



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)

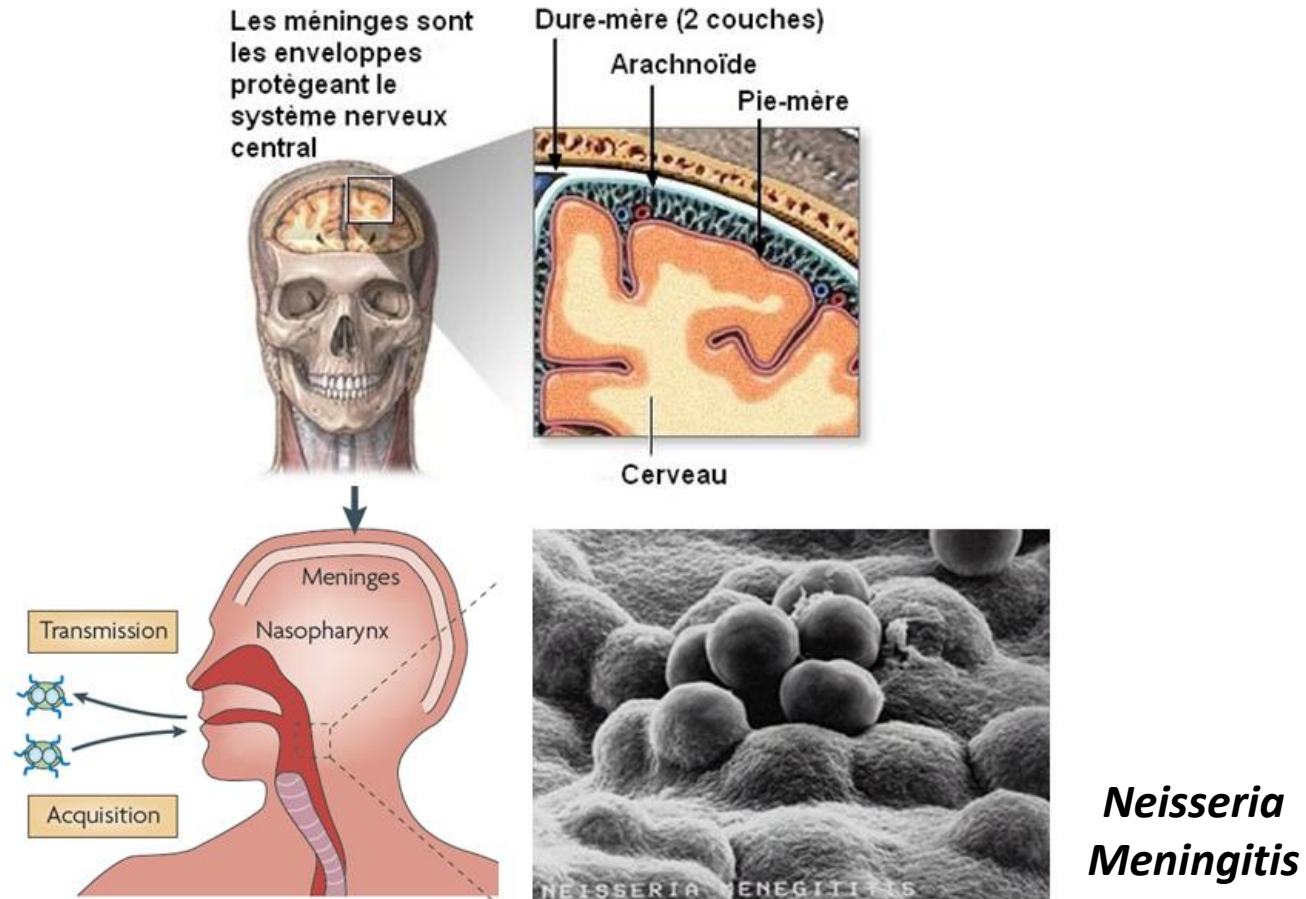
Collaboration : L. Agier (U. Lancaster, UK)

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

Post-Doc : Houda Yahy (LISA, Créteil)



Méningite



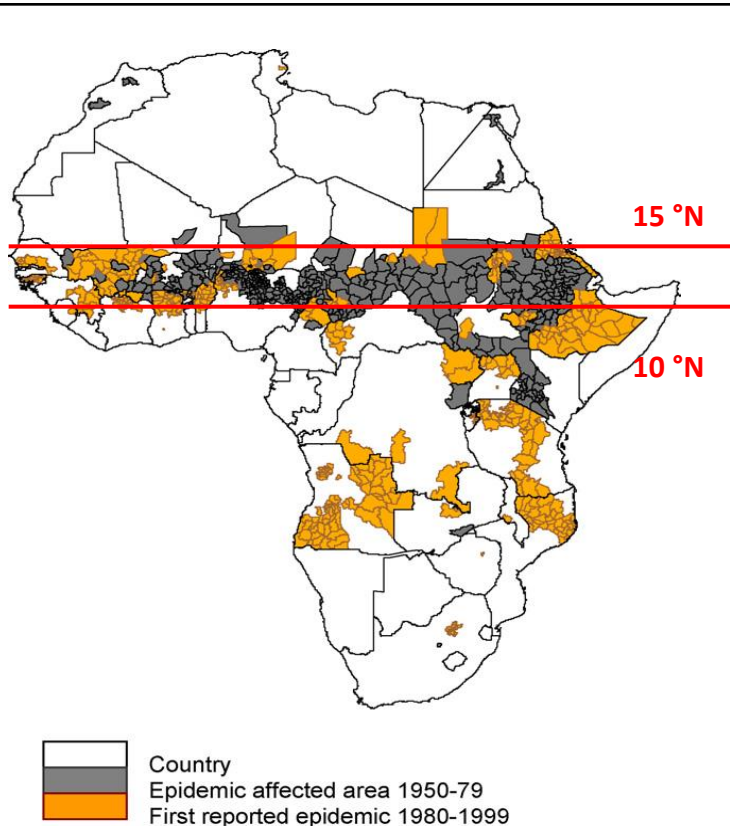
Virji 2009

- La méningite est une inflammation des méninges
- Les épidémies sont dues aux bactéries



Méningite au Sahel

La ceinture de la méningite



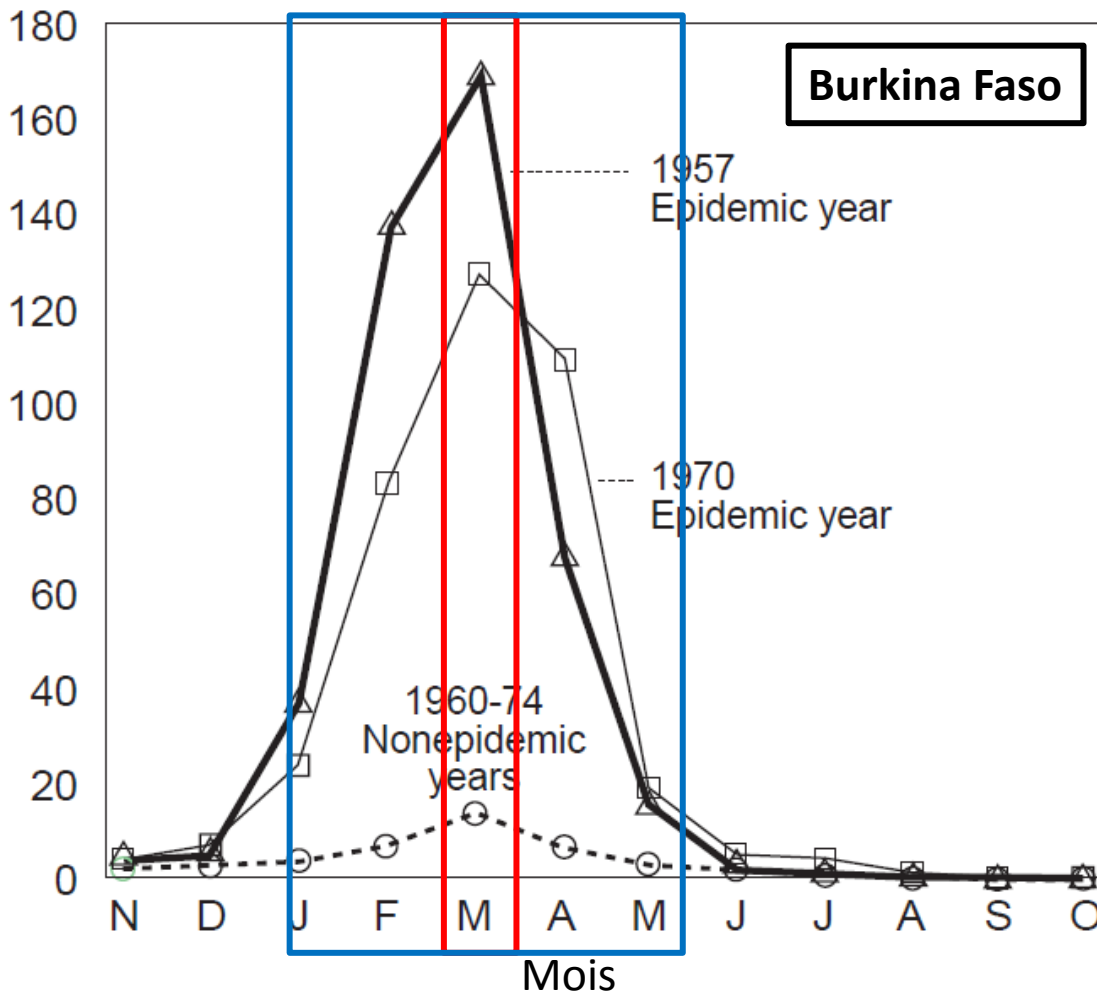
Distribution spatiale des épidémies de méningites en Afrique (Cuevas et al., 2007)

- 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*).



Saisonnalité des épidémies

Incidence
=
Nombre
de cas
pour
100 000
personnes



WHO 98161

Rapport de l'OMS, 1998

→ Saisonnalité marquée : épidémies de janvier à mai



Saisonnalité des épidémies

Spatialement : climat sahélien

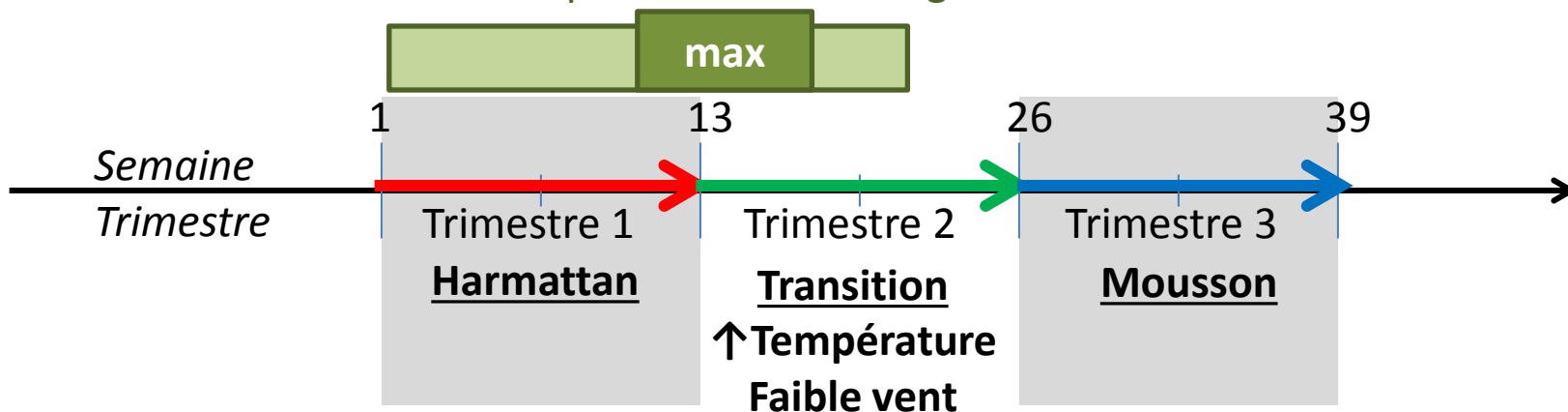
Temporellement : saisonnalité marquée

Quelle est la saisonnalité du climat au Sahel ?



Climat du Sahel

Saison des épidémies de méningites



Vent sec venant du Sahara
(Harmattan)

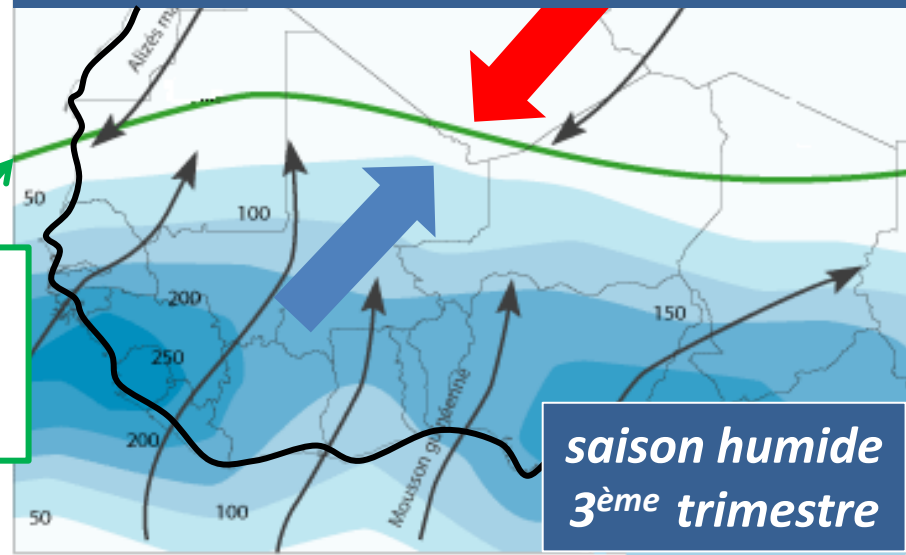
saison sèche
1^{er} trimestre



Front
Inter
Tropical

Vent humide du Golfe de Guinée
(mousson)

