



## Impact des **A**érosols **D**ésertiques et du **C**limat sur les **E**pidémies des **M**éningites au Sahel

Participants GIS : B. Marticorena, (LISA, Créteil), S. Thiria, B. Sultan (LOCEAN, Paris), Jean Louis Rajot (LISA/BIOEMCO, Créteil), Laurent Menut (LMD, Palaiseau)

Participants hors-GIS : N. Martiny (CRC, Dijon); I. Chiapello; M. Legrand (LOA, Lille); H. Broutin (MIVEGEC, Montpellier); A. Niang (LTI, UCAD, Dakar, Sénégal); P. Yaka (DMN, Burkina-Faso)

Collaboration : L. Agier (U. Lancaster, UK)

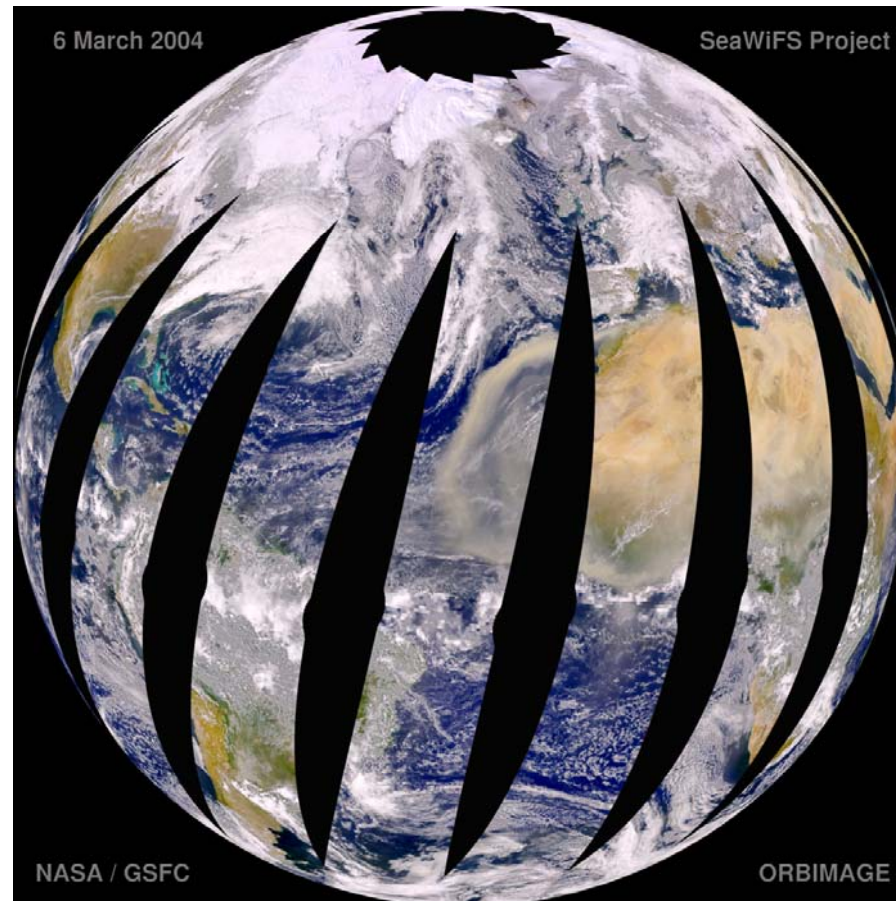
Thèse : Adrien Deroubaix (LOCEAN, Paris; CRC, Dijon)

Post-Doc : Houda Yahy (LISA, Créteil)



# Les aérosols désertiques au Sahel

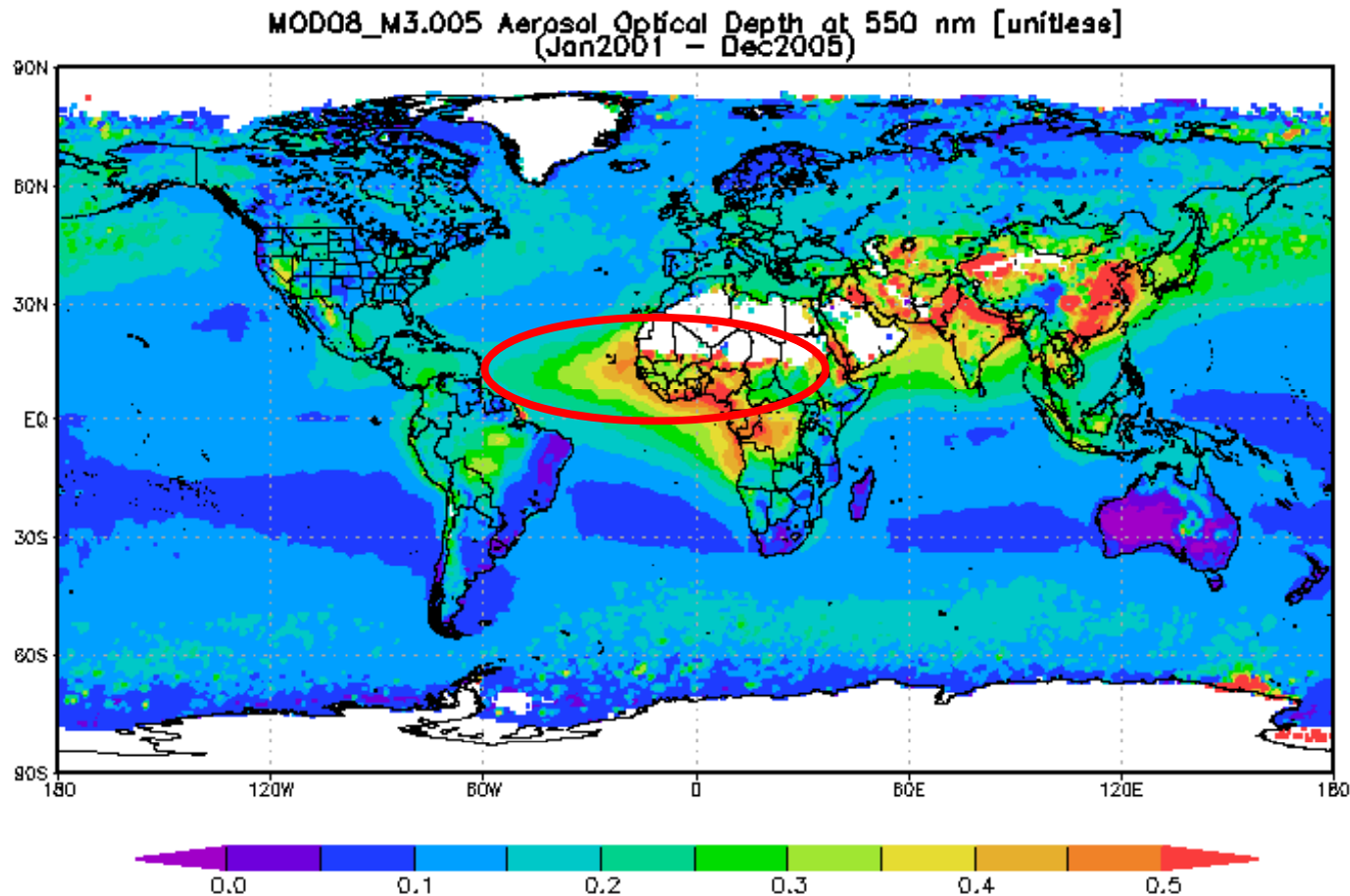
Des images satellite spectaculaires de transport sur l'Océan Atlantique





# Les aérosols désertiques au Sahel

**Le contenu atmosphérique en aérosols parmi les plus forts observés dans le monde**

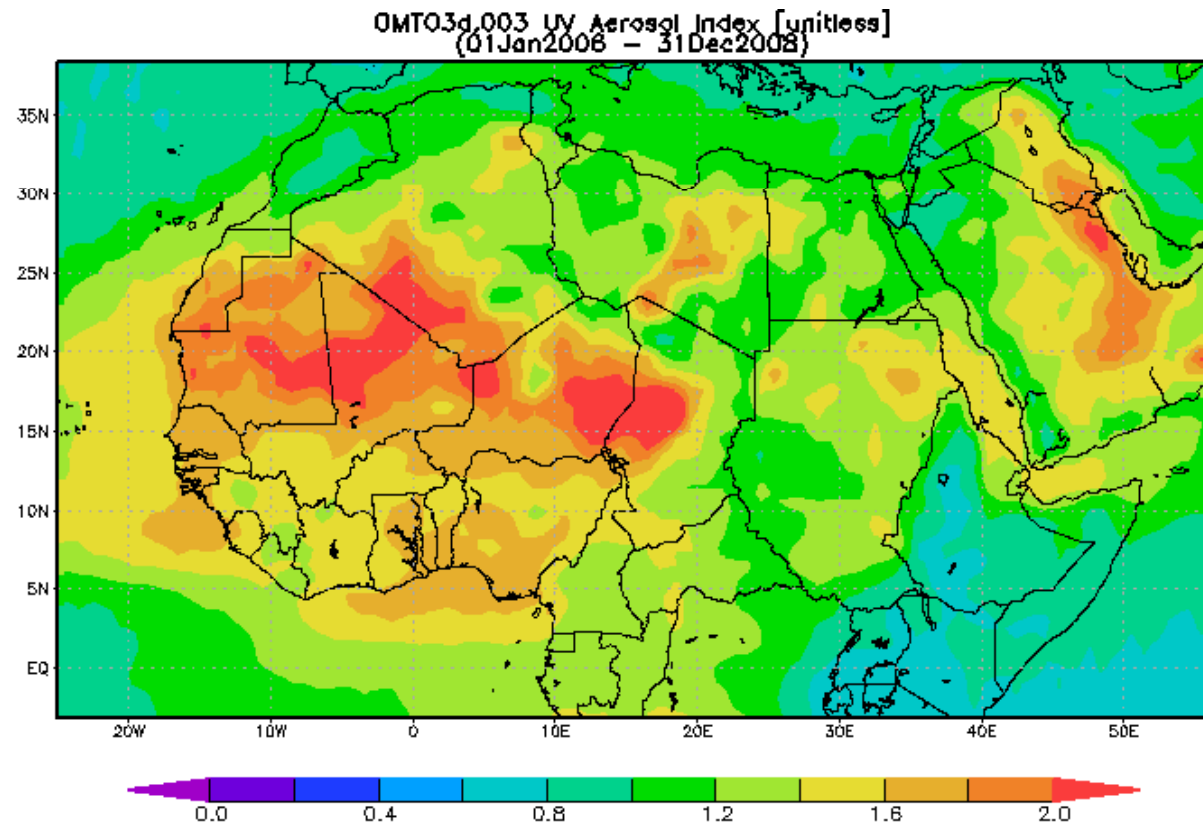




# Les aérosols désertiques au Sahel

Sur le continent, des produits satellite « aérosol » semi-quantitatifs

**Indice aérosol OMI  
Ozone Mapping Instrument  
dans l'UV**

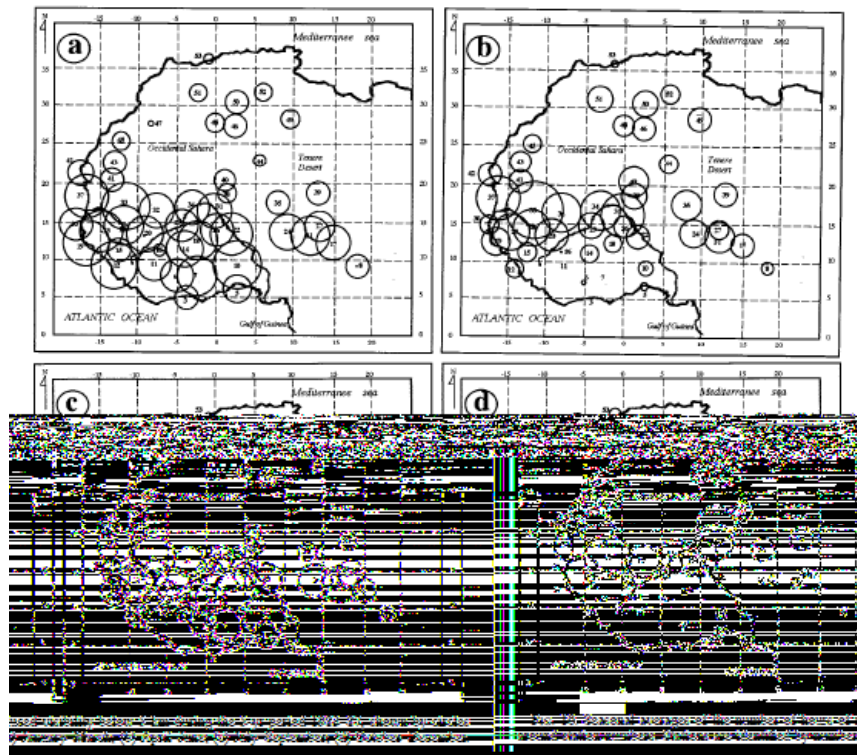
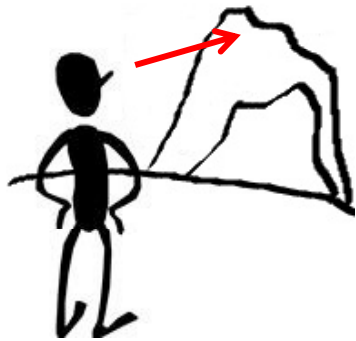




# Les aérosols désertiques au Sahel

Peu d'information quantitative sur le continent :

- Visibilité horizontale (i.e. N'Tchayi M'Bourou et al., 1996)



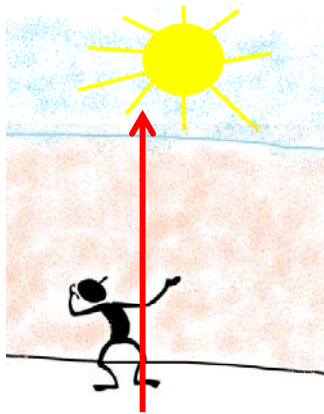
Archives  
disponibles  
sur des  
périodes  
« historiques  
»



