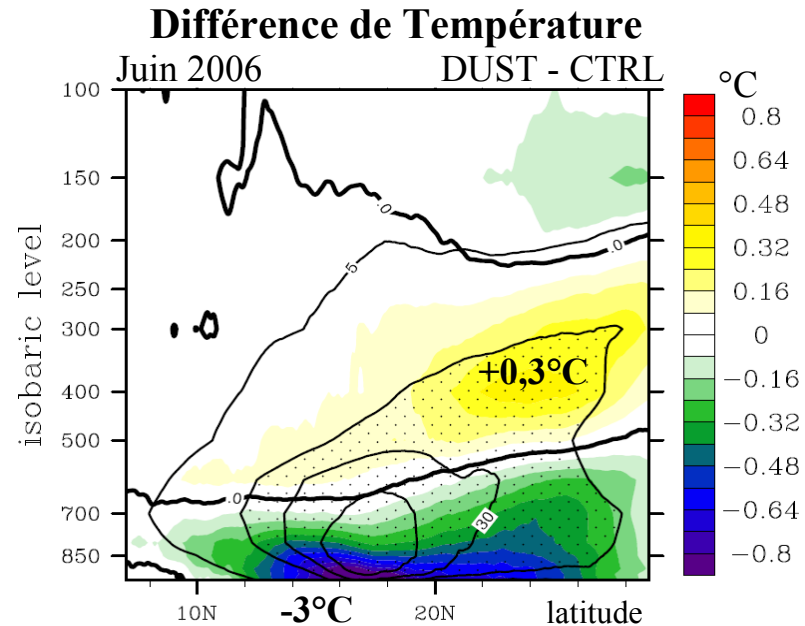
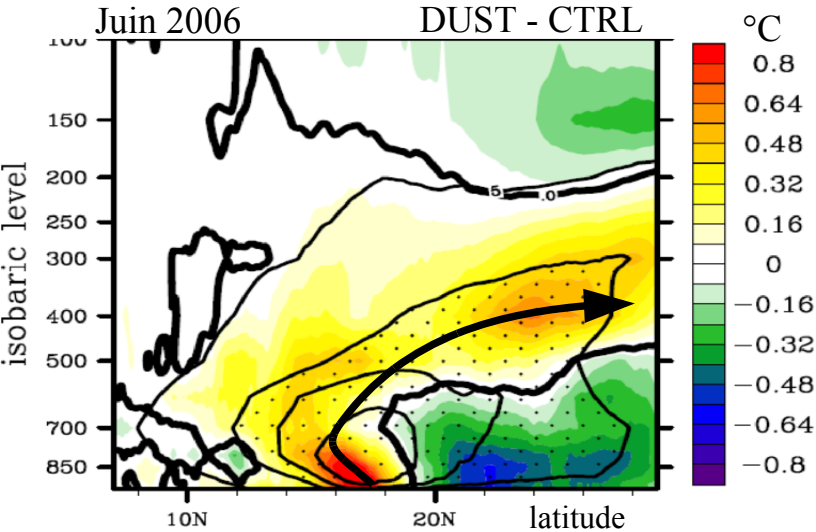


Différence d'Humidité spécifique



Impacts thermodynamiques

Différence de Température potentielle équivalente



- **Stabilisation thermique :**

- Affaiblissement de la dépression thermique (+0,5hPa)
- Affaiblissement des circulations associées :
- Harmattan, Flux de mousson, JEA (-5%), ascendances (-20%)

- **Equilibre plus humide :**

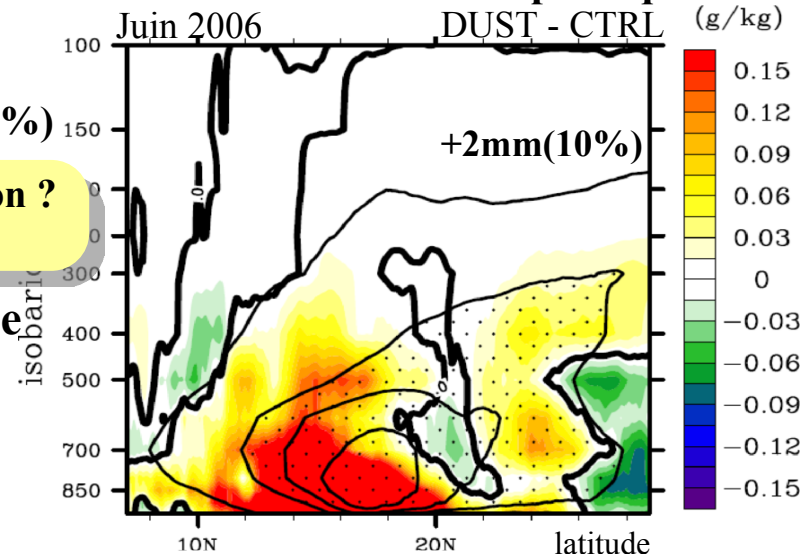
- + d'énergie statique humide

- Rôle sur le saut de mousson ?
- Rôle sur la convection ?

- **Déstabilisation de la partie supérieure du panache**

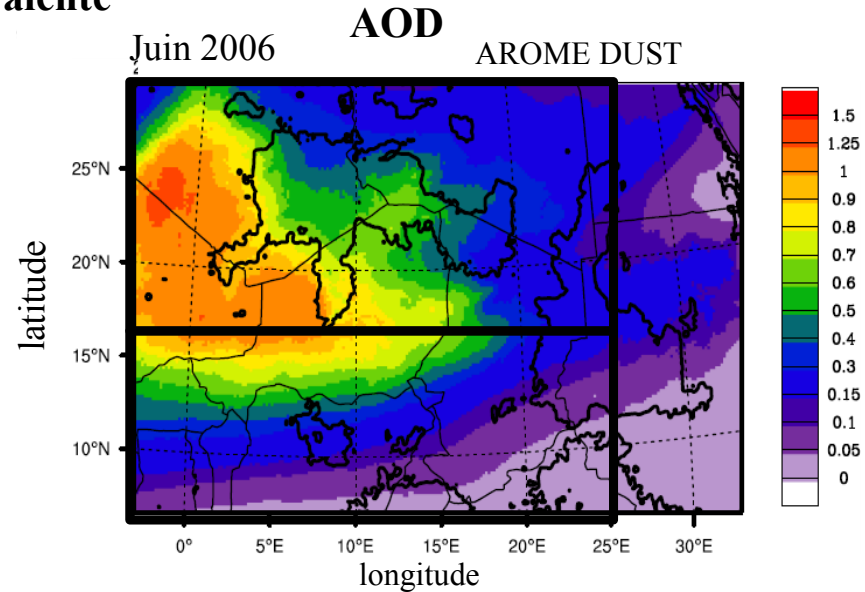
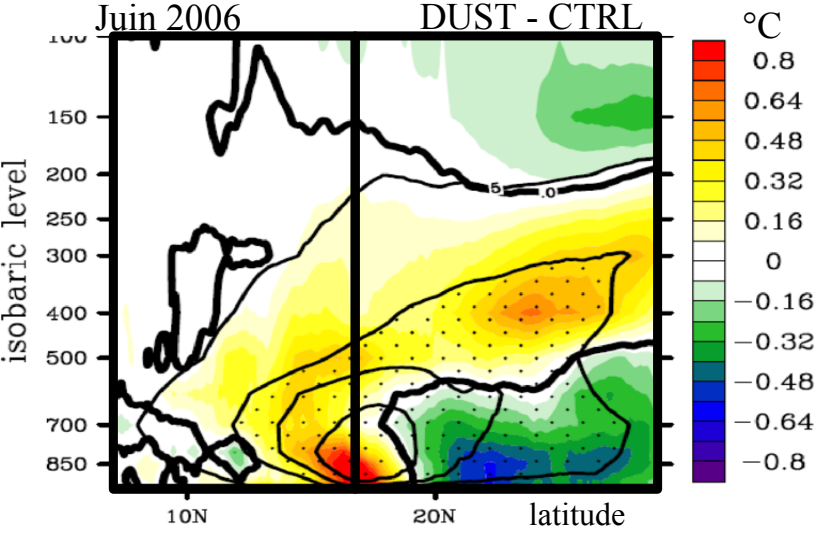
- ITD : + convergence
- Déplacement vers le nord du coeur des circulations de grande échelle : ITCZ (dipôle +/- 30%), JOST, cellule subsidente de Hadley (-20%)

Différence d'Humidité spécifique



Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente

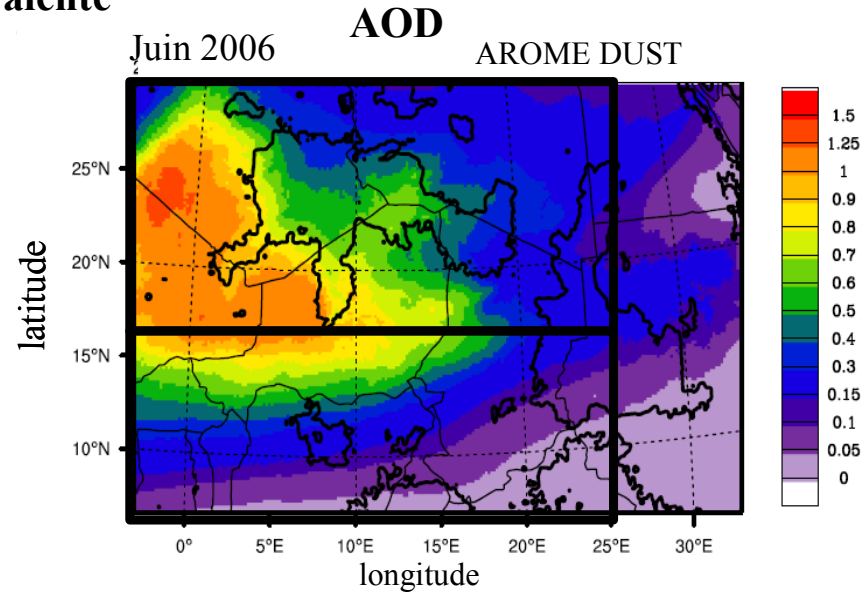
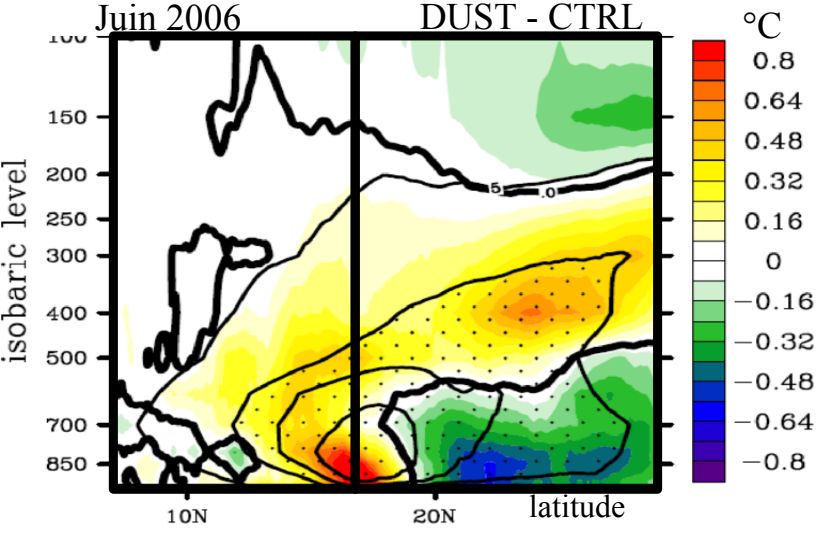


Humidification :