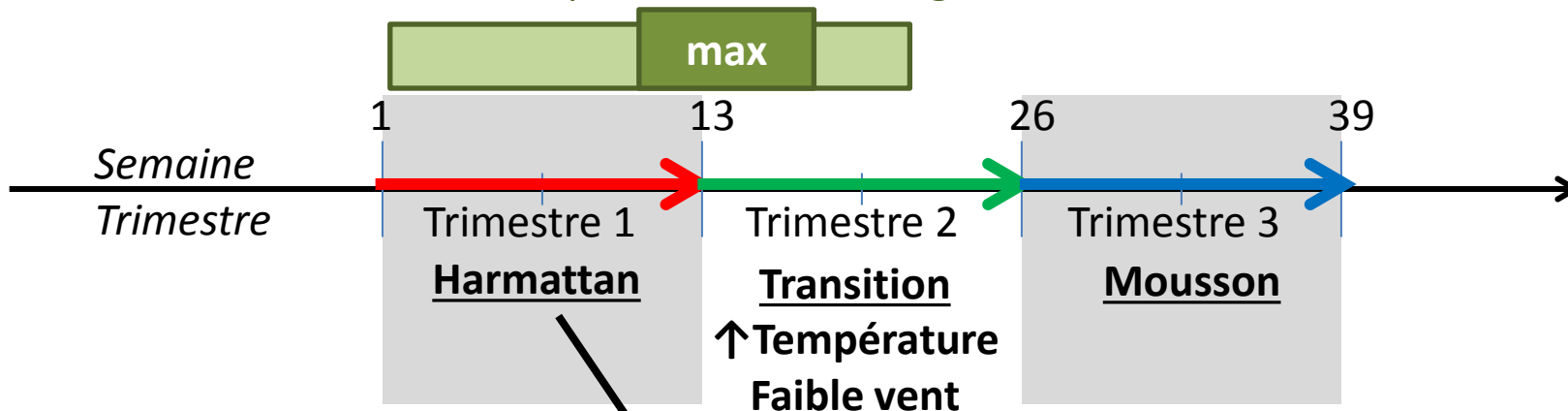
saison humide
3^{ème} trimestre



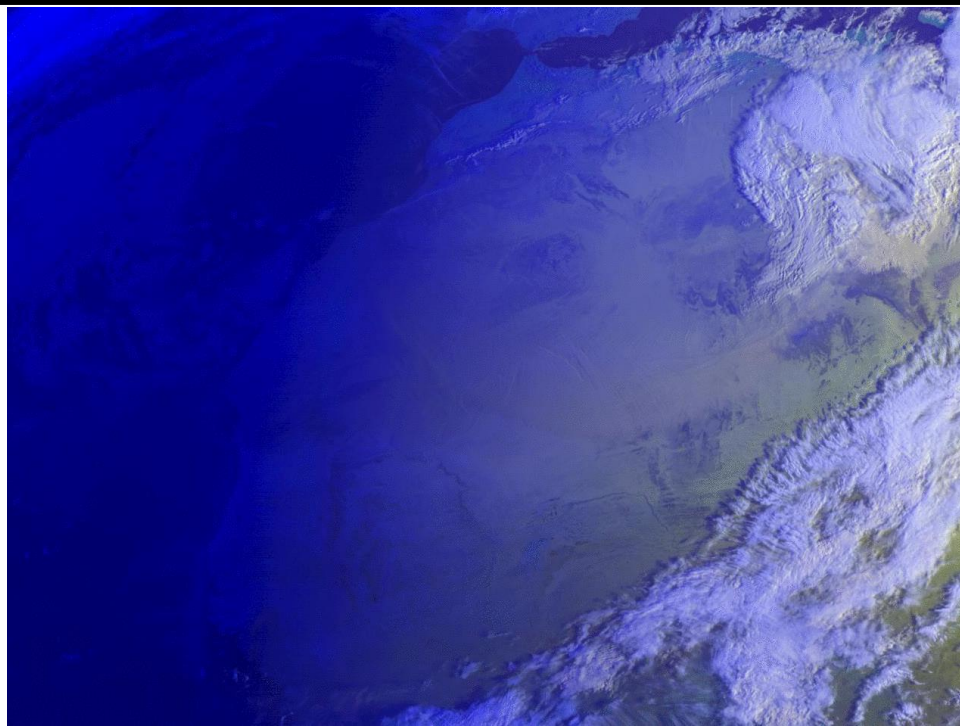


Climat du Sahel

Saison des épidémies de méningites



*Événement de poussières
d'échelle continentale
(MSG –EUMETSAT)*





Lien méningite – climat – poussières

Hypothèses

Deux mécanismes d'action de l'atmosphère sur les épidémies

→ **Invasion du méningocoque et déclenchement**

→ Transmission et portage du méningocoque *Thomson et al. 2009*

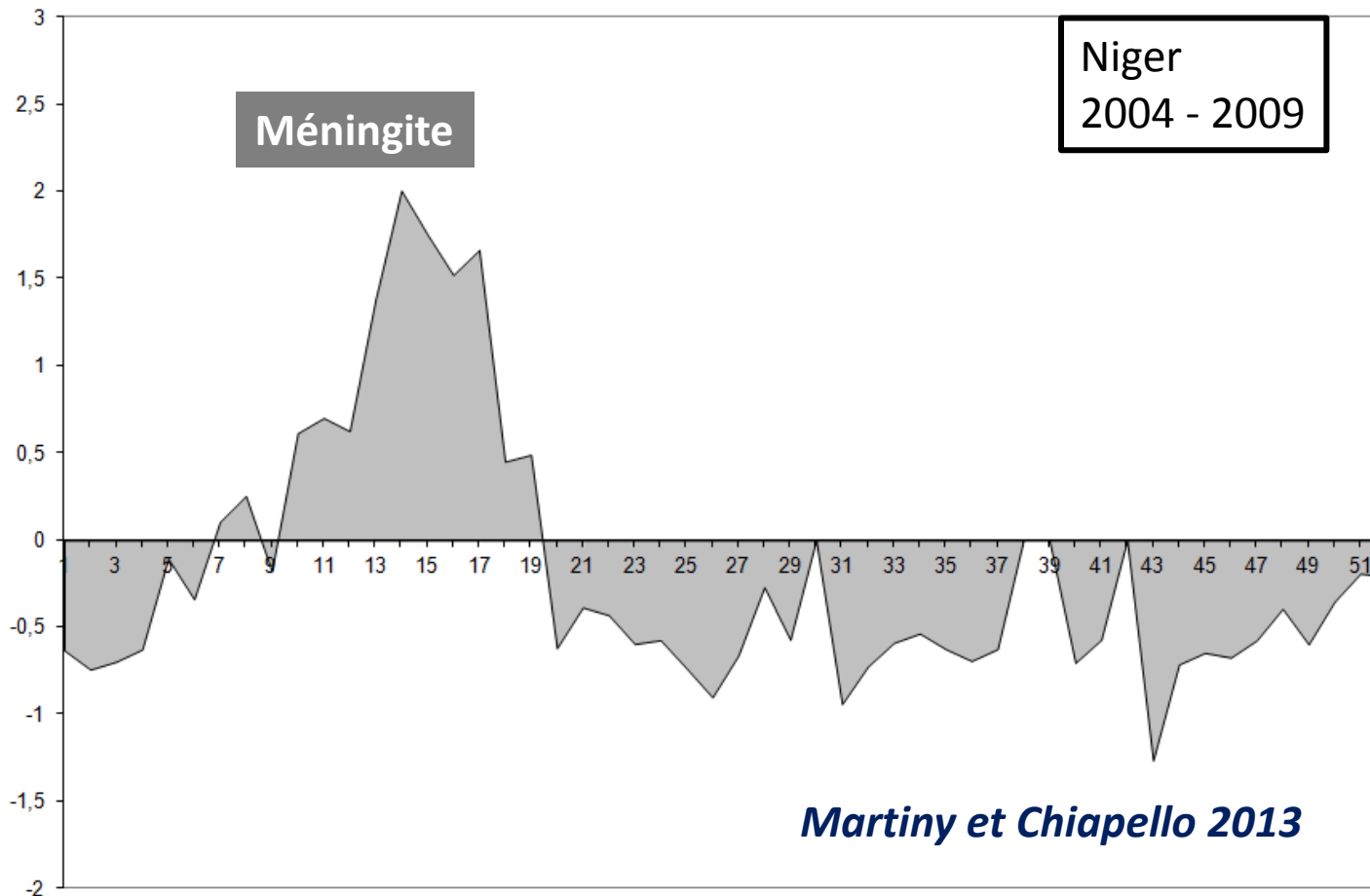
Lien de causalité

→ **Air chaud, sec et contenant des poussières dégradent les muqueuses du système respiratoire**

Mueller et al. 2010



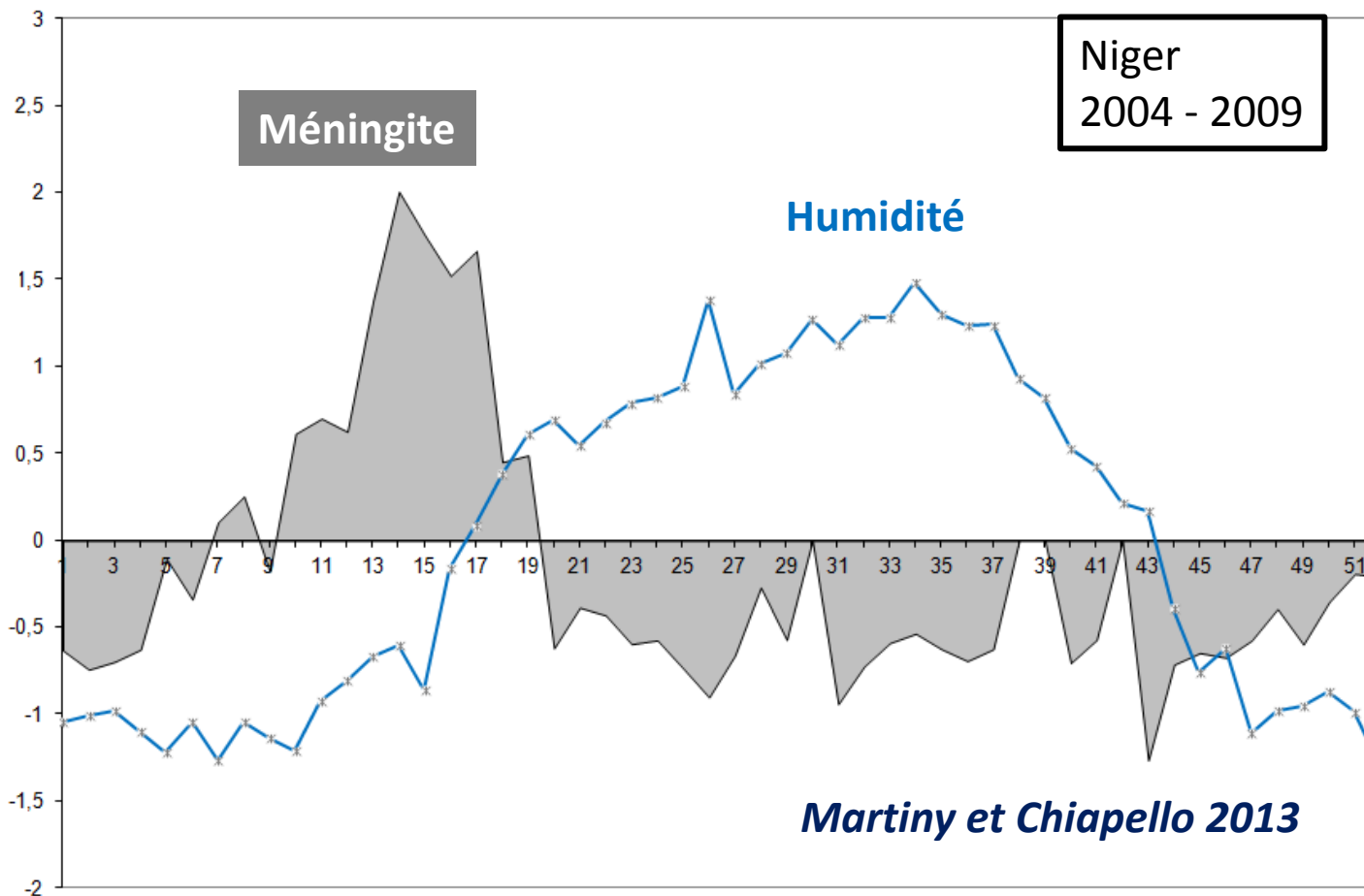
Lien méningite – climat – poussières





Lien méningite – climat – poussières

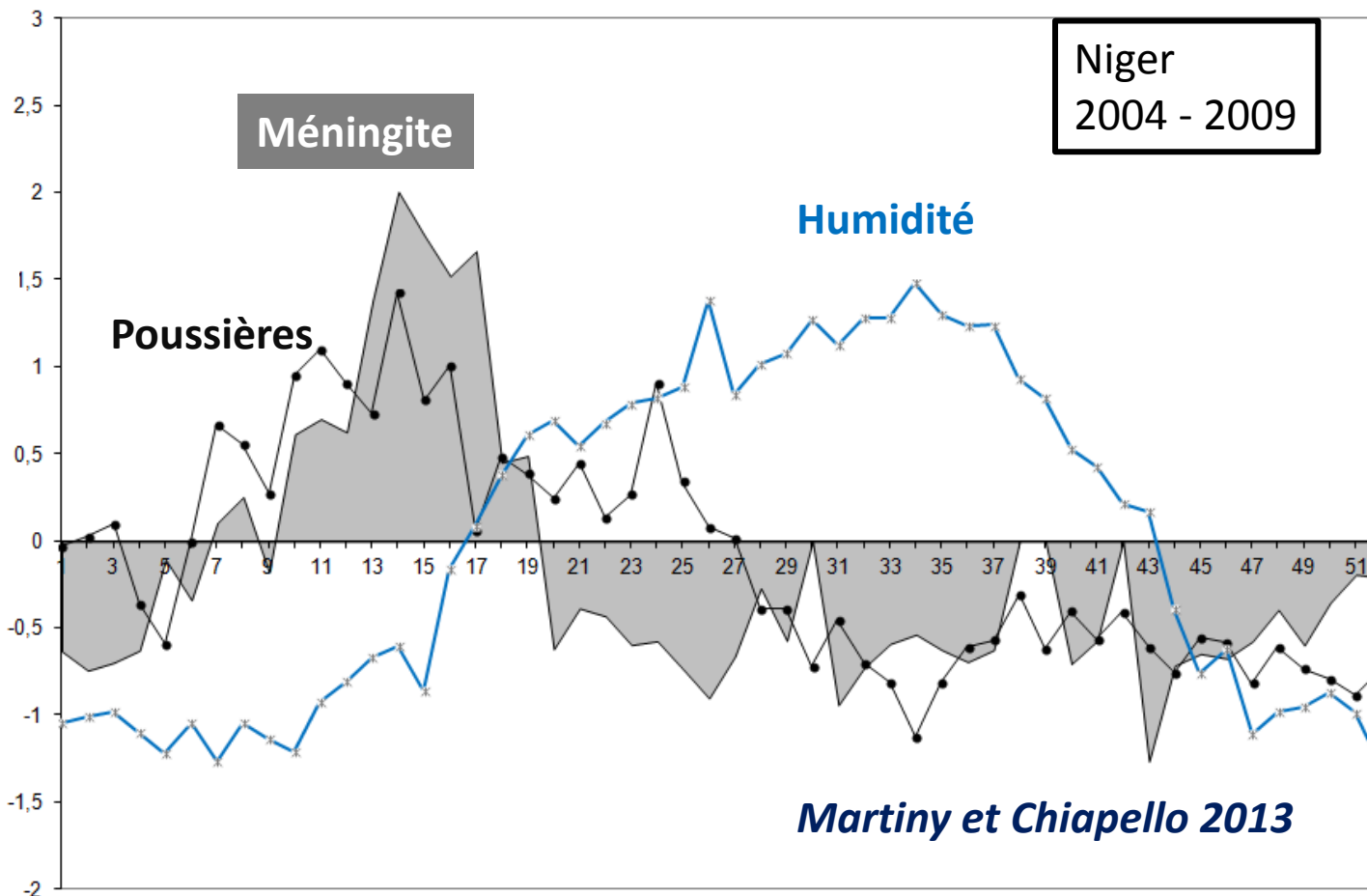
Anomalies





Lien méningite – climat – poussières

Anomalies



→ Décalage de 0 à 2 semaines à l'échelle du pays ($R = 0,8$)

→ Temps d'incubation ≈ 10 jours (*Stephens et al. 2010*)



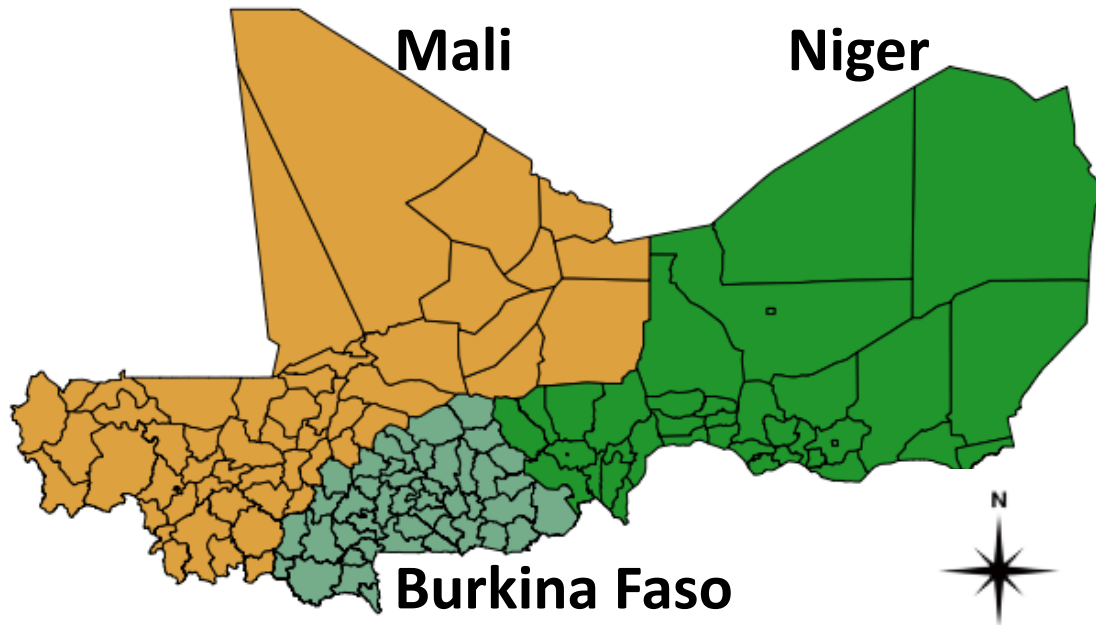
Objectifs

→ Est-ce que la saisonnalité des épidémies est liée aux conditions atmosphériques ?

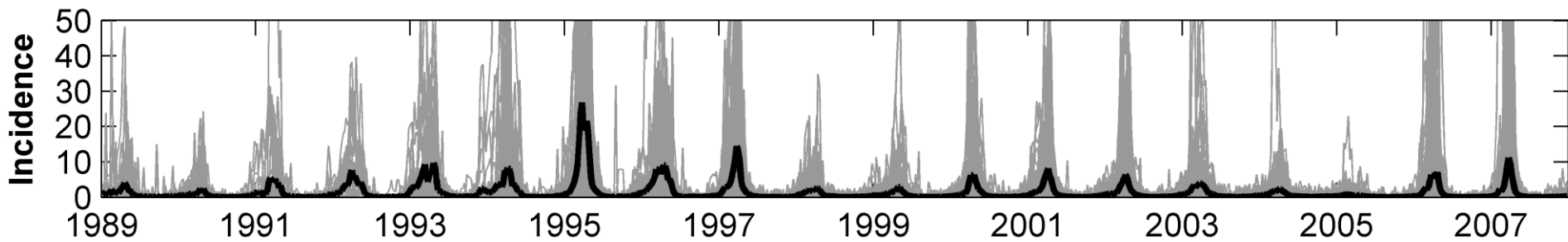
→ Peut-on prévoir l'influence des conditions atmosphériques sur les épidémies ?