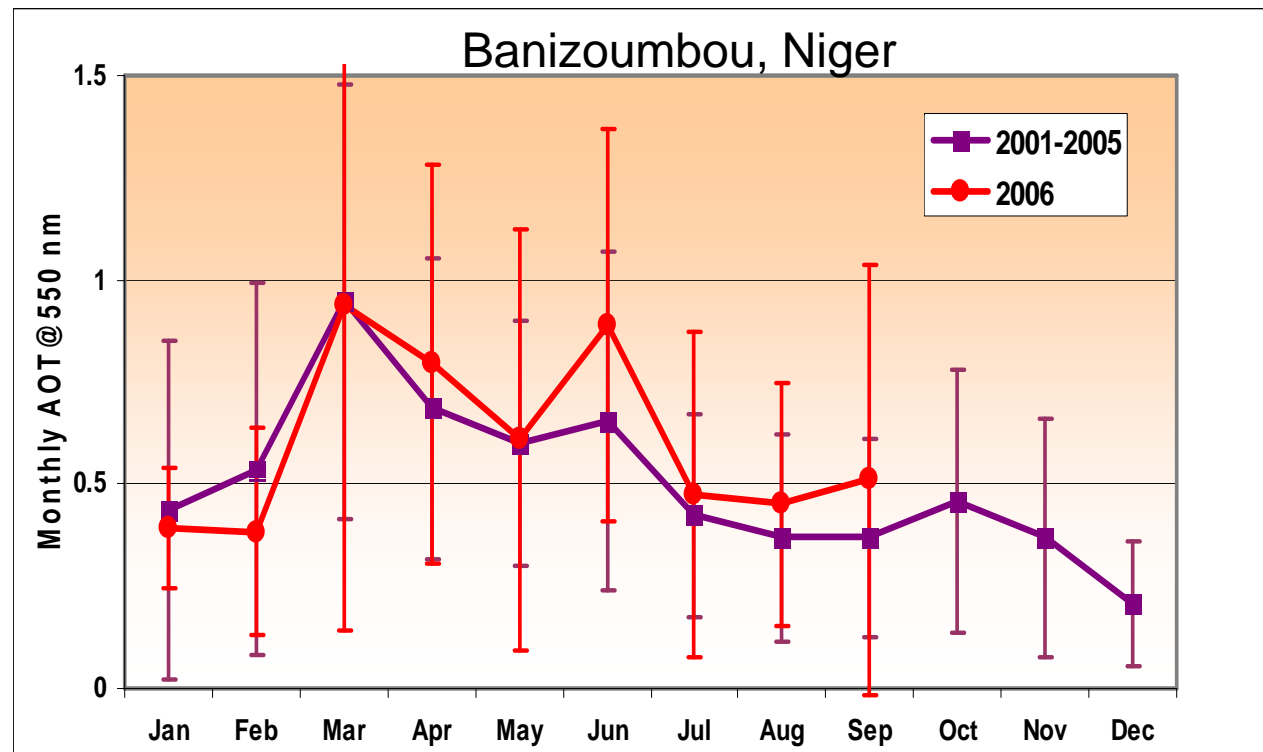
# Les aérosols désertiques au Sahel

Peu d'information quantitative sur le continent :

-Epaisseur optique en aérosol (AERONET/PHOTONS)  
= contenu atmosphérique intégré verticalement



Mesures  
disponibles depuis  
les années 90 dans  
certaines stations  
du Sahel



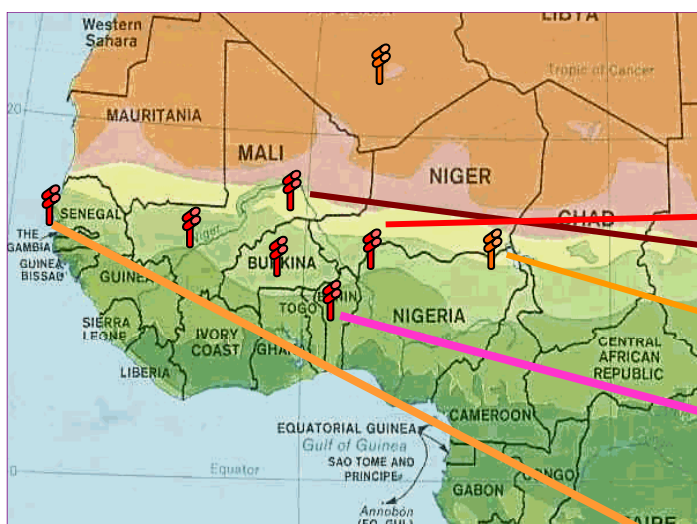




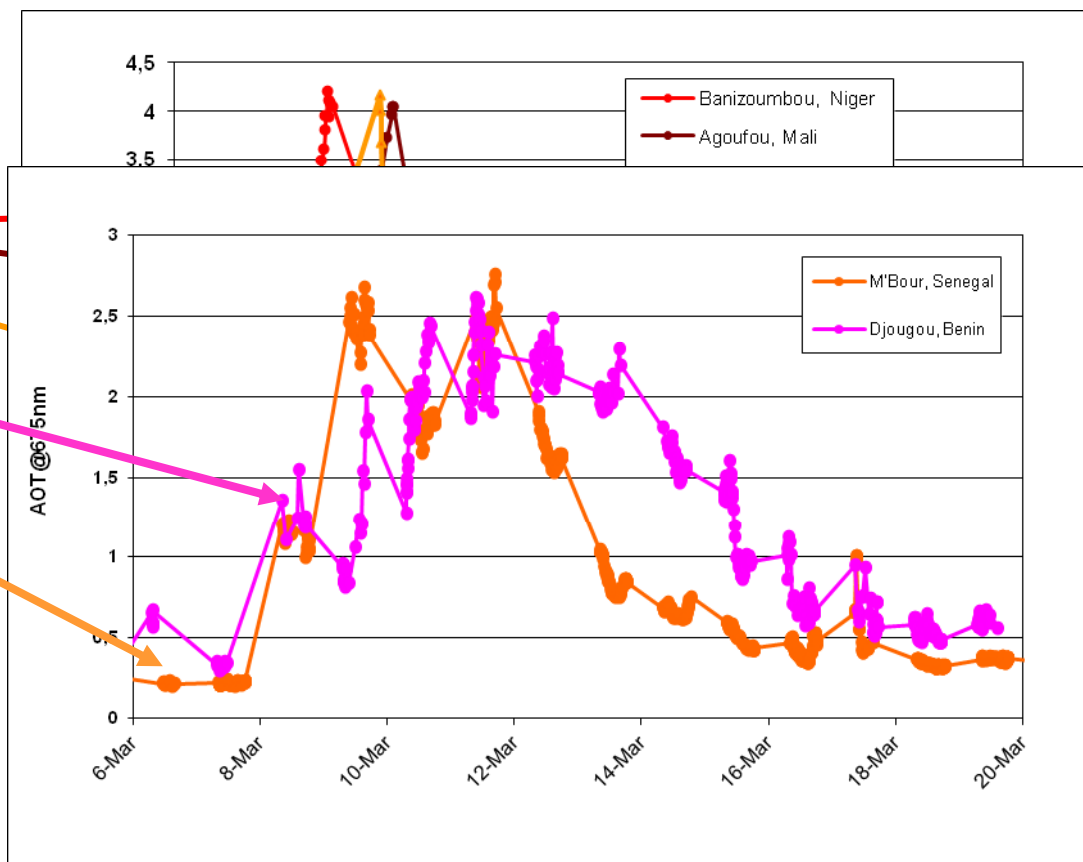
# Les aérosols désertiques au Sahel

Peu d'information quantitative sur le continent :

- Epaisseur optique en aérosol (AERONET/PHOTONS)



Localisation des photomètres  
AERONET/PHOTON au Sahel  
dans le cadre des mesures à  
long-terme d'AMMA

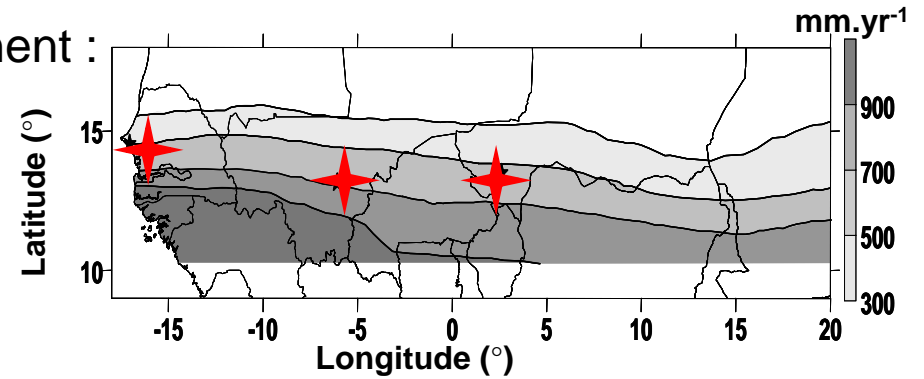




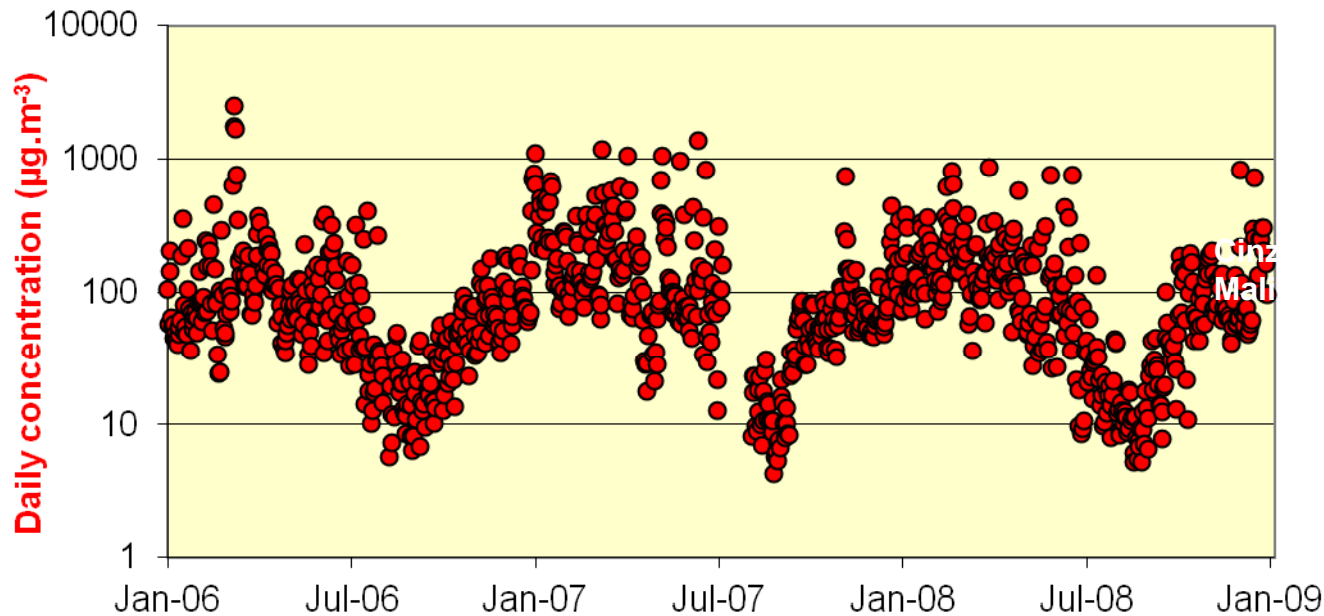
# Les aérosols désertiques au Sahel

Peu d'information quantitative sur le continent :

- Concentrations de surface :  
= Sahelian Dust Transect (2006-2012)



Cinzana, Mali



**Les premières  
mesures de  
concentration en  
PM10 au Sahel**

(Marticorena et al., 2001)

