

Contributions relatives des aérosols minéraux et de feux sur la qualité de l'air en Euro-Méditerranée

Stavros Stromatas

(stavros.stromatas@lmd.polytechnique.fr)

**Laboratoire de Météorologie Dynamique, IPSL, CNRS
Ecole Doctorale de l'Ecole Polytechnique**



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



Plan de la présentation

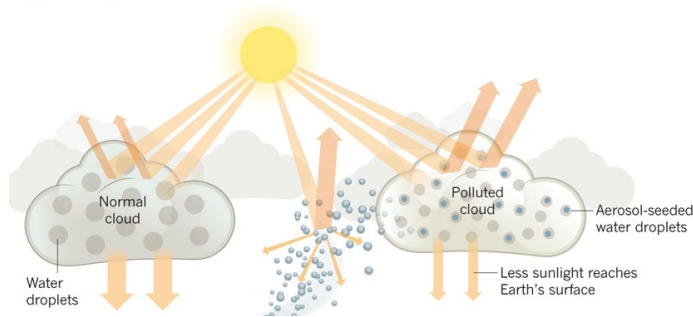
- 1. Contexte général de cette thèse**
- 2. Observations des aérosols - Analyse de la variabilité interannuelle des aérosols en Euro-Méditerranée**
- 3. Analyse couplée d'observations – modélisation: OPTSIM**
- 4. Impact relatif des aérosols minéraux et de feux sur la qualité de l'air en Euro - Méditerranée : l'été 2007**

1. Contexte général

La pollution atmosphérique particulaire

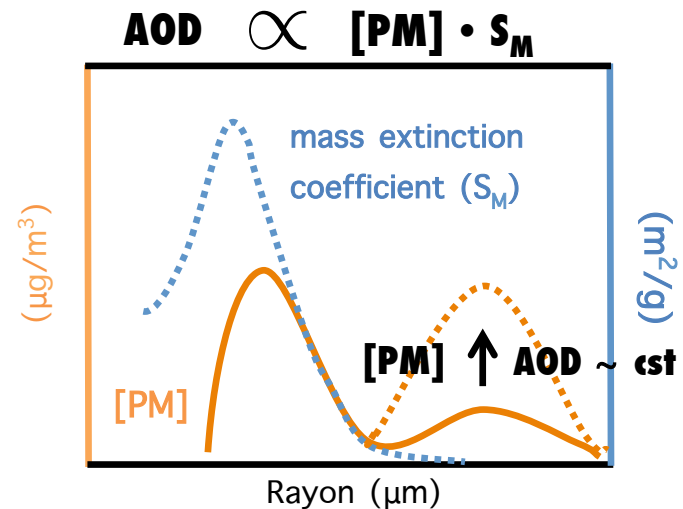
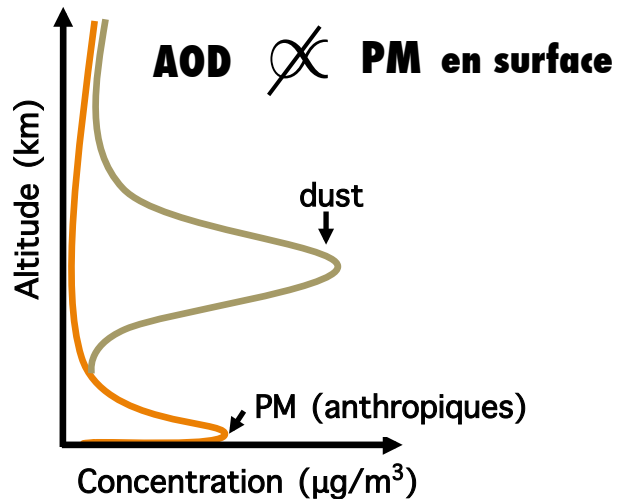
Impacts de la pollution atmosphérique:

- **Echelle régionale/globale: Climat (effet radiatif direct/indirect)**
- **Echelle locale/régionale: Qualité de l'air (santé humaine, visibilité, photochimie)**



Quantification des aérosols atmosphériques:

- **Mesures de concentration en particules (PM) près de la surface**
- **Mesures par télédétection (e.g. épaisseur optique des aérosols - AOD)**



La pollution atmosphérique particulaire

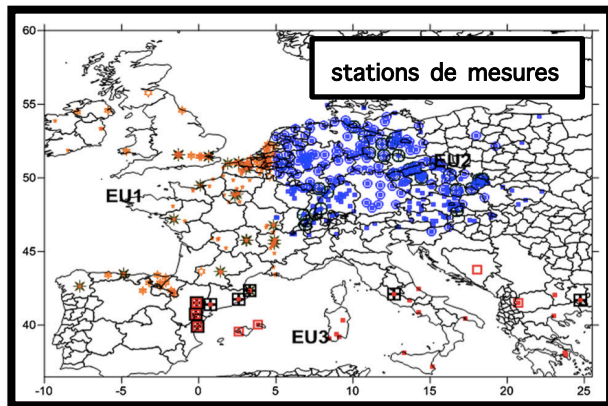
Outils à notre disposition:

- Observations (en surface, in situ, satellitaires)
- Modèles de chimie-transport (CTM)

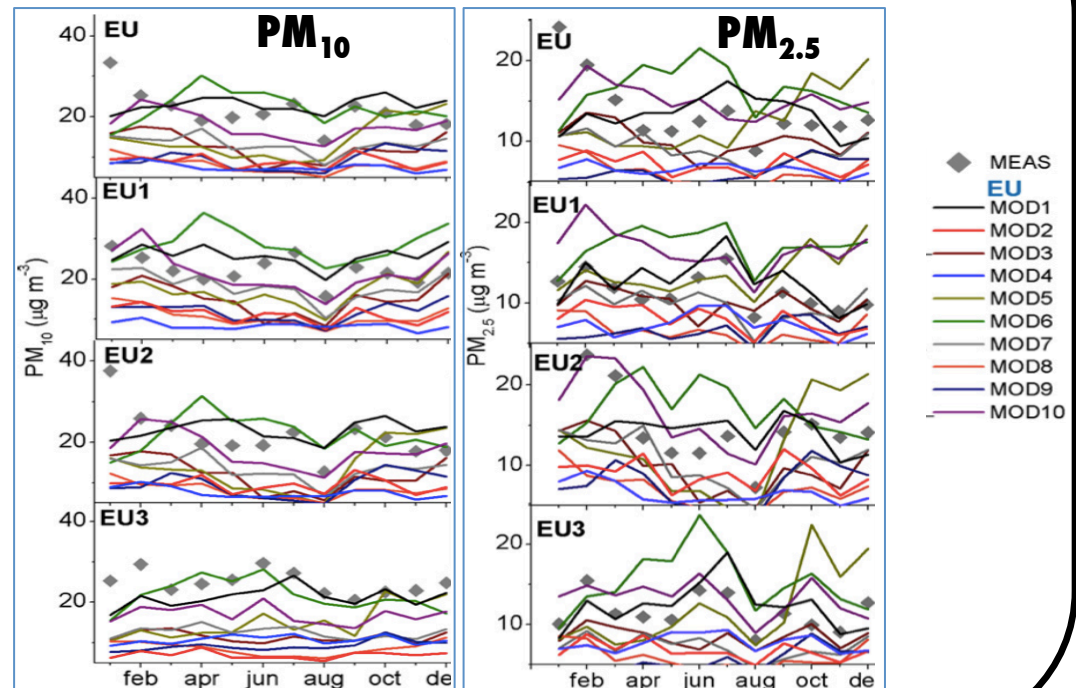
INTERCOMPARAISON DE 10 MODELES EN EUROPE

Concentration moyenne mensuelle (2006)

Air Quality Model Evaluation
International Initiative (AQMEII)

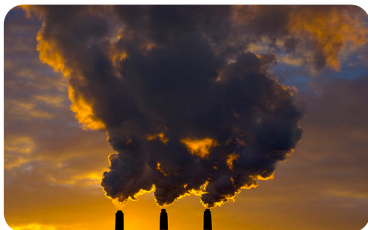
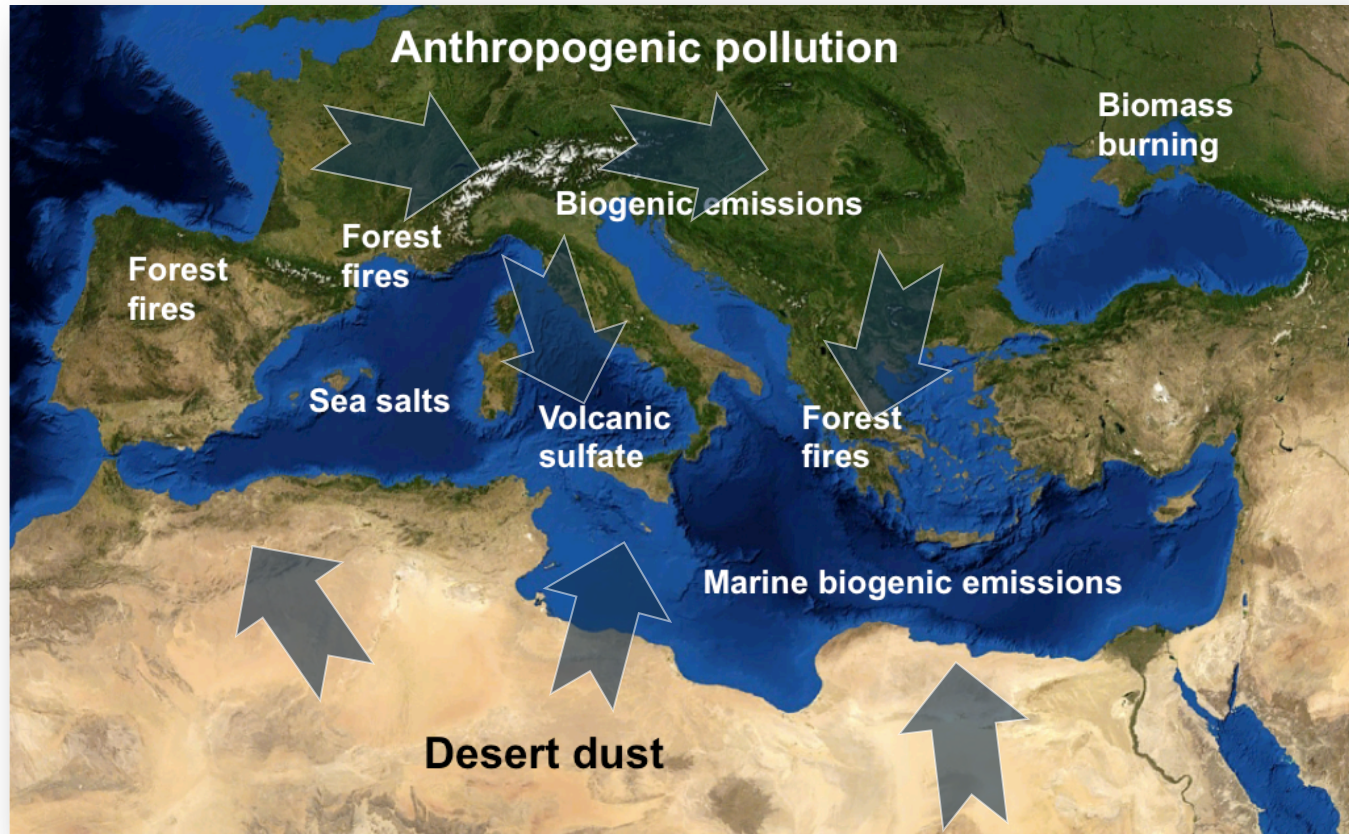