Données méningitiques

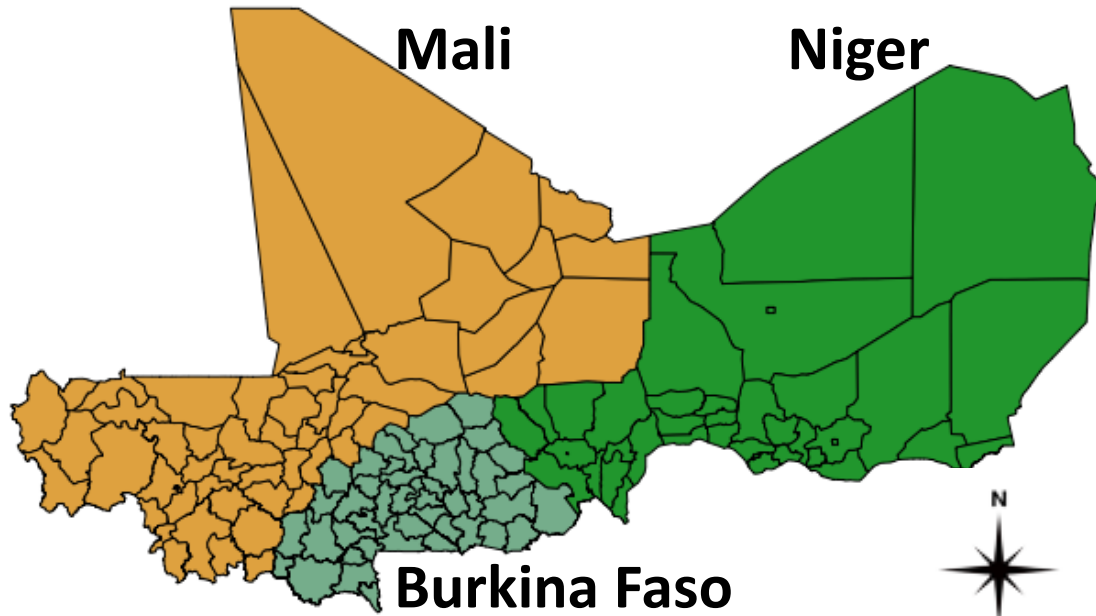


- Données de l'OMS
Agier et al. 2013
- Relevés hebdomadaires
- 141 districts dans 3 pays
- Période 1988 à 2008
= **52 x 1778** observations





Données méningitiques



- Données de l'OMS
Agier et al. 2013
- Relevés hebdomadaires
- 141 districts dans 3 pays
- Période 1988 à 2008
= **52 x 1778** observations

Différence de saisonnalité entre les pays :

Burkina Faso : max semaine 12 (mars)

Niger et Mali : max semaine 15 (avril)



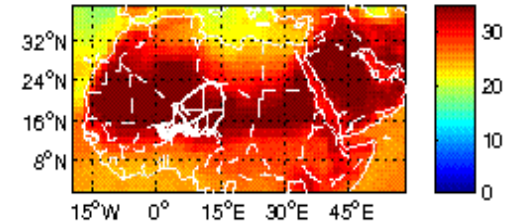
Données atmosphériques

Climat

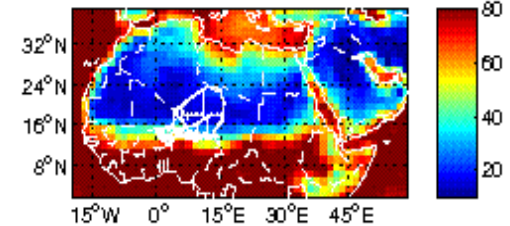
Données climat : Réanalyses ERA-interim

- Température (T° en °C)
 - Humidité Relative (RH en %)
 - Direction du vent (Vangle)
 - Vitesse du vent (Vmodule en m/s)
- Résolution : 1,5° x 1,5° (≈ 150 x 150 km)
- Période : 1989 – 2008

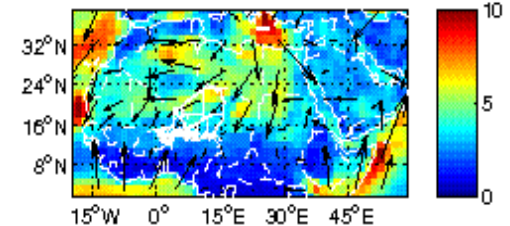
ERA-interim, T (C°), year : 2004, week : 40 (septem



ERA-interim, RH (%), year : 2004, week : 40 (septem



ERA-interim, W (m/s), year : 2004, week : 40 (septem





Données atmosphériques

Aérosols

➤ Concentrations de surface

3 stations en Afrique depuis 2006 (SDT AMMA)

➤ Contenu intégré verticalement (épaisseur optique en aérosols)

~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



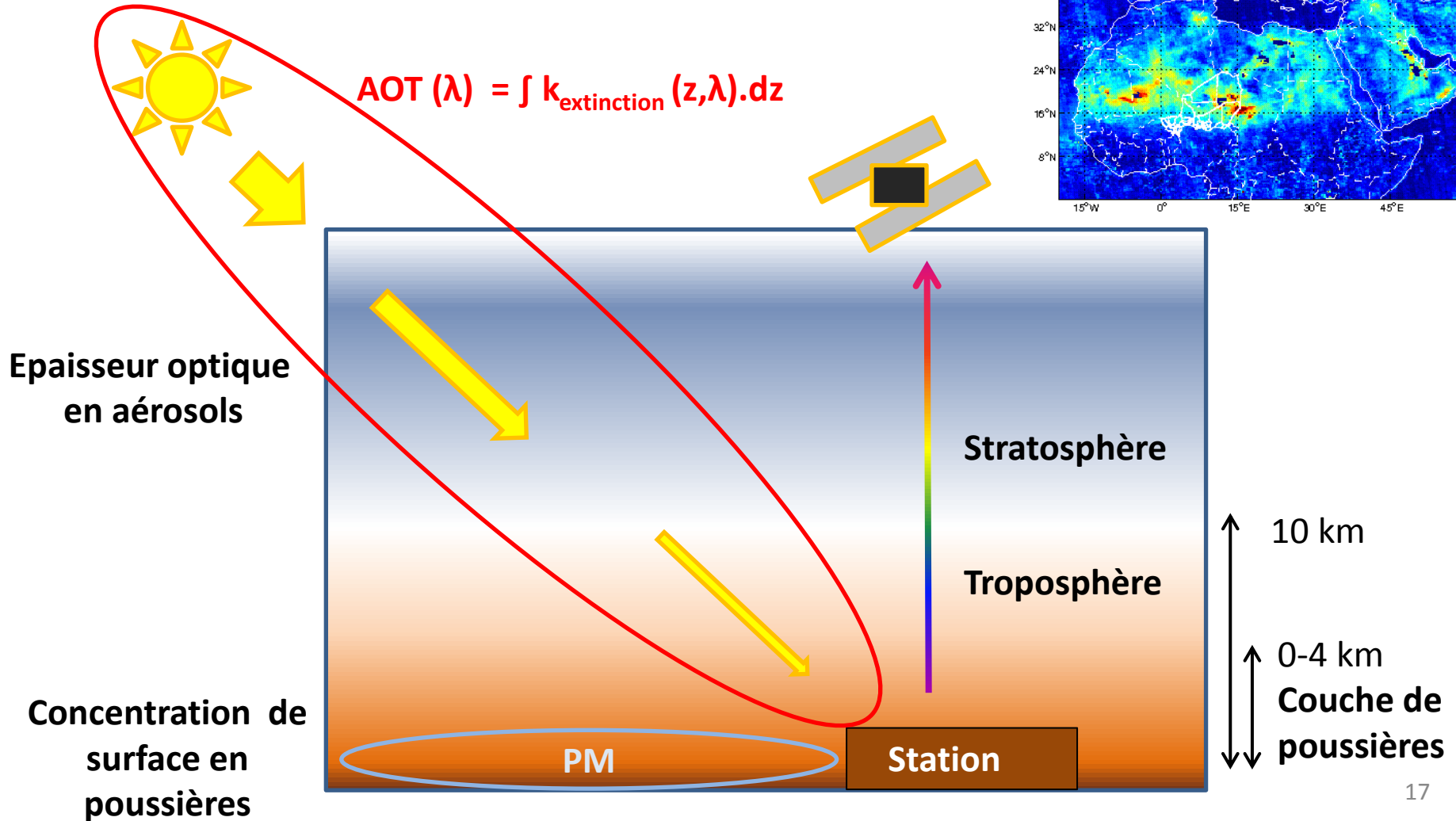
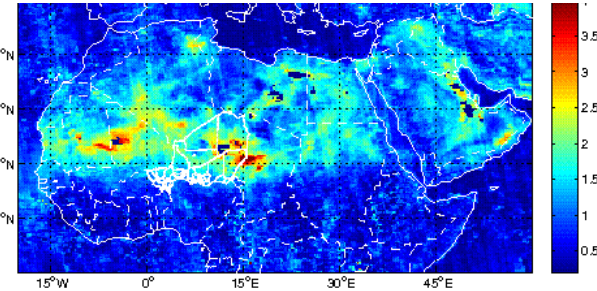
Données atmosphériques

Aérosols

$$AI = 100 \log_{10} \left[\frac{I_{360 \text{ mesuré}}}{I_{360 \text{ calculé}}} \right]$$

Torres et al. 2007

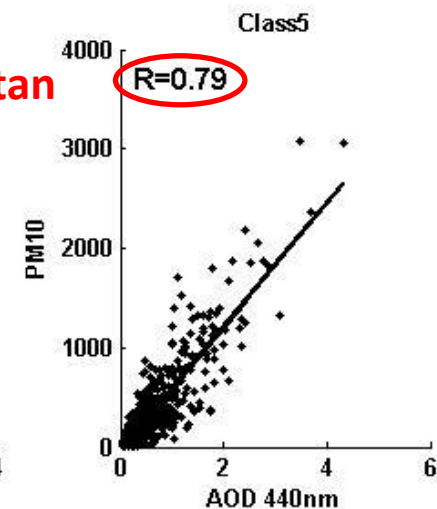
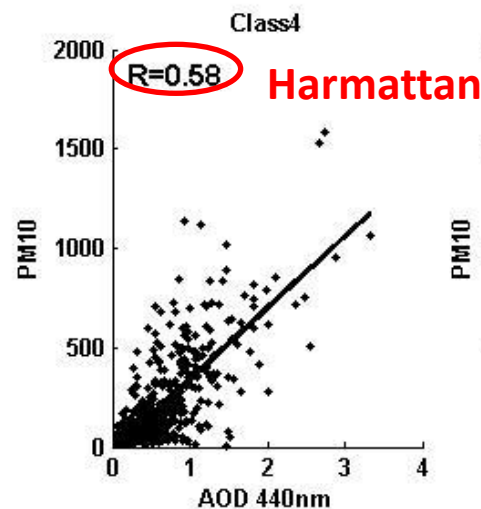
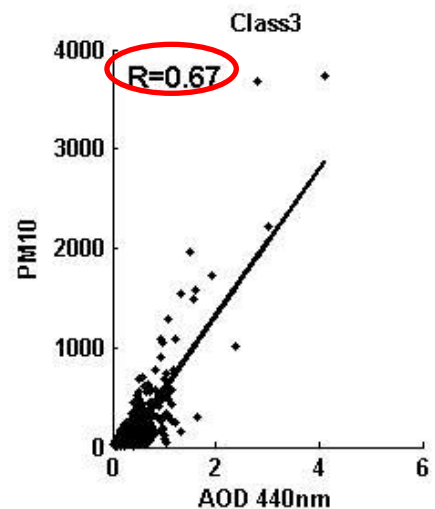
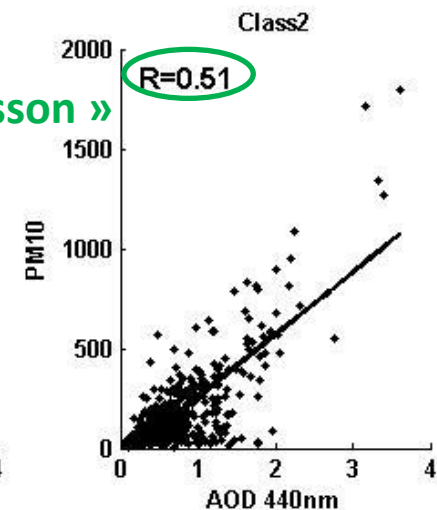
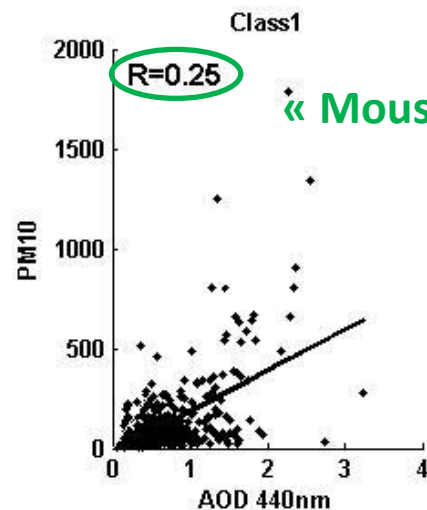
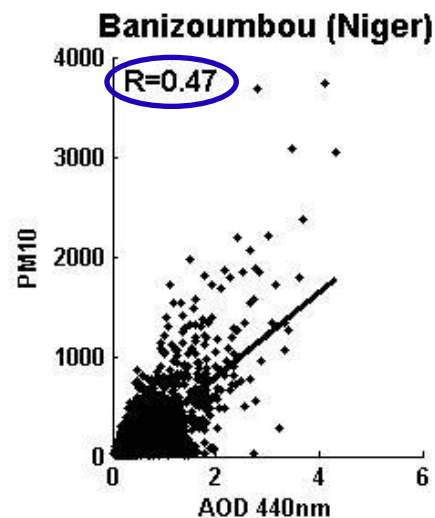
$$AOT(\lambda) = \int k_{\text{extinction}}(z, \lambda) \cdot dz$$





Données atmosphériques

Relations
concentrations
de surface
et AOT
en saison sèche
par « types de
temps »



Données
horaires
Coïncidentes
Mai-Octobre
2008-2010

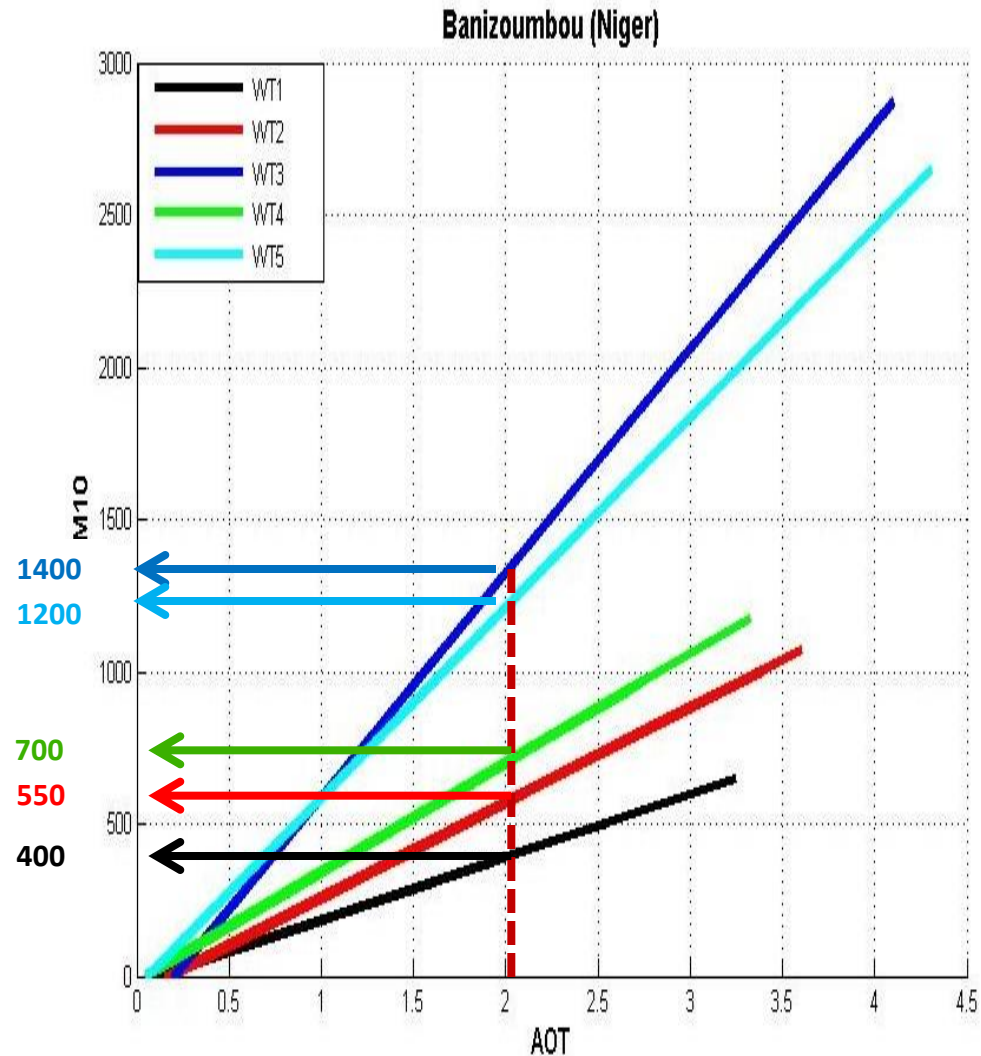


Données atmosphériques

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
différente !!