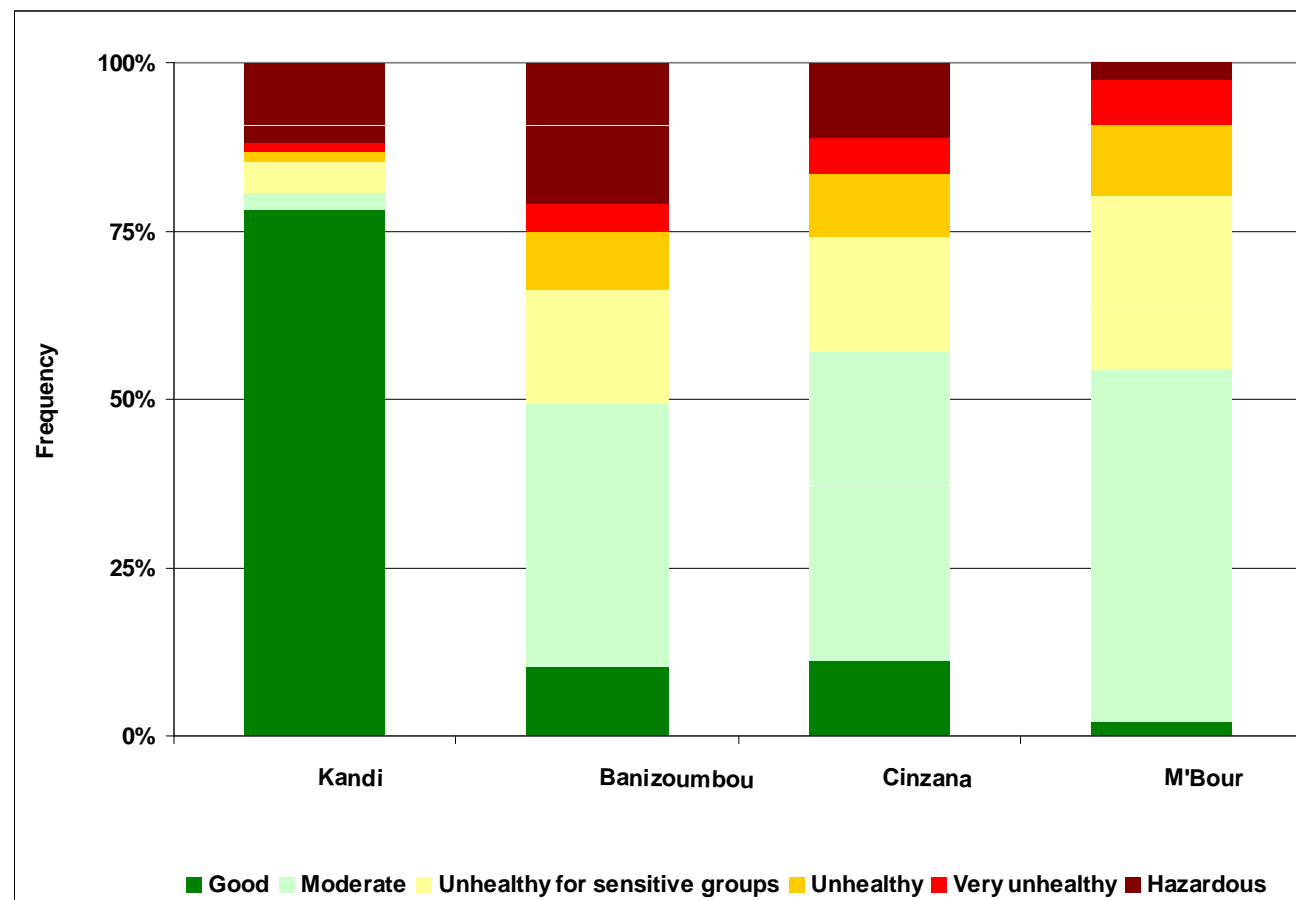




# Les aérosols désertiques au Sahel

## Impact sur la qualité de l'air

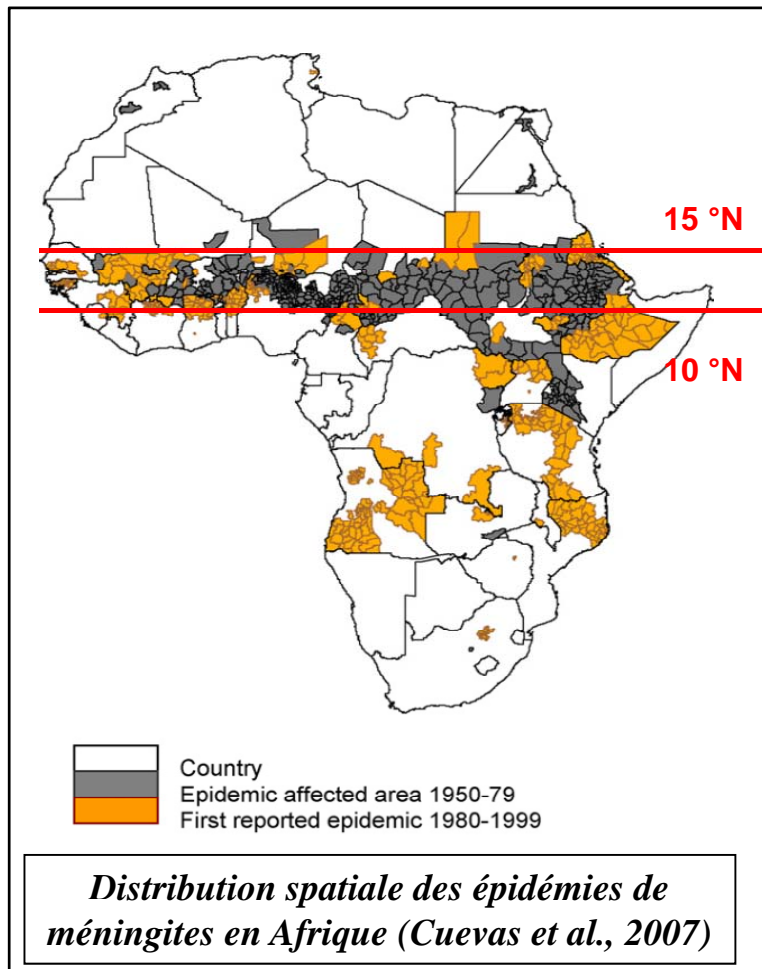
Indices de Qualité de l'Air (US EPA, 1999) calculés en fonction des concentrations mesurées sur les stations SDT et estimées à partir de la visibilité horizontale au Bénin.



(de Longueville et al., soumis)



# La méningite au Sahel : un problème de santé publique



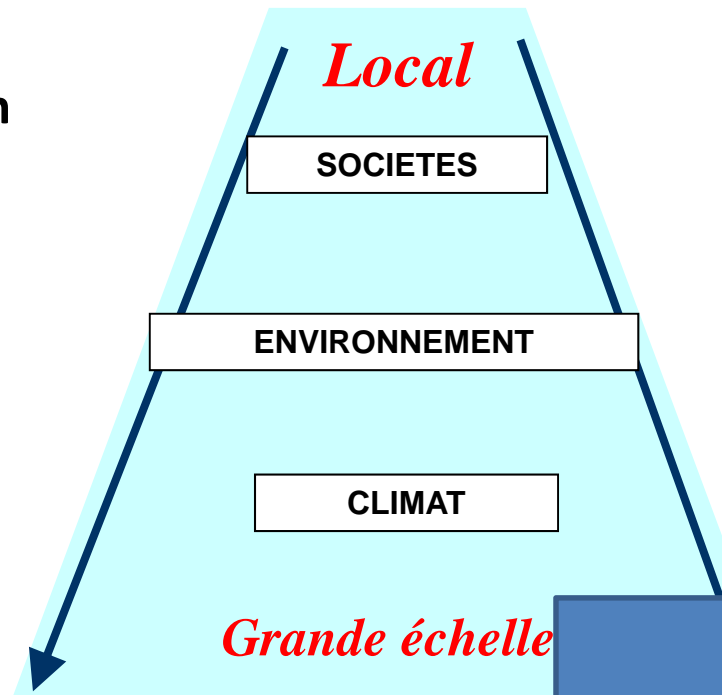
- Les épidémies se concentrent en zone sahélienne dans la « **ceinture de la méningite** » (*Lapeyssonnie, 1963*).
- Elles se produisent pendant la **saison sèche** (Février-Avril).
- Elles impliquent principalement les sérogroupes **A, C, X et W135** de la bactérie *Neisseria meningitidis* (*Alonso et al., 2005*).
- Chaque année, **25-250.000** cas sont recensés (*WHO, 2002*)
- La maladie touche principalement les **enfants** de moins de 15 ans (*Teyssou & Muros-Le-Rouzic, 2007*).
- Le **taux de mortalité** est d'environ **10%** (*Kaplan & Feigin, 1985*).
- **10 à 20%** des survivants présentent des **séquelles neurologiques** (*Smith et al., 1998*).



# Les facteurs de risque

## FACTEURS SOCIAUX

- Nombre de personnes/habitation
- Exposition aux fumées
- Immunité
- Niveau d'éducation
- Dynamique des populations



## FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX et CLIMATIQUES

- Couvert végétal
- Humidité de l'air
- Vents d'Harmattan
- Aérosols désertiques

Effet des aérosols désertiques =  
Irritation de la muqueuse pharyngée  
favorisant la colonisation de  
l'épithélium par le méningocoque



# Les questions

---

- Y a-t-il un lien entre les **aérosols désertiques**, les **conditions climatiques** et les épidémies de **méningite** en zone **sahélienne**?
- Les modèles physiques de **prévisions d'aérosols** et/ou les **observations satellites** peuvent-ils être utilisés pour **améliorer la gestion de ces épidémies** ?



# Comment aborder cette question?

---

- Quelle approche ?

  - Méthodes statistiques

    - Corrélations; relations linéaires
    - Analyse par ondelettes
    - Analyse par types de temps

- Quelles données pertinentes/disponibles ?



# Les données épidémiologiques

---

- **Idéalement** : nombre de cas avérés sur le Sahel à fine résolution + informations complémentaires (sérotypage, vaccinations, contexte)
  - **Pratiquement** :
    - un nombre de cas par district et par semaine (OMS)
    - un rendu hétérogène
    - des données non-homogènes (cas avérés)
- ⇒ **Données de surveillance OMS par district pour les 3 pays ciblés (Burkina Faso, Mali, Niger)**
- **homogénéisées sur la période 1998-2009**
  - **Nombre de Cas + incidence (NC/population)**
- (L. Agier, H. Broutin)*





# Les données géophysiques : aérosols

---

- **Idéalement** : taux d'exposition de 1998 à 2009
- **Pratiquement** :
  - **Concentrations de surface**
    - 3 stations en Afrique depuis 2006 (SDT AMMA)**
  - **Contenu intégré verticalement (épaisseur optique)**
    - ~10 stations en Afrique depuis ~10 ans (AERONET)**
  - **Indicateurs satellites de présence d'aérosol**
    - **Indice d'aérosol absorbant dans l'UV (capteurs TOMS, OMI)**
    - **Indice de poussières IR Météosat**

**Couverture régionale avec des capteurs successifs depuis les années 70-80**



# Les données géophysiques : aérosols

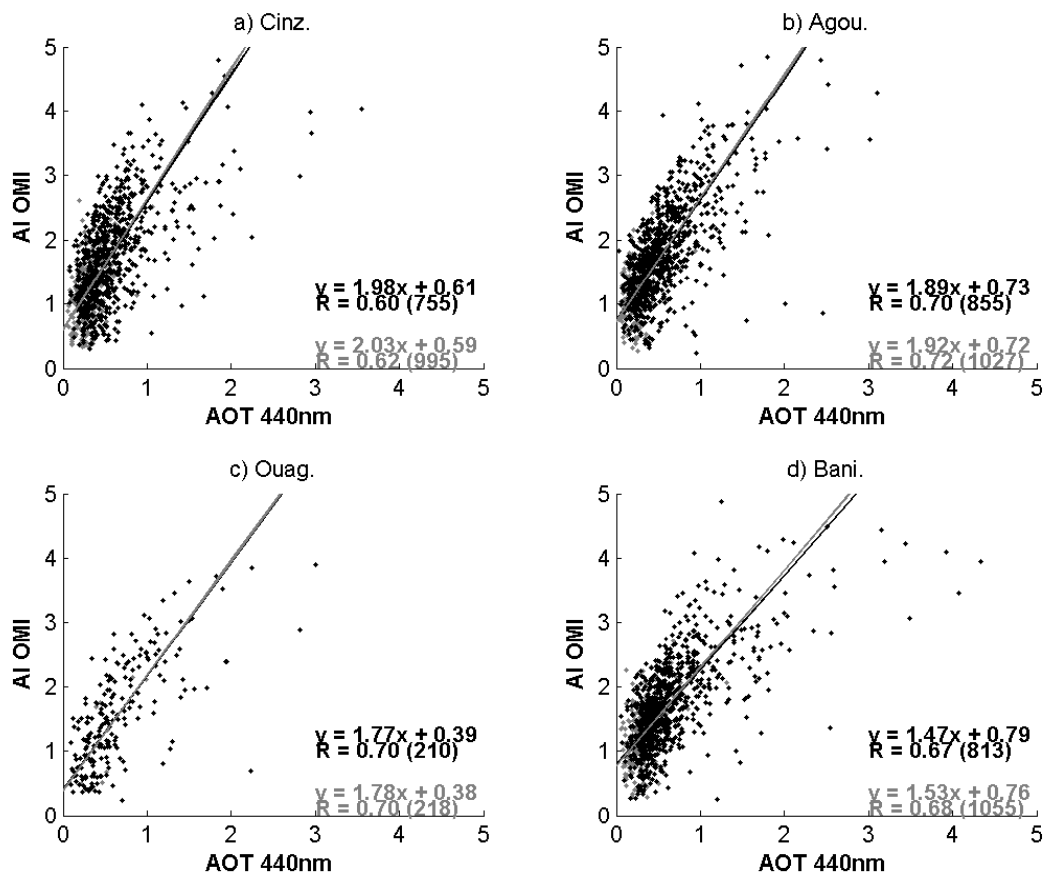
---

- Les indicateurs satellites UV (TOMS+OMI) offrent la meilleure couverture spatiale et temporelle pour une analyse conjointe aérosol/climat/méningite
- Sont-ils de bons indicateurs des niveaux d'exposition des personnes ?
  - Les indices d'aérosols reproduisent-ils les contenus en aérosol intégré verticalement ?
  - Les contenus intégrés donnent-ils une bonne image des concentrations de surface ?



# Relations Aerosol Index/AOT

Comparaison  
données  
journalières  
2005-2009



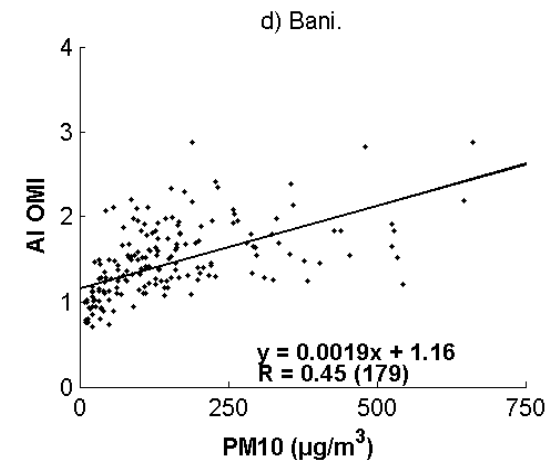
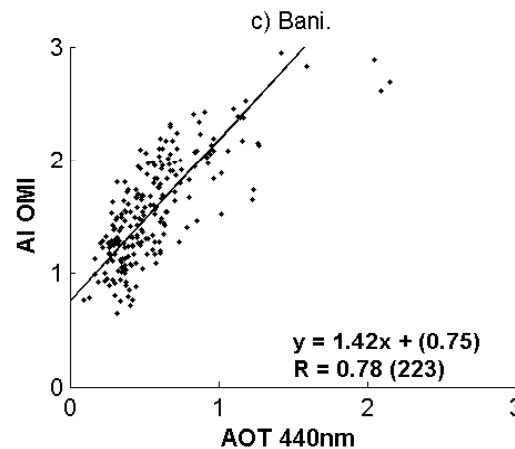
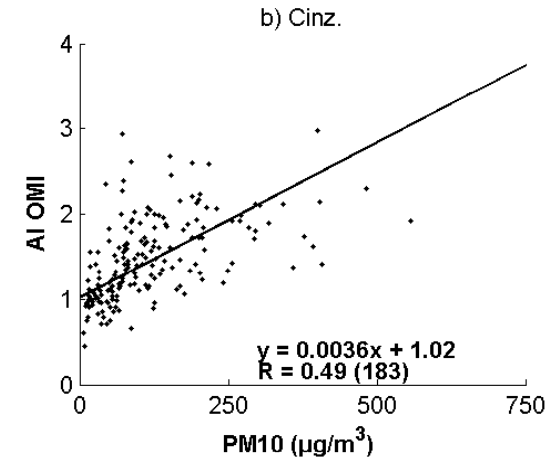
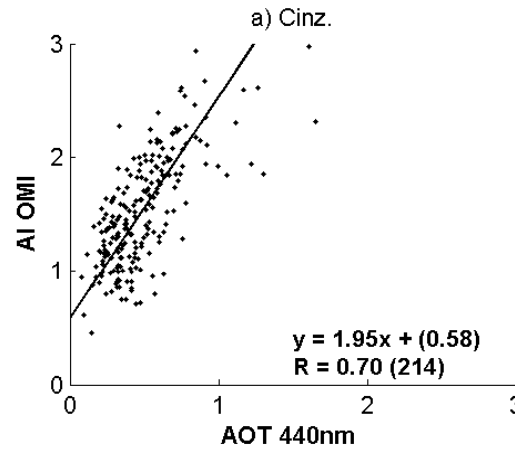
*(Deroubaix et al. soumis)*