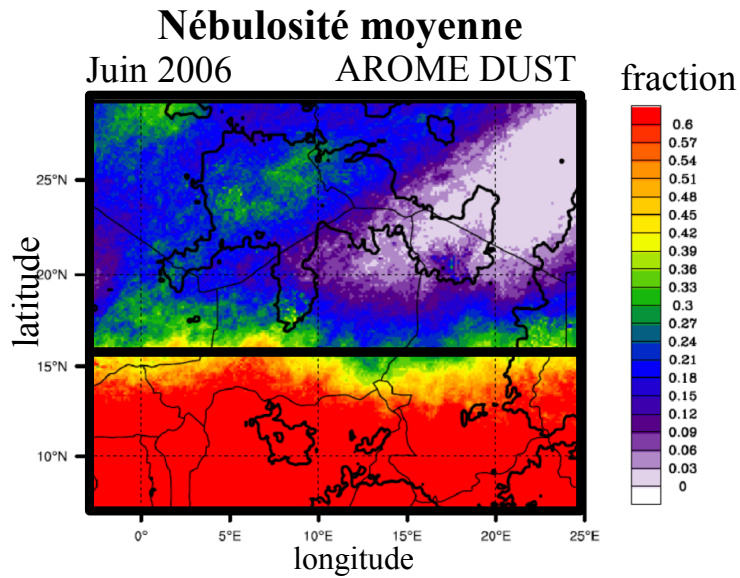
longitude

Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente

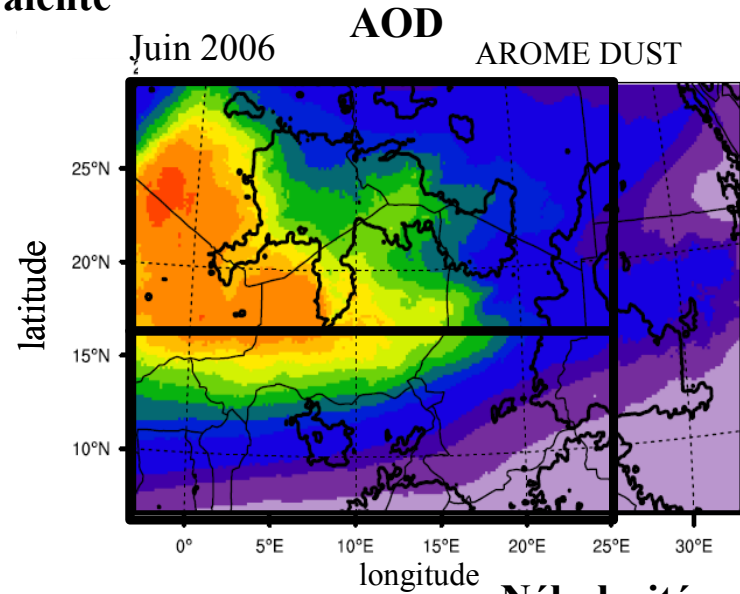
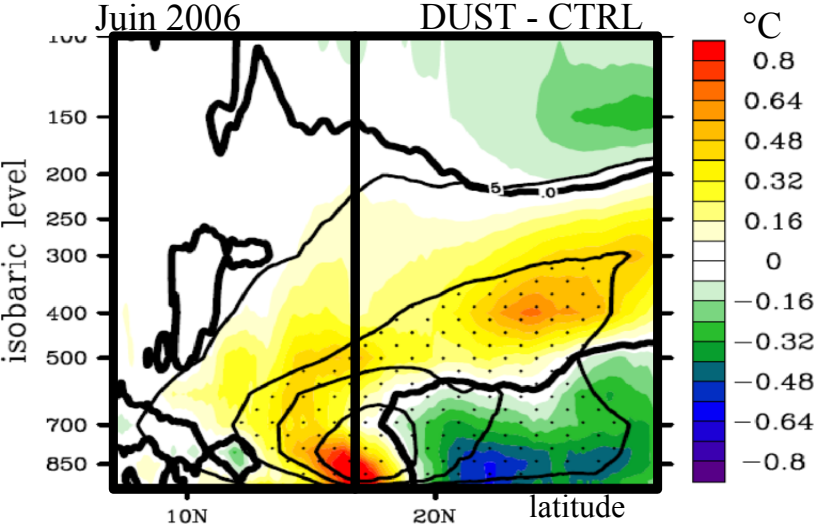


Humidification :

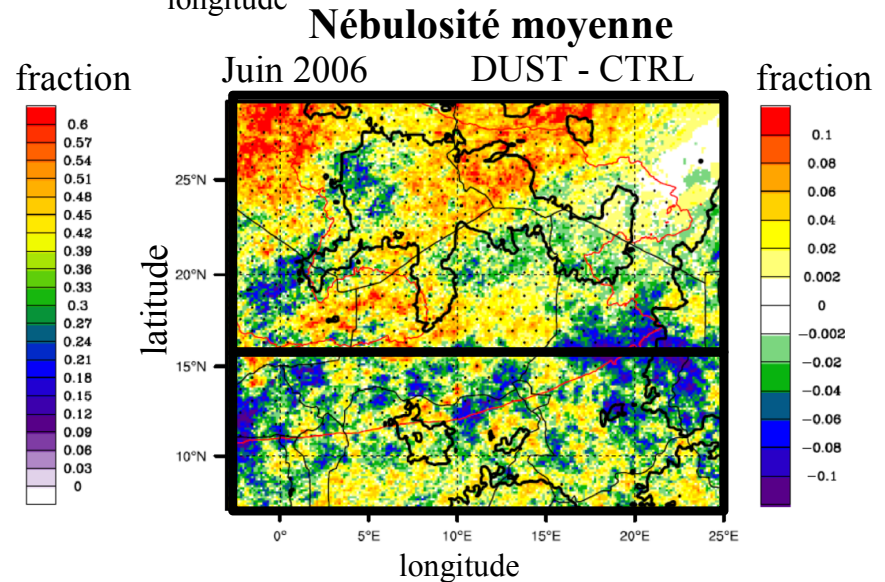
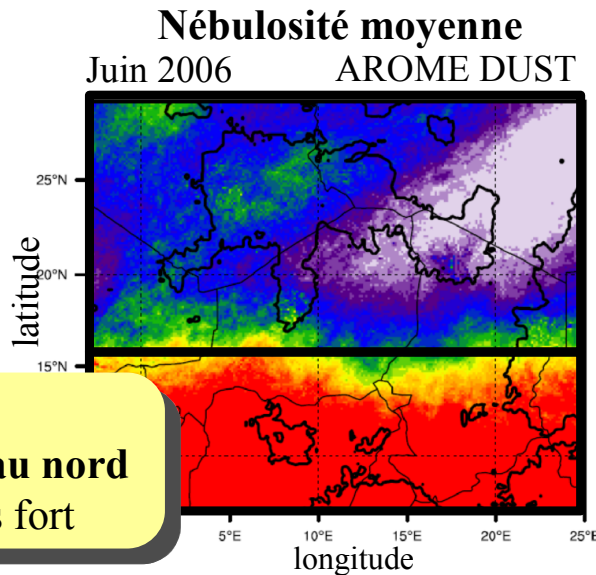


Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente



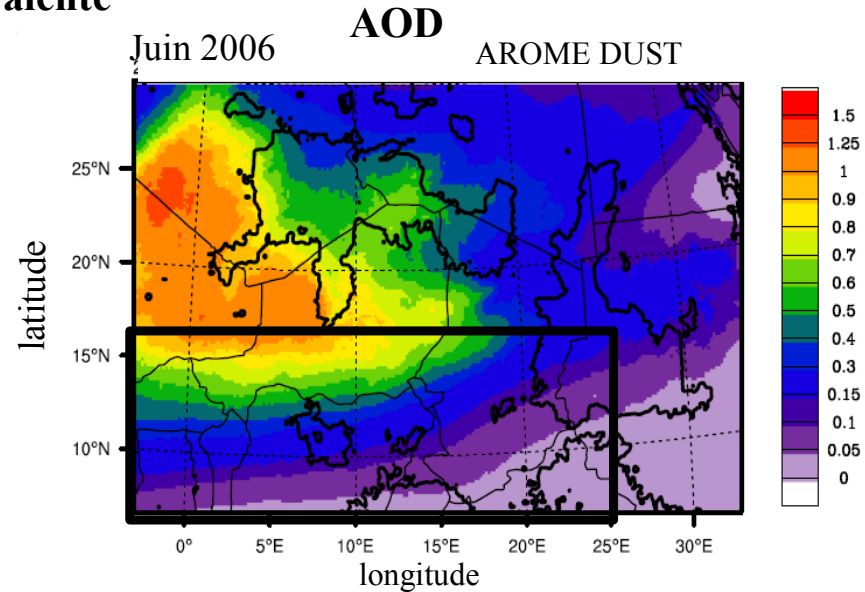
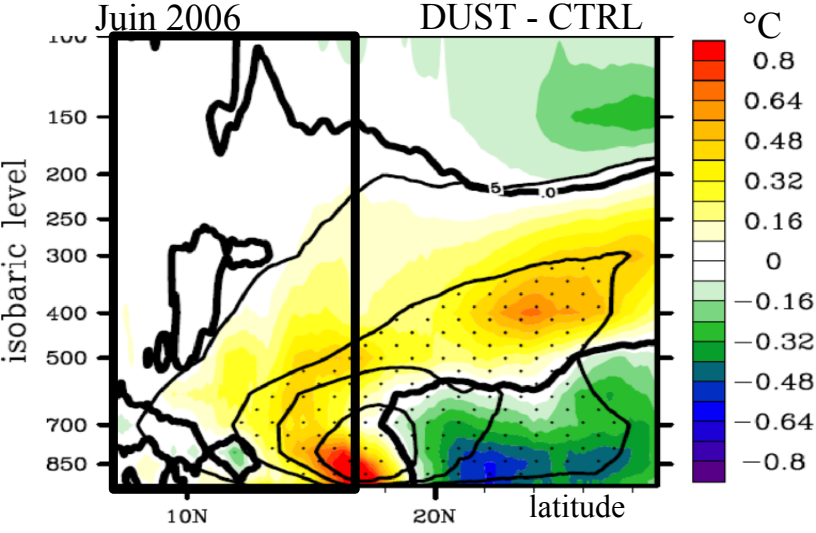
Humidification :



Augmentation de la nébulosité moyenne au nord → impact radiatif plus fort

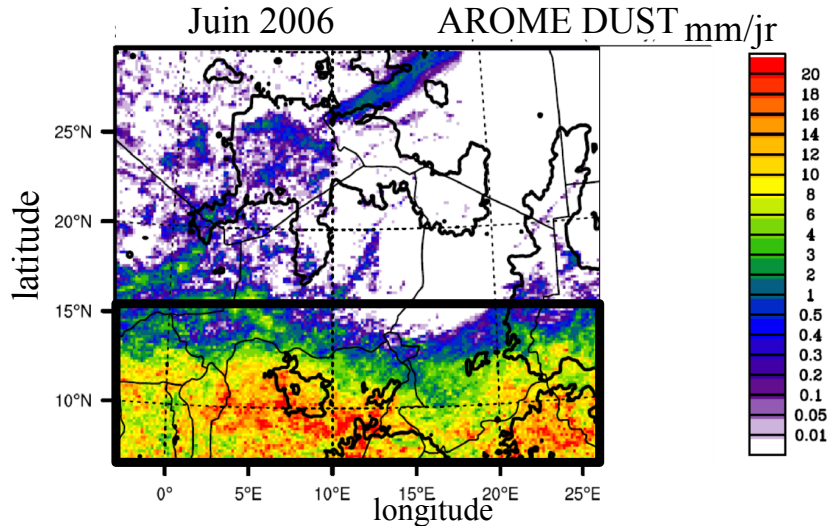
Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente



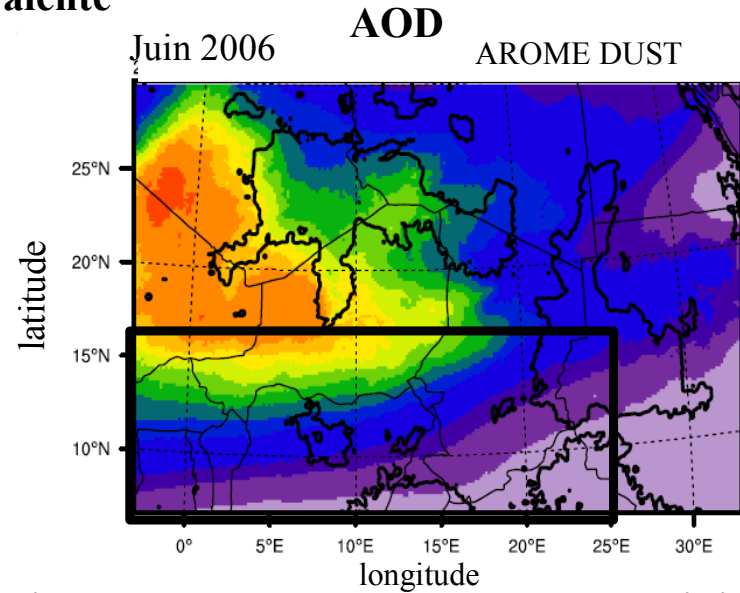
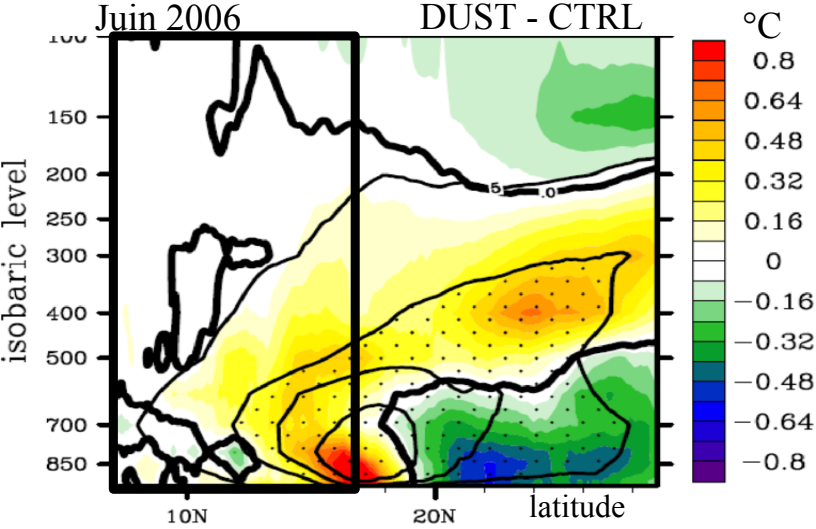
Déstabilisation :