(Yahi et al., 2013)

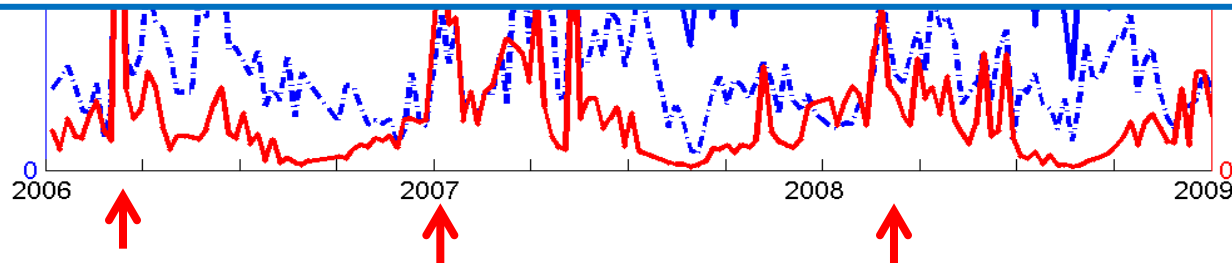


Données atmosphériques

4 2000

Transformation de l'AI pour impacts-santé
= correction d'un biais saisonnier moyen AI/concentration

→ Indice de poussières = **AI.tr**



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

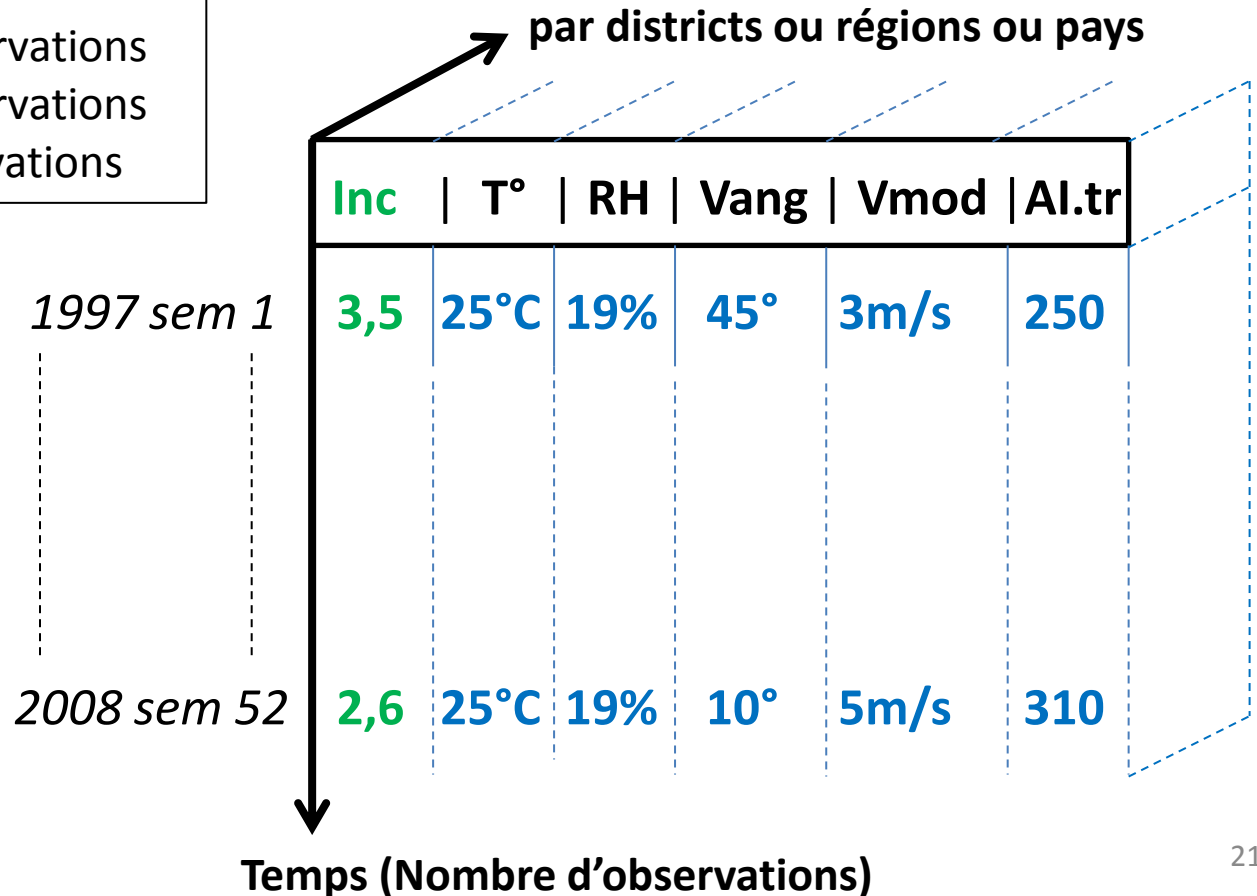


Base de données

- 141 districts, 28 régions, 3 pays
- 5 variables (AI et 4 ERA-interim)
- 1997-2008 (12 ans)
- Pas de temps hebdomadaire

districts → 87984 observations
régions → 17472 observations
pays → 1872 observations

→ **Moyenne hebdomadaire**
à l'échelle des districts/régions/pays





Résultats

Etudes du lien méningite – climat – poussières

- a. Décalage temporel***
- b. Spécificité des années épidémiques*
- c. Modélisation de l'incidence par l'atmosphère*

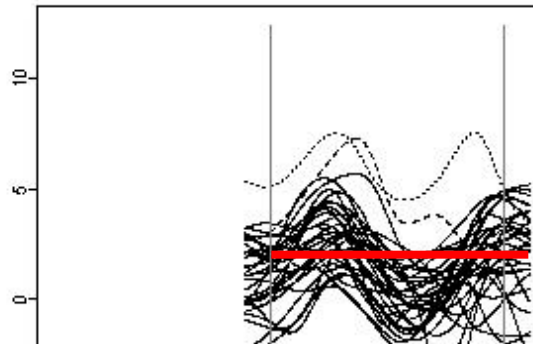


Décalage temporel

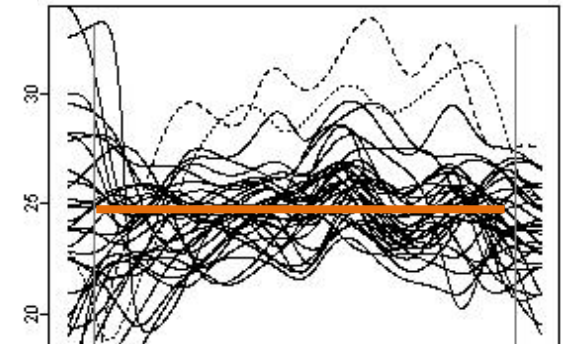
Méthode

→ Analyses en ondelettes

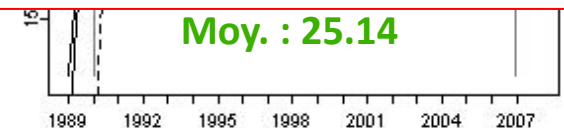
Aérosol



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)





Résultats

Etudes du lien méningite – climat – poussières

a. *Décalage temporel*

b. *Spécificité des années épidémiques*

c. *Modélisation de l'incidence par l'atmosphère*

Spécificité des années épidémiques (1 /4)

But

Analyser les conditions atmosphériques pendant les années épidémiques

- 141 districts
- 5 variables
- 1997 – 2008
- Janvier à mai
(semaine 1 à 18)
- + de 27000 observations

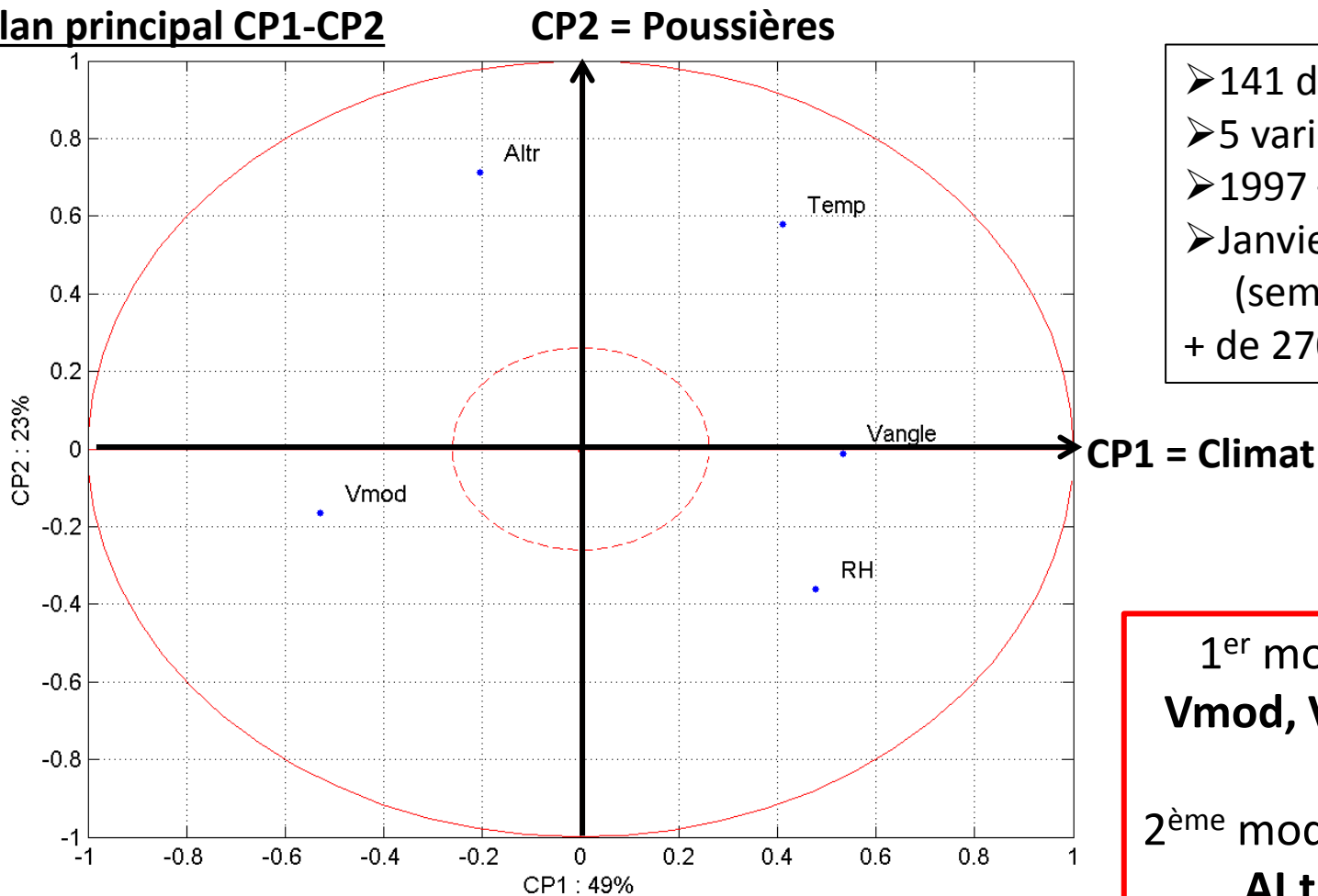
Analyse en composantes principales

- **ACP n°1** sur les 5 variables atmosphériques
- **ACP n°2** sur les 5 variables atmosphériques et **l'incidence**

Spécificité des années épidémiques (2 / 4)

ACP n°1

Plan principal CP1-CP2



- 141 districts
 - 5 variables
 - 1997 – 2008
 - Janvier à mai
(semaine 1 à 18)
- + de 27000 observations

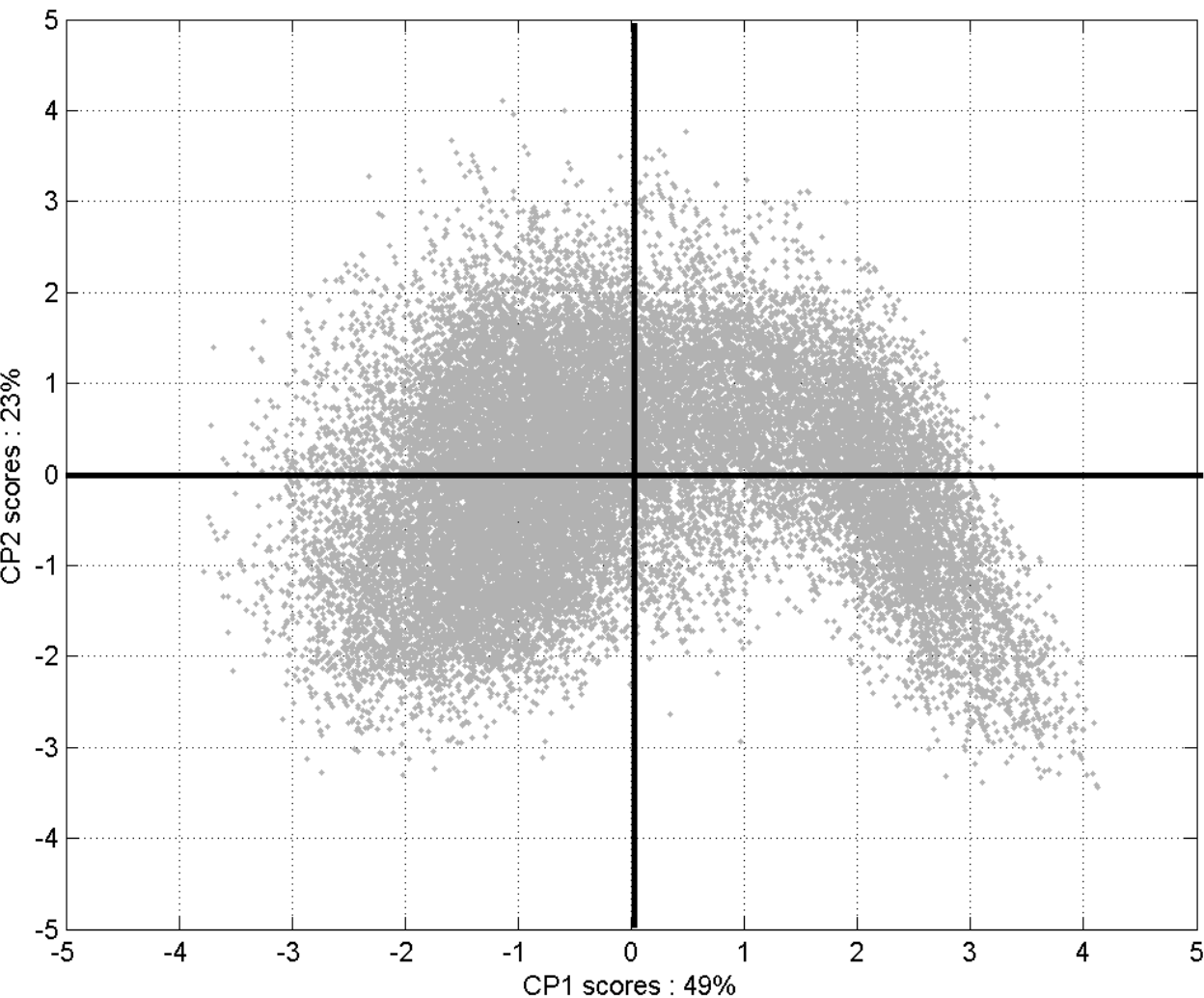
1^{er} mode « **Climat** »
Vmod, Vang, RH, Temp

2^{ème} mode « **Poussières** »
Al.tr, Temp, RH

2 nouvelles variables (CP1 et CP2)
= 72% de la variabilité

Spécificité des années épidémiques (3 /4)