(Solazzo et al., 2012)

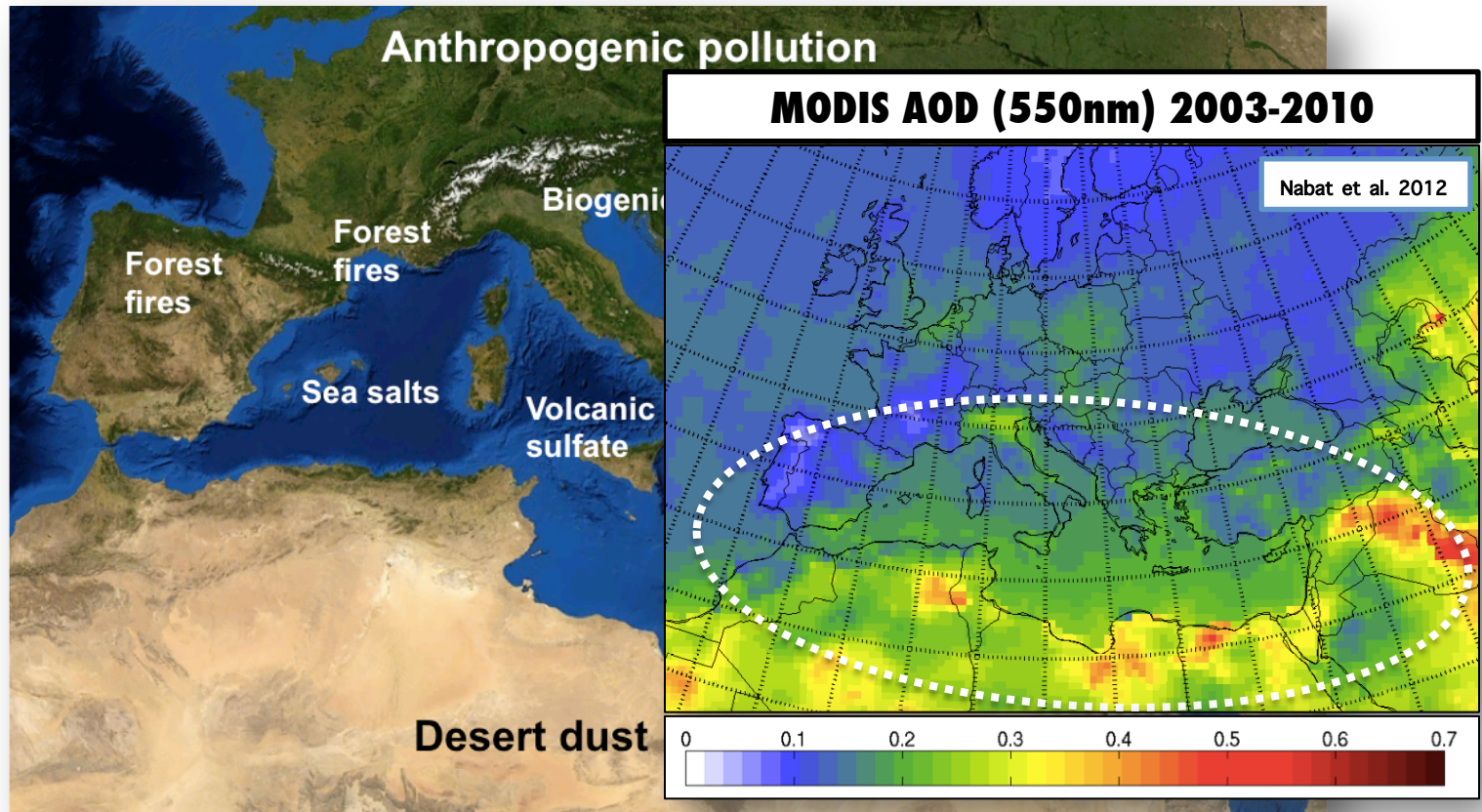


Un type de pollution atmosphérique significatif mais encore mal connu !

La région Euro-Méditerranéenne



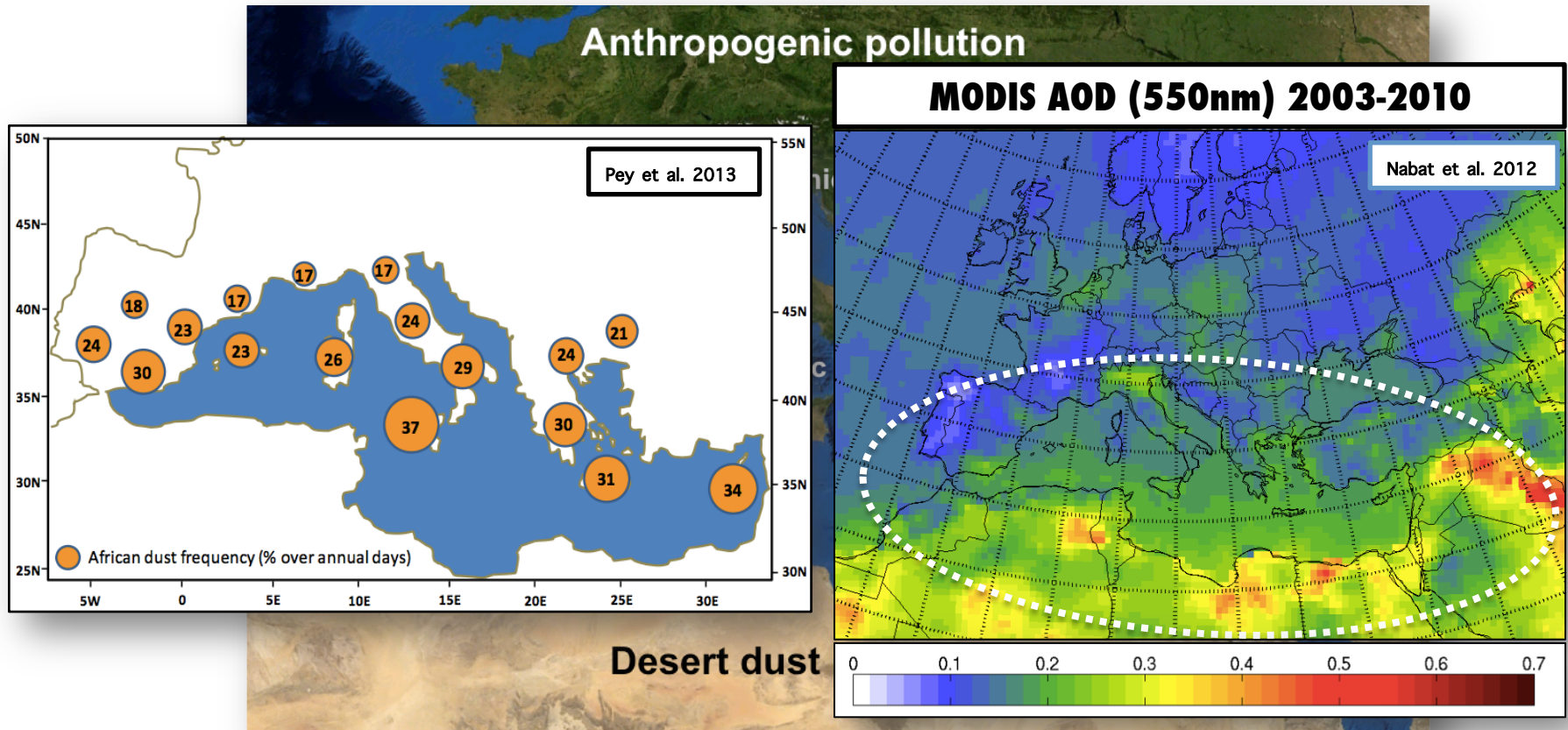
La région Euro-Méditerranéenne



PM₁₀ , PM_{2.5} :

- **Valeur moyenne annuelle significativement plus élevée au sud de l'Europe** (Putaud et al. 2010)
- **Gradient croissant ouest-est et nord-sud le long du bassin Méditerranéen** (Querol et al. 2009)