Précipitations



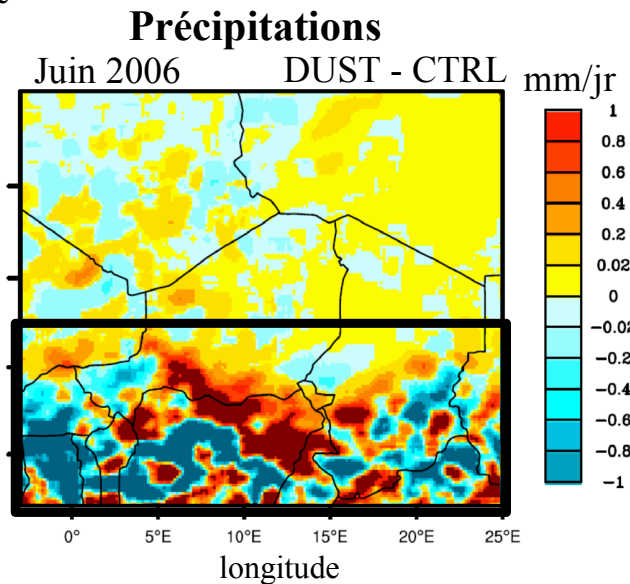
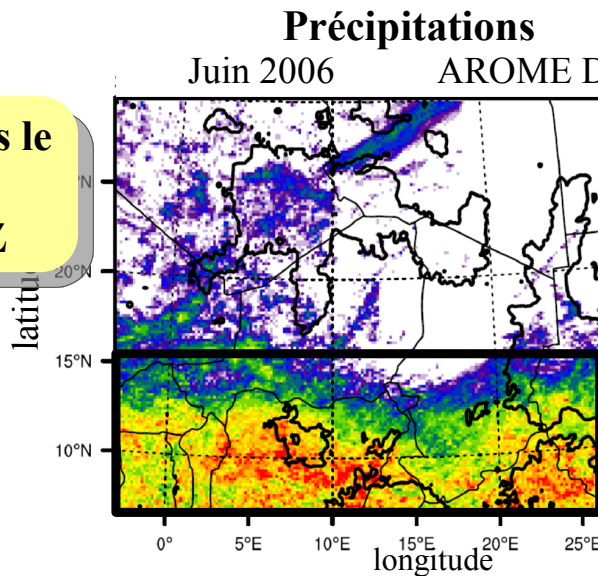
Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente



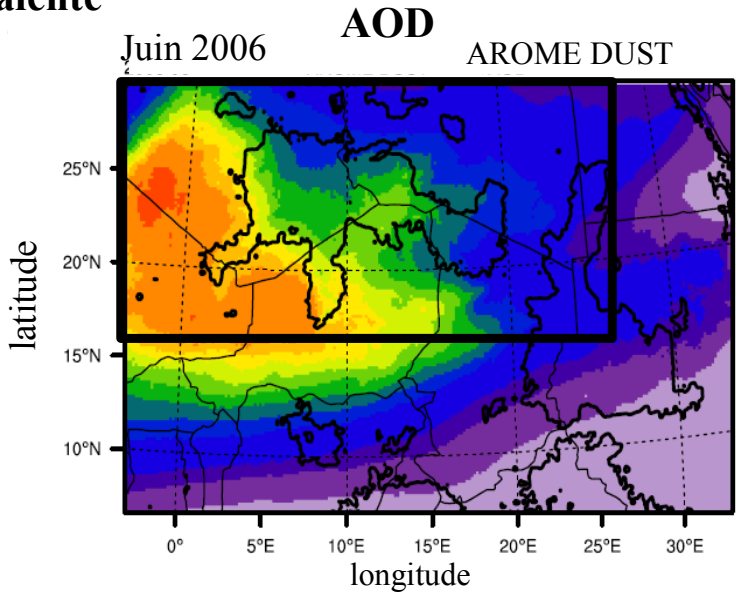
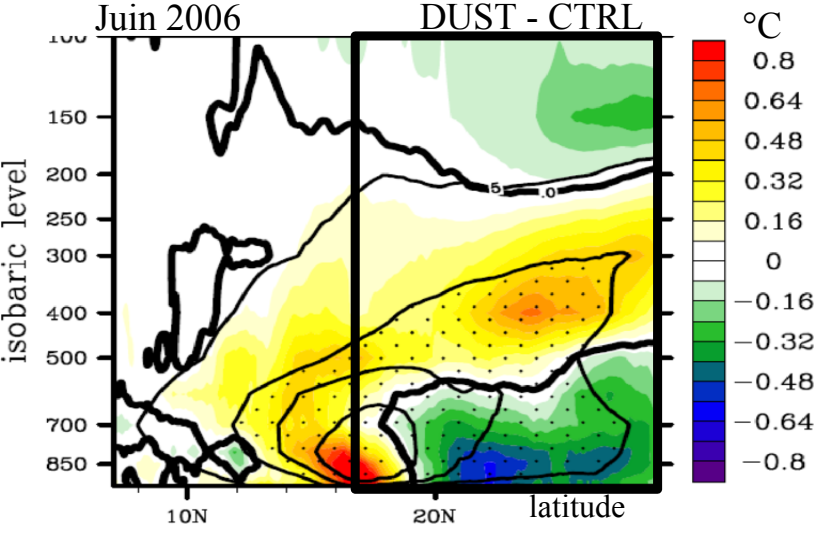
Déstabilisation :

→ Déplacement vers le nord des systèmes convectifs de l'ITCZ

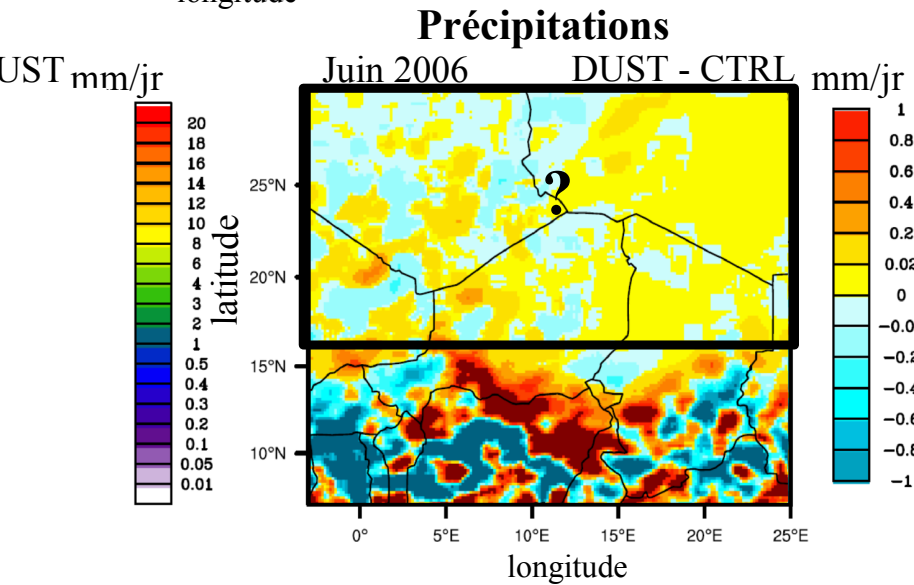
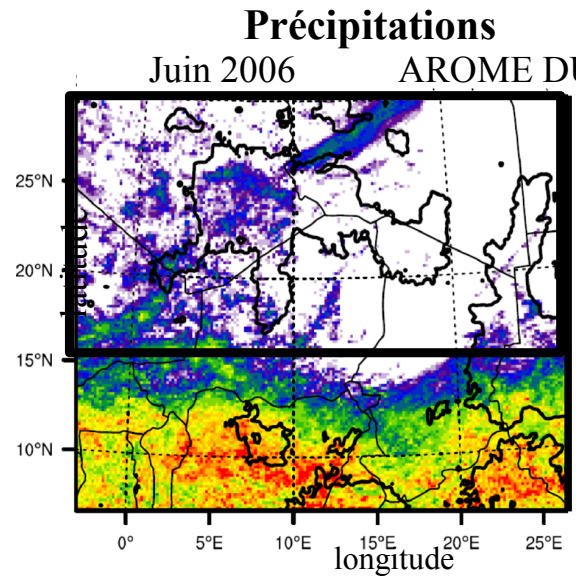


Impacts sur la convection

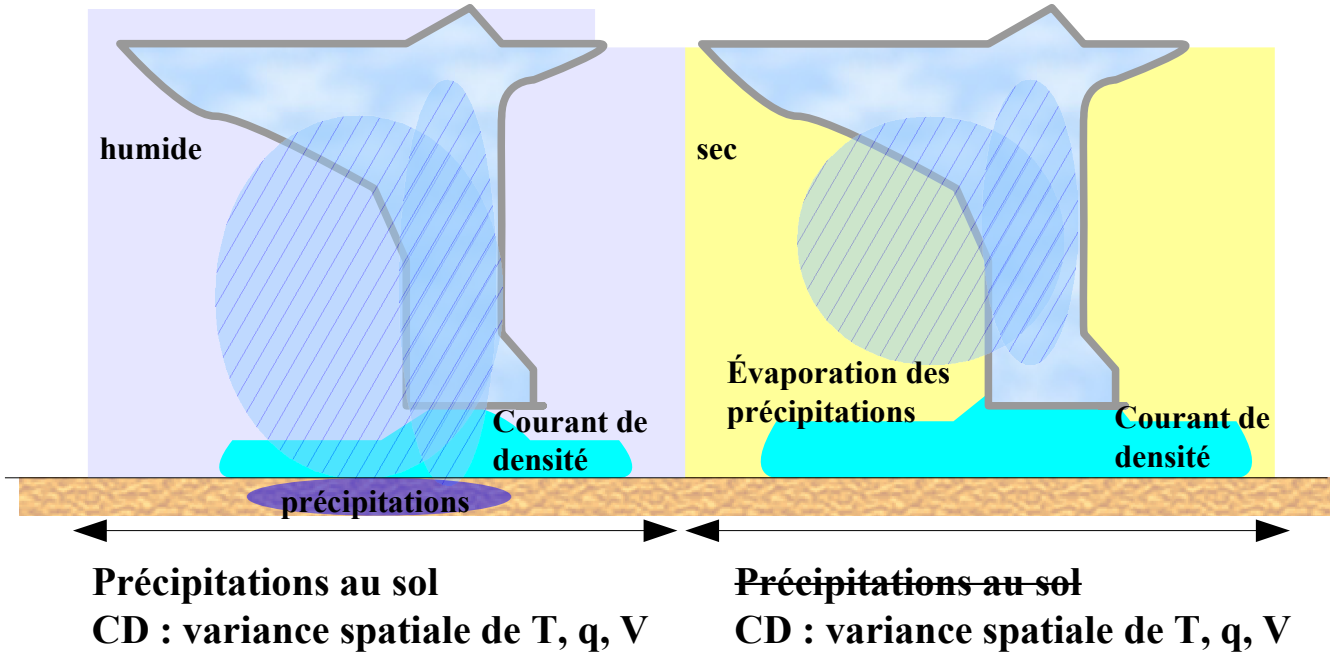
Différence de Température potentielle équivalente