ACP n°1



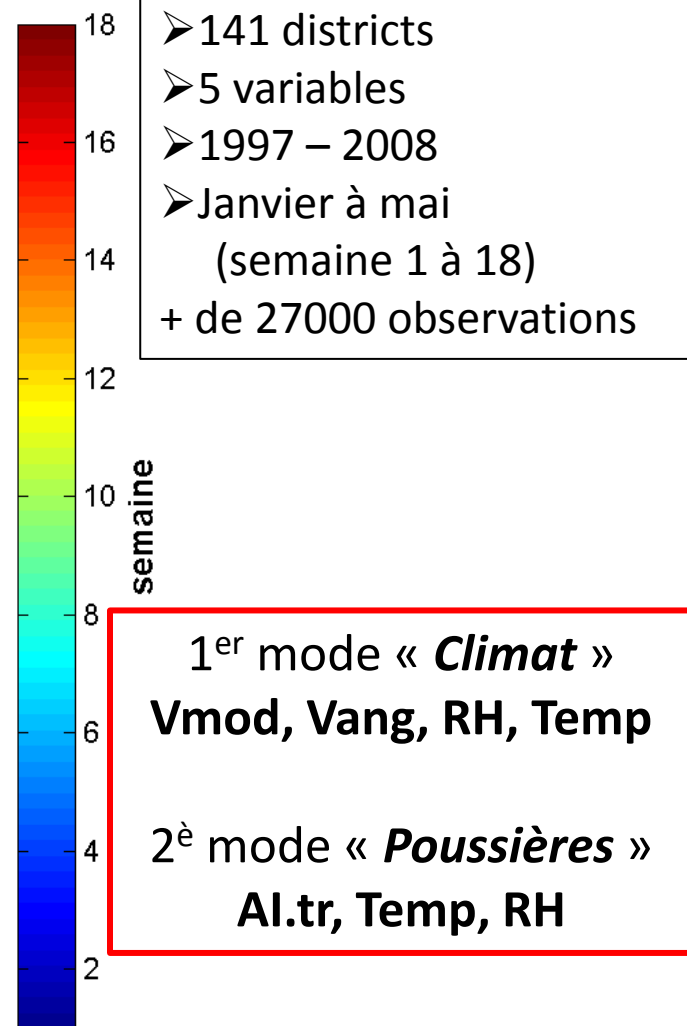
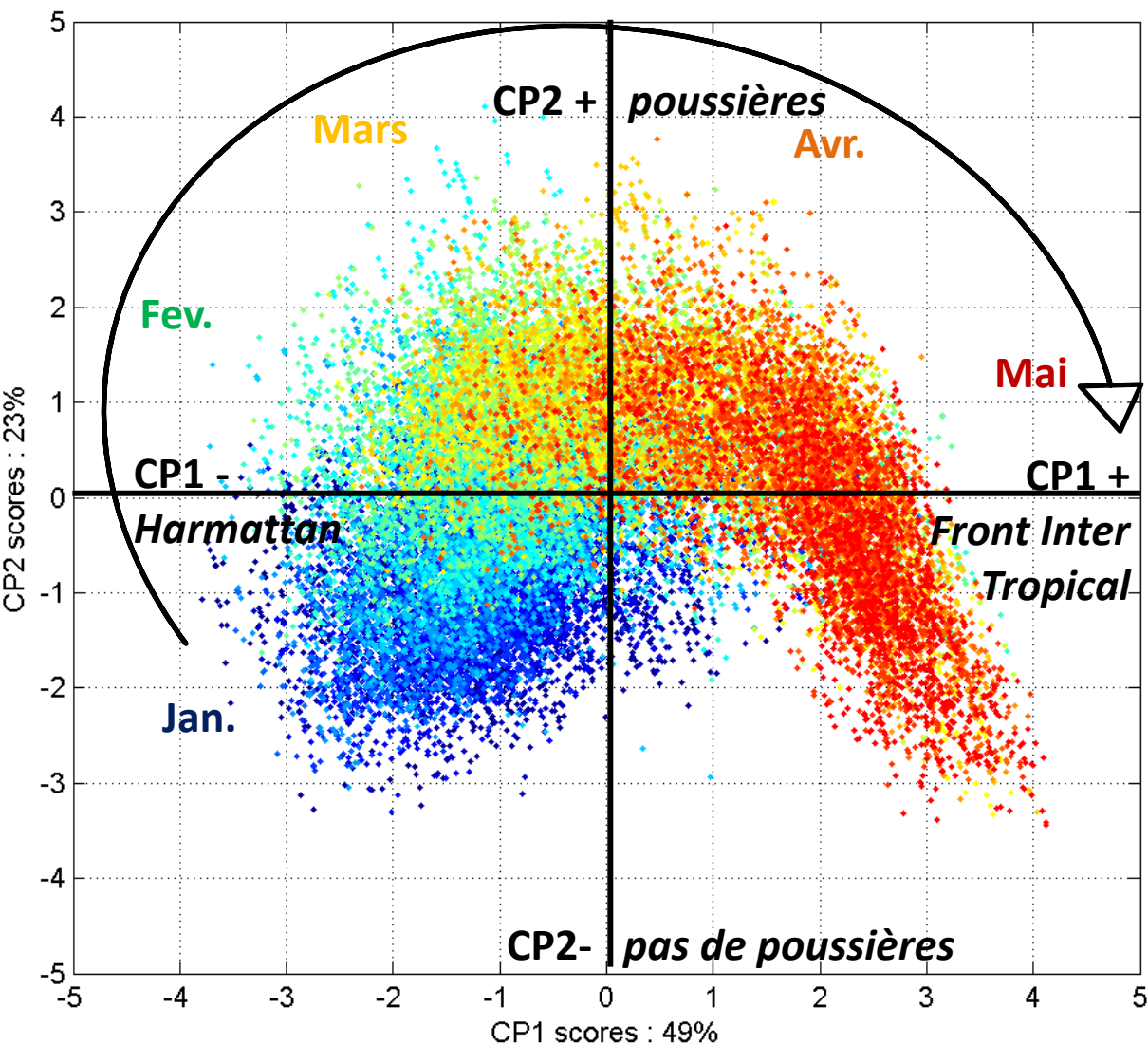
- 141 districts
 - 5 variables
 - 1997 – 2008
 - Janvier à mai
(semaine 1 à 18)
- + de 27000 observations

1^{er} mode « ***Climat*** »
Vmod, Vang, RH, Temp

2^{ème} mode « ***Poussières*** »
Al.tr, Temp, RH

Spécificité des années épidémiques (3 / 4)

ACP n°1



Spécificité des années épidémiques (4 /4)

ACP n°2

| Corrélation (R) | CP1 | CP2 | CP3 |
|--------------------------|------|------|-------|
| <i>Toutes les années</i> | | | |
| Incidence* | 0,24 | 0,51 | -0,79 |
| Température | 0,71 | 0,52 | -0,06 |

| Corrélation (R) | CP1 | CP2 | CP3 |
|---------------------------|------|------|-------|
| <i>Années épidémiques</i> | | | |
| Incidence* | 0,38 | 0,69 | -0,44 |
| Température | 0,71 | 0,52 | -0,06 |

Spécificité des années épidémiques : Importance des poussières

| | | | |
|-------|-------|------|------|
| Al.tr | -0,17 | 0,74 | 0,49 |
|-------|-------|------|------|

Incidence* : décalée d'une semaine

| | | | |
|-------|-------|------|------|
| Al.tr | -0,26 | 0,70 | 0,64 |
|-------|-------|------|------|

- 141 districts
- **Incidence** + 5 variables atmosphériques
- 1997 – 2008
- Janvier à mai (semaine 1 à 18)

Plus de 27000 observations
dont 13% épidémiques

Deroubaix, 2013

1^{er} mode « **Climat** »
CP1 (Vmod, Vang, RH, Temp, **Incidence**)

2^{ème} mode « **Poussières** »
CP2 (Al.tr, **Incidence**, Temp, RH)

~~3^{ème} mode « **Incidence** »~~
CP3 (**Incidence**)



Résultats

Etudes du lien méningite – climat – poussières

- a. *Décalage temporel*
- b. *Spécificité des années épidémiques*
- c. ***Modélisation de l'incidence par l'atmosphère***

Modélisation de l'incidence par l'atmosphère (1 /4)

Méthode :
régressions linéaires multiples (Stepwise)

$$\text{Incidence}_t = f [T^{\circ}_{t-1} , \text{Al.tr}_{t-1}]$$

A l'échelle des districts et des régions,
1/3 de la variabilité de l'incidence est expliquée par ce modèle

Modélisation de l'incidence par l'atmosphère (2 / 4)

Incidence modélisée
(Nombre de cas pour
100 000 personnes)

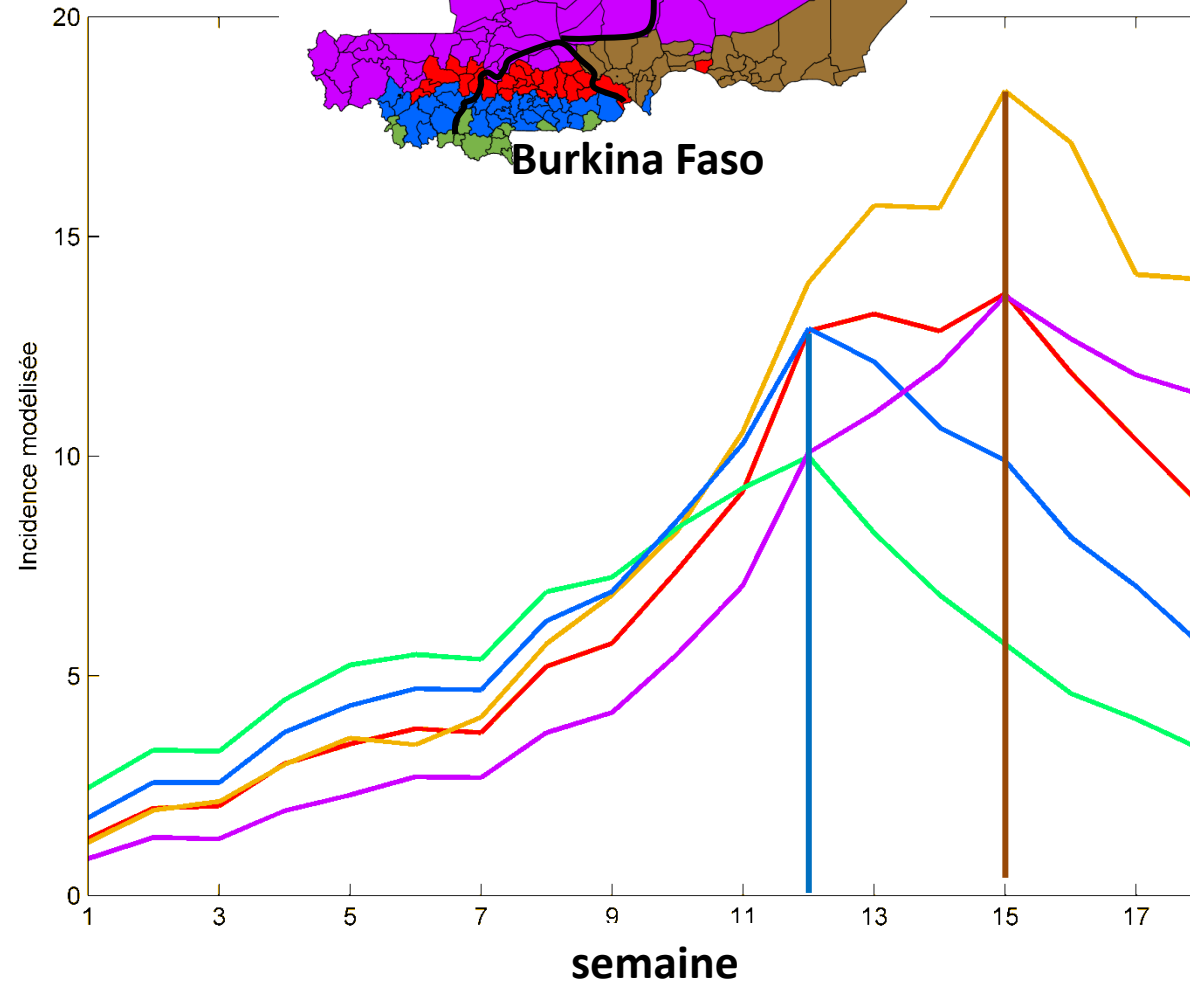
Mali

Niger

Burkina Faso

Classification spatiale (5 classes)

$$\text{Incidence}_t = f [T^\circ_{t-1} , \text{Al.tr}_{t-1}]$$



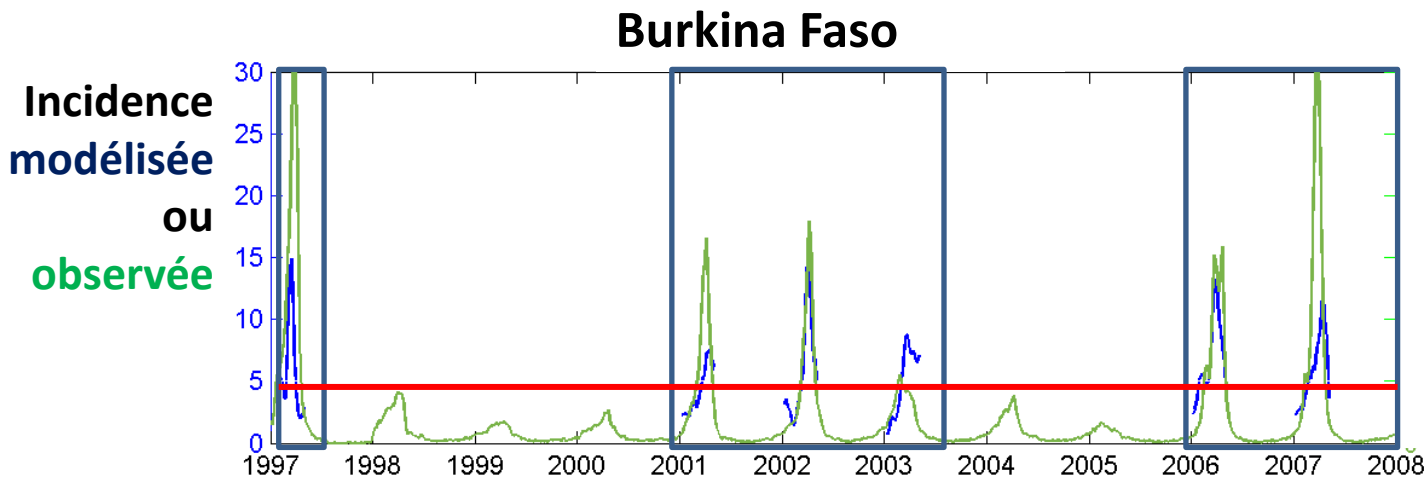
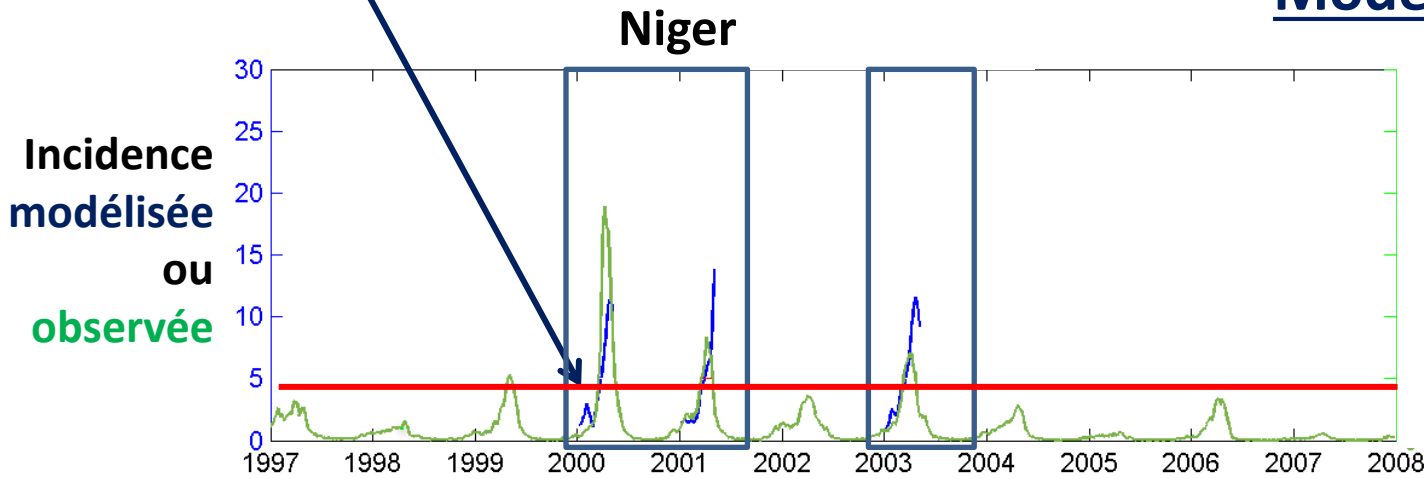
Accord des
différences de
saisonnalité de
l'incidence
modélisée et
observée

Modélisation de l'incidence par l'atmosphère (3 / 4)

$$\text{Incidence}_t = f [T^\circ_{t-1}, \text{Al.tr}_{t-1}]$$

Incidence
Modélisée/Observée

R = 0,69



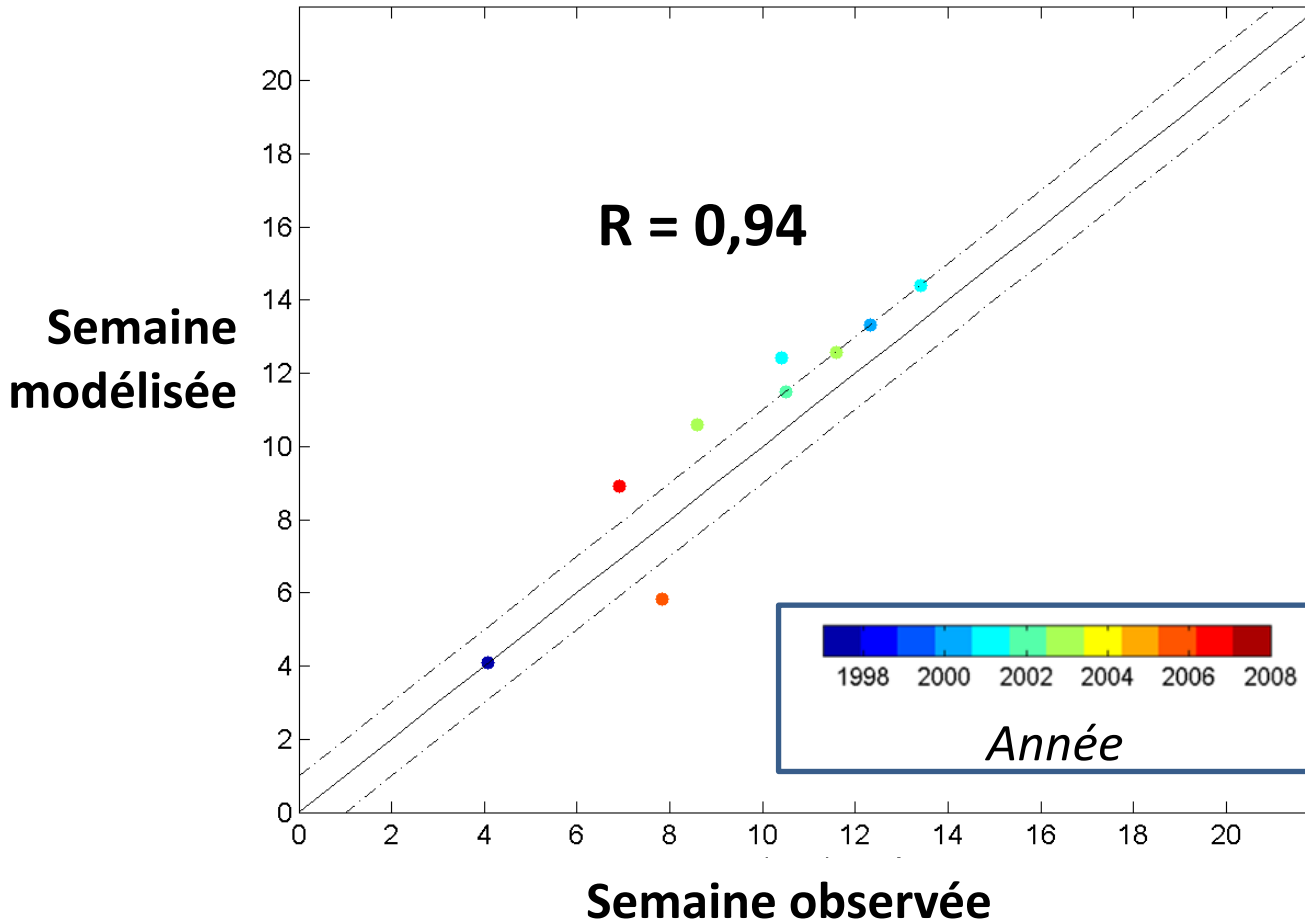
Seuil épidémique à
l'échelle du pays

5 cas pour 100 000
habitants par
semaine

Deroubaix, 2013

Modélisation de l'incidence par l'atmosphère (4 / 4)

Dates de dépassement de seuil épidémique



Accord dates de dépassement de seuil



Conclusions

Peut-on utiliser des produits satellite aérosols pour étudier leur impact sur la santé?