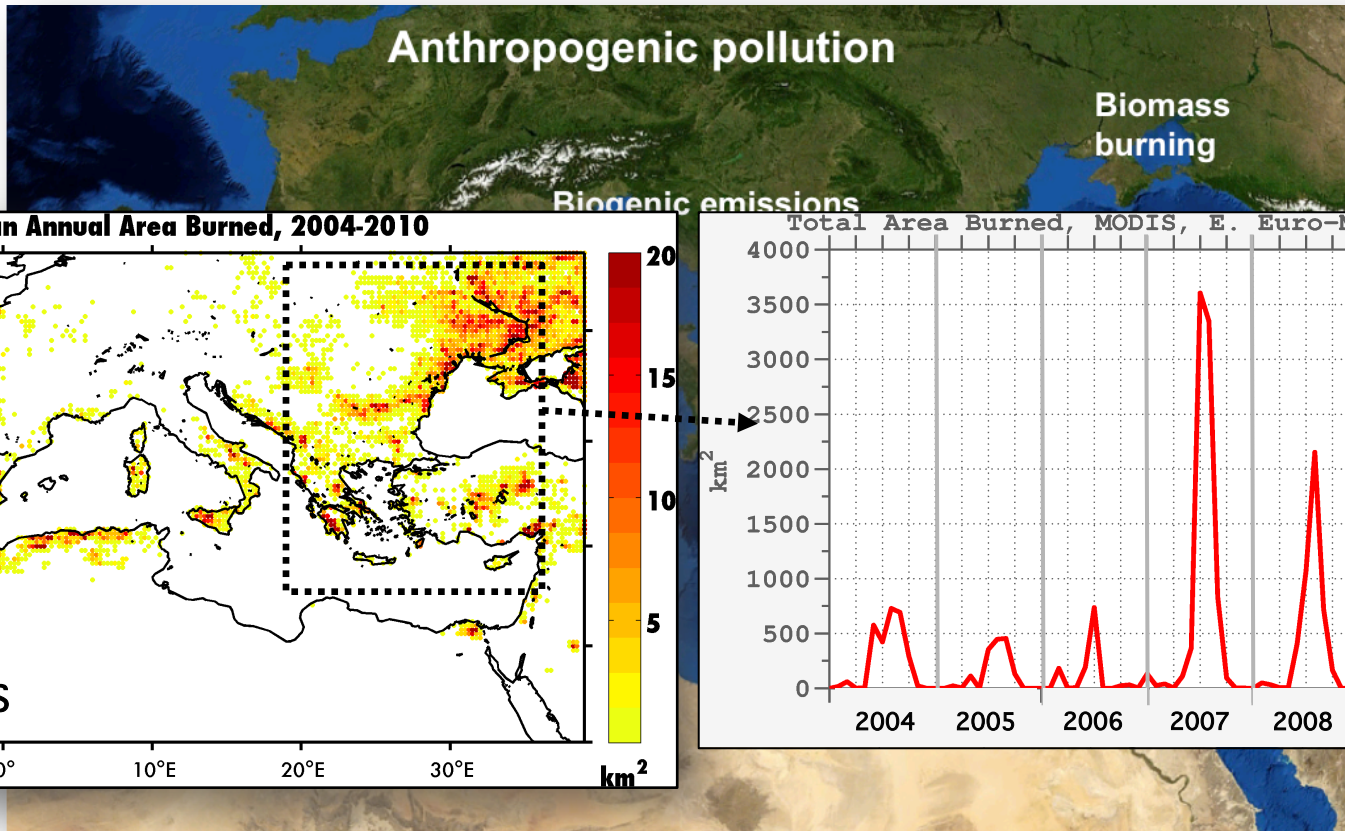
La région Euro-Méditerranéenne



Poussières minérales (dust) :

- **Source d'aérosols dominante dans la région d'étude** (e.g. Pey et al., 2013)
- **15 – 30 forts épisodes (1-3 jours) / an** (e.g. Barkan et al., 2005; Meloni et al., 2007)
- **Saisonnalité : A l'ouest pendant l'été, à l'est du bassin au printemps**

La région Euro-Méditerranéenne



FEUX :

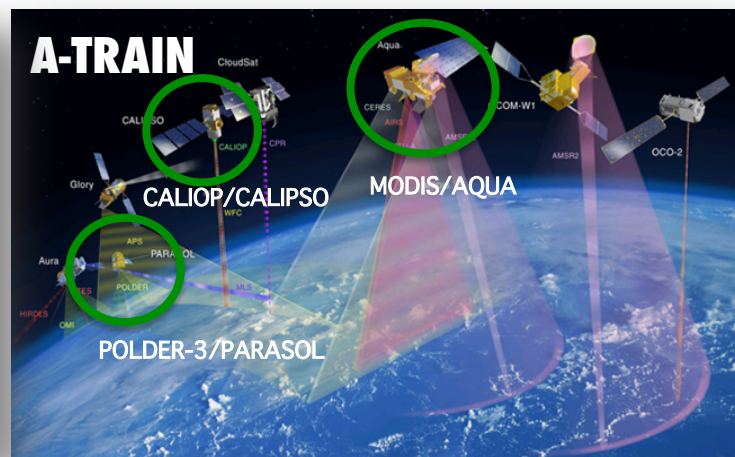
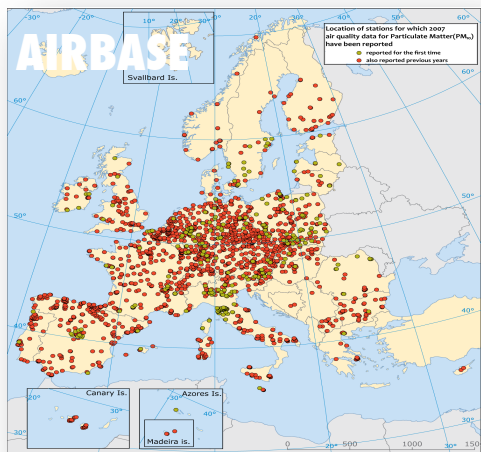
- Les régions au sud de l'Europe particulièrement affectées
- Incendies surtout pendant la saison estivale sèche.

Objectifs

- **Quelle est la variabilité spatiale et temporelle des particules dans la région d'étude ?**
- **Quel est l'impact relatif des émissions d'aérosols minéraux et des feux de forêt sur le bilan de pollution particulaire et sur les dépassements du seuil de pollution ?**
- **Quelle est la contribution de chaque espèce chimique (e.g. carbone organique, poussières minérales) ?**
- **Quel est le rôle du transport à longue distance sur le budget local et régional de pollution ?**

2. Observations des aérosols atmosphériques

Observations des aérosols atmosphériques



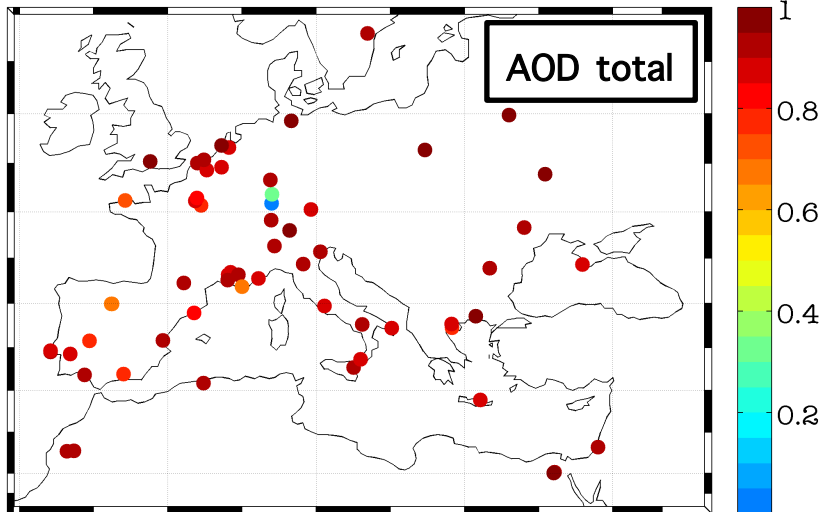
- **Mesures de concentration des PM près de la surface (AIRBASE)**
- **Données de télédétection (AERONET, A-TRAIN)**

Produit	Information	AERONET $\lambda = 500, 870 \text{ nm}$	MODIS $\lambda = 550 \text{ nm}$	PARASOL $\lambda = 865 \text{ nm}$	CALIPSO $\lambda = 532, 1064 \text{ nm}$
AOD	Quantité	✓	✓	✓	✓
Angström	Taille	✓	✓	✓	✓
Distribution en Volume	Taille	✓			
Rapport de diffusion	Quantité, Structure verticale				✓
Rapport de couleur	Taille				✓

Quelle variabilité inter-instrumentale ?

AERONET vs MODIS, PARASOL

AERONET vs MODIS: Corrélation

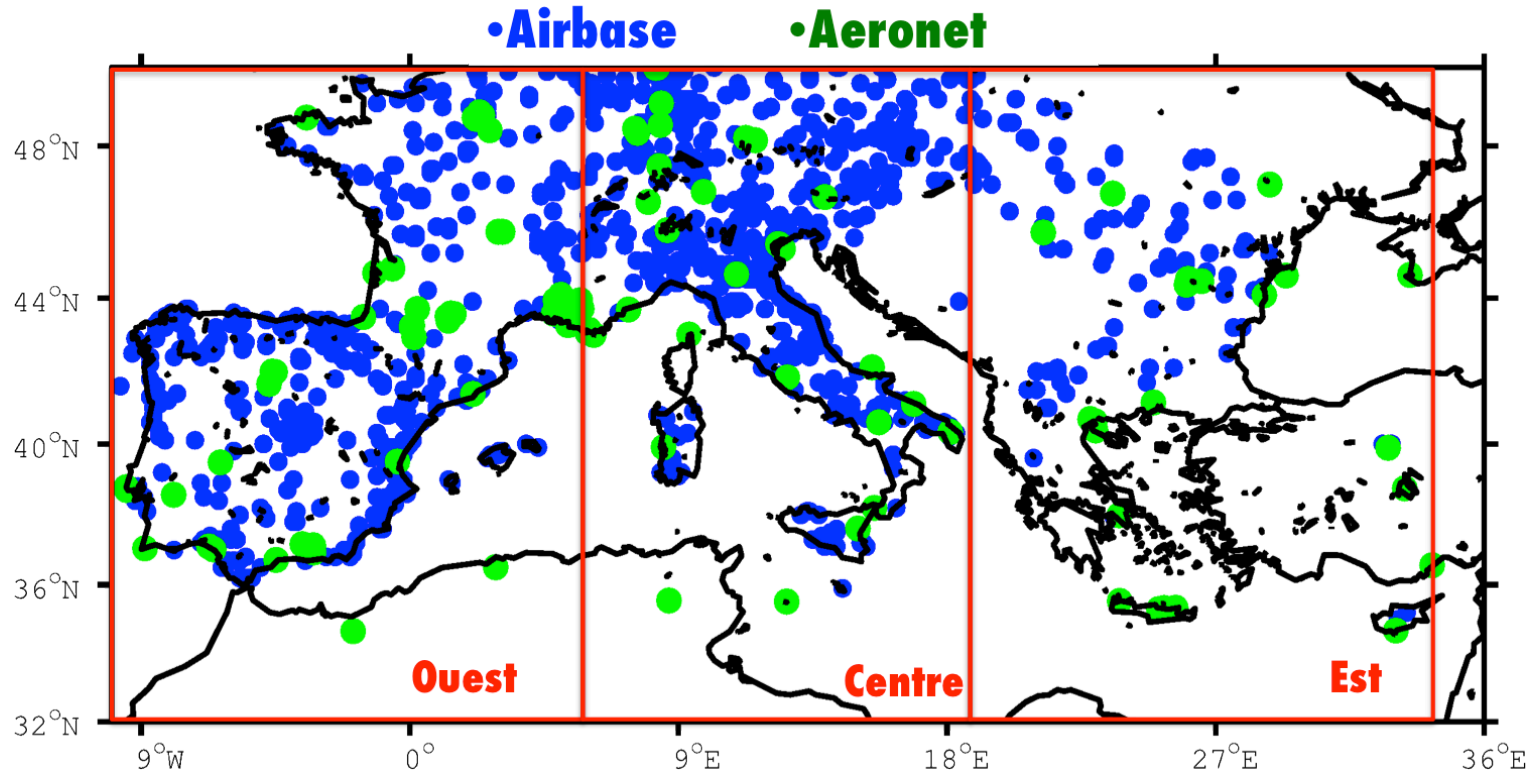


Corrélation

	AOD total	AOD mode fin
Au dessus du continent		
MODIS	0.82	0.73
PARASOL	N/A	0.78
Au dessus de la mer		
MODIS	0.88	0.61
PARASOL	0.82	0.64