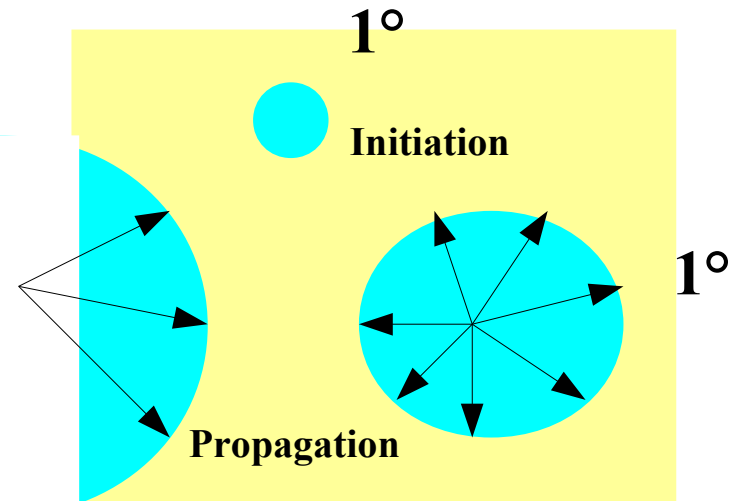
Stabilisation :



Diagnostiques adaptés à la convection profonde non précipitante

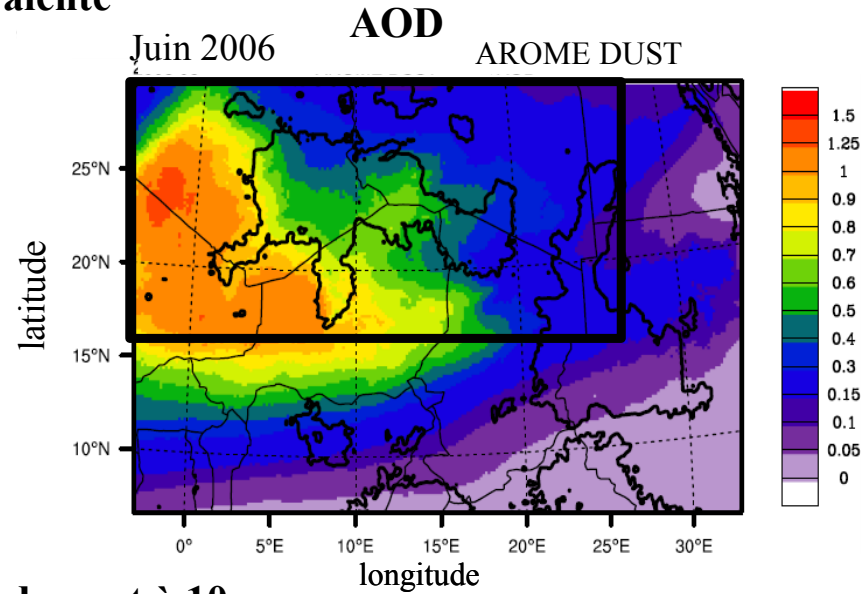
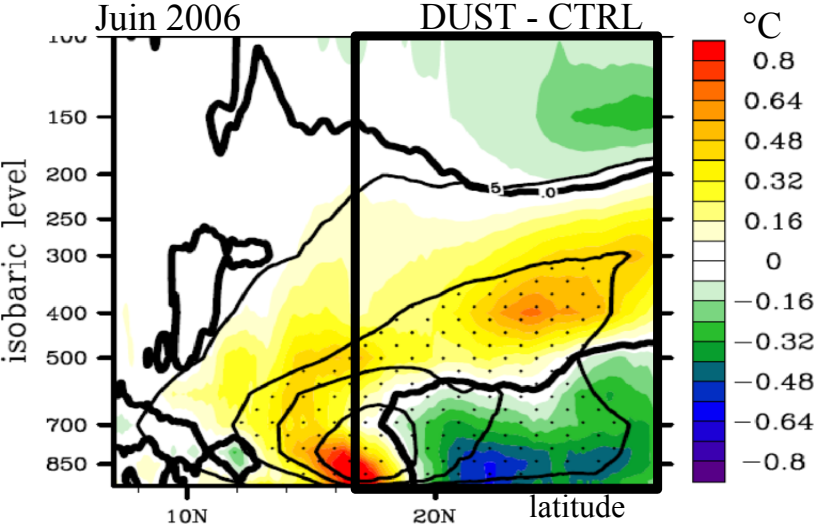


Diagnostic des courants de densités
→ soulèvement de poussières



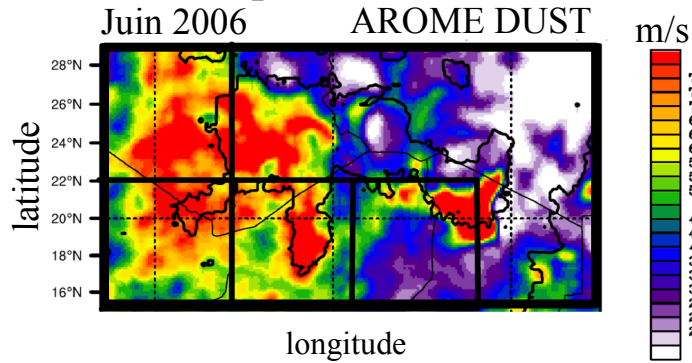
Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente



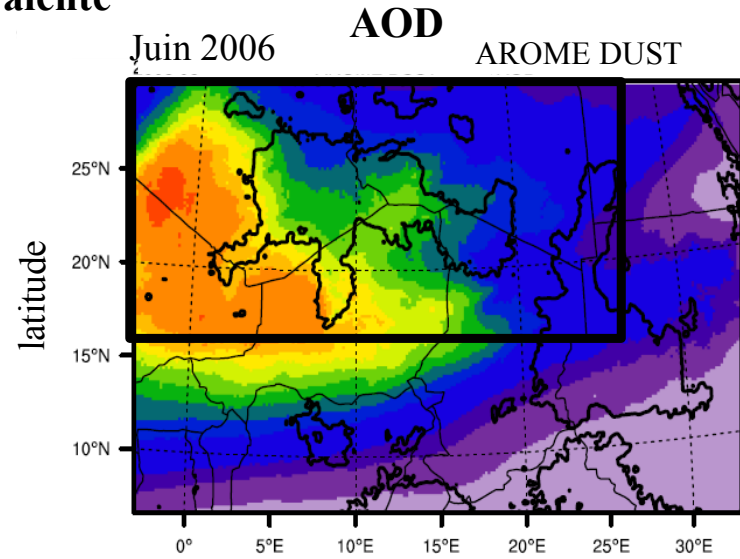
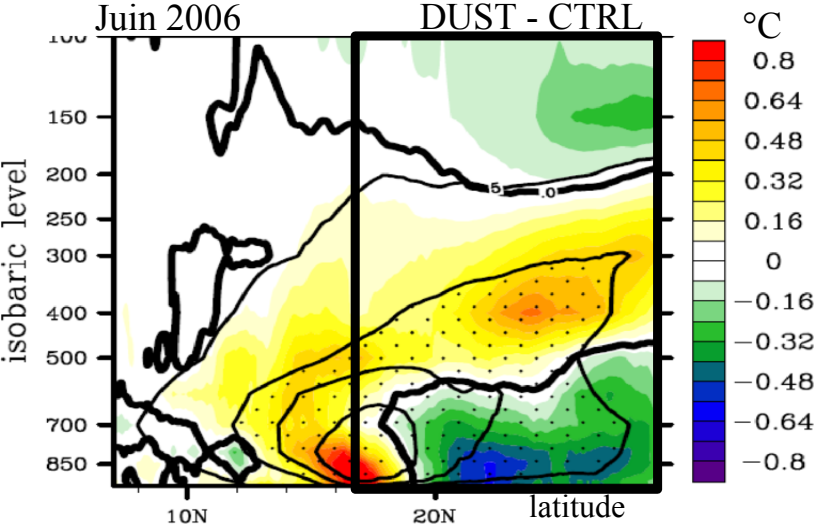
Stabilisation :

Variance spatiale/1° du vent à 10m



Impacts sur la convection

Différence de Température potentielle équivalente

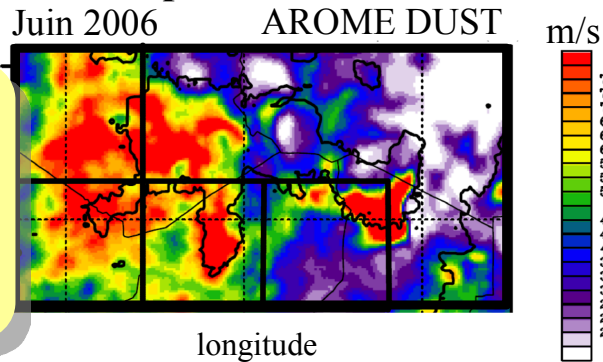


Stabilisation :

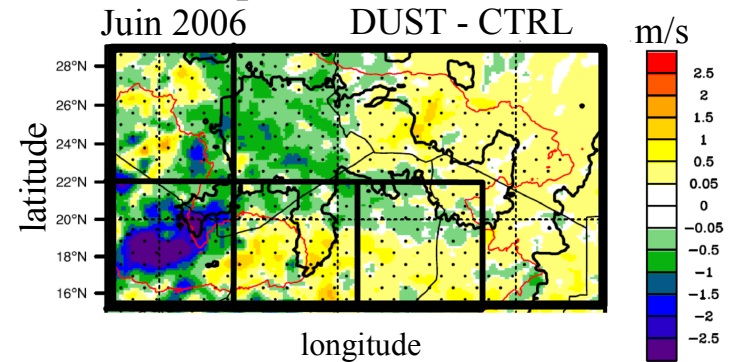
Courants de densité moins intenses

- rétroaction négative
- convection profonde moins intense ?

Variance spatiale/1° du vent à 10m



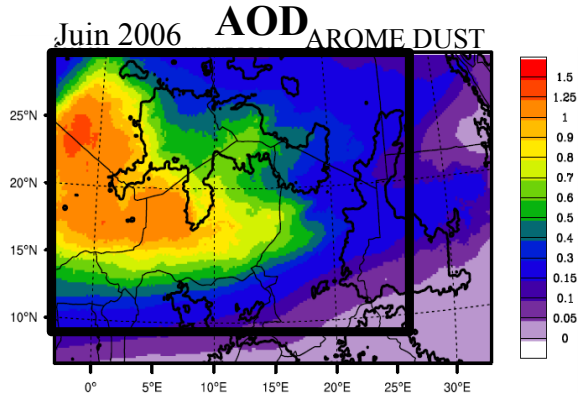
Variance spatiale/1° du vent à 10m



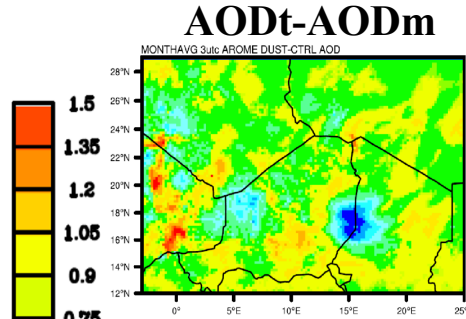
Modification des zones favorables à la convection

- initiation, propagation différente ?