Les AI du capteur OMI sont bien corrélés aux épaisseurs optiques en aérosols à l'échelle journalière ( $0.6 < r < 0.7$ )



# Relations Aerosol Index/Concentration

Comparaison  
données  
hebdomadaires  
2005-2009



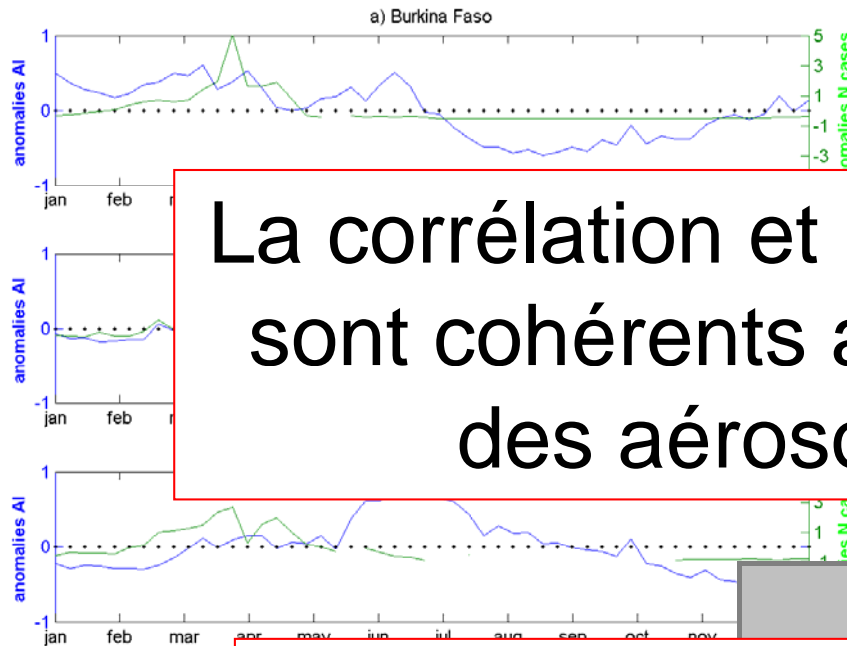
Les AI du capteur OMI sont raisonnablement corrélés aux concentrations de surface ( $r \sim 0.4-0.5$  ; corrélations significatives )

(Deroubaix et al. soumis)



# Lien Aerosol Index/Méningite

## Correlation entre AI OMI et Nombre de Cas de méningites par pays



Analyse des anomalies  
(Martiny et Chianello)

La corrélation et le décalage en temps sont cohérents avec le rôle supposé des aérosols désertiques

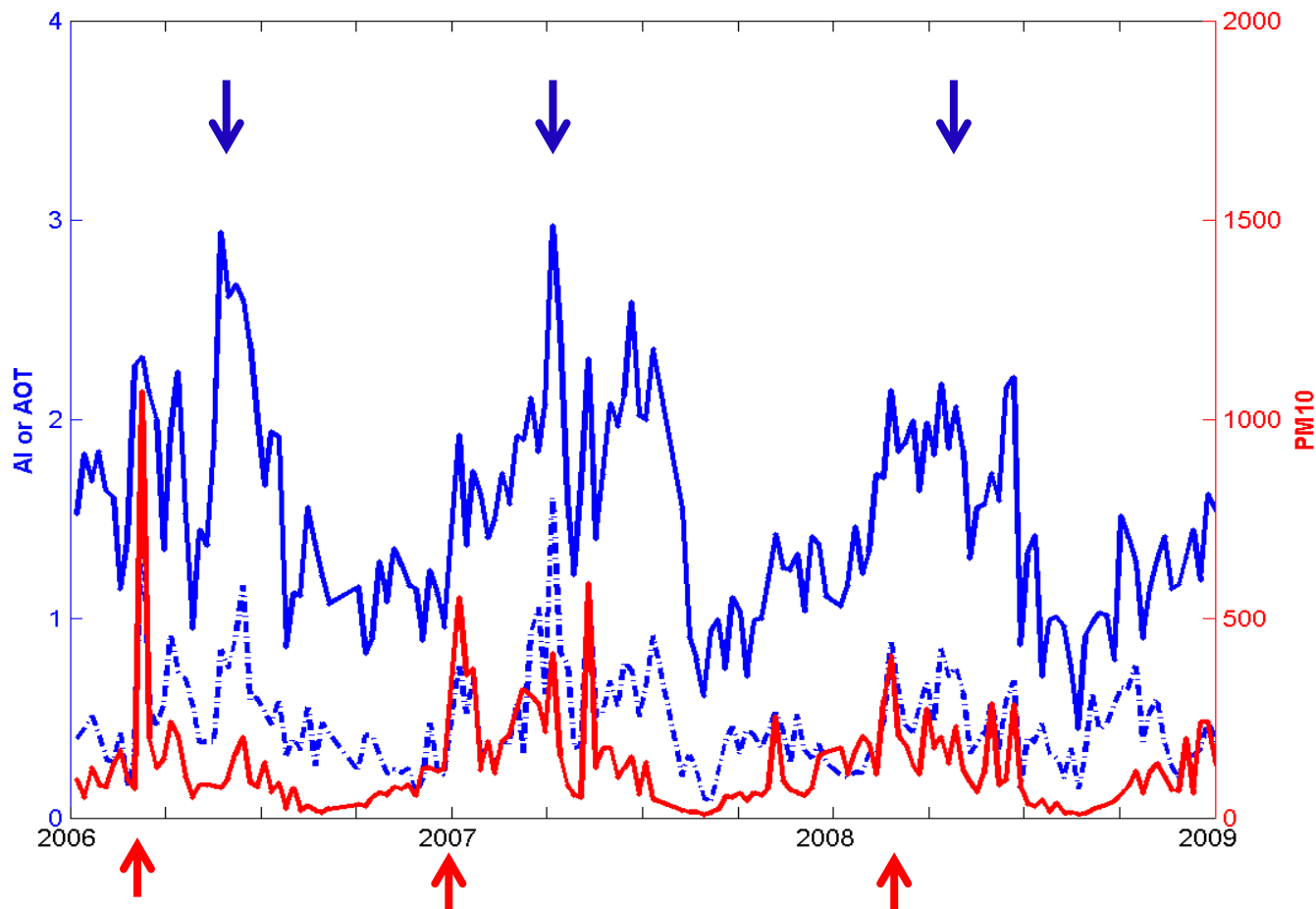
Comment étendre l'analyse à l'échelle annuelle, puis pluriannuelle ?

	Burkina Faso	Niger	Mali
3 weeks	0,64	0,63	0,72
4 weeks	0,47	0,47	0,80

(Deroubaix et al. soumis)



# Saisonnalité des AI/AOT/Concentrations



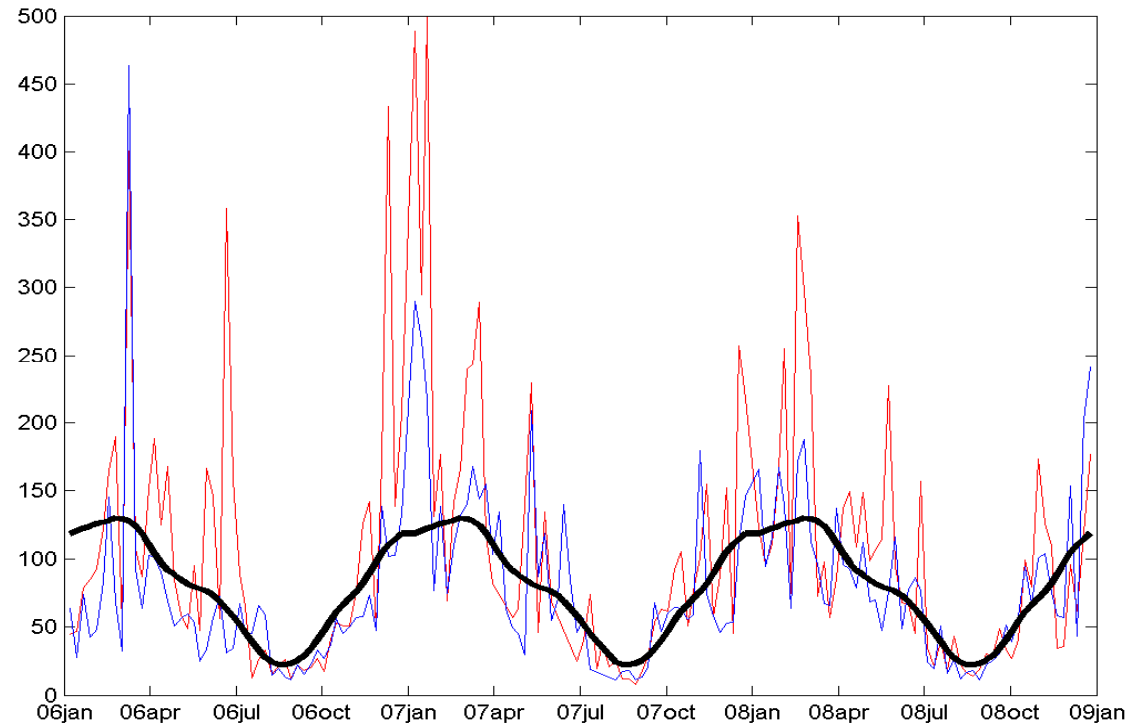
Les tendances saisonnières des AI, des AOT et des concentrations apparaissent très similaires, mais les **maximum ne sont pas phasés**.





# Saisonnalité AI /concentration

## Rapports hebdomadaires AI/concentration 2005-2008

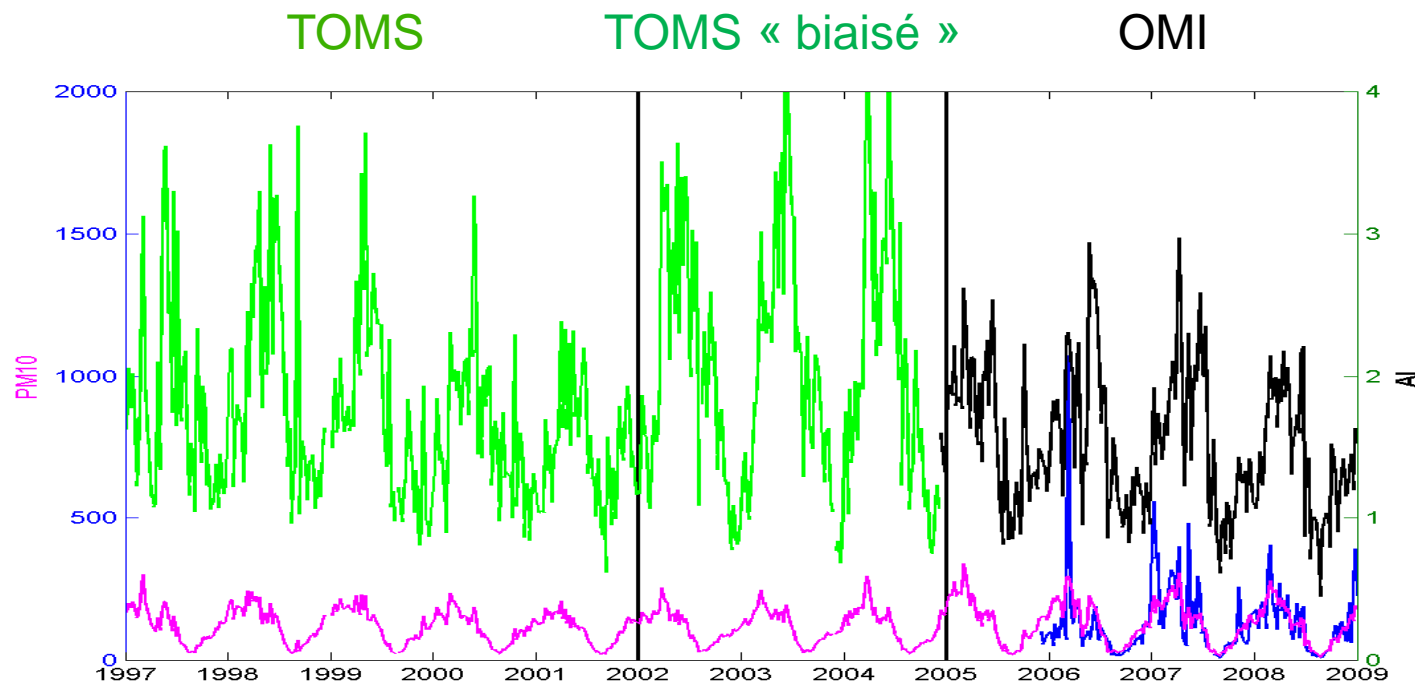


- On note une variation saisonnière du rapport
- Supposer ce biais systématique permet de « corriger » l'AI



# Série temporelle AI et concentration

- Raccorder les séries des capteurs TOMS et OMI
- Corriger le biais instrumental TOMS 2002-2004
- Corriger du biais saisonnier AI/concentration  
= Produire un proxy des concentrations