- **Bonne qualité des mesures, validation de la cohérence entre les différents capteurs**
- **AOD totale: très bonne corrélation ($R > 0.8$)**
- **AOD mode fin: corrélation bonne mais plus faible (0.6 - 0.8)**

Analyse des observations: Variabilité interannuelle des aérosols (2004-2010)



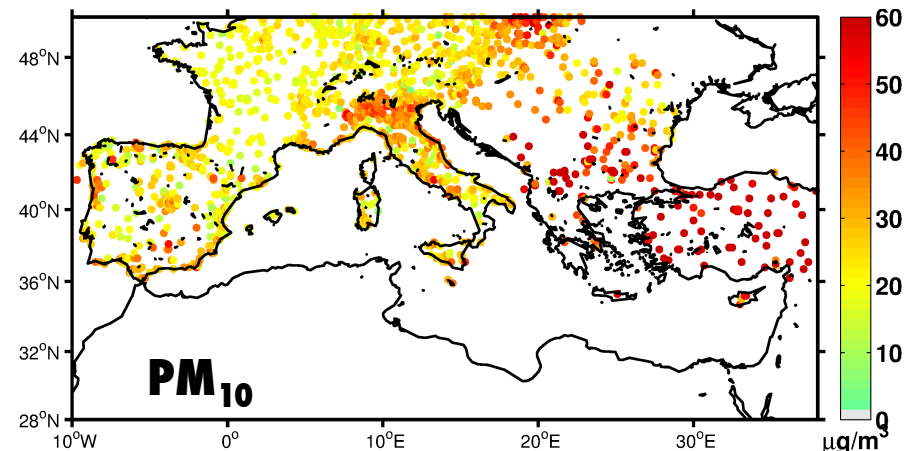
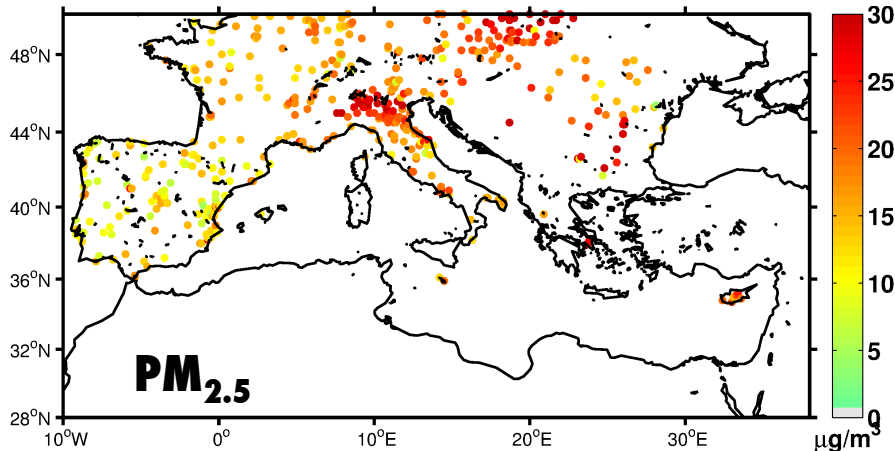
- **Concentrations de fond pour les aérosols ?**
- **Zones systématiques de valeurs extrêmes ?**
- **Variabilité spatiale et temporelle ?**

Variabilité spatiale des aérosols (AIRBASE)

Normes européennes (directive 2008/EC/50) pour les particules:

- **PM₁₀ < 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (seuil annuel)**
- **PM₁₀ < 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (seuil journalier à ne pas dépasser plus de 35 fois/an)**
- **PM_{2.5} < 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (seuil annuel)**

Concentration moyenne de PM (2004-2010)



Concentration :

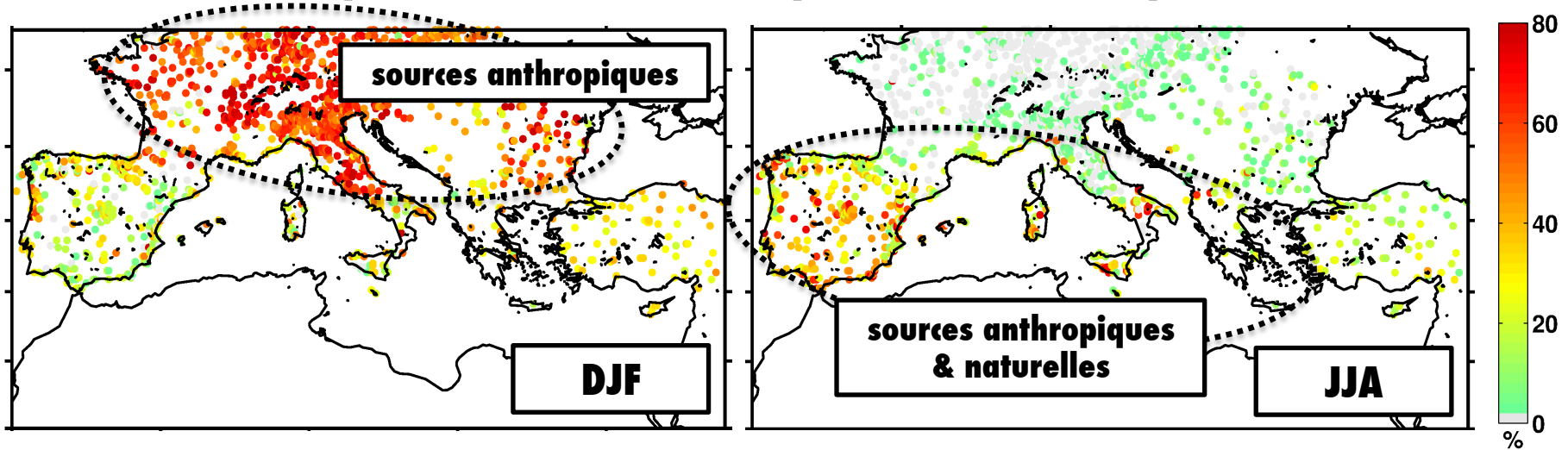
- **Au dessus des seuils de pollution au Nord de l'Italie (plaine du Pô) et en Europe de l'Est**
- **En dessous des seuils de pollution à l'ouest**

Taille (Origine) :

- **Domaines centre et est: Petites particules (pollution anthropique)**
- **Domaine ouest: Prédominance de grosses particules (dust)**

Variabilité saisonnière des niveaux de pollution

% de dépassements du seuil de pollution observés par saison



Il n'y a jamais de régions sans dépassement des seuils en Europe:

- **En hiver (DJF) – pollution anthropique au nord**
- **En été (JJA) – pollution naturelle au sud**
- **Printemps, Automne – Pas de tendance marquée**

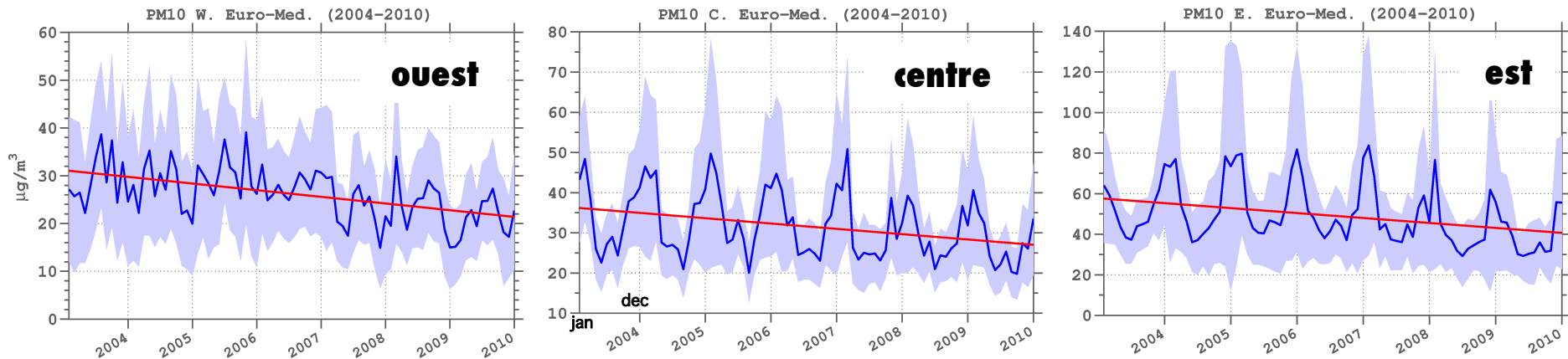
Quantification de l'impact relatif de chaque source de pollution ?

Variabilité interannuelle des $PM_{2.5}$ et PM_{10}

Grande diversité de typologie des stations en fonction des sous-domaines :

- **Ouest** : équilibre entre les stations allant de urbaine à rurale,
- **Centre** : la majorité des stations sont de type urbain et péri-urbain
- **Est** : Peu de stations rurales / de fond

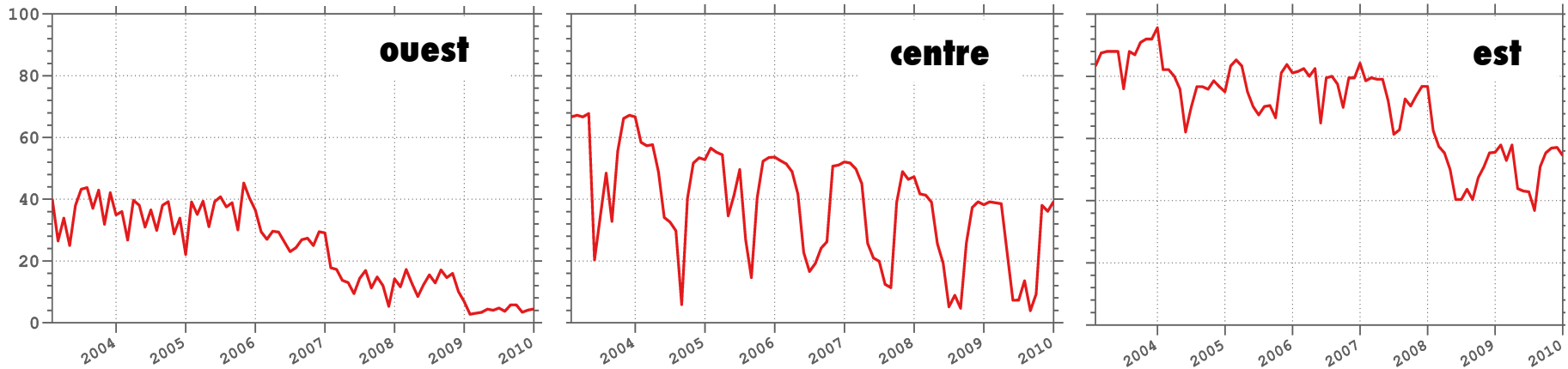
Concentration moyenne mensuelle (PM_{10})