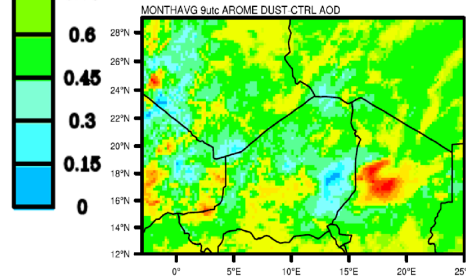
Cycle diurne des poussières désertiques



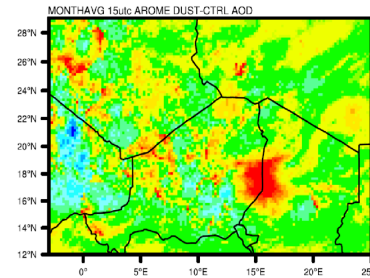
3h



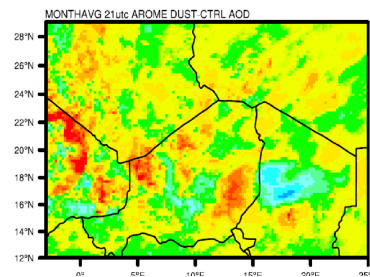
9h



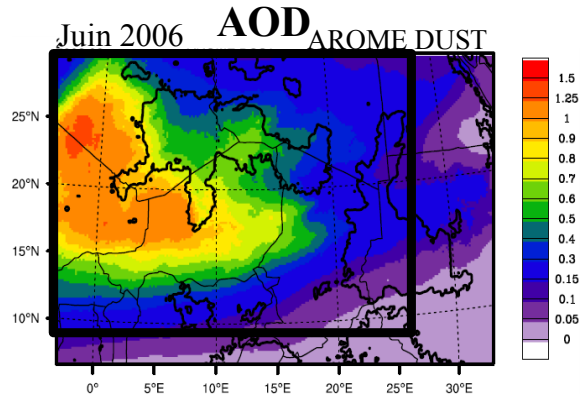
18h



0h



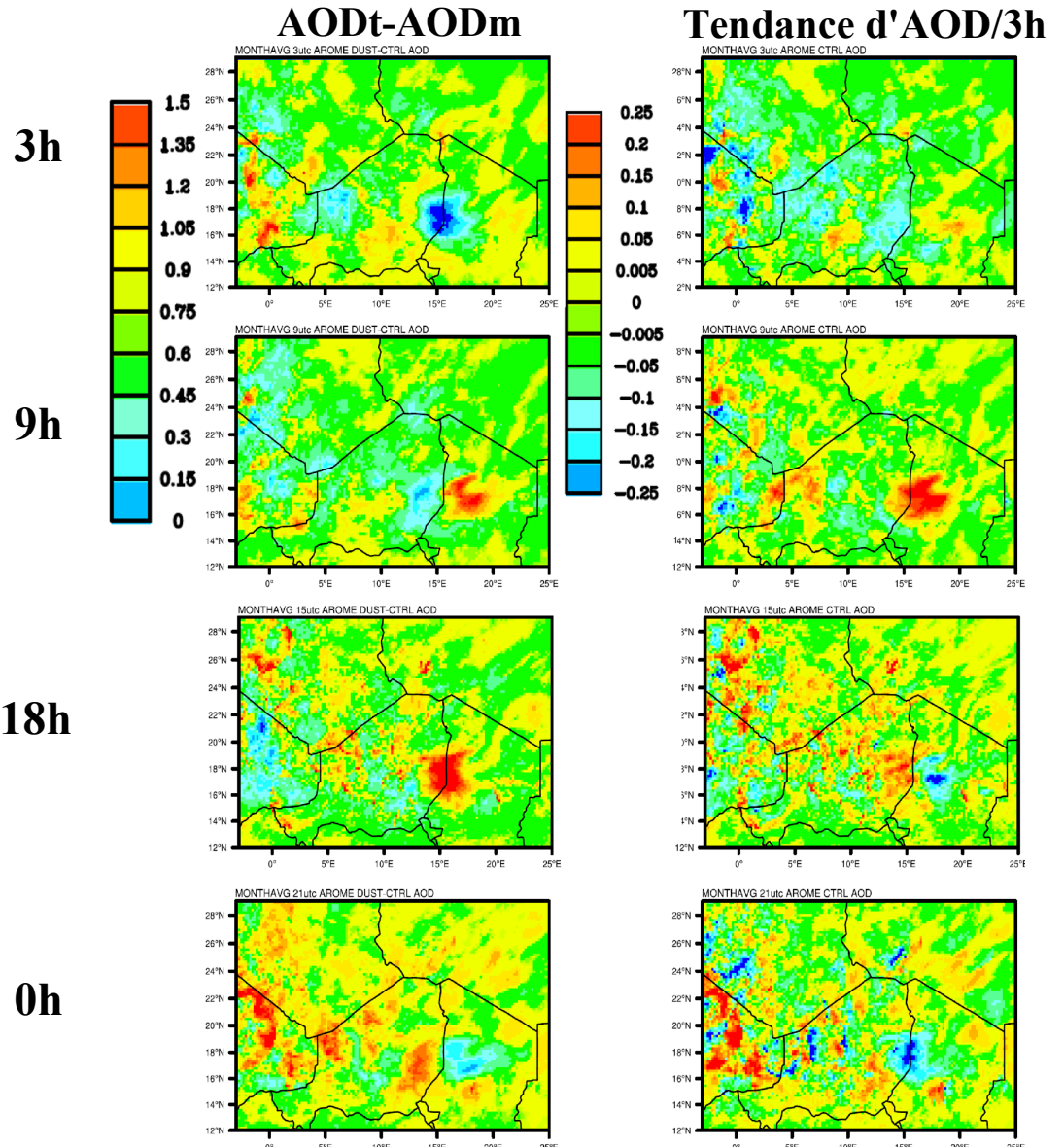
Cycle diurne des poussières désertiques



→ **Bodelé**
ITD, jets nocturnes,... [BouKaram et al. 2008, 2009]

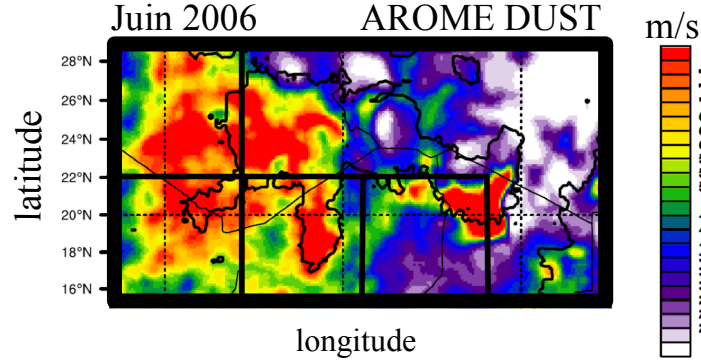
→ **Ouest Hoggar et Air**
Convection [Flamant et al. 2007, Tulet et al. 2010] **18h**

→ **Adrar :**
Convection plus tardive, propagation **0h**

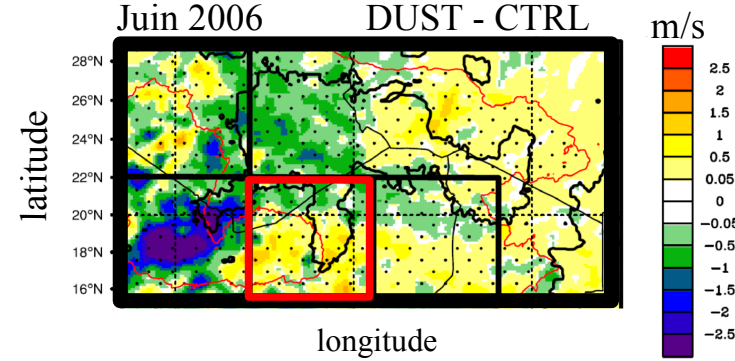


Impacts sur le cycle diurne

Variance spatiale/1° du vent à 10m



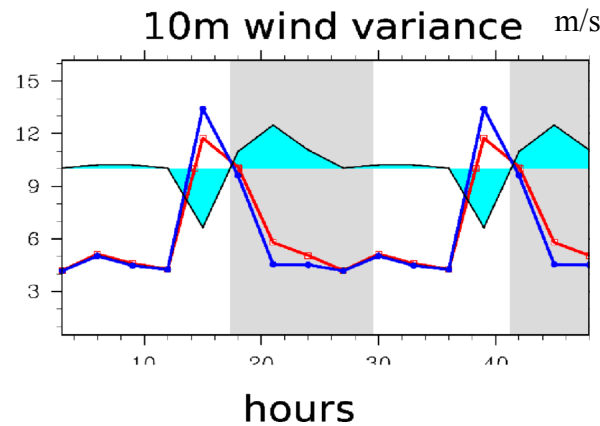
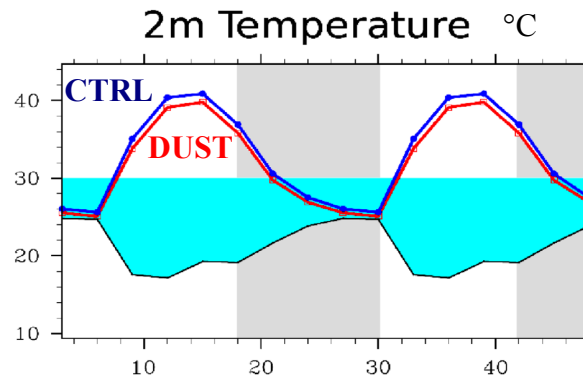
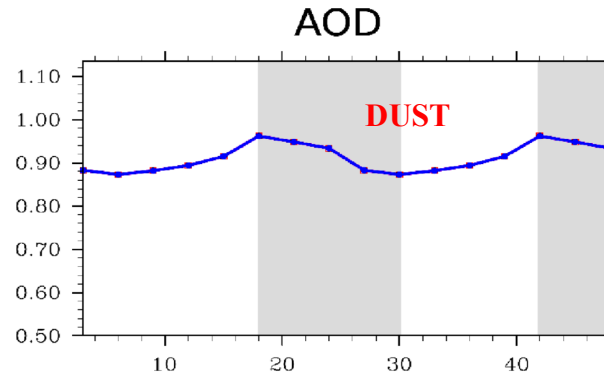
Variance spatiale/1° du vent à 10m