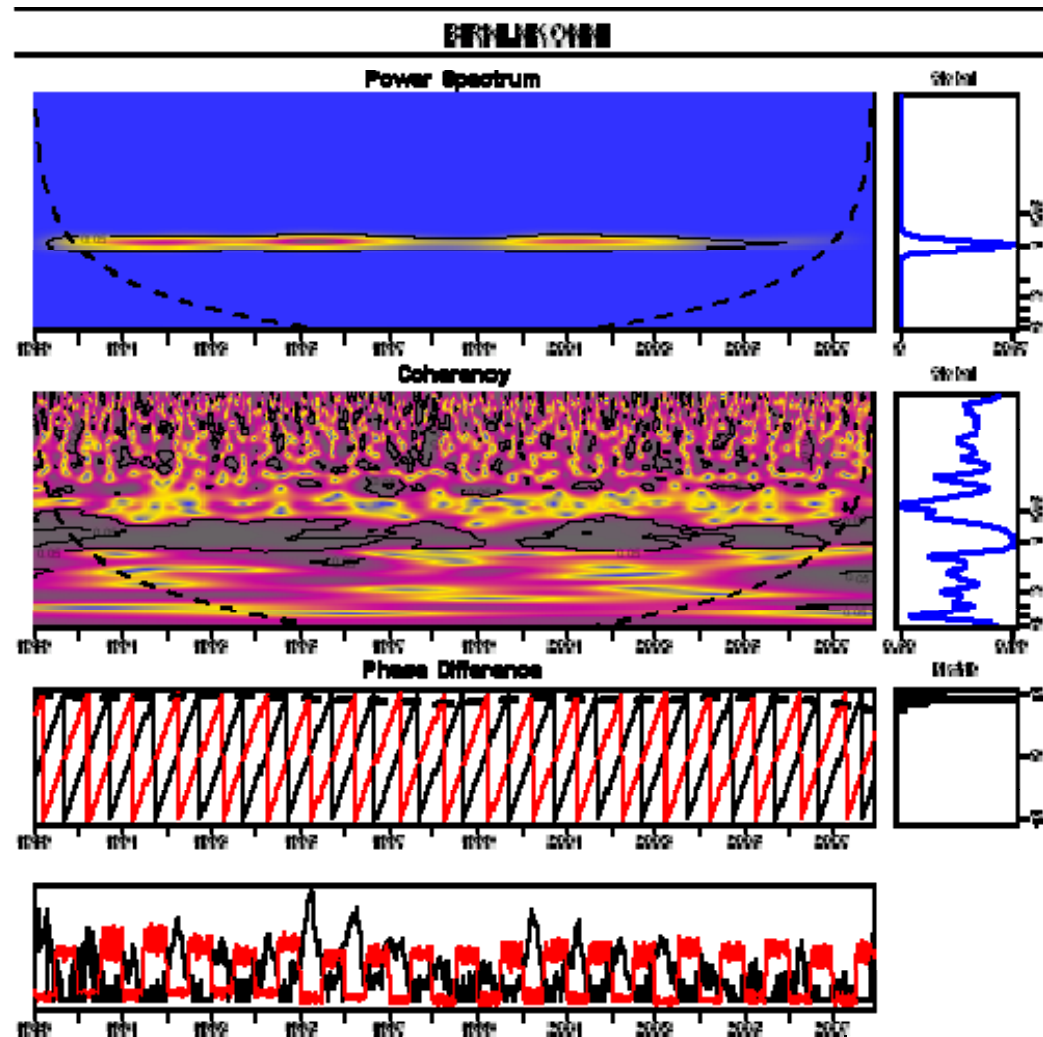




# Lien Aérosol/Méningites/Climat

**Analyse par ondelette de la cohérence et des différences de phase entre méningite, aérosols et variables climatiques, par district au Niger (1998-2008)**

Exemple pour le cas Méningites-Humidité



*(Agier et al., en prep.)*

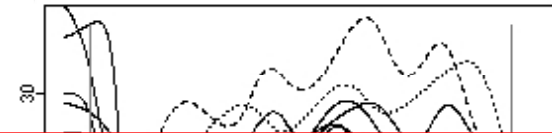


# Lien Aérosol/Méningites/Climat

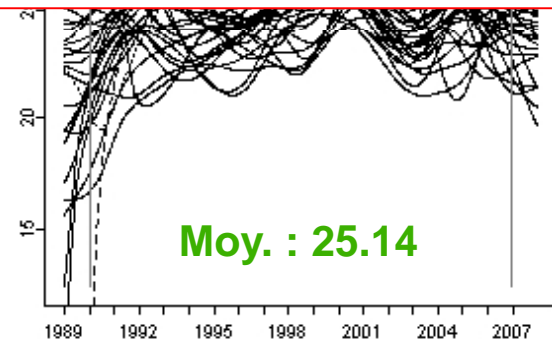
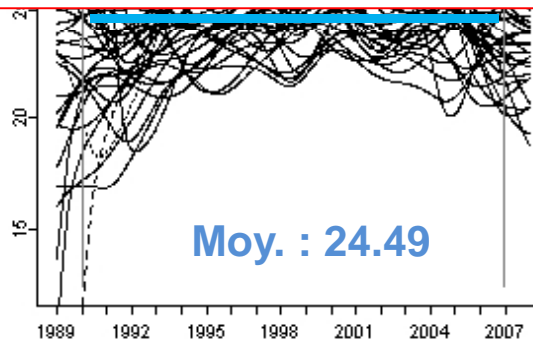
Aérosol



Direction de vent



La dynamique annuelle des épidémies de méningites est corrélée avec celle des aérosols avec un déphasage de 1-2 semaines et en opposition de phase avec les autres variables climatiques (à l'échelle des districts au Niger)

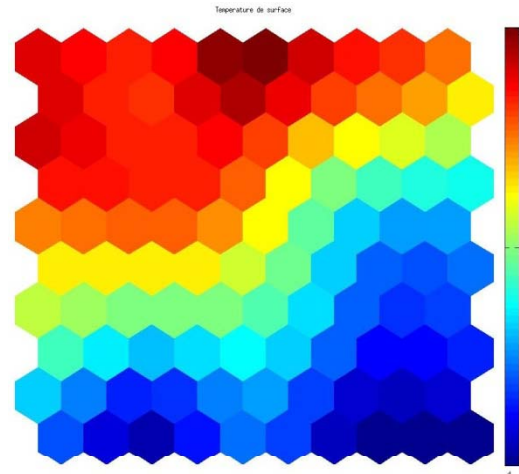
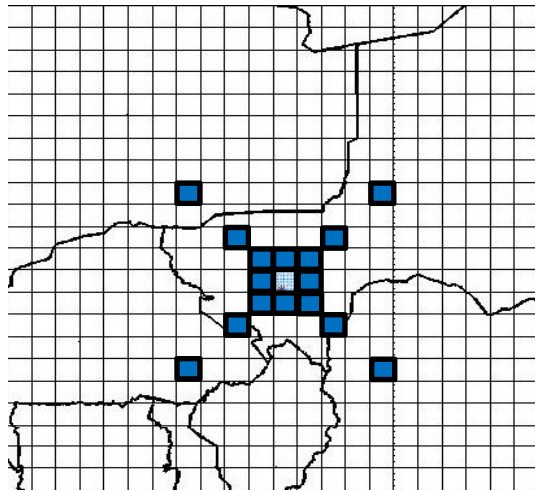


(Agier et al., en prep.)



# Identification des types de temps en saison sèche

Données initiales



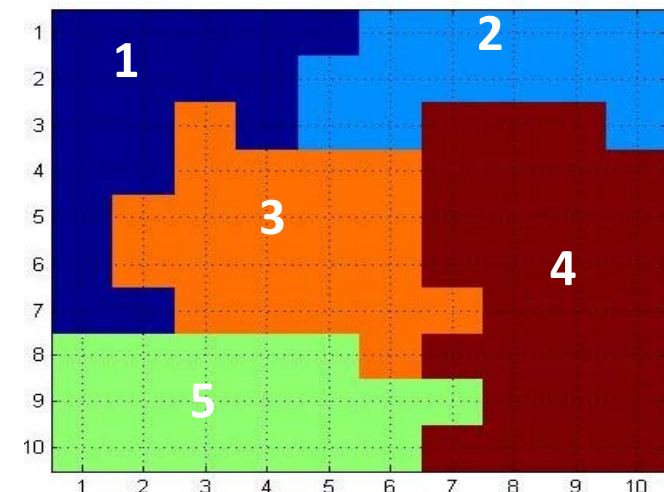
Carte topologique  
Auto-organisatrice  
(Self-Organizing Map)



Classification  
Ascendante  
Hiérarchique  
=Types de temps

**Données Météorologiques ECMWF**  
**Centrée sur les stations SDT**  
**X = profil de vent zonal et méridien, température**  
 $(9 \times 3) \times 17 = 459$  données par pas de temps  
**Période 2006-2012; pas de 4h**  
9767 situations

*(Yahi et al., 2011)*





# Relations Concentration/AOT

## Types de temps identifiés en saison sèche

Weathers types	Temperature at 2 m (K)	Mean Wind speed (m/s) at 10 m	Mean Wind direction (°) at 10m
<b>Station of Banizoumbou (Niger)</b>			
<b>WTB 1 - &lt;O-SO&gt;</b>	<b>305</b>	<b>2.06</b>	<b>230</b>
<b>WTB 2 - &lt;E-SE&gt;</b>	<b>304</b>	<b>0.58</b>	<b>118</b>
<b>WTB 3 - &lt;E-NE&gt;</b>	<b>302</b>	<b>2.08</b>	<b>68</b>
<b>WTB 4 - &lt;E-NE&gt;</b>	<b>298</b>	<b>4.27</b>	<b>61</b>
<b>WTB 5 - &lt;N-NE&gt;</b>	<b>297</b>	<b>3.52</b>	<b>31</b>
<b>Station of Cinzana (Mali)</b>			
<b>WTC 1 - &lt; S-SO&gt;</b>	<b>304</b>	<b>1.27</b>	<b>212</b>
<b>WTC 2 - &lt; E-NE&gt;</b>	<b>301</b>	<b>1.54</b>	<b>76</b>
<b>WTC 3 - &lt; E-NE&gt;</b>	<b>299</b>	<b>2.4</b>	<b>67</b>
<b>WTC 4 - &lt; N-NE&gt;</b>	<b>297</b>	<b>3.2</b>	<b>40</b>
<b>WTC 5 - &lt; N-NE&gt;</b>	<b>299.5</b>	<b>2</b>	<b>21</b>

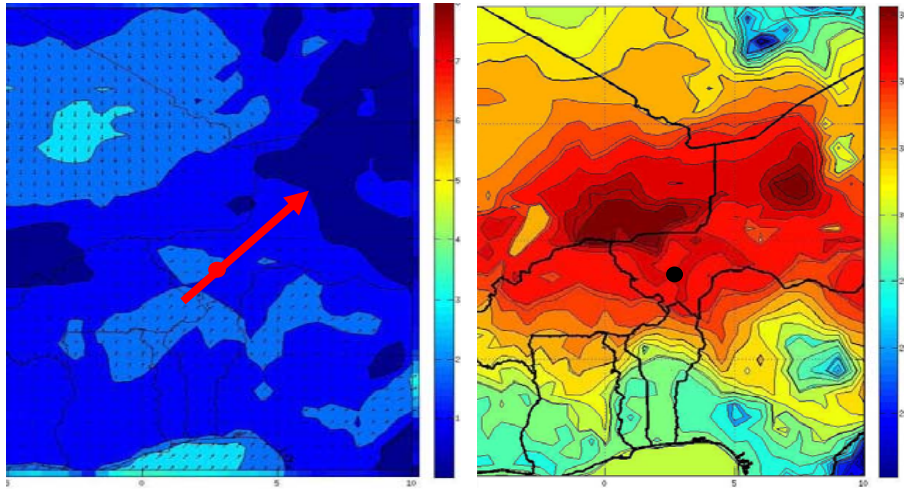
(Yahi et al., en prep.)



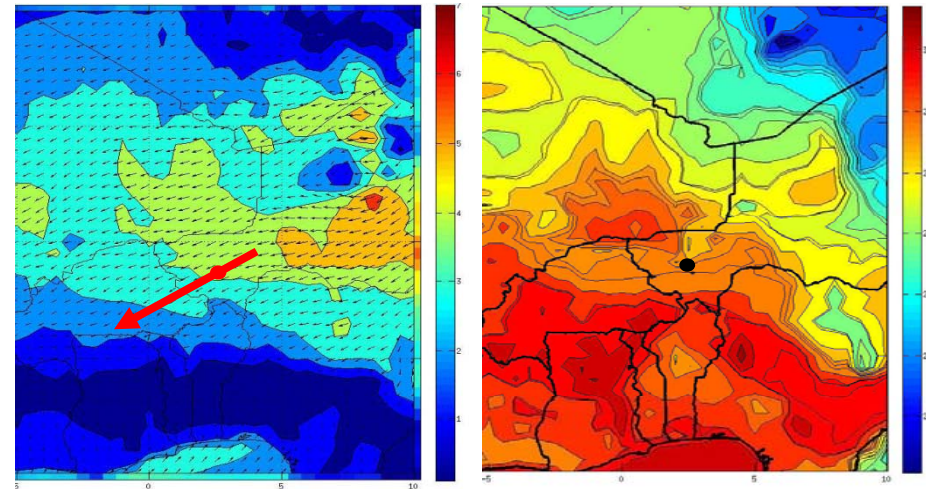


# Types de temps identifiés

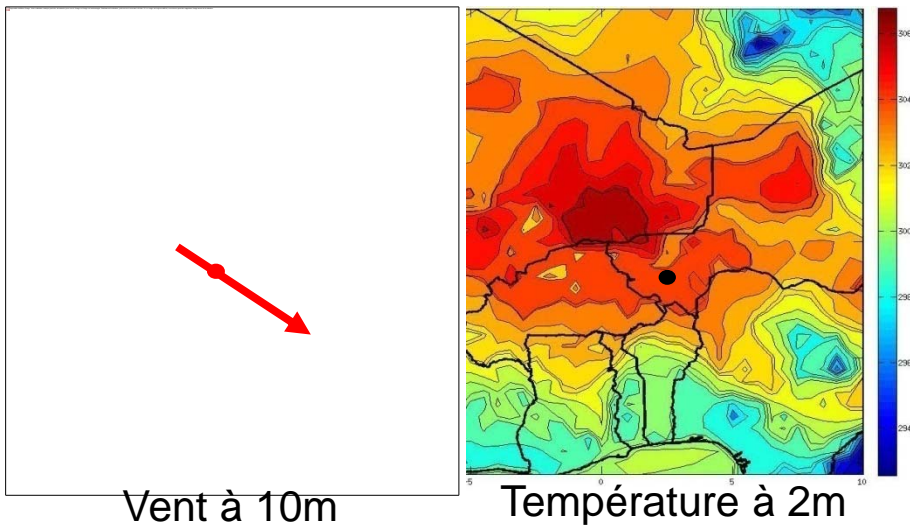
**Class1**



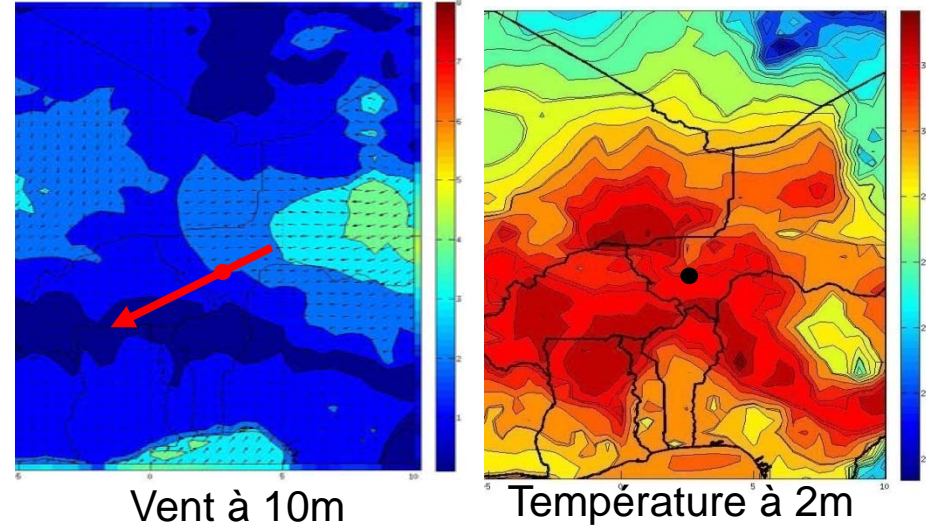
**Class 4** (Yahi et al., en prep.)