- **Tendance pluriannuelle à une baisse des concentrations**
- **Cycle saisonnier très marqué pour les domaines « centre » et « est »**

Variabilité interannuelle des dépassements

dépassements / observations (en %) – PM10

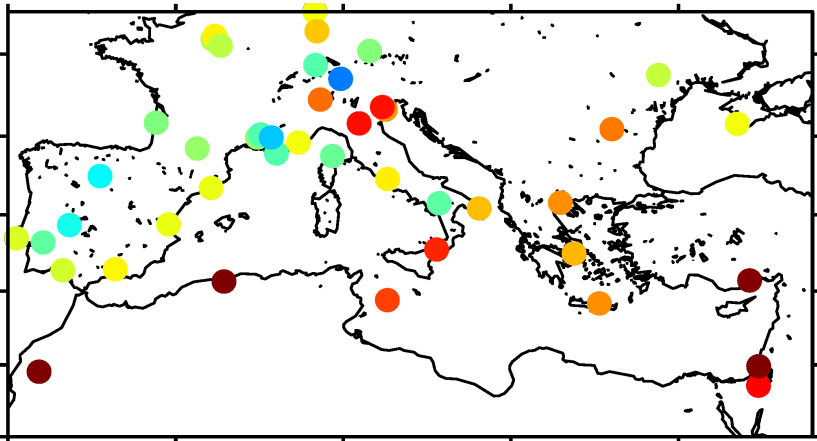


Tendance pluriannuelle à une baisse des dépassements

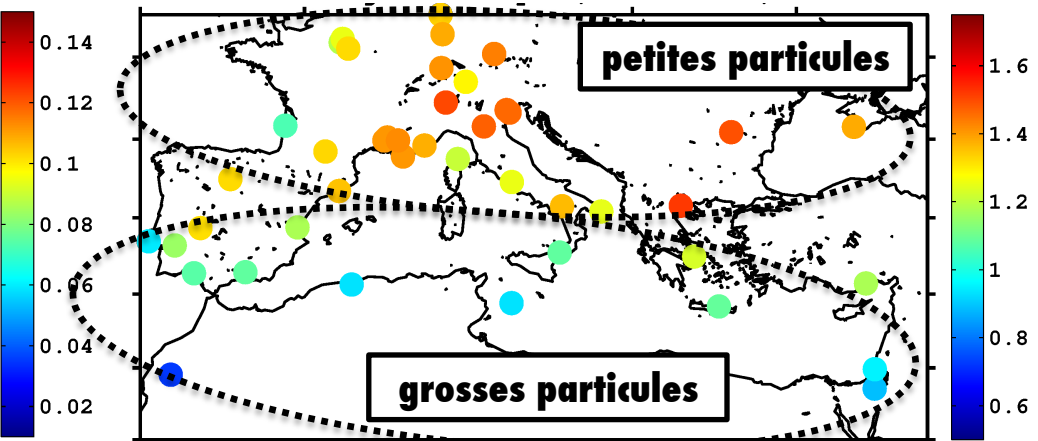
- **Domaine « ouest » : de 40% à moins de 10%**
- **Domaine « centre » : > 40% en hiver, 10-20% en été pour le domaine « centre »**
- **Domaine « est » : de 90% à 50%**

Mesures AERONET moyennées sur la période 2004-2010

AOD (870 nm)



Coeff. D'Angström (440-870 nm)



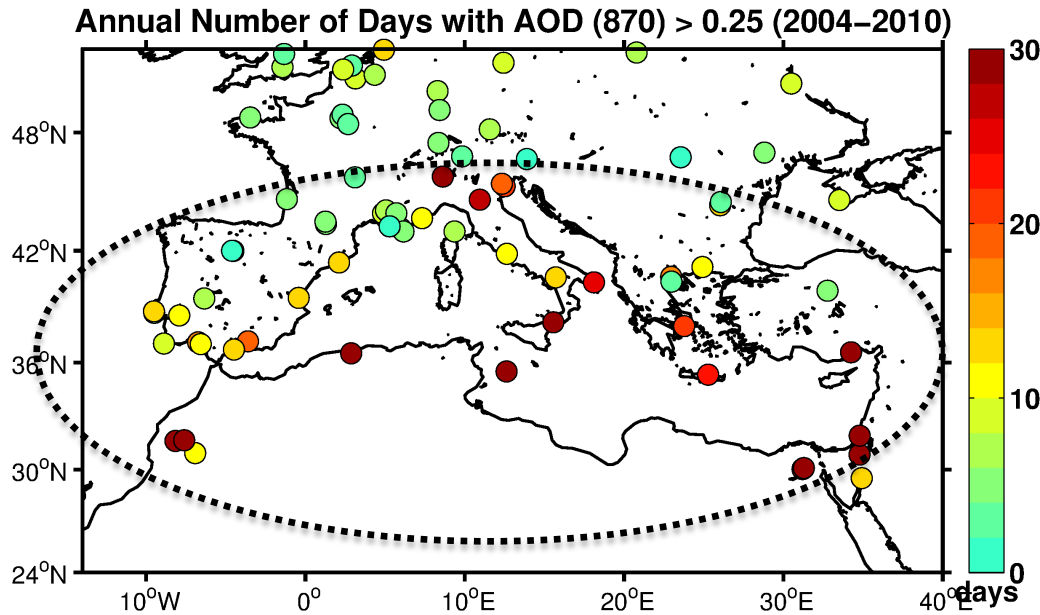
AOD (quantité)

- Domaines centre, est: AOD > 0.1
- Domaine ouest: AOD < 1
- Afrique du nord: AOD > 0.15

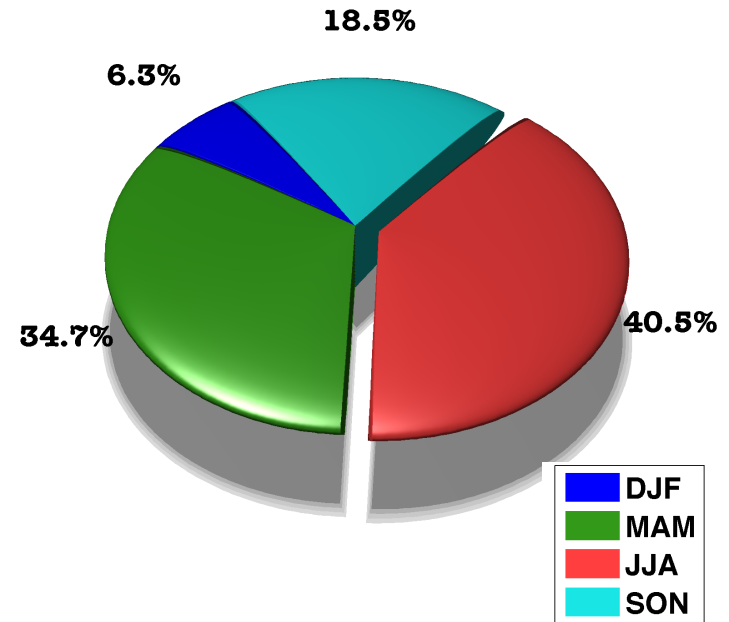
Coeff. d'Angström (taille)

- Gradient nord-sud très marqué:
 - $\alpha < 1.2$ au sud du domaine
 - $\alpha > 1.4$ au nord du domaine

Variabilité des valeurs maximales d'AOD



AOD (870nm) > 0.25 par saison



- **Jusqu'à 30 jours/an d'AOD > 0.25 autour du bassin Méditerranéen**
- **Les plus fortes valeurs d'épaisseur optique sont observées en été (40%) et au printemps (35%)**
- **Pas de tendance décroissante pour l'AOD**

Analyse des observations: synthèse

- **Concentration en surface (AIRBASE) :**

- **Tendance à une baisse des concentrations/dépassements du seuil de pollution près de la surface**
- **Concentrations plus fortes en Europe du nord pendant l'hiver (pollution anthropique)**
- **Concentrations plus fortes autour du bassin pendant l'été (signature de dust - feux)**

- **Propriétés optiques (AERONET, MODIS):**

- **Les maxima d'épaisseurs optiques sont observés en été (pourtour Méditerranéen)**
- **Grosses particules en Europe du Sud, aérosols fins au nord de l'Europe**
- **Pas de tendance décroissante pour l'AOD**

- **Pas d'information sur la spéciation et l'origine des particules**
- **Différences entre concentrations massiques et épaisseurs optiques**