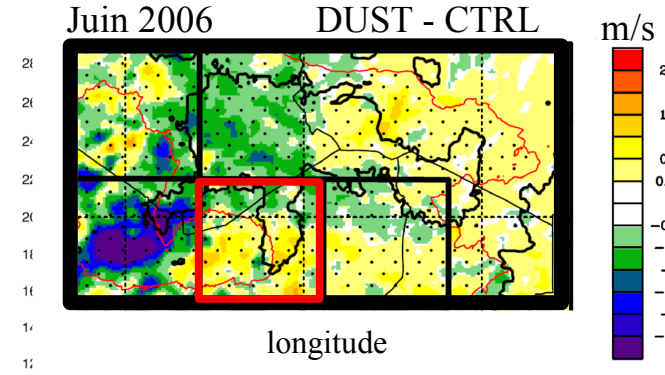
Impacts sur le cycle diurne

Impact dépend de :
→ moyenne d'AOD
→ rayonnement solaire

Diminution du cycle diurne



Variance spatiale/1° du vent à 10m



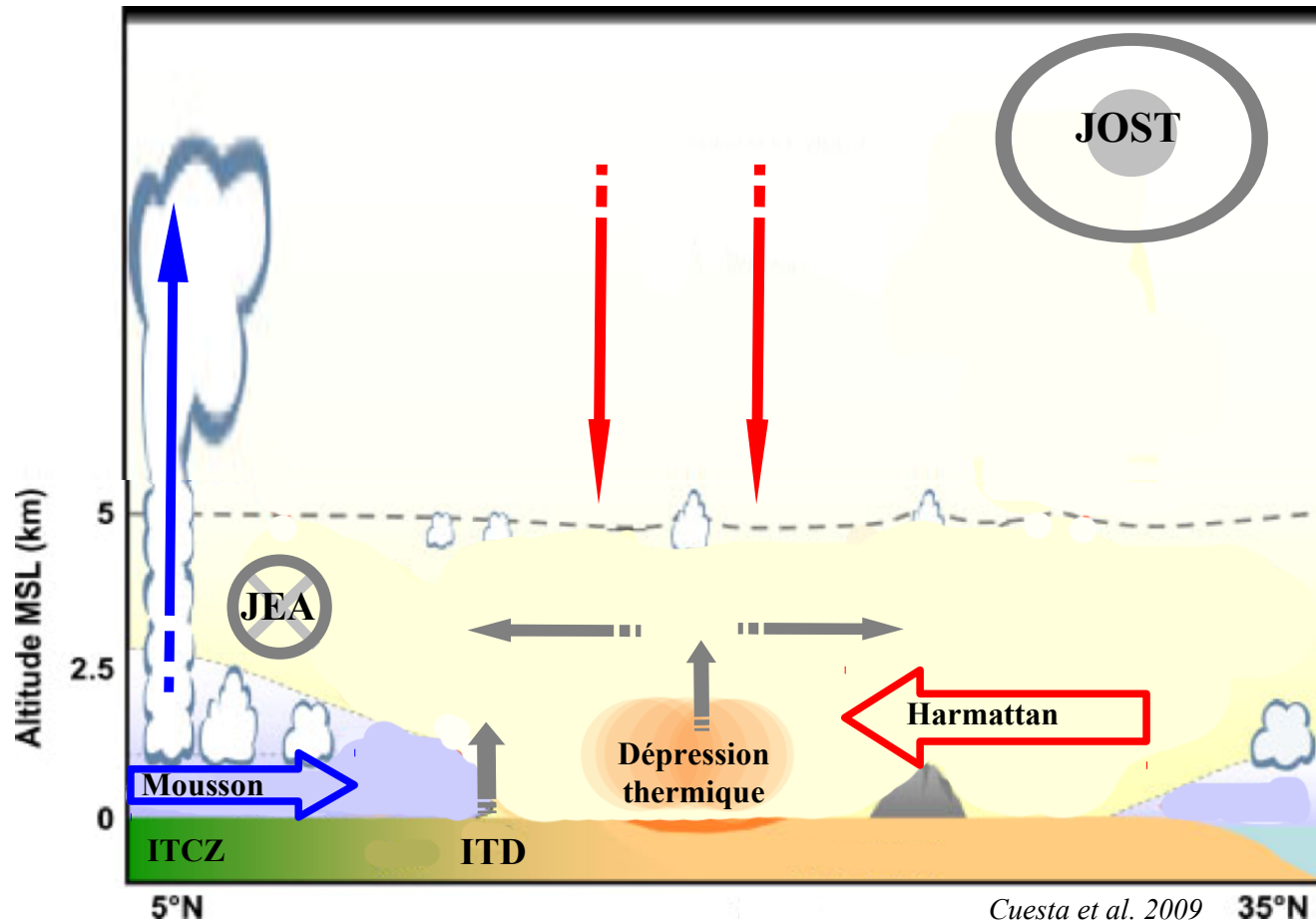
Différence

0
-1
-2

2
0
-2

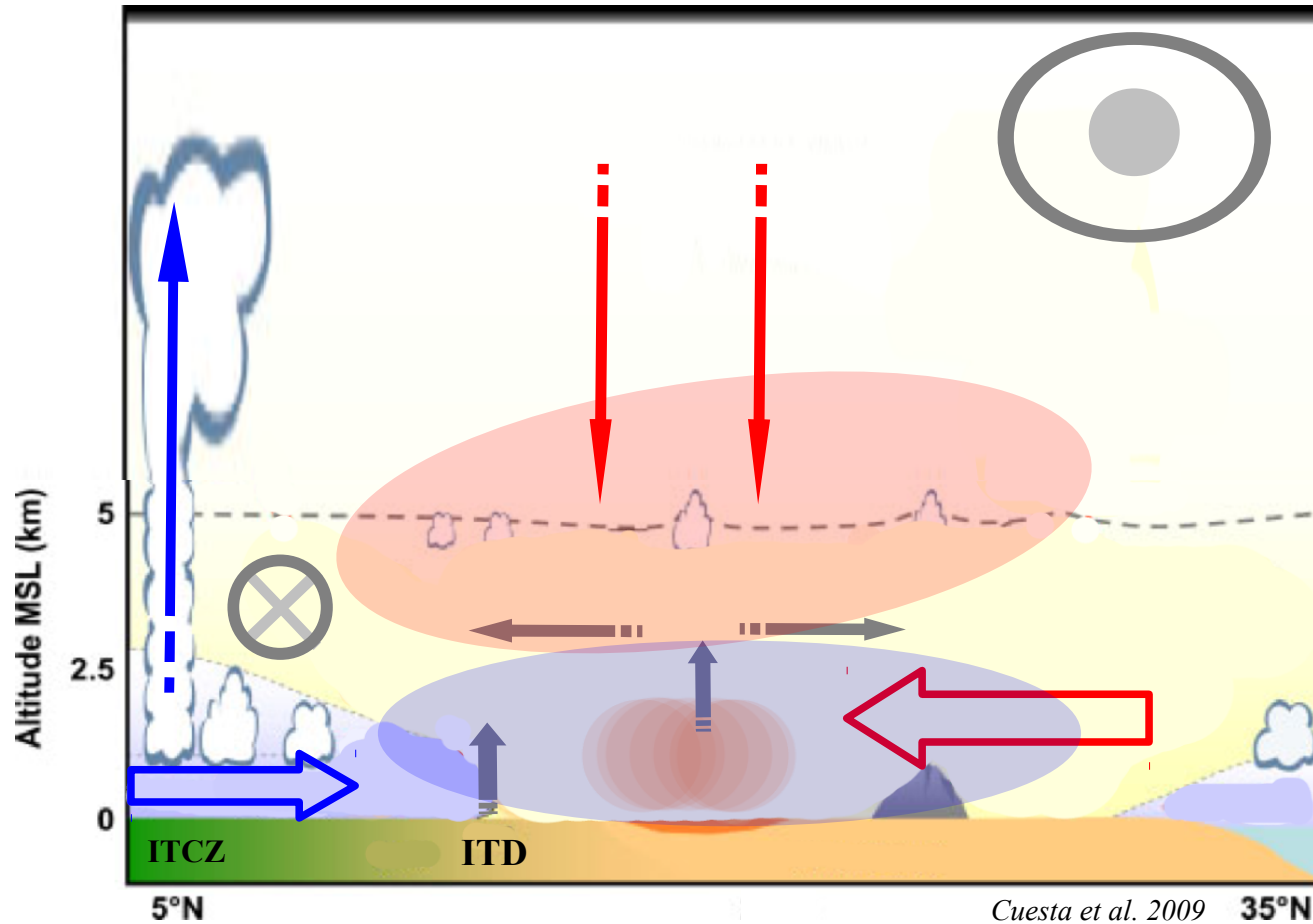
Courants de densité moins intenses mais plus persistants

Conclusion pendant la mise en place de la mousson



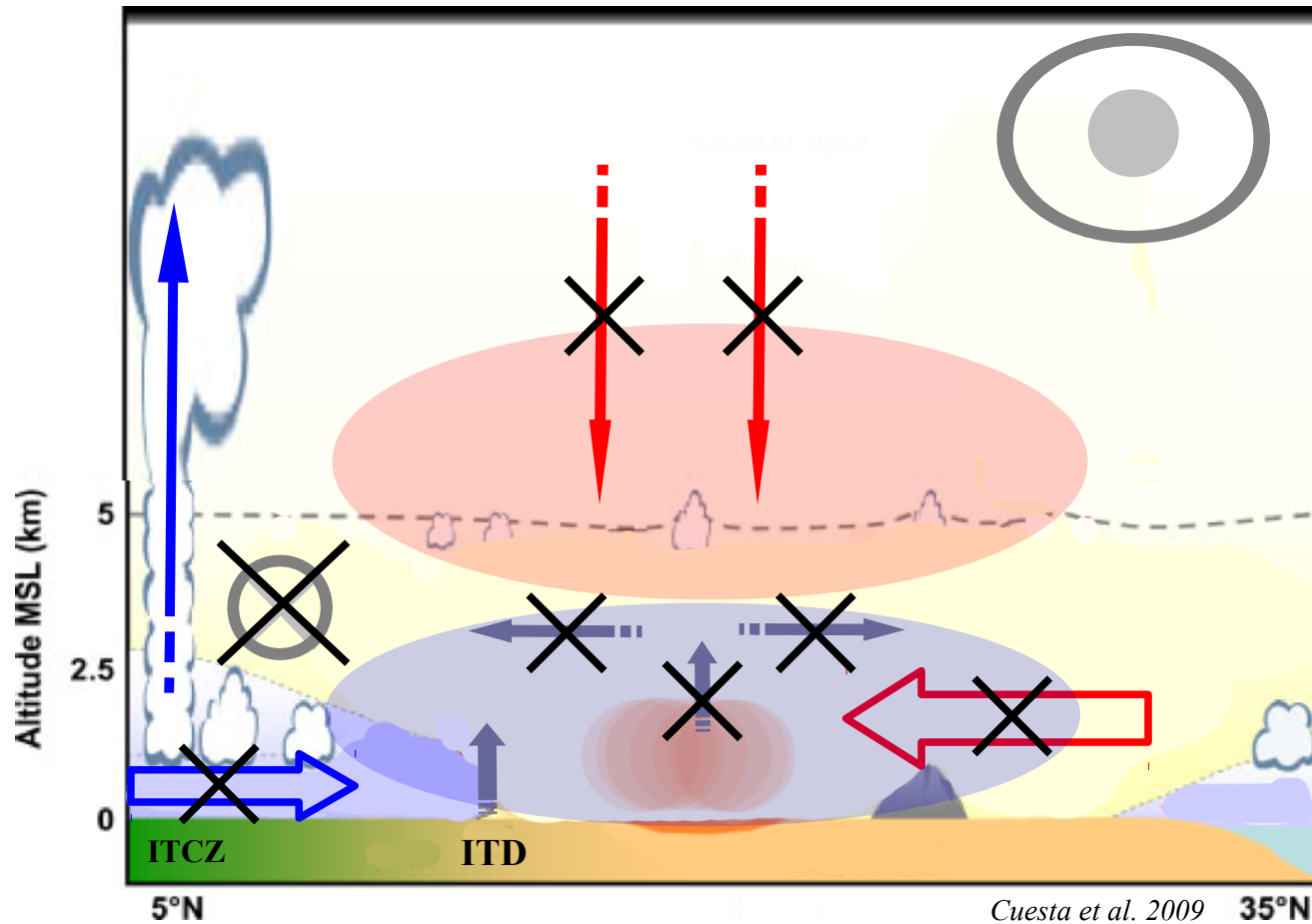
- Zones de soulèvement, transport et dépôt (cycle diurne, convection)

Conclusion pendant la mise en place de la mousson



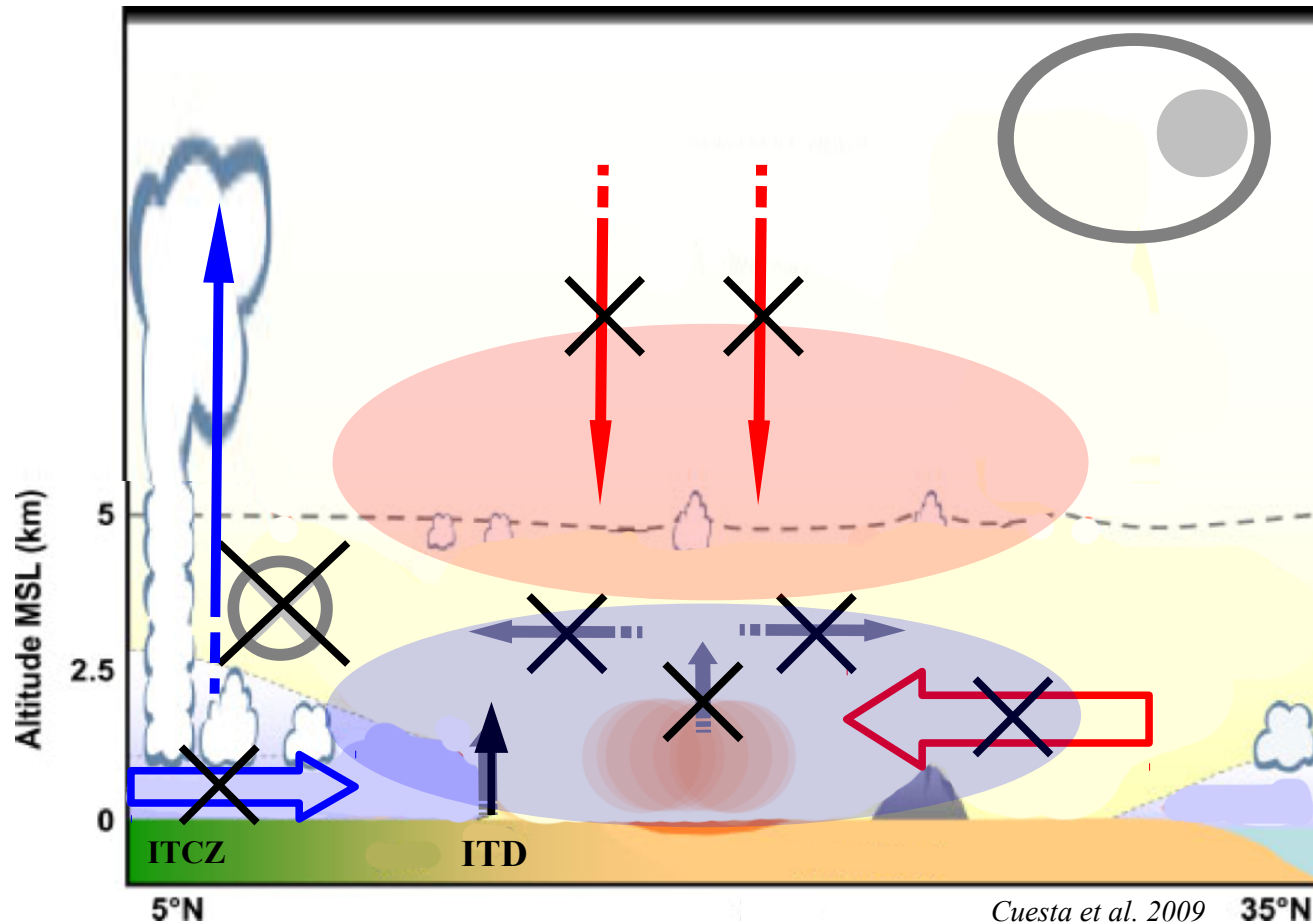
- **Zones de soulèvement, transport et dépôt (cycle diurne, convection)**