→ Oui, mais en tenant compte des biais liés à la répartition verticale

Est-ce que la saisonnalité des épidémies est liée aux conditions atmosphériques ?

→ Les variations spatiales et temporelles des conditions climatiques et d'empoussièrement peuvent expliquer les variations observées de démarrage et d'intensité des épidémies

Peut-on « prévoir » l'influence des conditions atmosphériques sur les épidémies ?

Pendant les années épidémiques :

→ 1/3 de la variabilité de l'incidence reproduite (districts et régions)

→ Dates de dépassement de seuil d'incidence reproduites (échelle nationale)

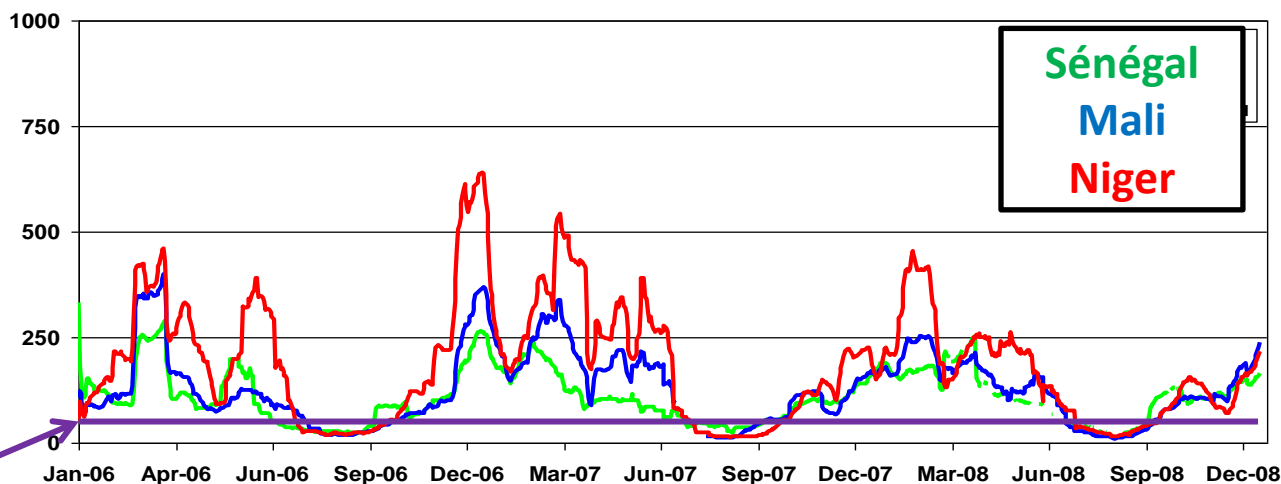


Merci pour votre attention.



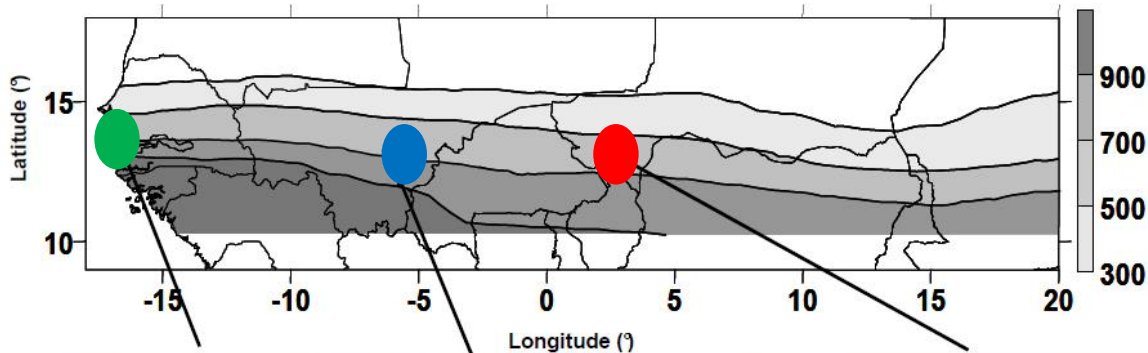
Saisonnalité des poussières

Concentration de poussières ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Marticorena et al. 2010

Seuil d'exposition en Europe = $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 jours/an)



Pluviométrie



M'bour, Sénégal

Cinzana, Mali

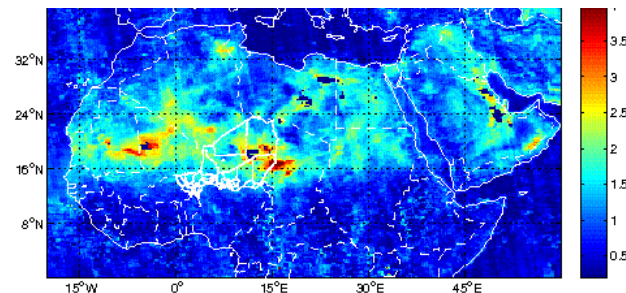
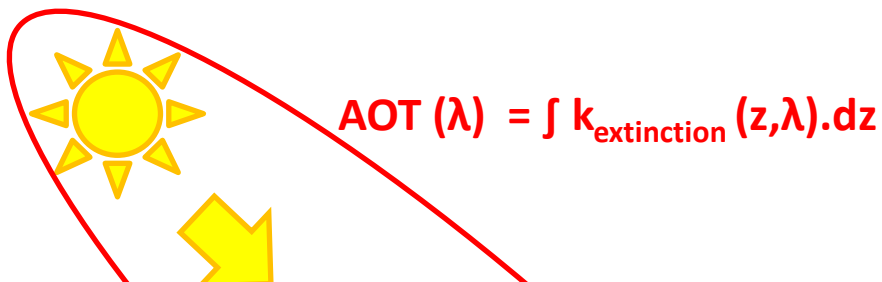
Banizoumbou, Niger



Indice de poussières

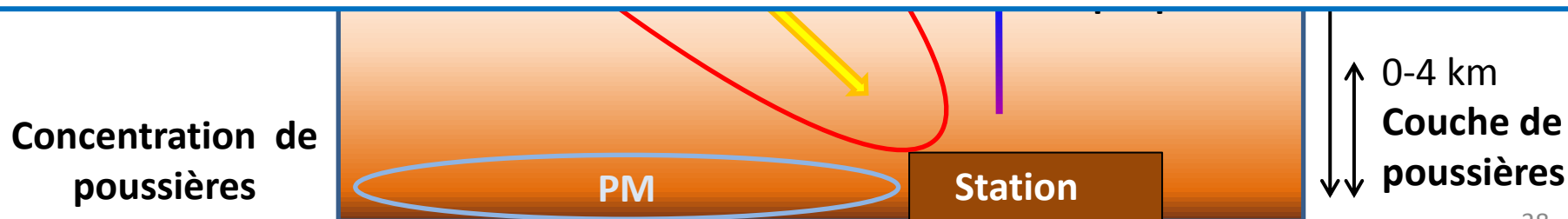
$$AI = 100 \log_{10} \left[\frac{I_{360 \text{ mesuré}}}{I_{360 \text{ calculé}}} \right]$$

Torres et al. 2007



Transformation de l'AI pour impacts-santé
→ Indice de poussières = **AI.tr**

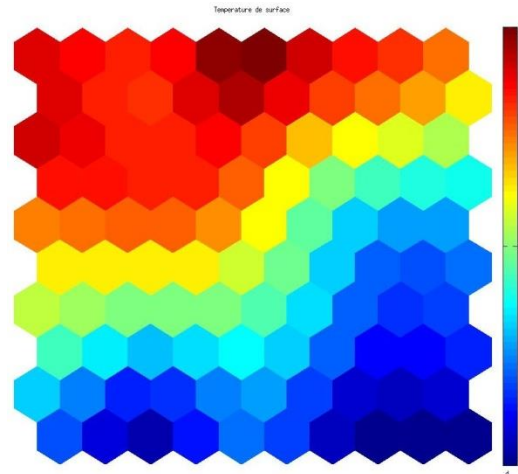
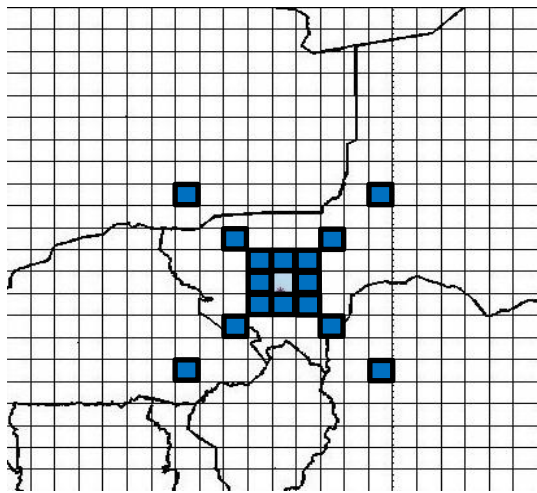
Deroubaix et al. 2013





Identification des types de temps en saison sèche

Données initiales



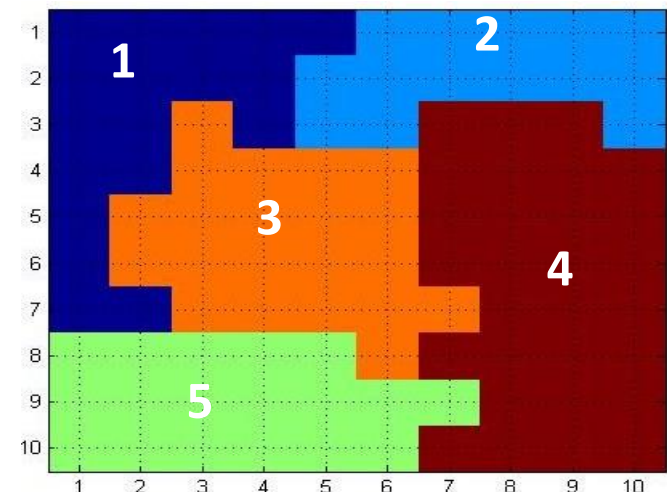
Carte topologique
Auto-organisatrice
(Self-Organizing Map)



Classification
Ascendante
Hiérarchique
=Types de temps

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

(Yahi et al., 2011)





Relations Concentration/AOT

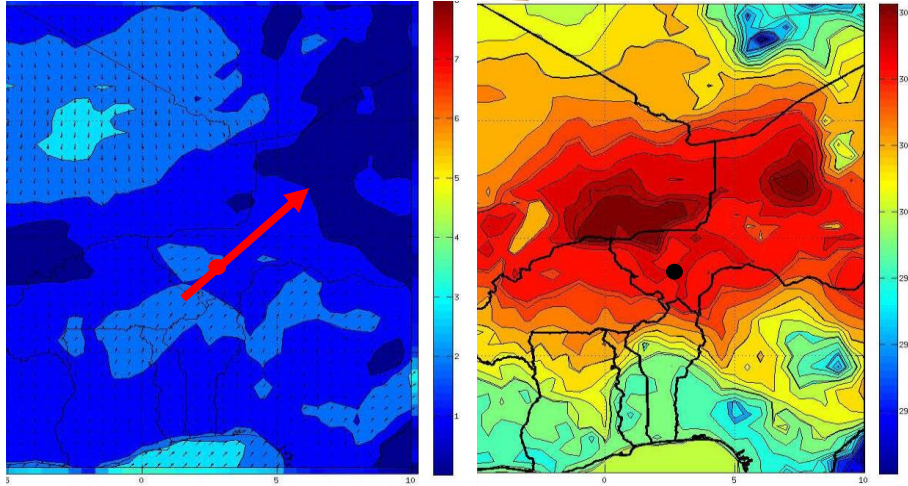
Types de temps identifiés en saison sèche

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



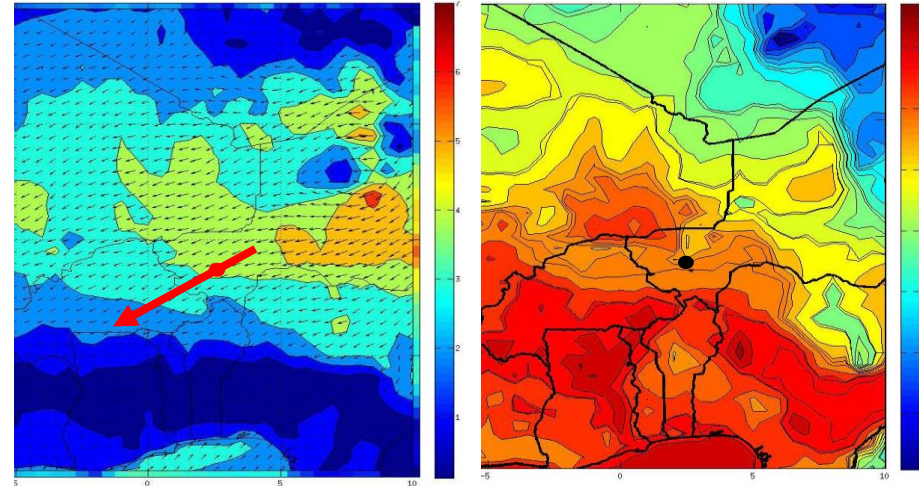
Types de temps identifiés

Class 1

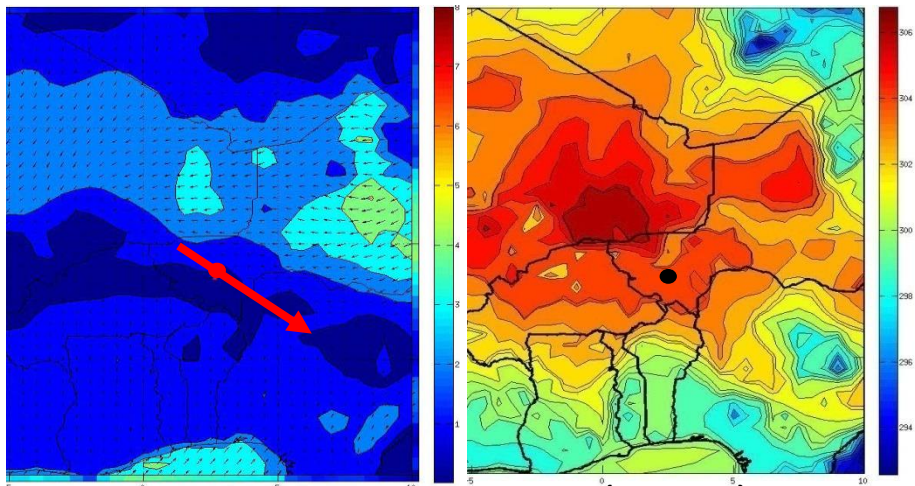


Class 4

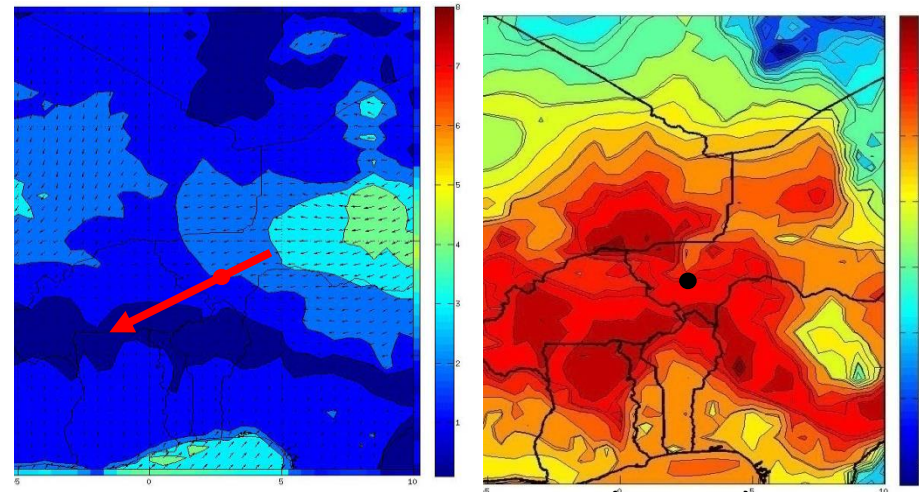
(Yahi et al., en prep.)