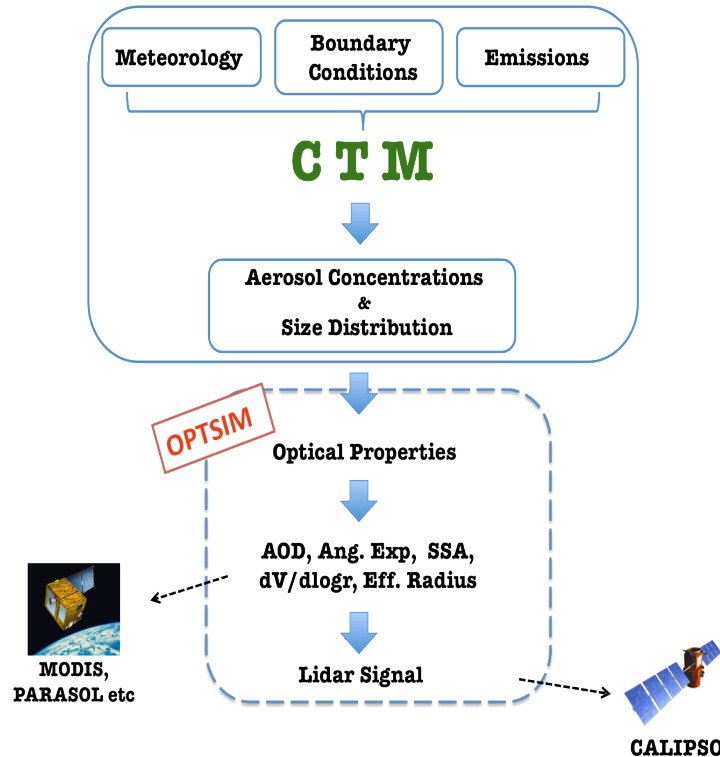


Analyse couplée d'observations & de modélisation

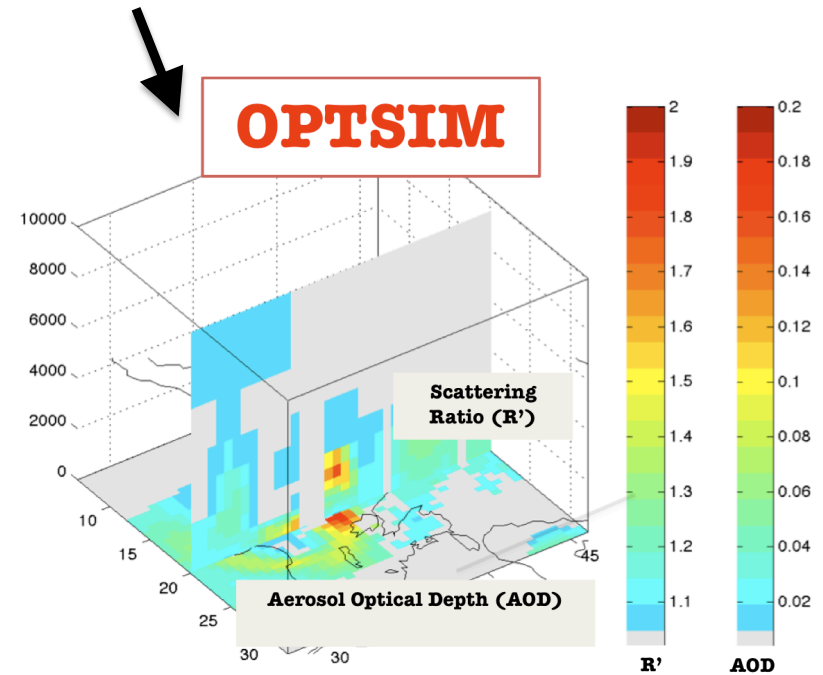
3. Analyse couplée d'observations et de modélisation

Analyse couplée d'observations - modélisation

Modèle de chimie-transport → **champs de concentration des polluants**
Téledétection → **paramètres optiques des aérosols**



**Besoin d'un outil
pour comparaisons directes**



Analyse 4D (x,y,z,t) des aérosols atmosphériques

Simulation du signal lidar

Valeur ajoutée : simulation de données lidar de niveau 1 (L1)

Mesures par télédétection: plusieurs niveaux d'observations disponibles

CALIOP $L0 \Rightarrow L1 \Rightarrow L2 \Rightarrow L3$

Données brutes

(Intensité du signal
rétrodiffusé)

**Données
géo-localisées
& étalonnées**

(rétrodiffusion atténuée)

**Propriétés optiques
des aérosols**

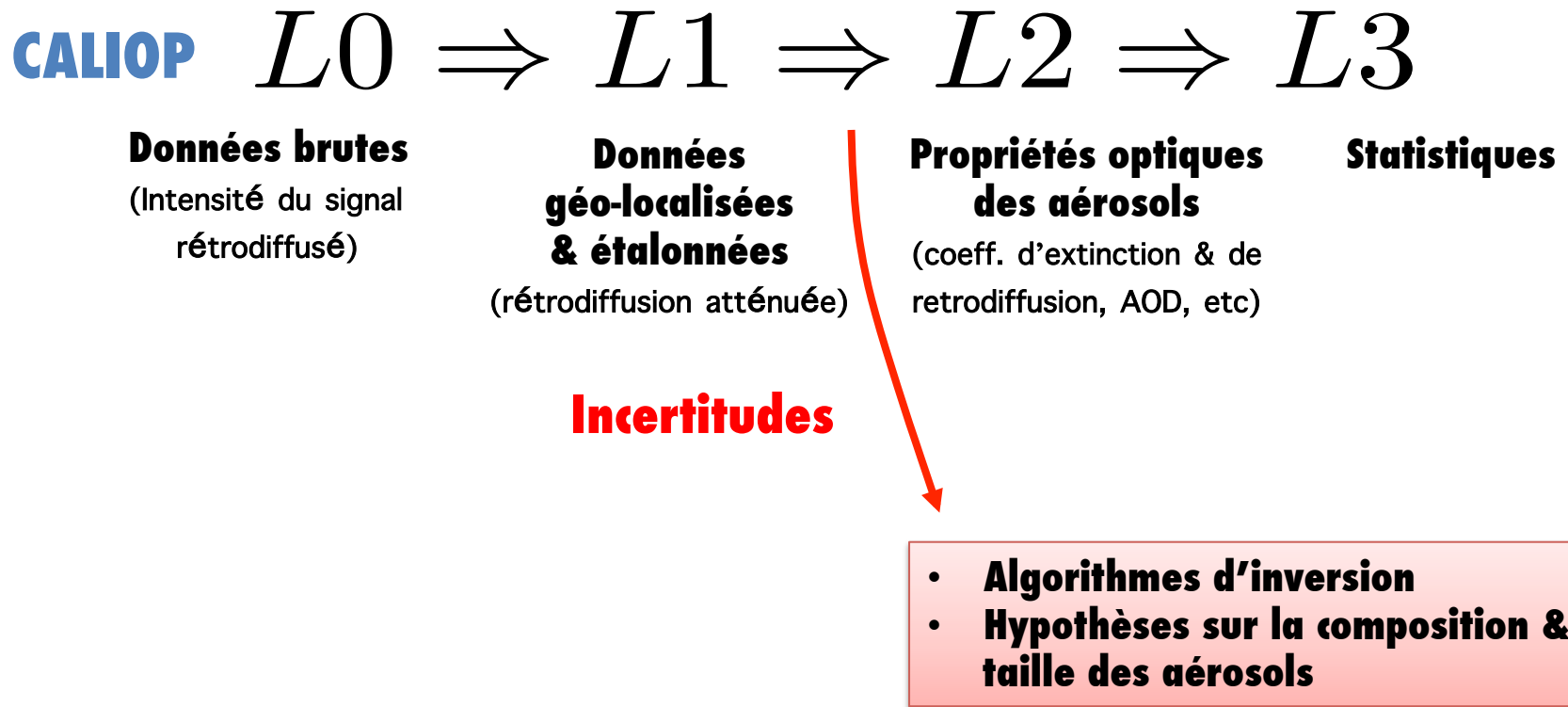
(coeff. d'extinction & de
retrodiffusion, AOD, etc)

Statistiques

Simulation du signal lidar

Valeur ajoutée : simulation de données lidar de niveau 1 (L1)

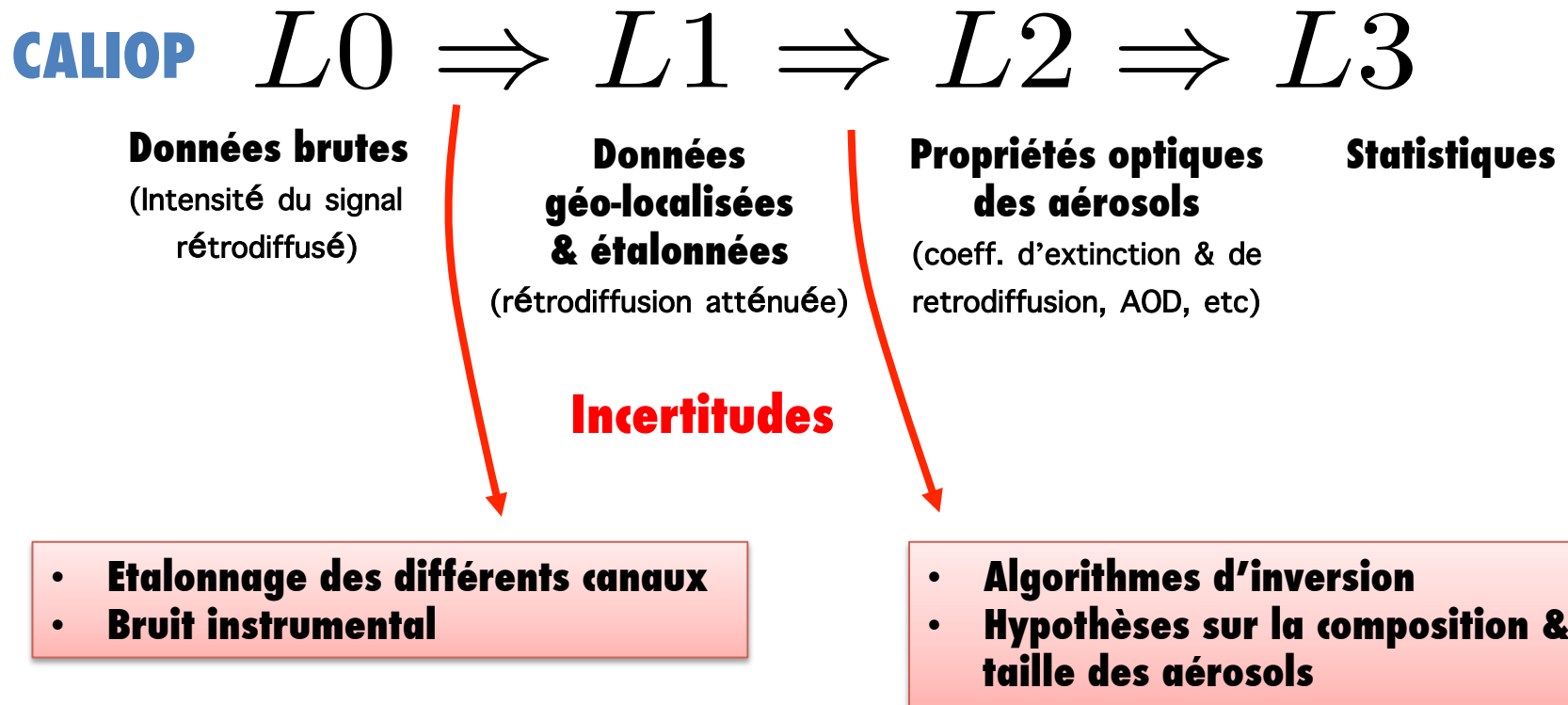
Mesures par télédétection: plusieurs niveaux d'observations disponibles