**Class 2**

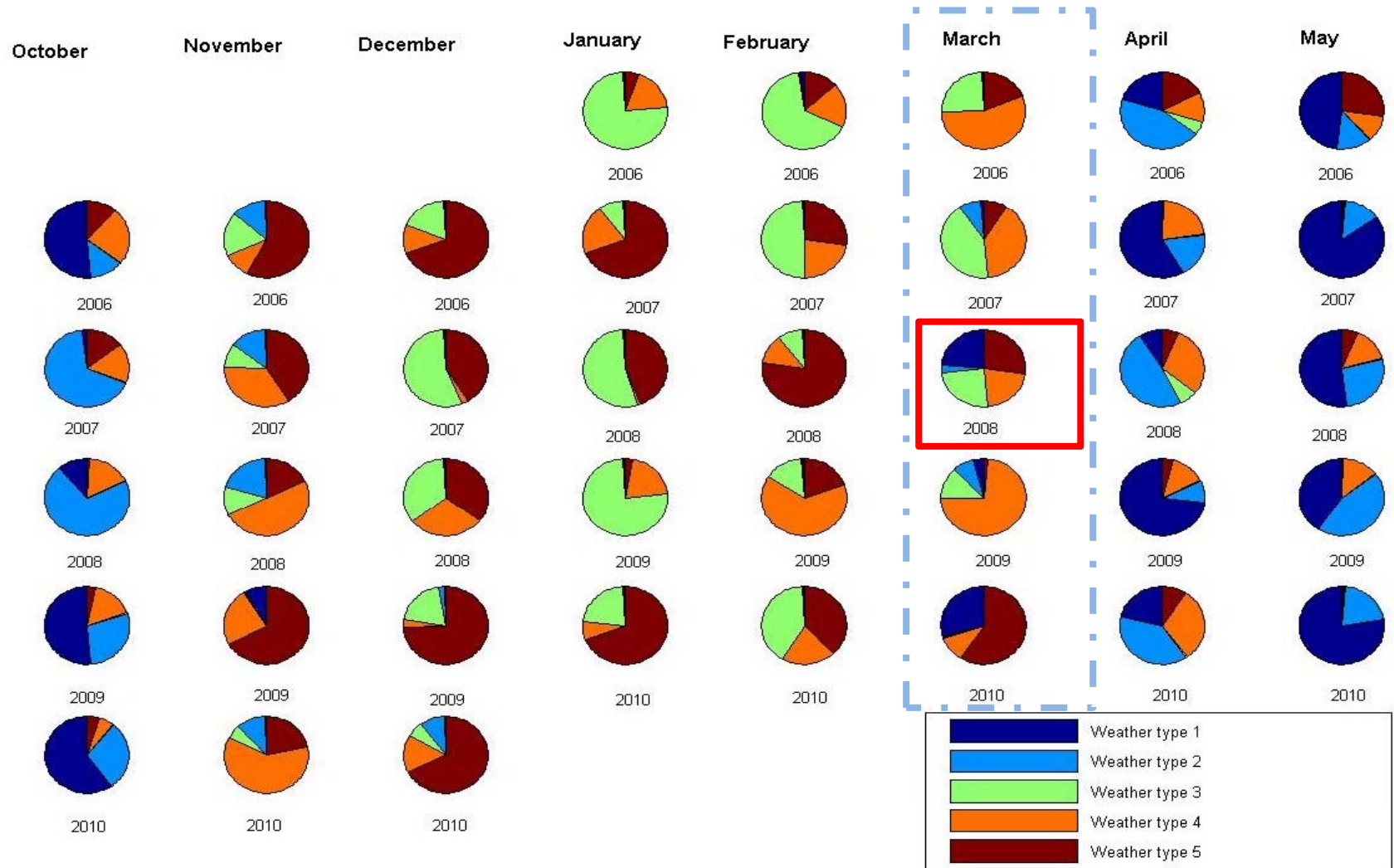


**Class 5**





# Chronologie des types de temps

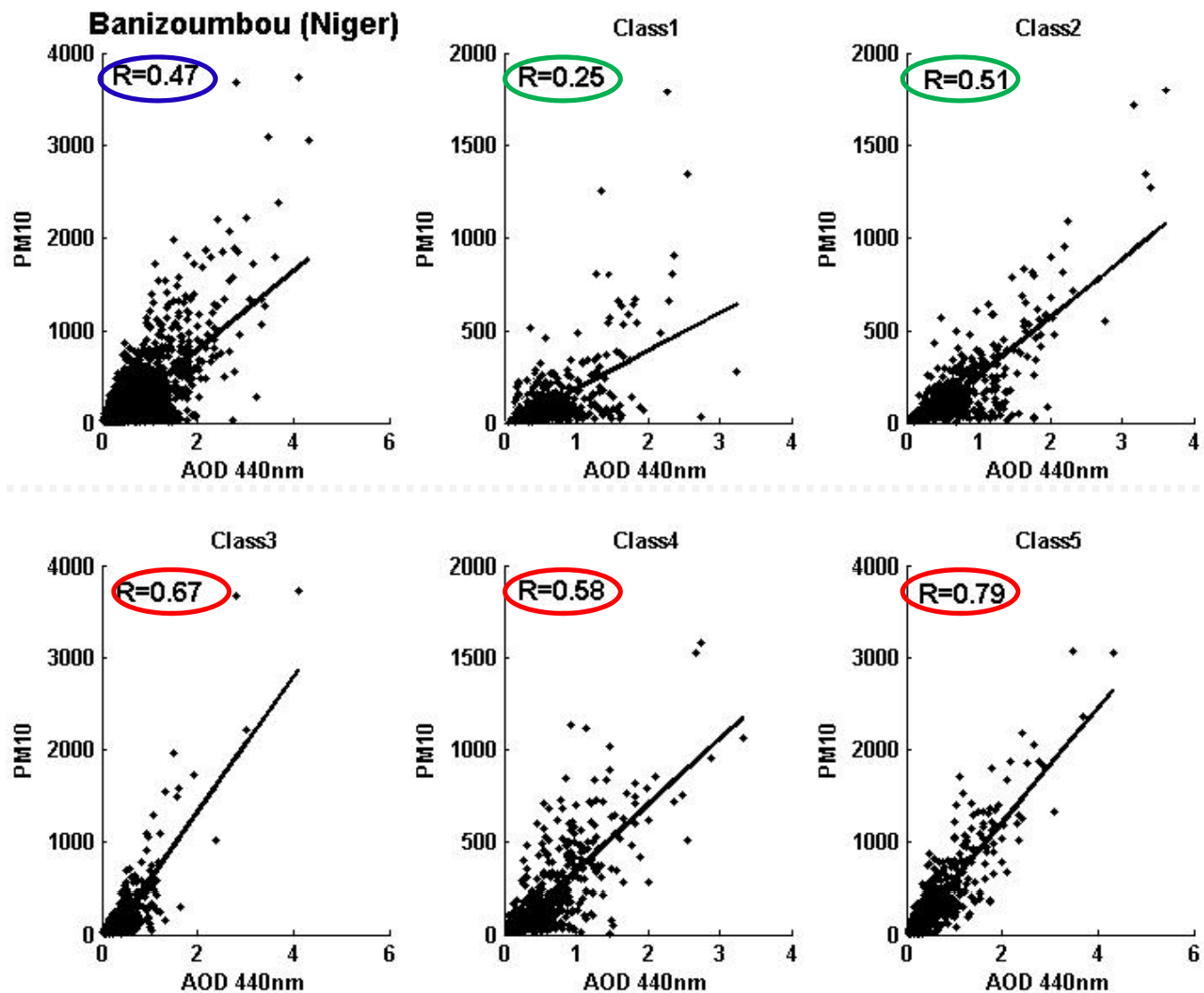


(Yahi et al., en prep.)



# Relations Concentration/AOT

Données  
horaires  
coïncidentes  
2008-2010



(Yahi et al., en prep.)



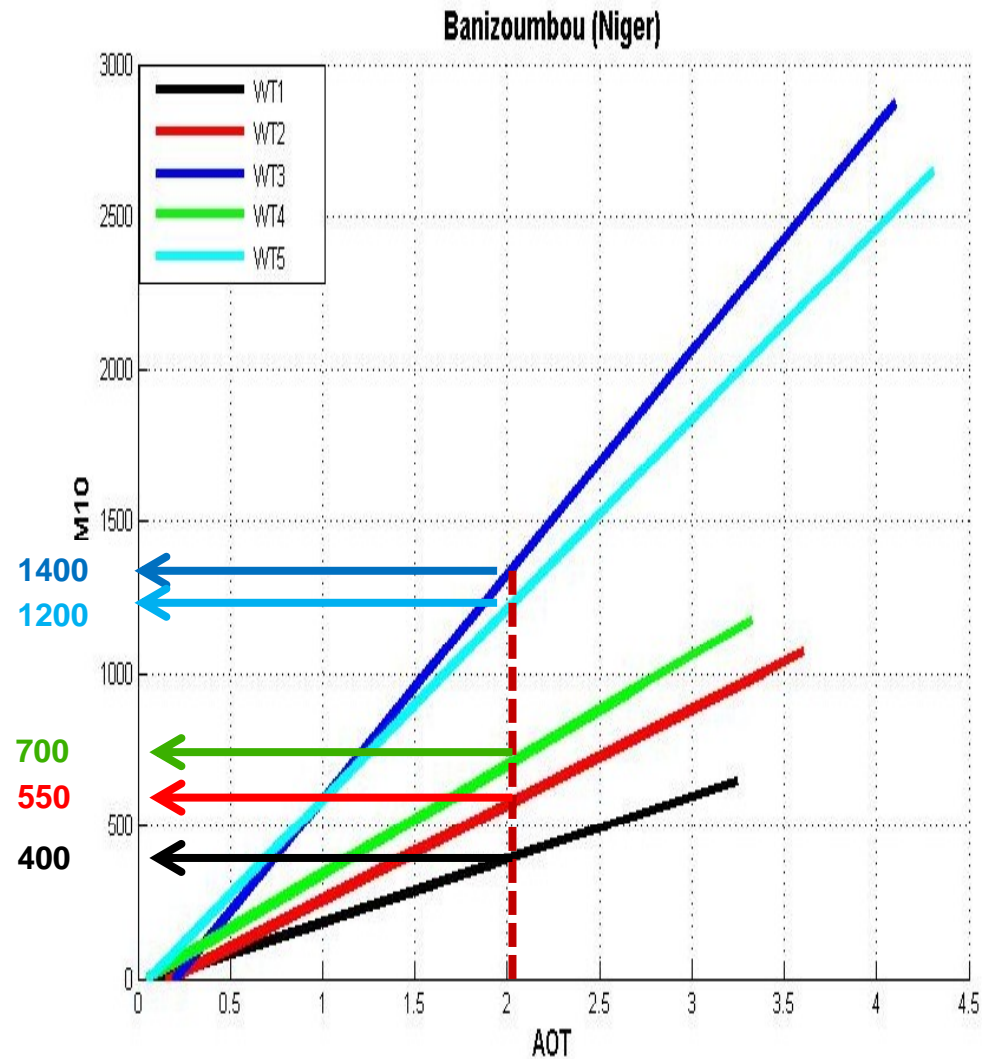


# Interprétation des relations conc./AOT

De différences de  
pentes PM10-AOT  
Selon les types de temps

Influence de l'altitude de  
transport

= selon la situation,  
une valeur d'AOT  
correspond à une  
concentration très  
différente !!