Class 2



Class 5



Vent à 10m

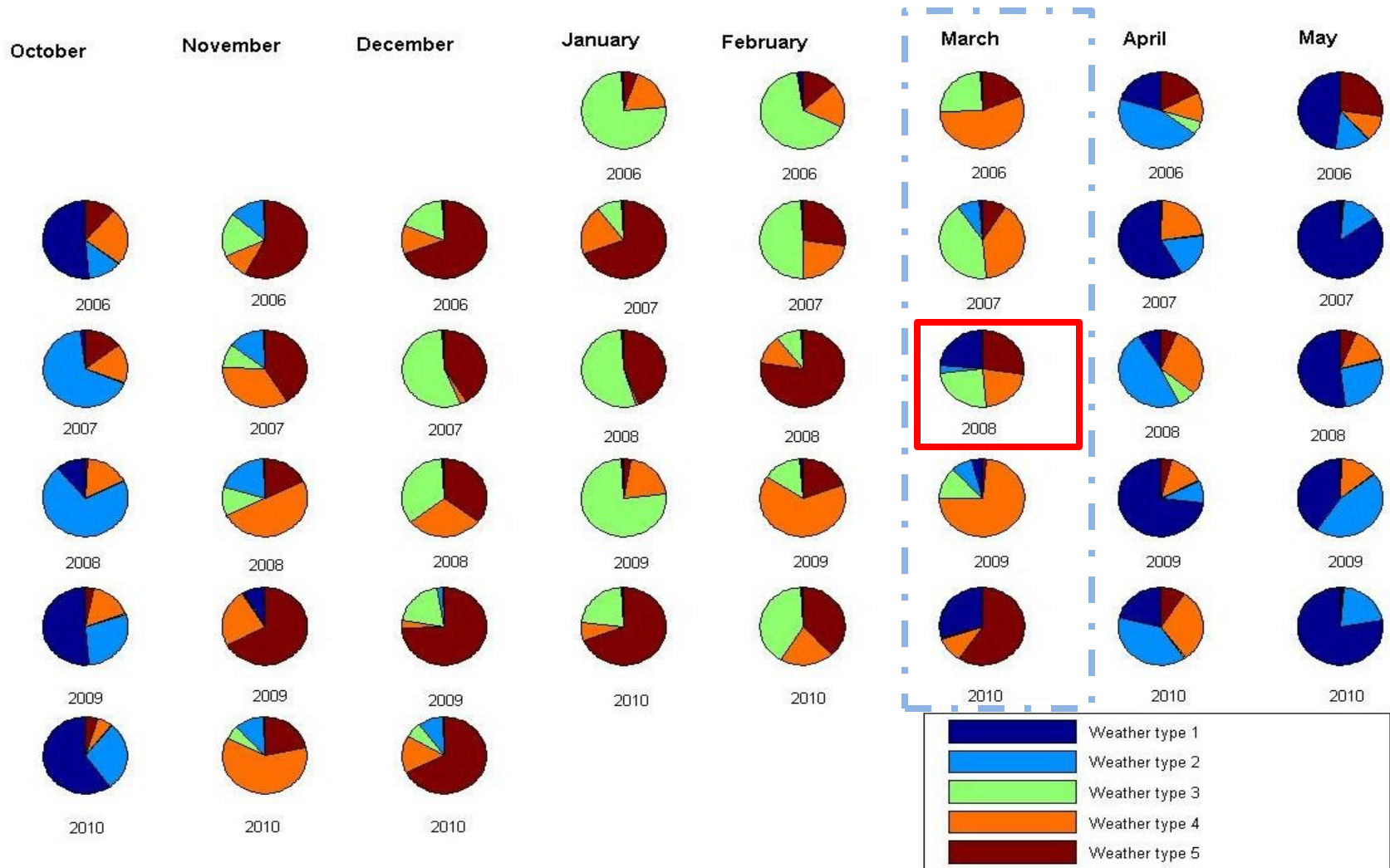
Température à 2m

Vent à 10m

Température à 2m

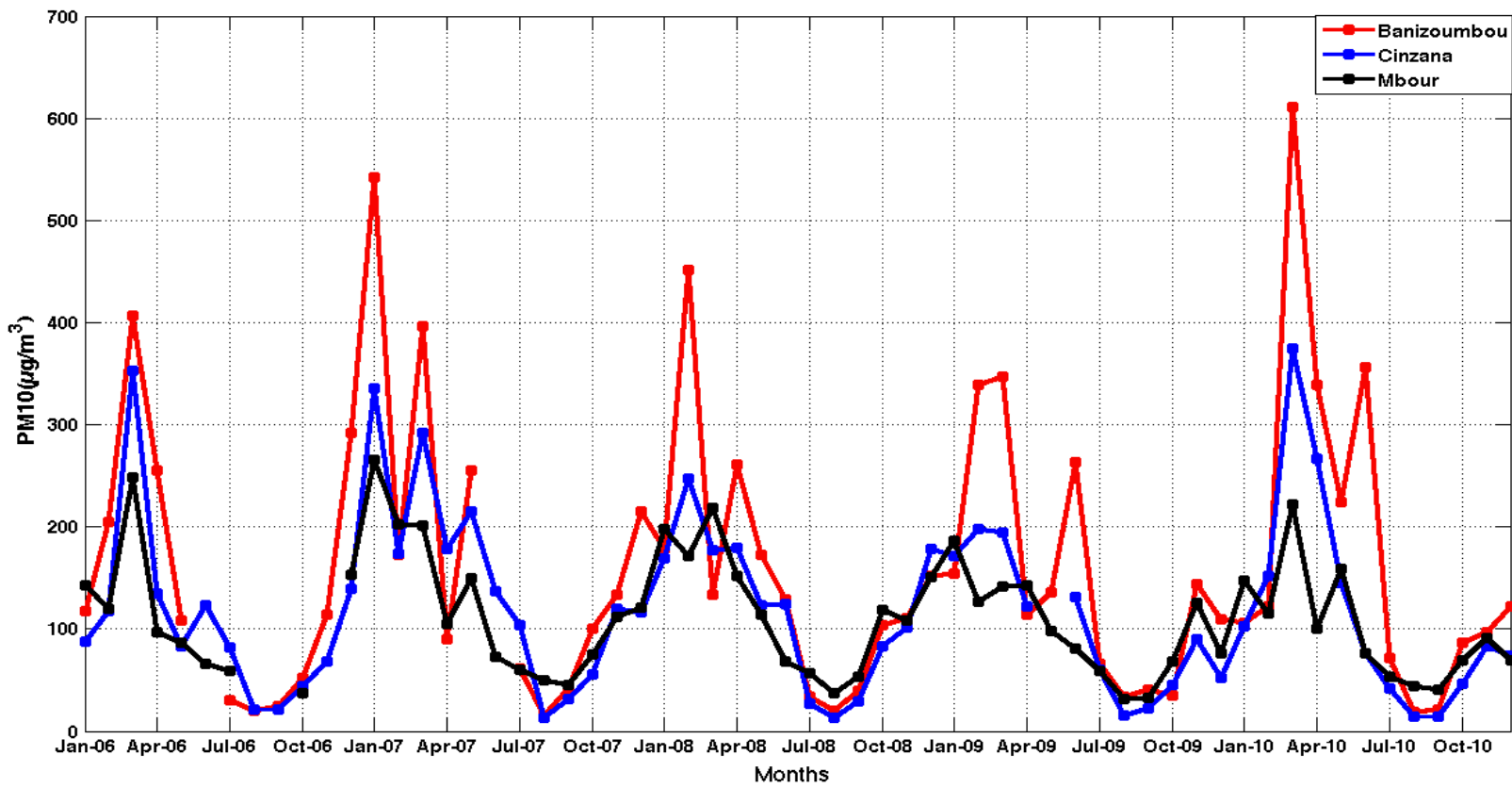


Chronologie des types de temps



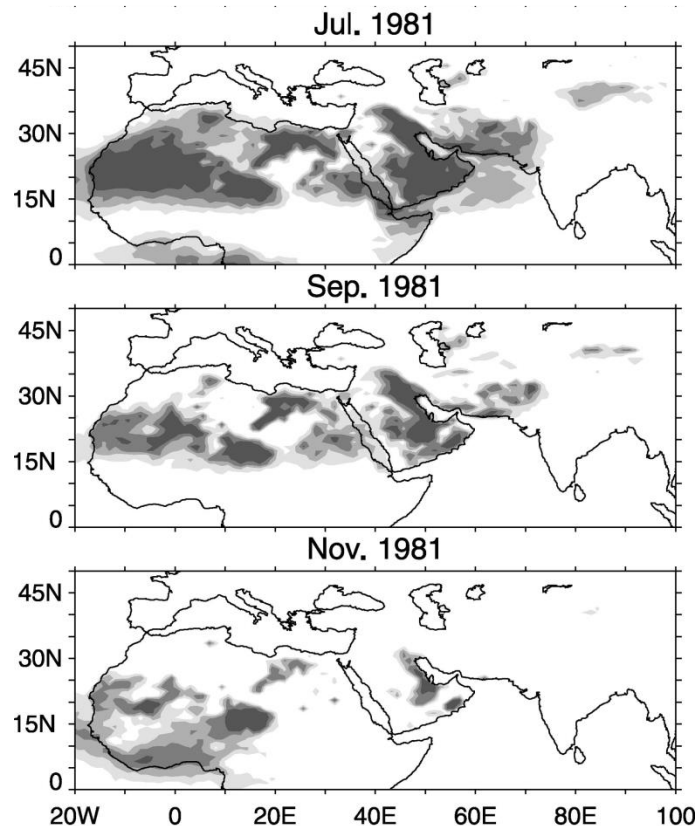
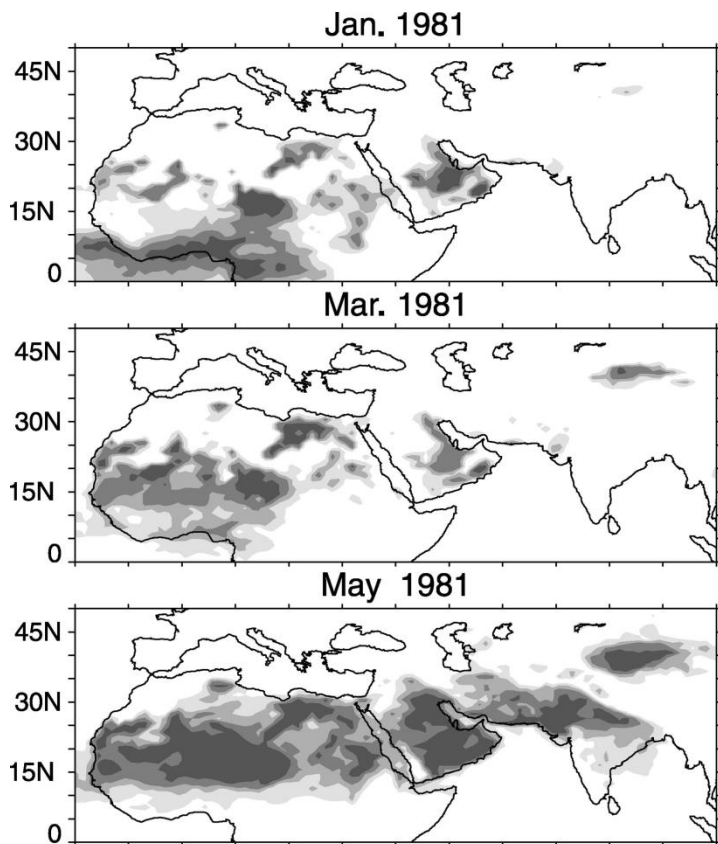


Dust concentrations monitored by the Sahelian Dust Transect

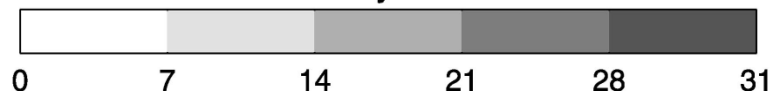




The « dust belt »



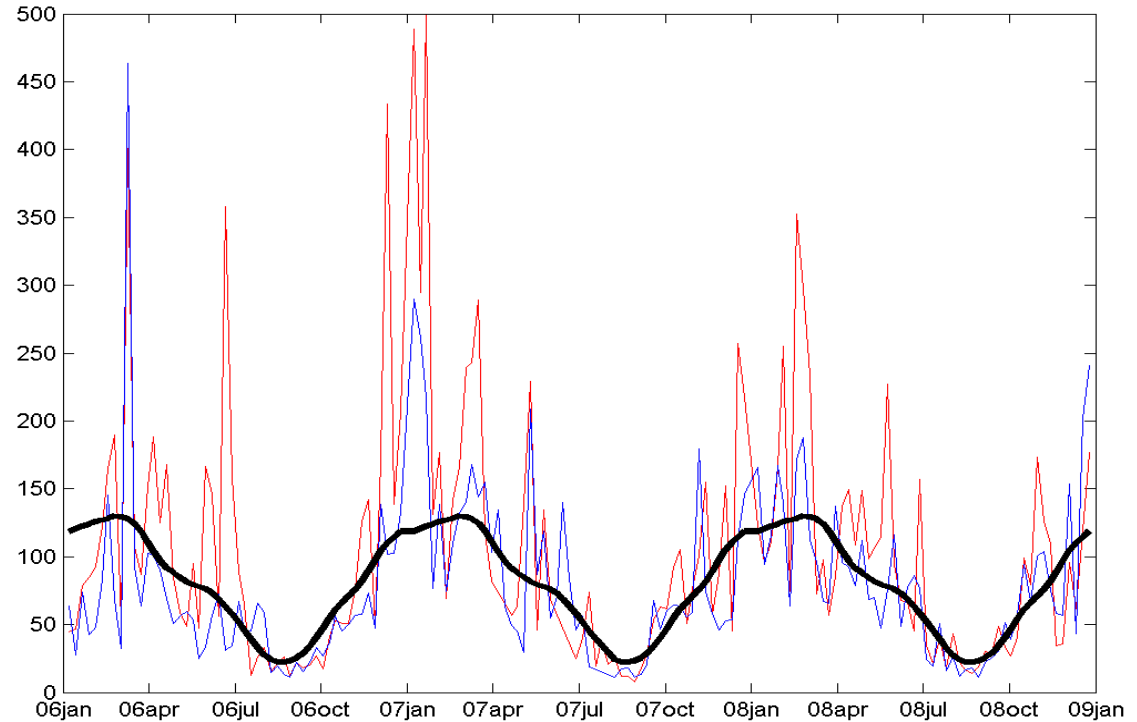
of Days $A_1 > 1$





Saisonnalité AI /concentration

Rapports hebdomadaires AI/concentration 2005-2008

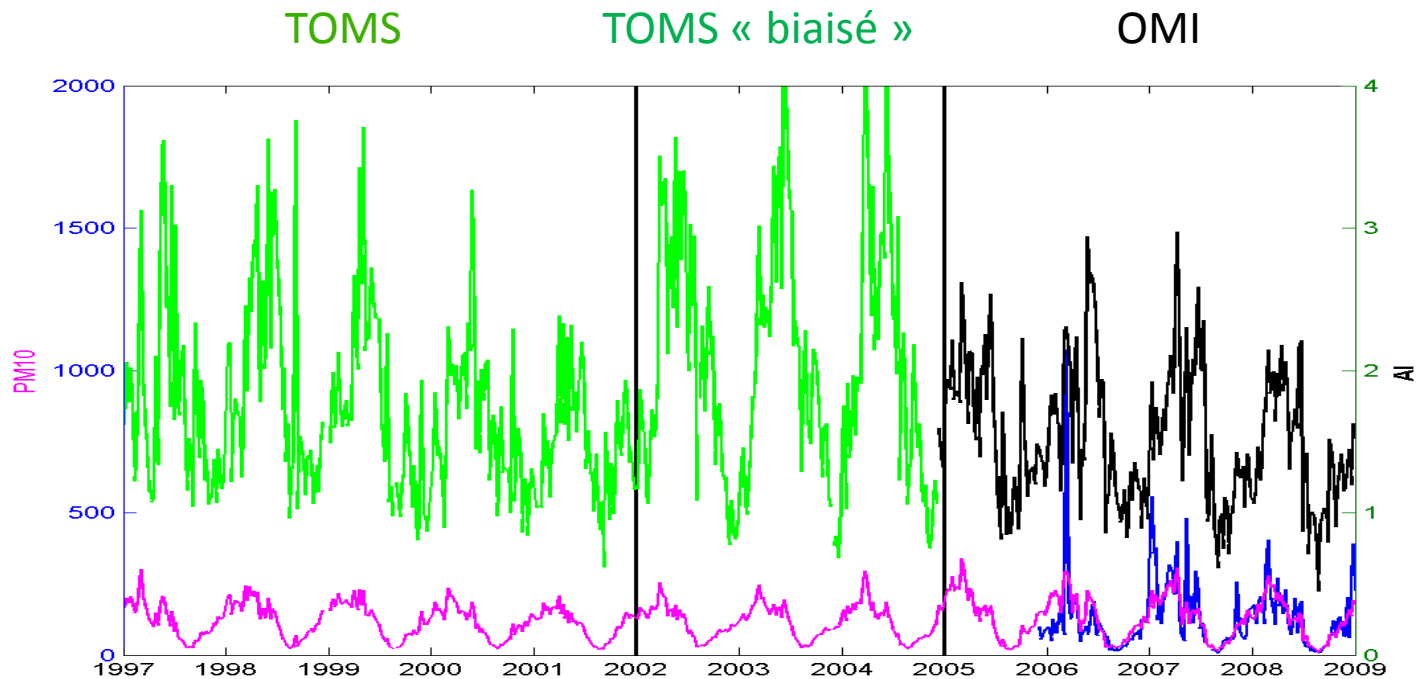


- On note une variation saisonnière du rapport
- Supposer ce biais systématique permet de « corriger » l'AI