Simulation du signal lidar

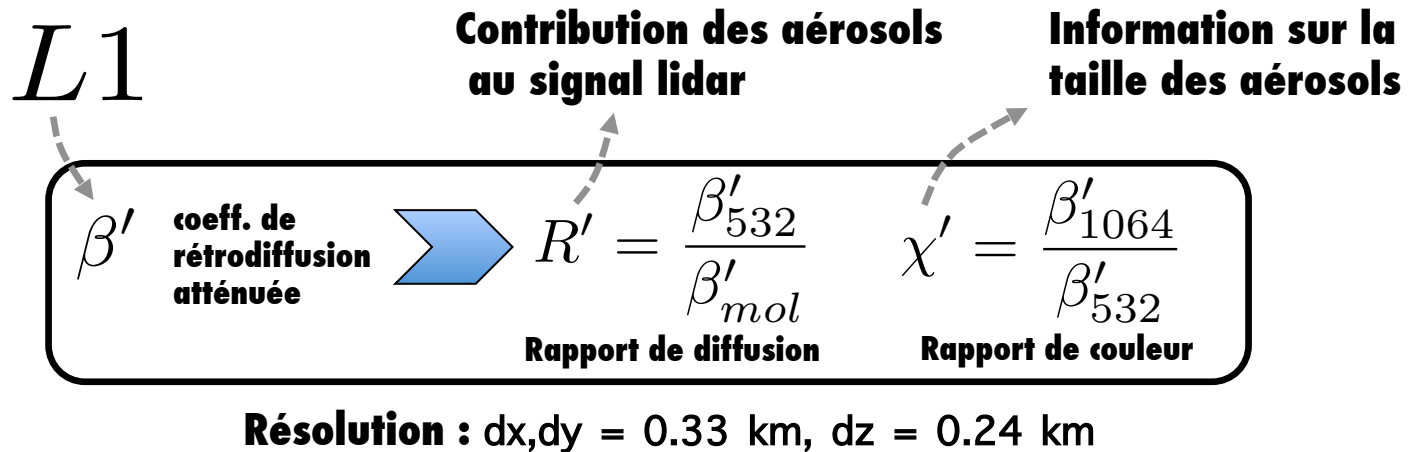
Valeur ajoutée : simulation de données lidar de niveau 1 (L1)

Mesures par télédétection: plusieurs niveaux d'observations disponibles



Simulation du signal lidar

Données L1 CALIOP



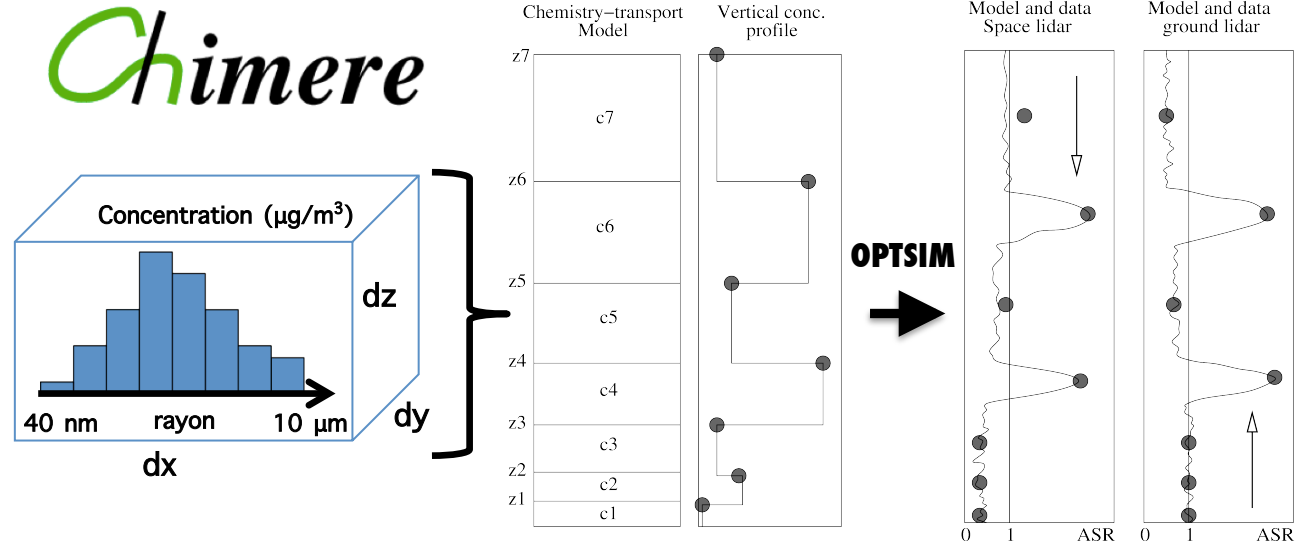
Forte contribution de nuages au signal reçu: besoin d'un filtre nuages

Application au modèle CHIMERE

<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

Espèces:

- **PPM**
- **Black Carbon**
- **Organic Carbon**
- **DUST**
- **SIA (NH_4 , NO_3 , SO_4)**
- **SOA**
- **SEA SALT**



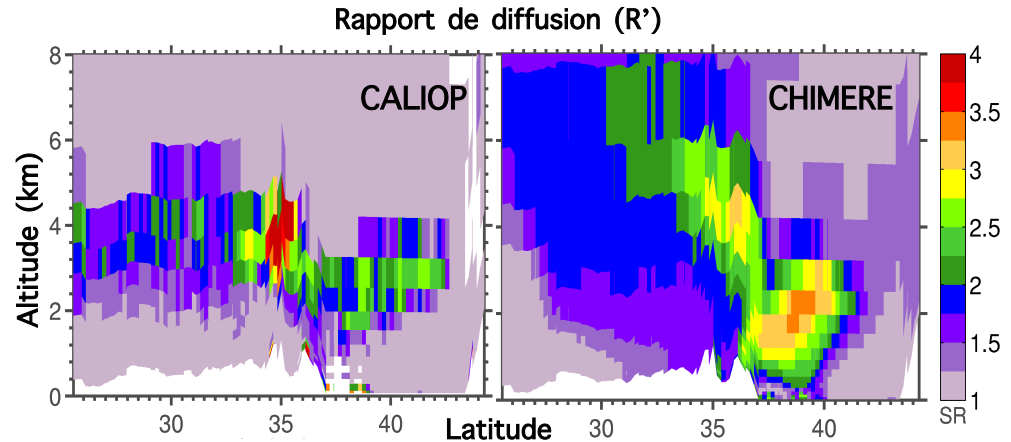
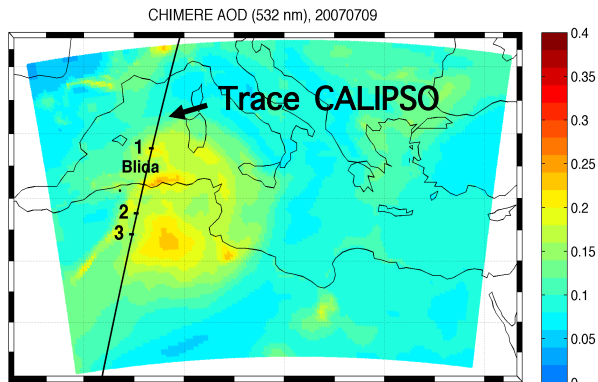
Configuration OPTSIM - Hypothèses

- **Type de mélange: homogène** ou « core-shell » (Péré et al., 2009)
- **Particules sphériques :**
 - Effet considérable pour le **DUST** (sous-estimation de R')
- **Diffusion multiple négligée :**
 - Critique pour les panaches denses ($\text{AOD} > 1$), petit biais positif pour R'

OPTSIM

CHIMERE + OPTSIM:

Analyse d'un évènement de transport des poussières minérales (9 juillet 2007)



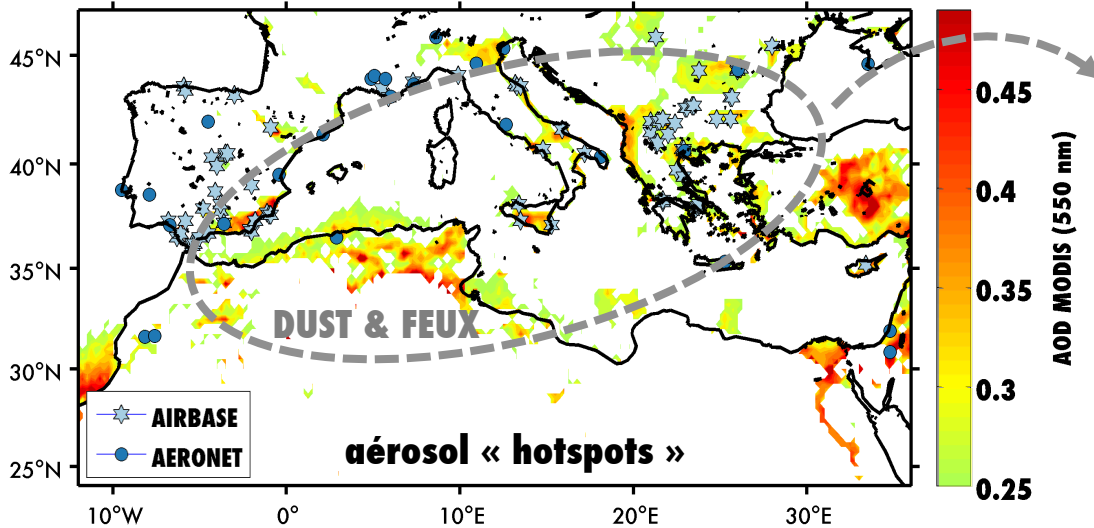
Stromatas et al., 2012

Evaluation des performances d'un modèle de chimie-transport:

- Emissions (AOD, R')
- Structure horizontal/vertical des aérosols - Transport
- Distribution en taille (α , χ') - composition chimique

4. Impact relatif des aérosols minéraux et de feux sur la qualité de l'air en Euro-Méditerranée : l'été 2007

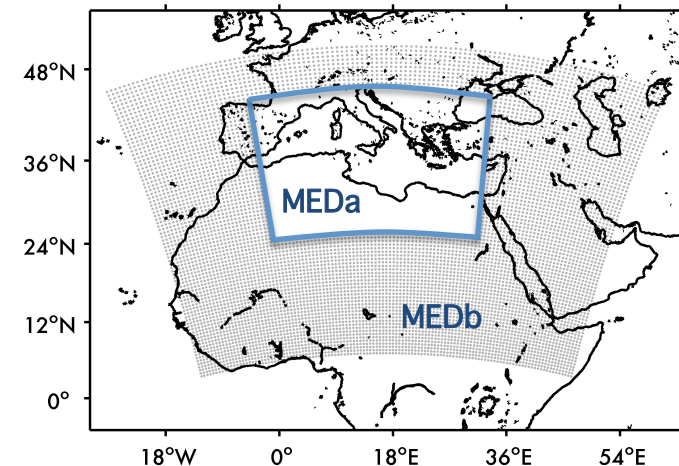
L'été 2007



- **FEUX:** Episodes extrêmes en Europe de l'est et en Grèce
- **DUST:** Eté typique (6 fortes épisodes)