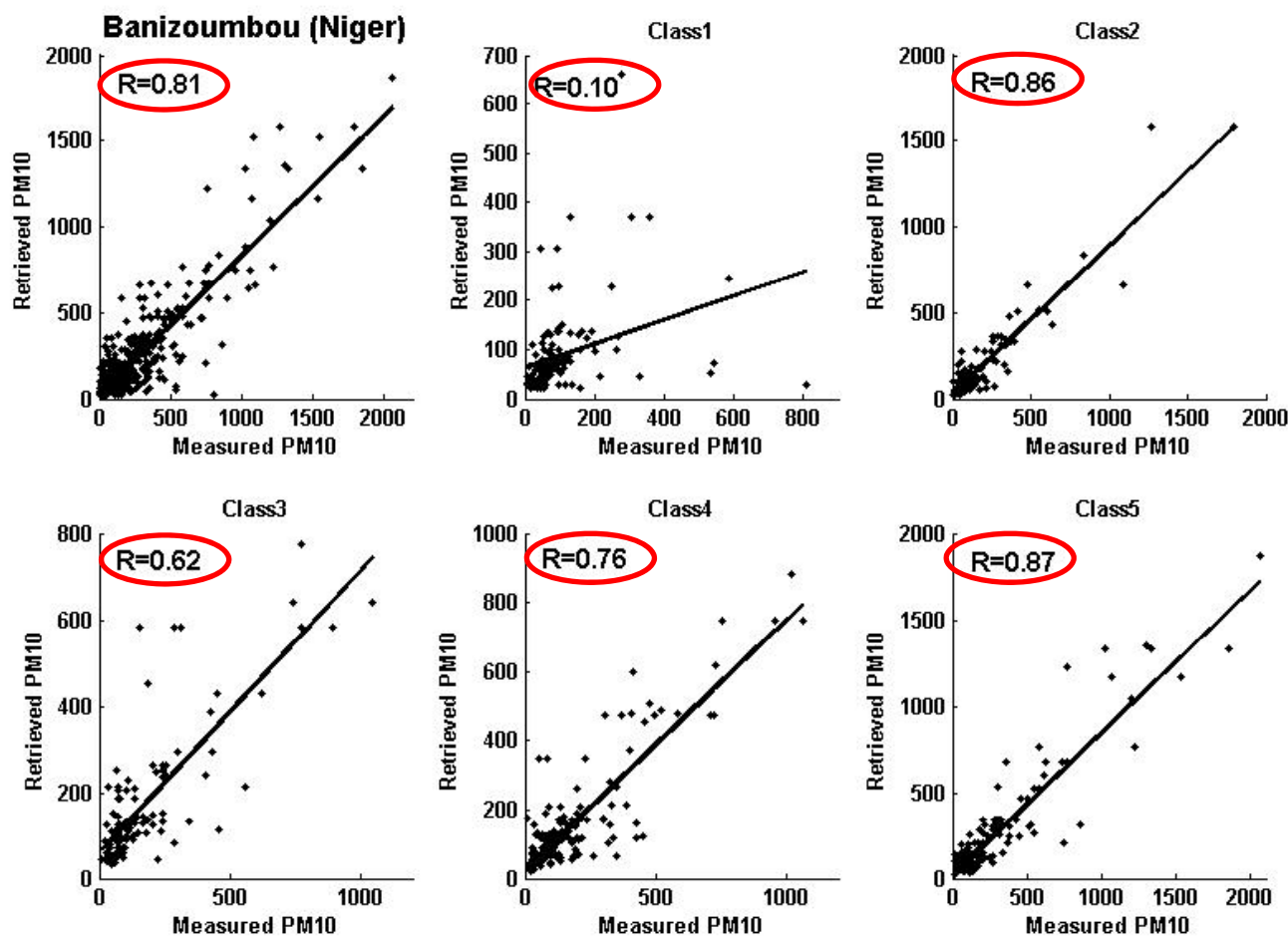


(Yahi et al., en prep.)



# Inversion des concentrations/AOT

## Inversion statistique des concentrations en fonction des types de temps



(Yahi et al., en prep.)



# Principaux résultats

---

- Il existe bien une **corrélation entre aérosols désertiques et épidémies de méningites**, notamment dans la période entre le **démarrage et le pic de l'épidémie**. Elle conforte l'hypothèse d'un **rôle d'irritation** préalable des muqueuses **favorisant la mise en place et le développement** des épidémies
- Le **délai moyen** entre le **maximum des concentrations** de surface aérosol et le **pic d'épidémie** est estimé à environ **2 semaines** à l'échelle nationale pour les 3 pays ciblés (Niger, Mali, Burkina-Faso), de 1 à 2 à l'échelle des districts (Niger)
- Les **concentrations de surface** peuvent être inversées de façon fiable à **partir des AOT** selon les **types de temps**



# Développements en cours

---

- Développer une **analyse multivariée** à l'échelle du district en saison sèche pour évaluer le rôle des **aérosols** par rapport aux **autres facteurs climatiques** (vent, température, humidité)
- Etudier les relations entre **types de temps et méningites**
- Evaluer la capacité d'un modèle d'aérosol désertique (CHIMERE-Dust) à **prévoir correctement les concentrations de surface** et leur évolution au cours de la saison sèche (phasage des maximums, répartition verticale).



# Des pistes plus prospectives

---

- Réaliser l'inversion des concentrations de surface à partir des AI TOM en fonction des types de temps sur la totalité de la période où les données de méningite sont disponibles
- Préciser les relations Aérosols-Climat-Méningite en intégrant les variations interannuelles à long-terme des concentrations de surface
- Documenter une période « historique » : avant la sécheresse des années 70-80 et sans vaccination
- Intégrer des prévisions d'aérosols désertiques dans un système de prévision des risques de méningites

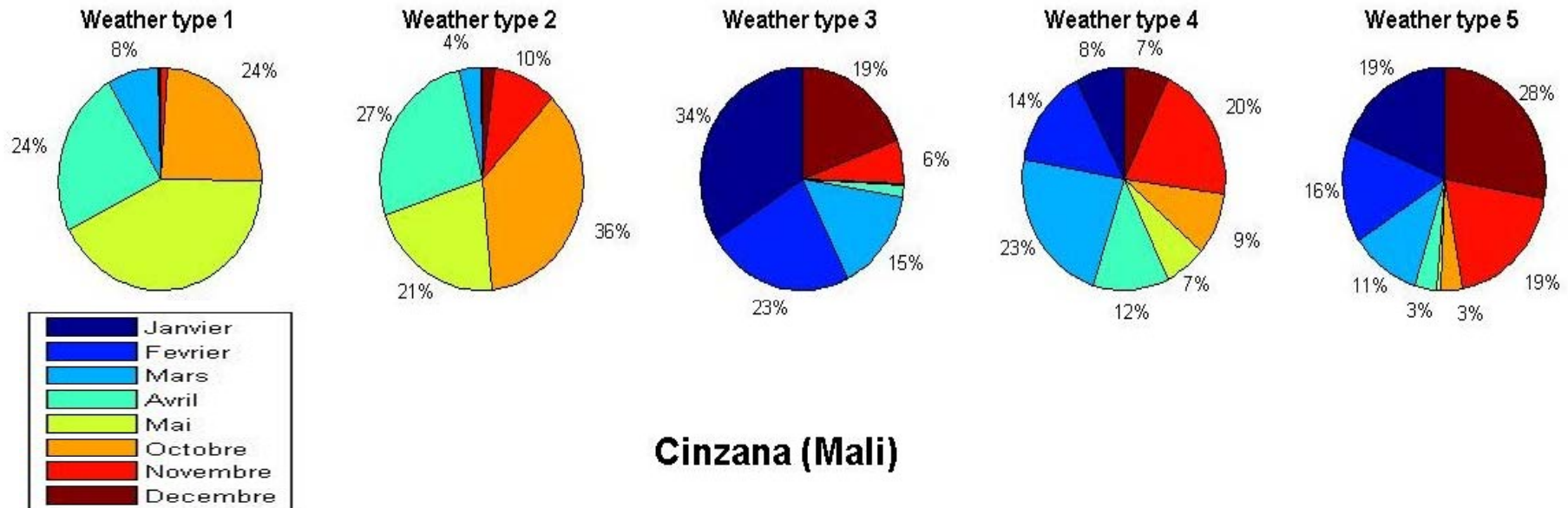


**Merci de votre attention ...**

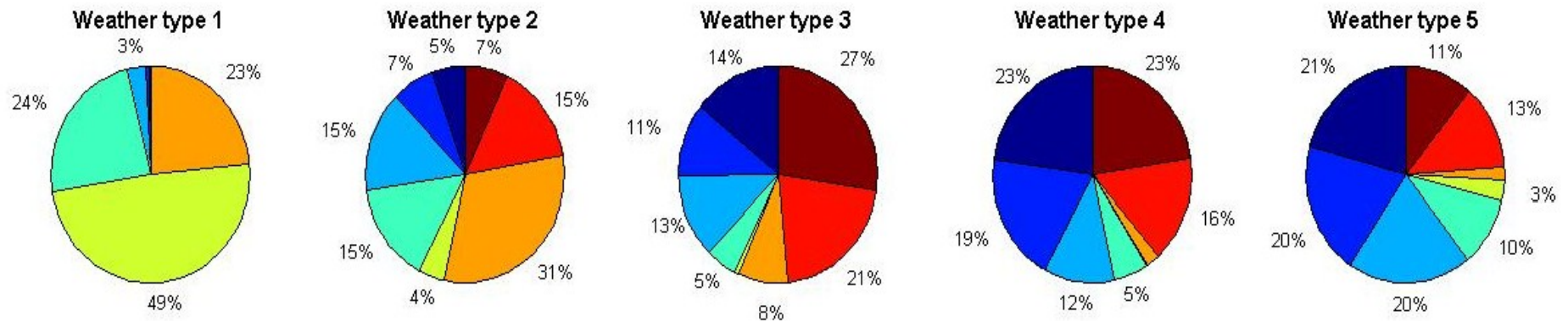


# Calendrier des types de temps

## Banizoumbou (Niger)



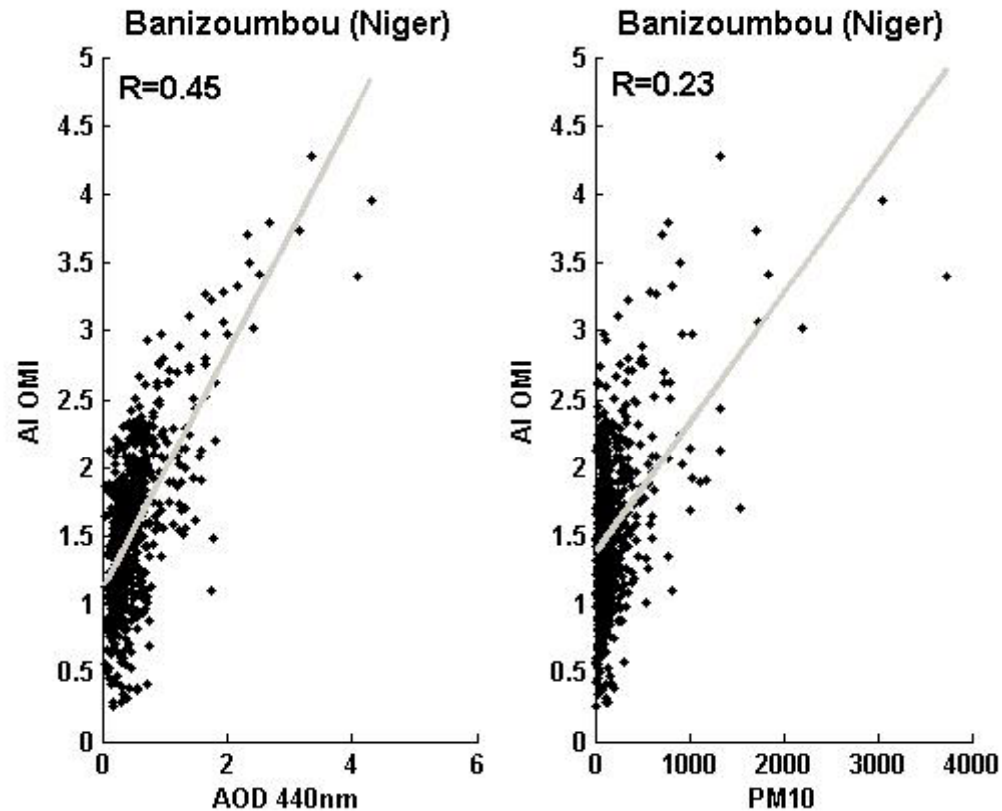
## Cinzana (Mali)





# Relations Aerosol Index/AOD

Comparaison  
données  
Horaires  
coincidentes  
2006-2010

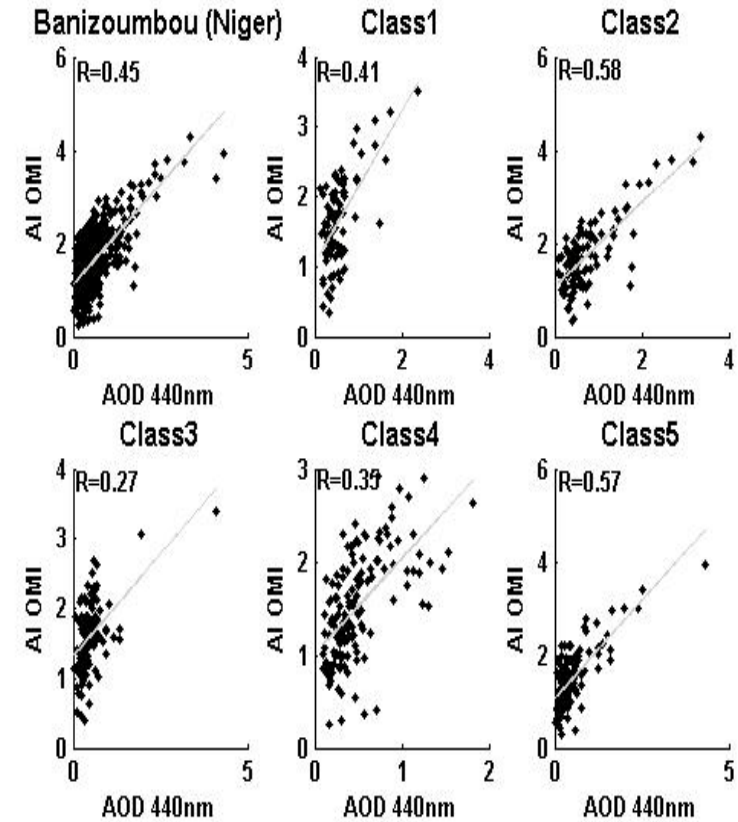
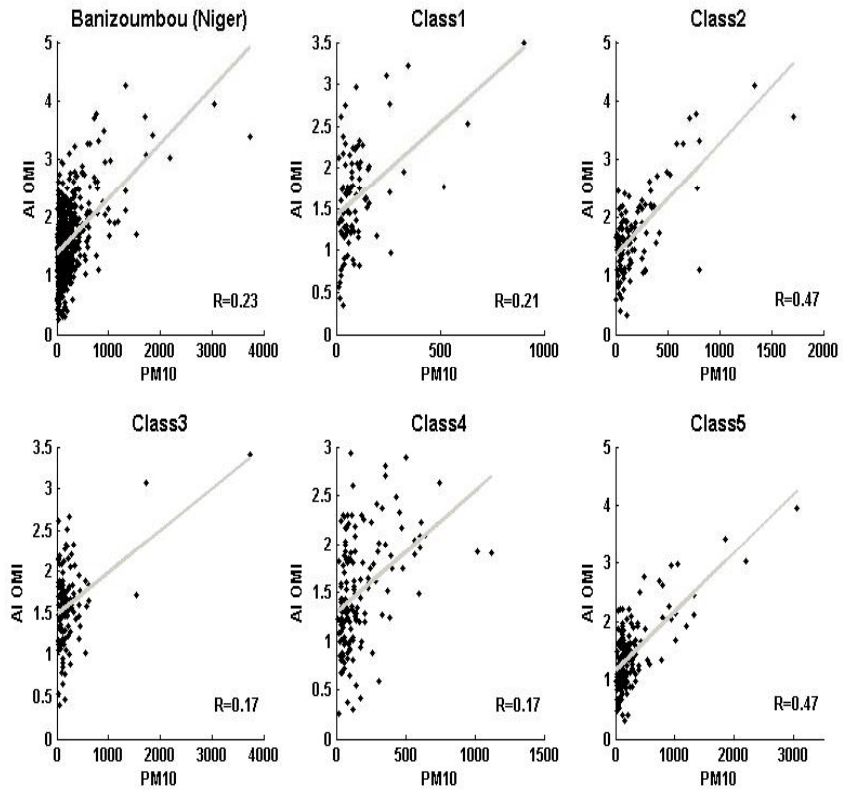