Conclusion pendant la mise en place de la mousson



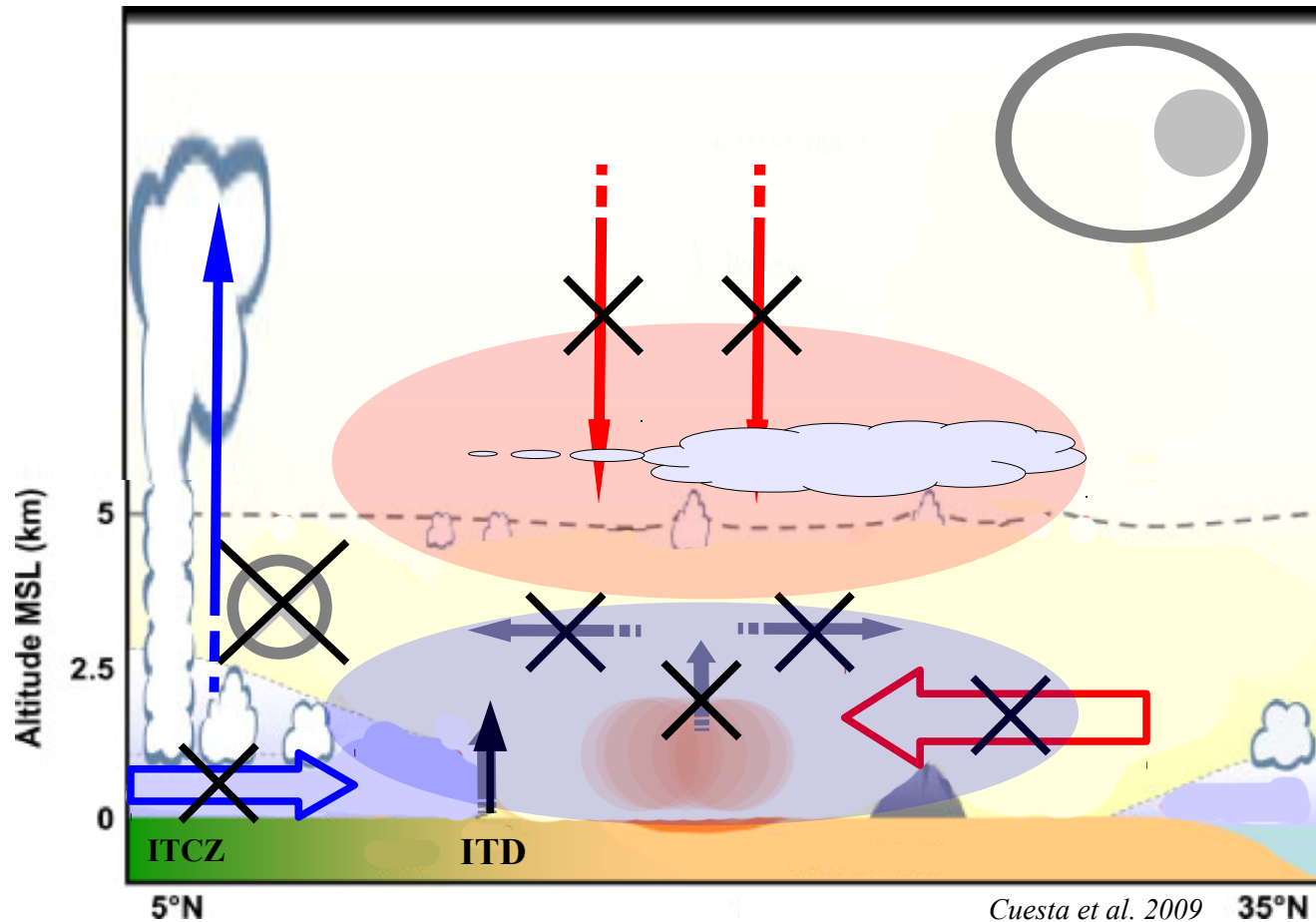
- **Zones de soulèvement, transport et dépôt (cycle diurne, convection)**
- **Rôle +/- sur le saut de mousson**

Conclusion pendant la mise en place de la mousson



- Zones de soulèvement, transport et dépôt (cycle diurne, convection)
- Rôle +/- sur le saut de mousson

Conclusion pendant la mise en place de la mousson



- **Zones de soulèvement, transport et dépôt** (cycle diurne, convection)
- **Rôle +/- sur le saut de mousson**
- **Modification de la convection profonde** (localisation, intensité et cycle diurne)

Conclusion

Modèle AROME DUST : potentiellement opérationnel à résolution convective avec représentation explicite des poussières désertiques sur toute l'Afrique de l'Ouest

- **Meilleure représentation de la variabilité spatio-temporelle des poussières désertiques, de l'extinction, du flux solaire et des températures** en moyenne journalières
- Représentation de la convection profonde parfois trop intense

• **Détermination du cycle diurne des poussières et du soulèvement par la convection**

- **Quantification de l'effet direct dans le visible et proche infrarouge**
- Mise en évidence d'un effet direct dans l'infrarouge non pris en compte par le modèle

Identification des effets semi directs dans le visible et le proche infrarouge :

- Dans le panache : **Chauffage/Déstabilisation**
- Sous le panache : **Refroidissement/Stabilisation (+ énergie potentielle)**
- **Augmentation de la frontogénèse**
- **Rôle important sur la mise en place de la mousson :**
 - Favorise le déplacement vers le nord des circulations de grande échelle
 - Affaiblit le principal moteur de la mousson : la dépression thermique
- **Affaiblit la convection profonde dans le panache**
 - modification des zones favorables à la convection profonde (initiation, propagation)
 - modification du cycle diurne (+ persistance des systèmes)

Perspectives

Confirmer les résultats sur d'autres cas d'études

Etudier l'impact sur :

- **la convection profonde à plus fine échelle**
- **les ondes d'est Africaines** [*Knippertz et Todd, 2010*]
- **le saut de mousson**

Améliorer la représentation des aérosols dans le modèle :

- **cycle de vie** : sources (types de sol), processus météorologique (systèmes convectifs trop intenses, semi-Lagrangien)
- autres types d'aérosols (carbonés)

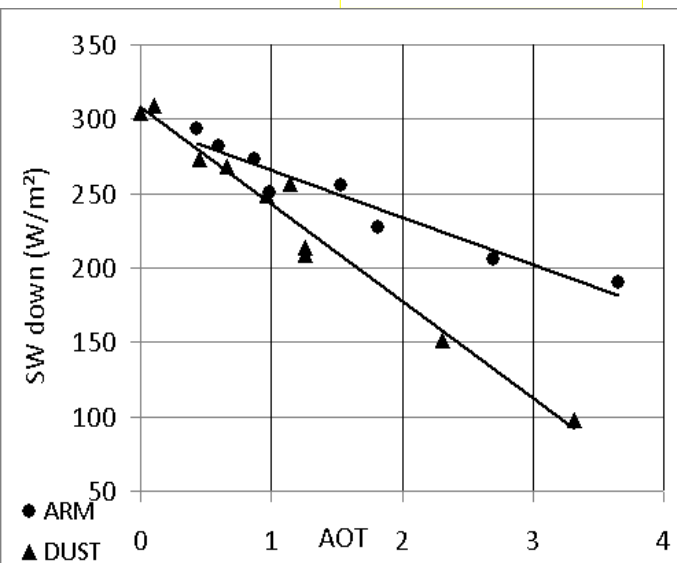
Améliorer l'effet direct dans le **visible**

Prendre en compte l'effet direct dans **l'infrarouge** → impacts encore + forts sur le cycle diurne

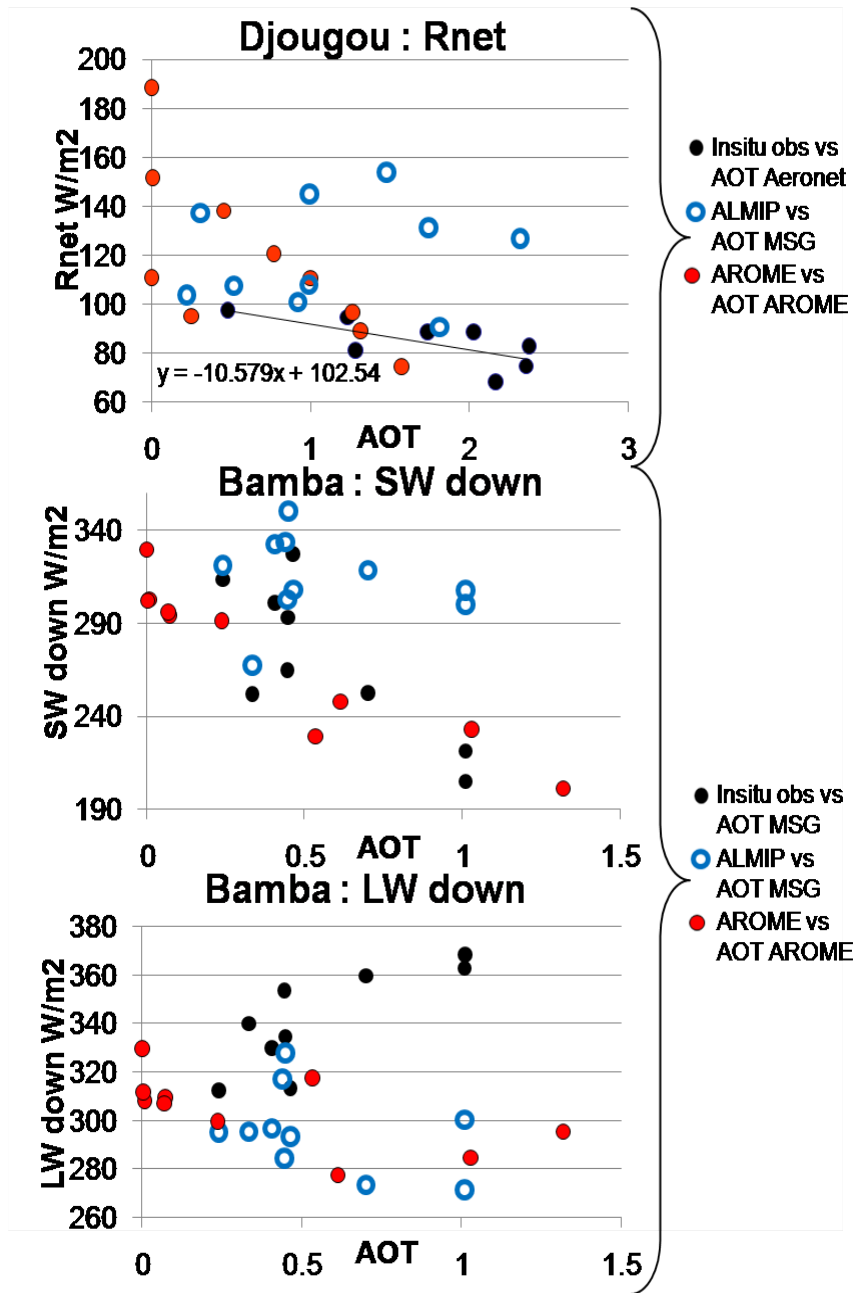
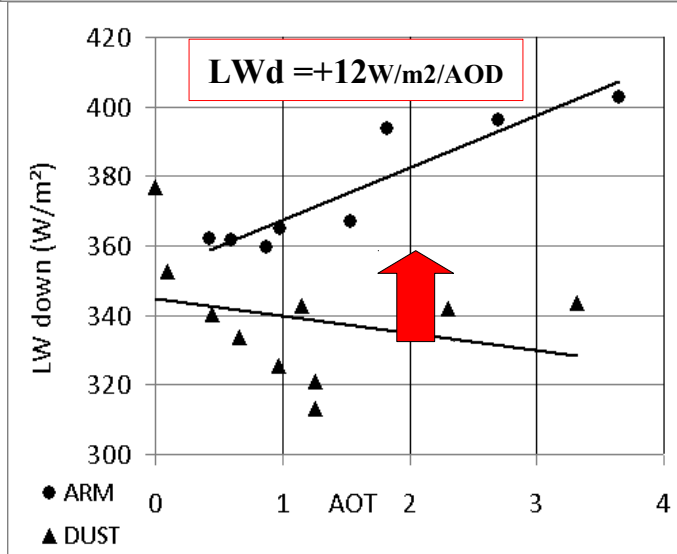
Prendre en compte les **effets indirects** des poussières désertiques

A échelle saisonnière : la prise en compte de la variabilité spatio-temporelle est-elle indispensable ? → meilleure climatologie ?