Série temporelle AI et concentration

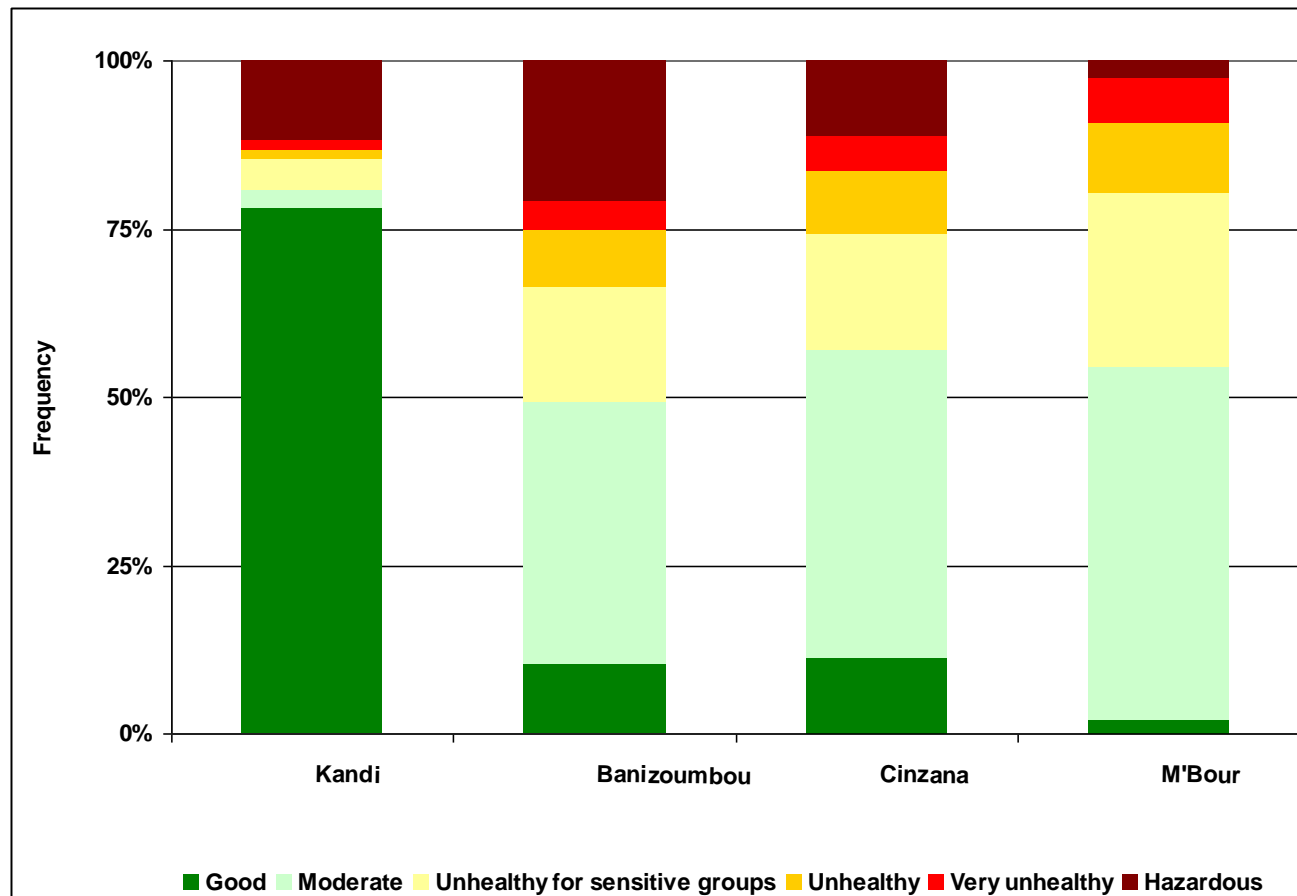
- Raccorder les séries des capteurs TOMS et OMI
- Corriger le biais instrumental TOMS 2002-2004
- Corriger du biais saisonnier AI/concentration
= Produire un proxy des concentrations





Impact sur la qualité de l'air

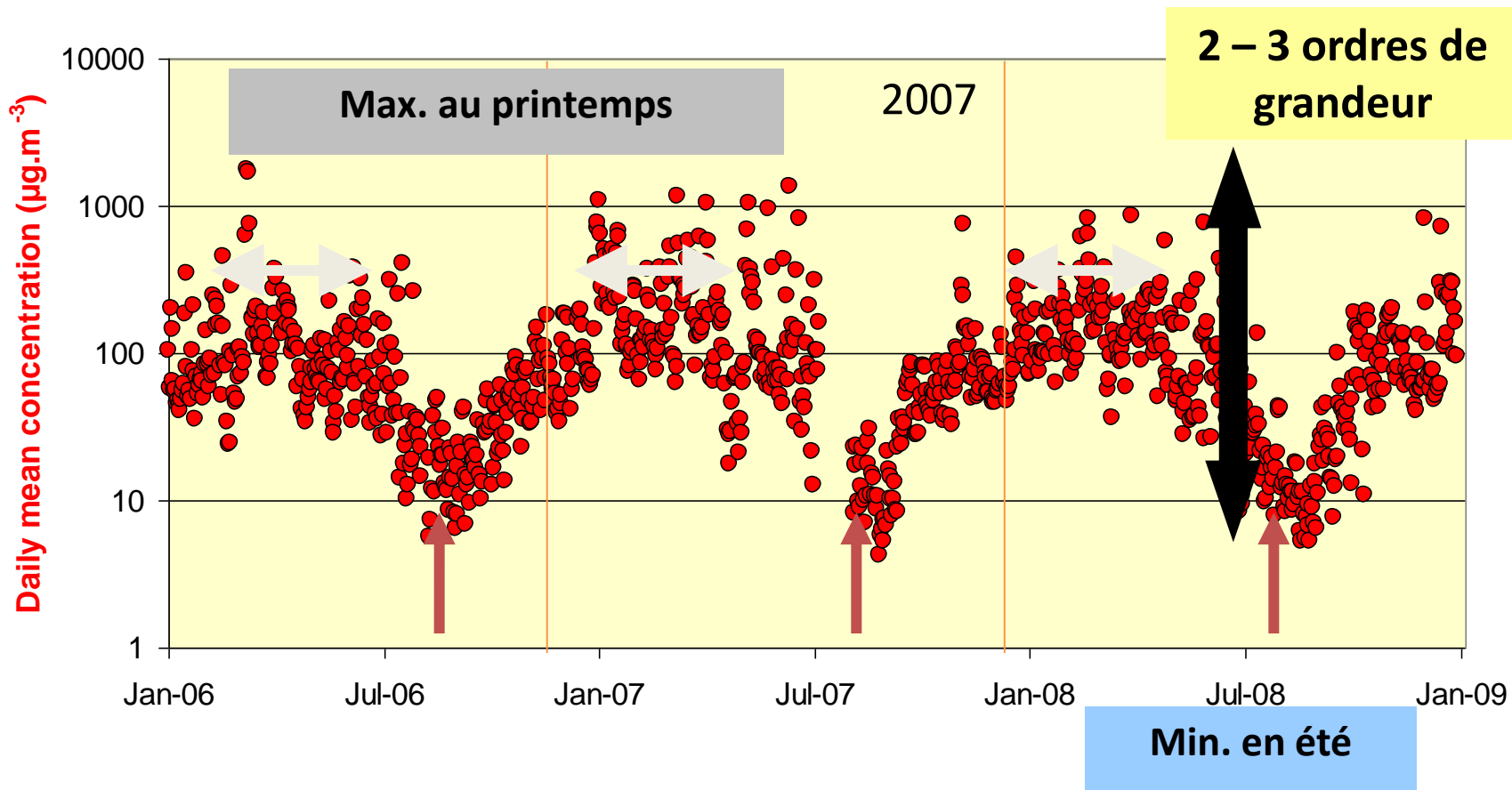
Indices de Qualité de l'Air (US EPA, 1999) calculés en fonction des concentrations mesurées sur les stations SDT et estimées à partir de la visibilité horizontale au Bénin.





Concentrations journalières

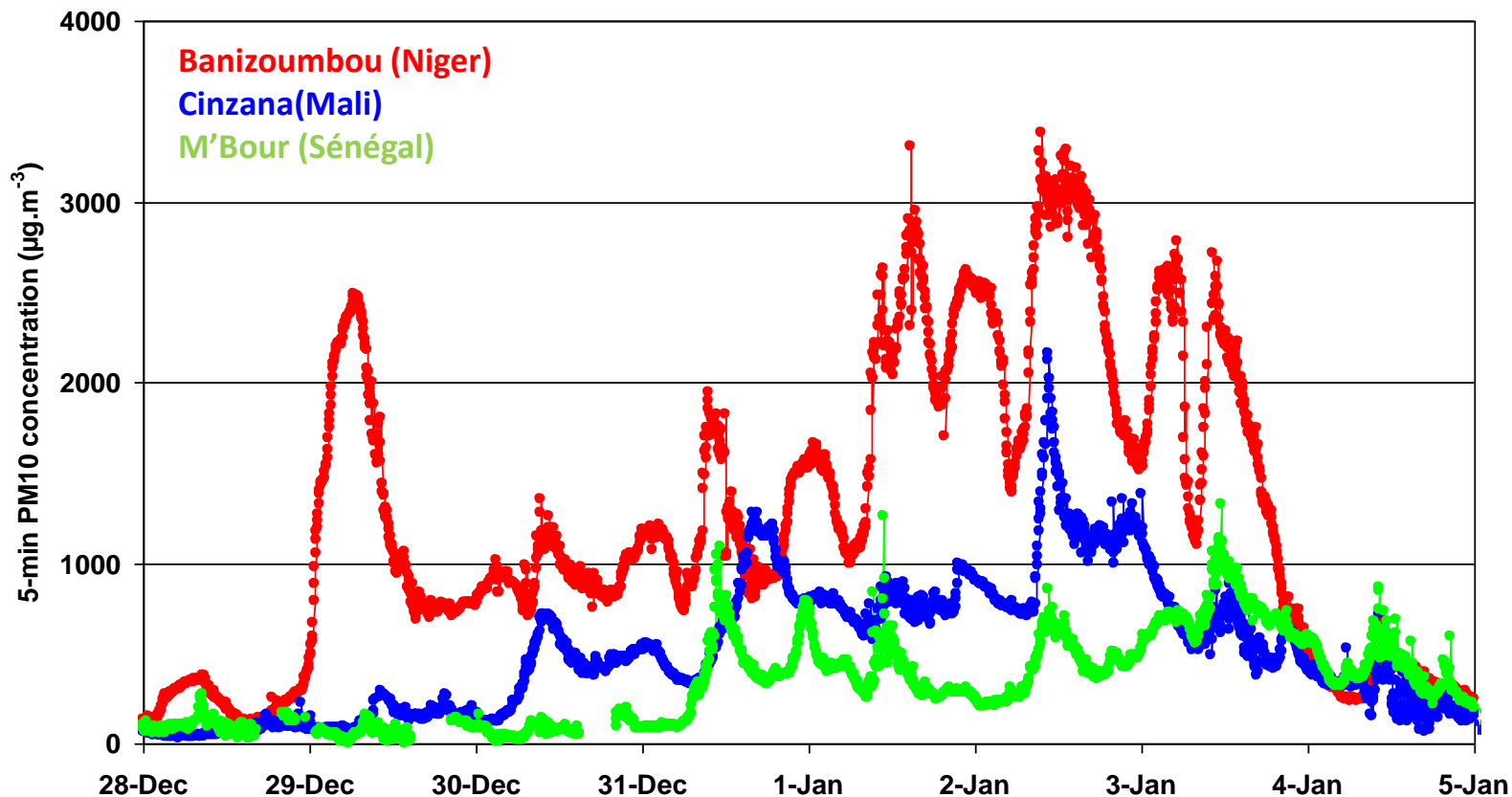
Cinzana, Mali





Des évènements d'échelle continentale

Concentration en PM10 aux trois stations
Decembre 2006 – Janvier 2007

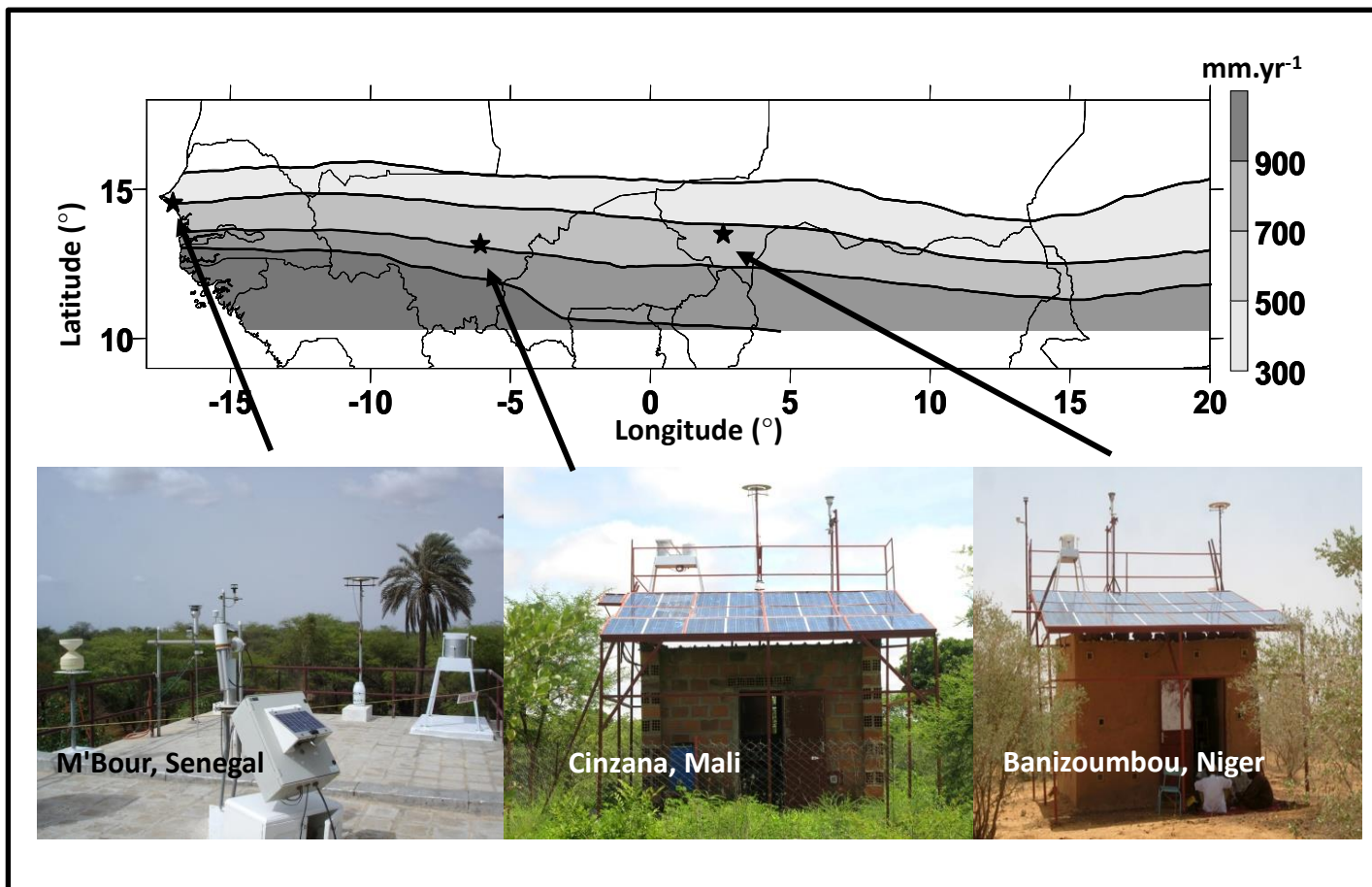


⇒ L'évènement est enregistré successivement aux trois stations pendant ~6 jours = une tempête d'échelle continentale



Le Sahelian Dust Transect

3 stations sur le principal trajet des poussières Sahariennes et Sahéliennes





Le Sahelian Dust Transect

Selection : simplicité et résistance à des conditions météorologiques “sévères”

TEOM



Concentration massique

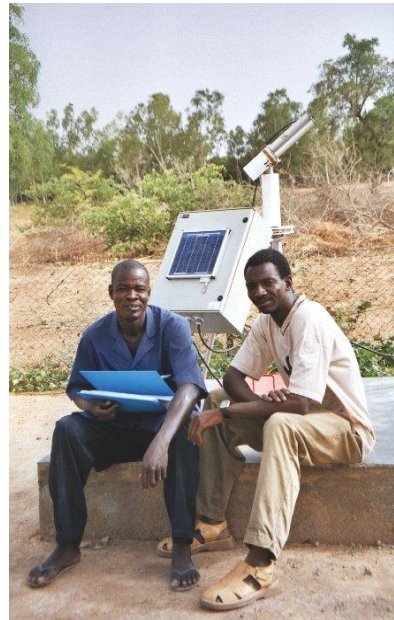
PM10 inlet



Meteorologie

- Vitesse de vent
- Direction de vent
- Temperature
- Humidité

AERONET/PHOTONS
photomètres solaires



Dépôt total et humide