*(Yahi et al. Preparation)*

Les AI du capteur OMI sont pas corrélés aux épaisseurs optiques en aérosols **au pas de temps quotidien. Relation non lineaire entre AOD et OMI.**



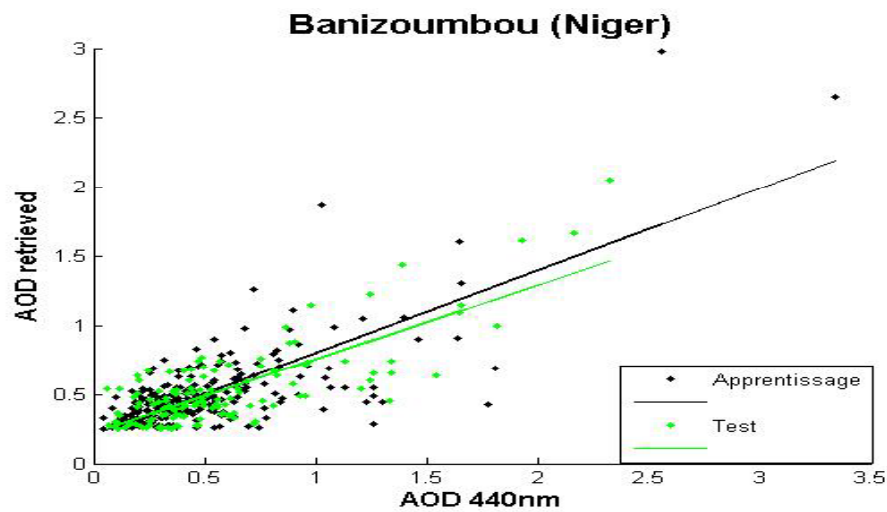
# Relations Aerosol Index/AOD



(Yahi et al. Preparation)



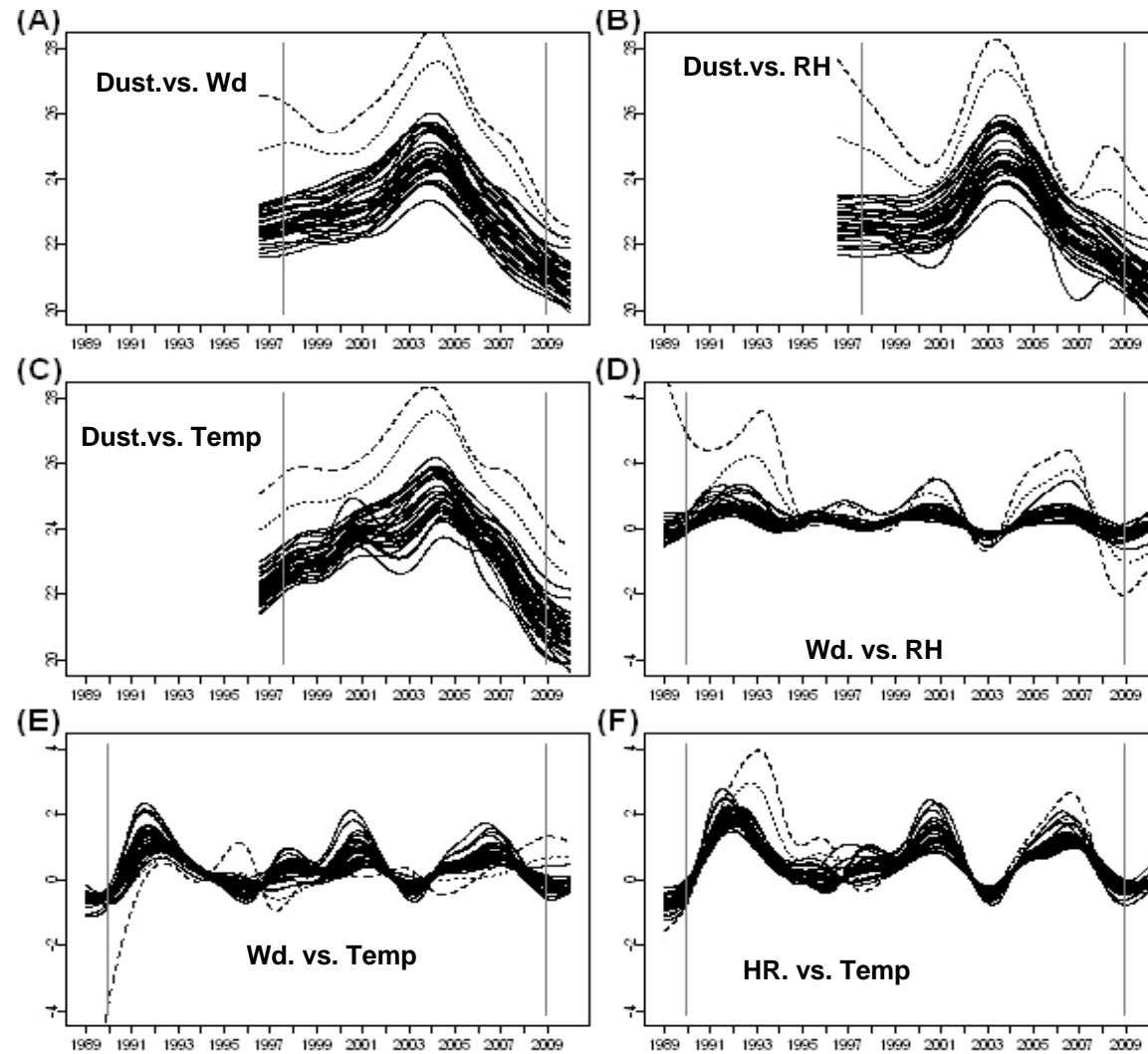
# Relations Aerosol Index/AOD



*(Yahi et al. Preparation)*

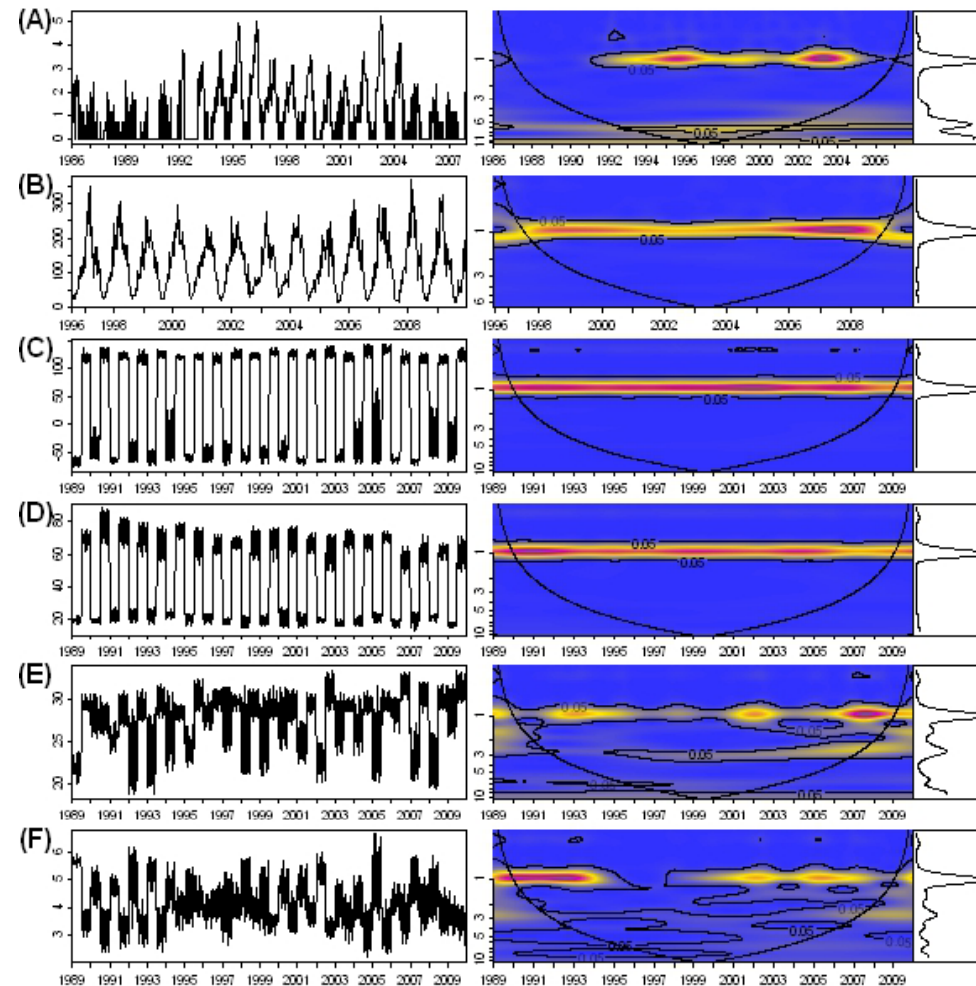


# Relations Aerosol Index/AOD





# Analyse en ondelettes



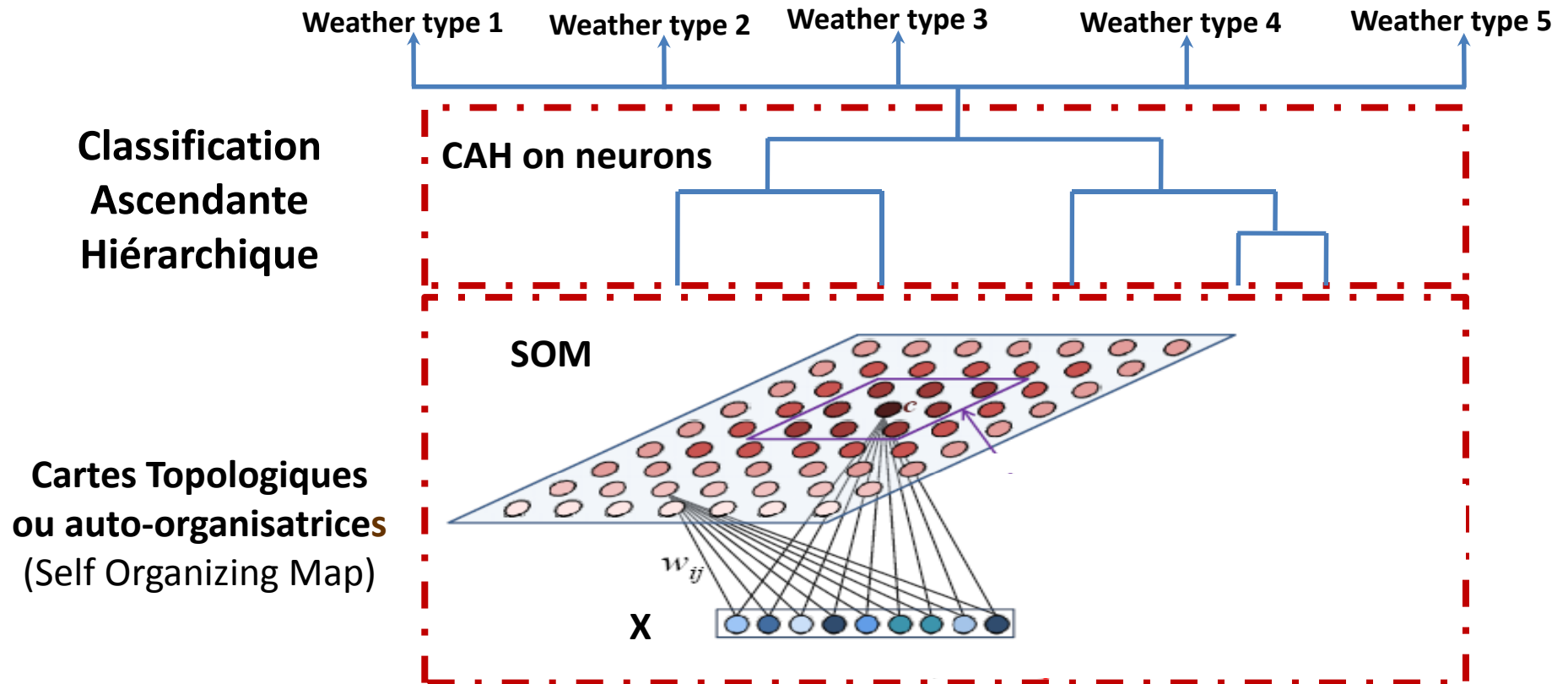
Times series (left panel) and wavelet spectrum (right panel) for the district of Magaria, performed for the log-transformed incidence (A),  $DUST_G$  (B),  $Wd$  (C),  $RH$  (D),  $TEMP$  (E) and  $Wf$  (F).

The x-axis gives time (in years). On the right panels, the y-axis represents the periodicity (in years), the cupola delimits the cone of influence, and colours code for increasing spectrum intensity, from dark blue to red. The black curves delimit the statistically significant areas at a 5% level.



# Identification des types de temps en saison sèche

## Analyse statistique basée sur les « types de temps » en saisons sèches



(Yahi et al., 2011)