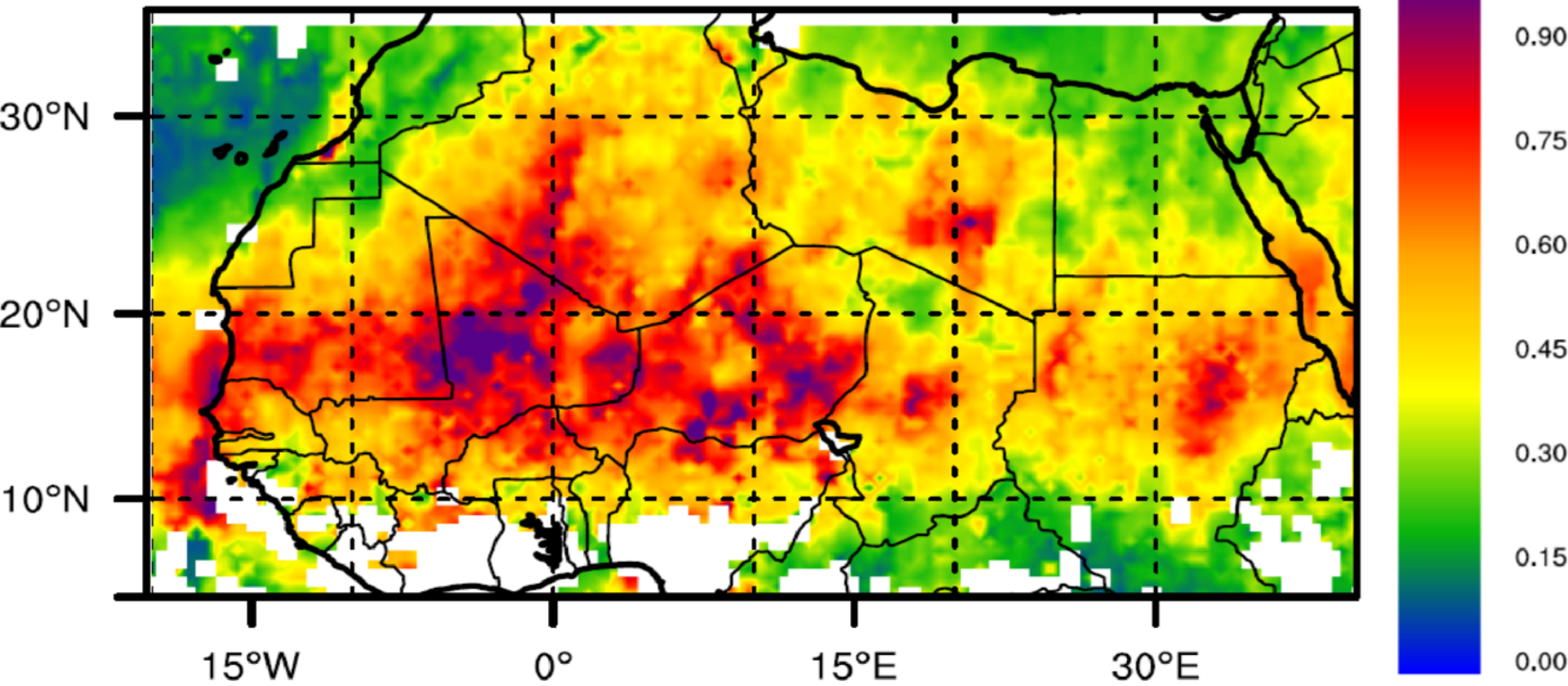
SWd = -25 W/m²/AOD

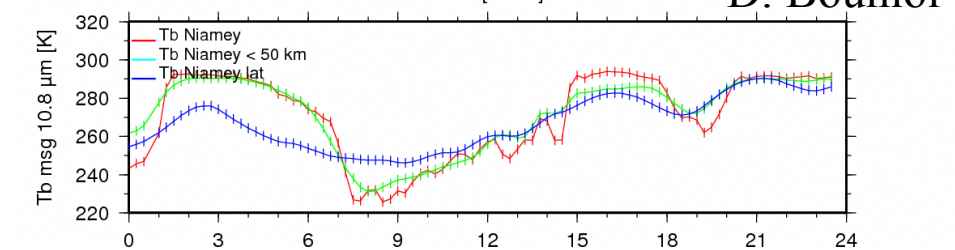
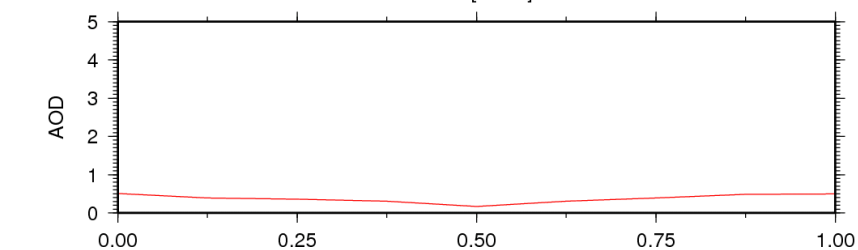
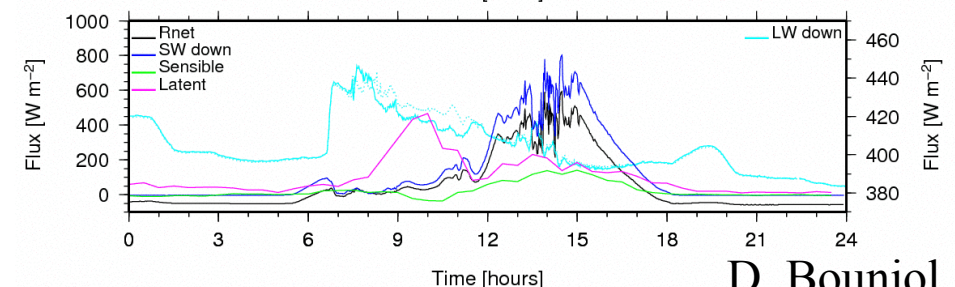
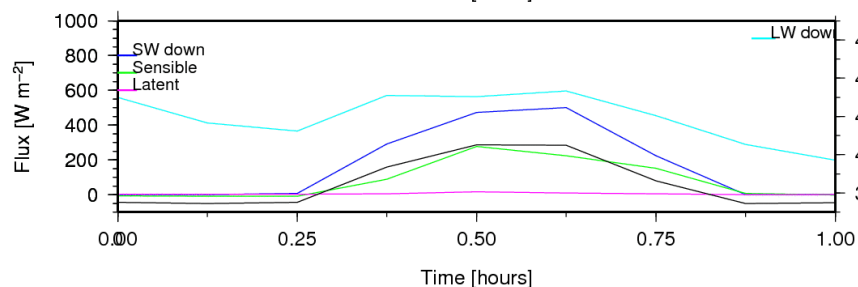
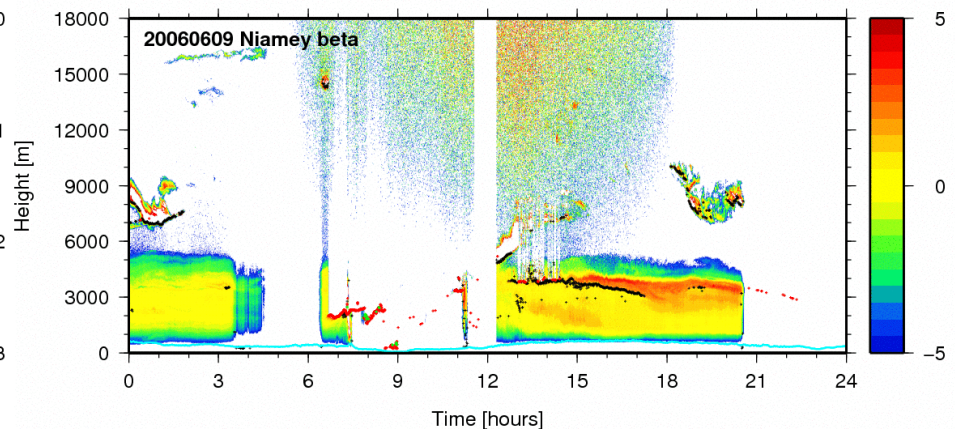
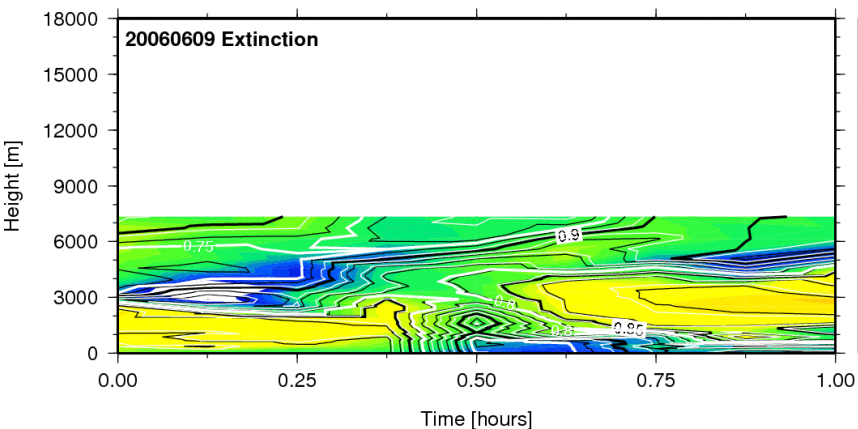
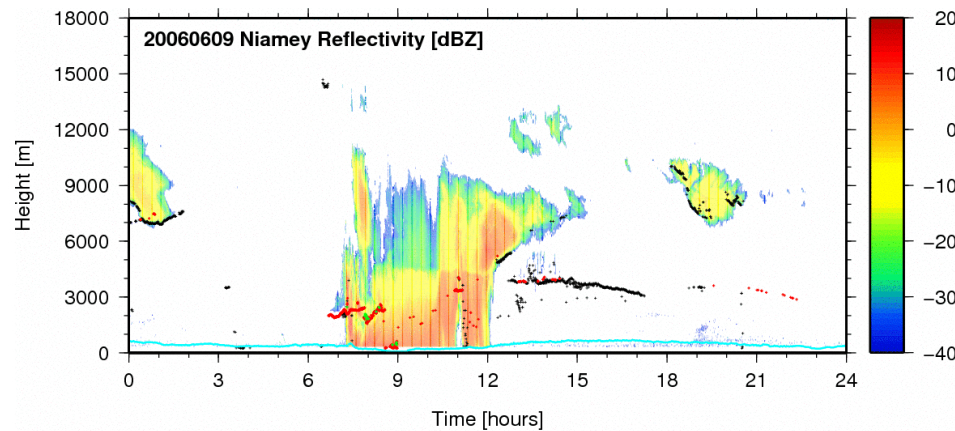
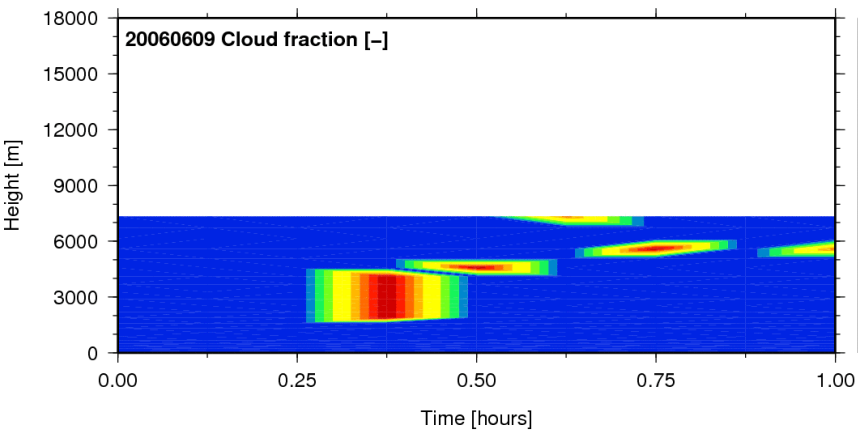


LWd = +12 W/m²/AOD



MISR AOT (555 nm)





D. Bouniol