Simulations CHIMERE : 31/05 – 02/09 2007

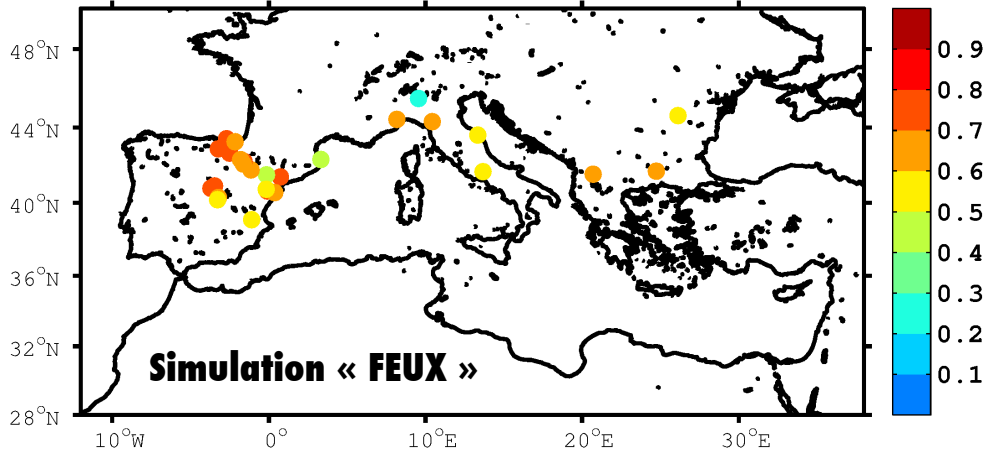
- **Météorologie :** WRF
- **2 domaines :**
 - **MEDa (60 km)** - échelle synoptique
 - **MEDb (20 km)** - échelle local
- **Résolution verticale:** 18 niveaux (surface - 200 hPa)
- **Emissions :** Anthro (EMEP), Bio (MEGAN), Dust, Feux
- **2 simulations :** « REF » (sans feux), « FEUX » (REF + feux)



Evaluation générale des simulations : CHIMERE vs AIRBASE - PM₁₀ , PM_{2.5}

- Stations rurales de fond**

Correlation [PM10], 20070531 – 20070902

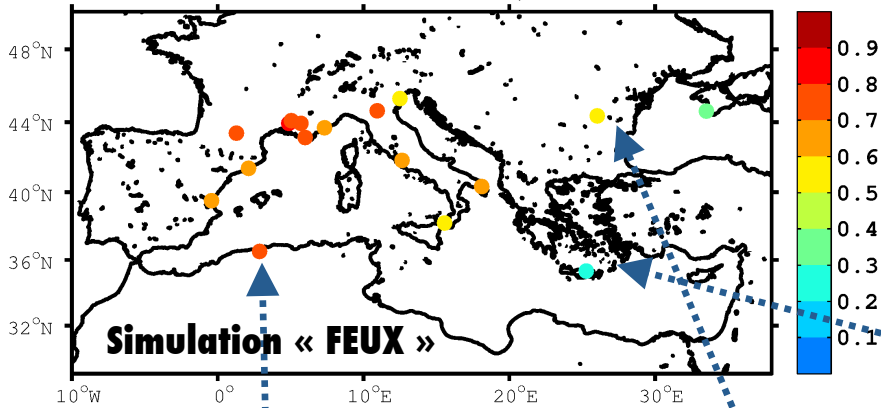


Biais positif :
Surestimation de resuspension / érosion locale
(Dust : jusqu'à +5 µg/m³ pour > 75% de cas)

	PM₁₀	REF	FEUX
Corrélation		0.56	0.63
Biais		10% (1 µg/m ³)	18% (2.9 µg/m ³)
	PM_{2.5}	REF	FEUX
Corrélation		0.52	0.58
Biais		9% (0.35 µg/m ³)	18% (1.7 µg/m ³)

Evaluation générale des simulations : CHIMERE vs AERONET

Correlation AERONET vs CHIMERE, 20070531 – 20070902

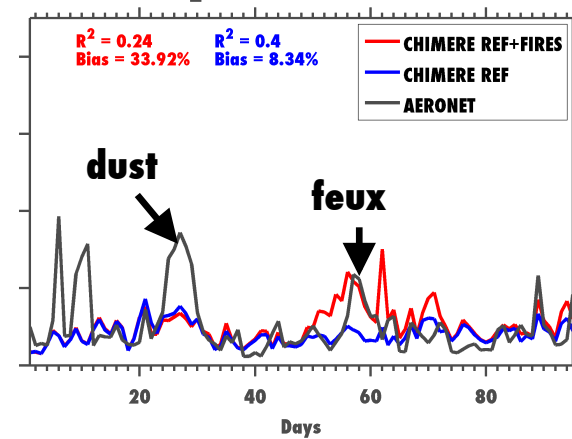
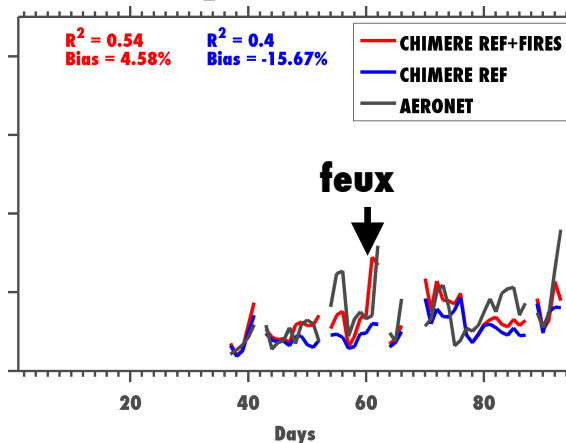
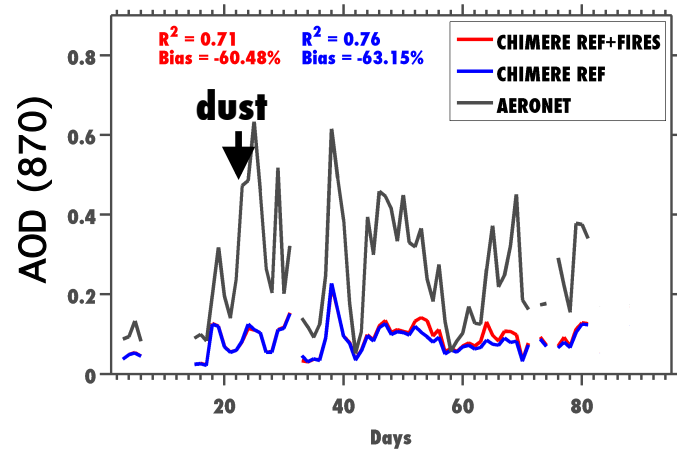


AOD	REF	FEUX
Corrélation	0.63	0.63
Biais	-20%	-14%

Bida 20070531 - 20070902

Bucharest_Inoe 20070531 - 20070902

FORTH_CRETE 20070531 - 20070902



- **Sous-estimation des pics d'AOD (épisodes dust)**
- **Niveaux de fond correctement simulés**
- **La taille de particules n'est pas simulée correctement**

Evaluation générale des simulations / région

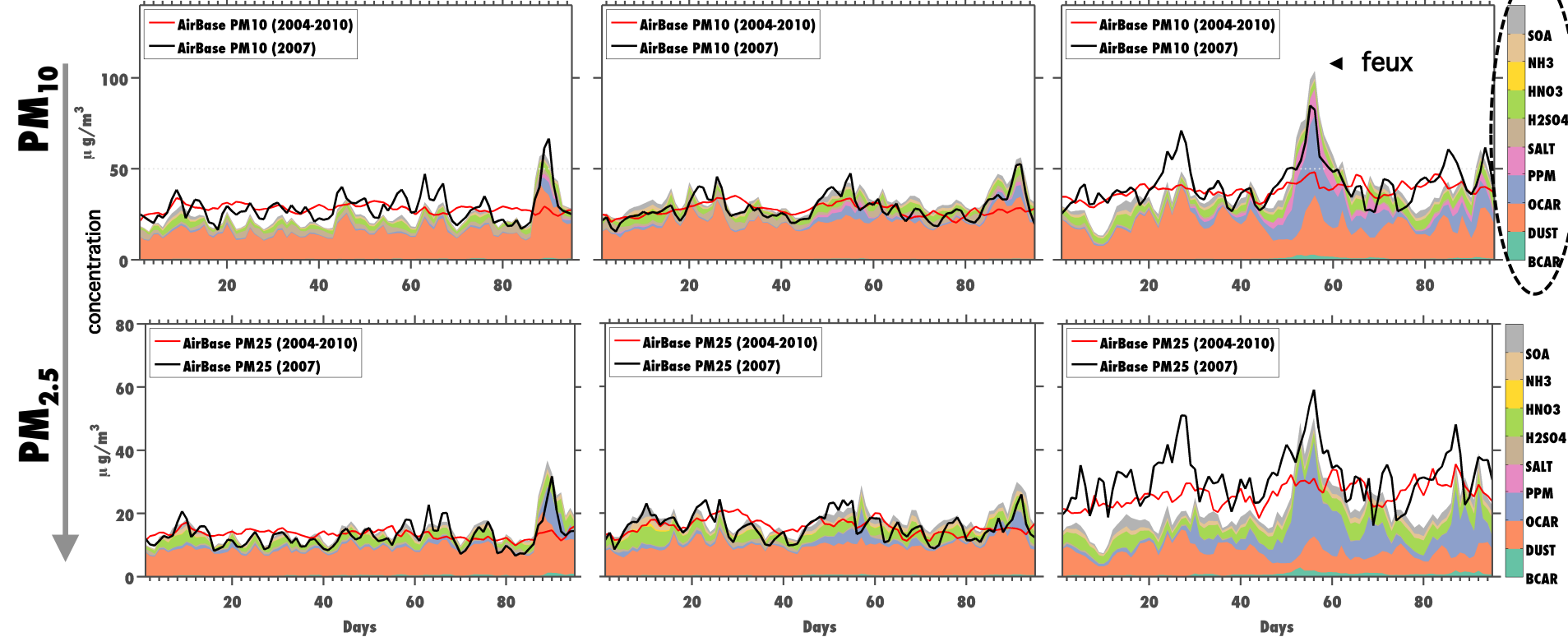
Aérosols près de la surface: CHIMERE vs AIRBASE

CHIMERE

ouest

centre

est



- **Légère surestimation des pics de feux (PM₁₀)**
- **Surestimation des émissions de poussières minérales**
- **Sous-estimation des émissions anthropiques (PM_{2.5}) en Europe de l'est**

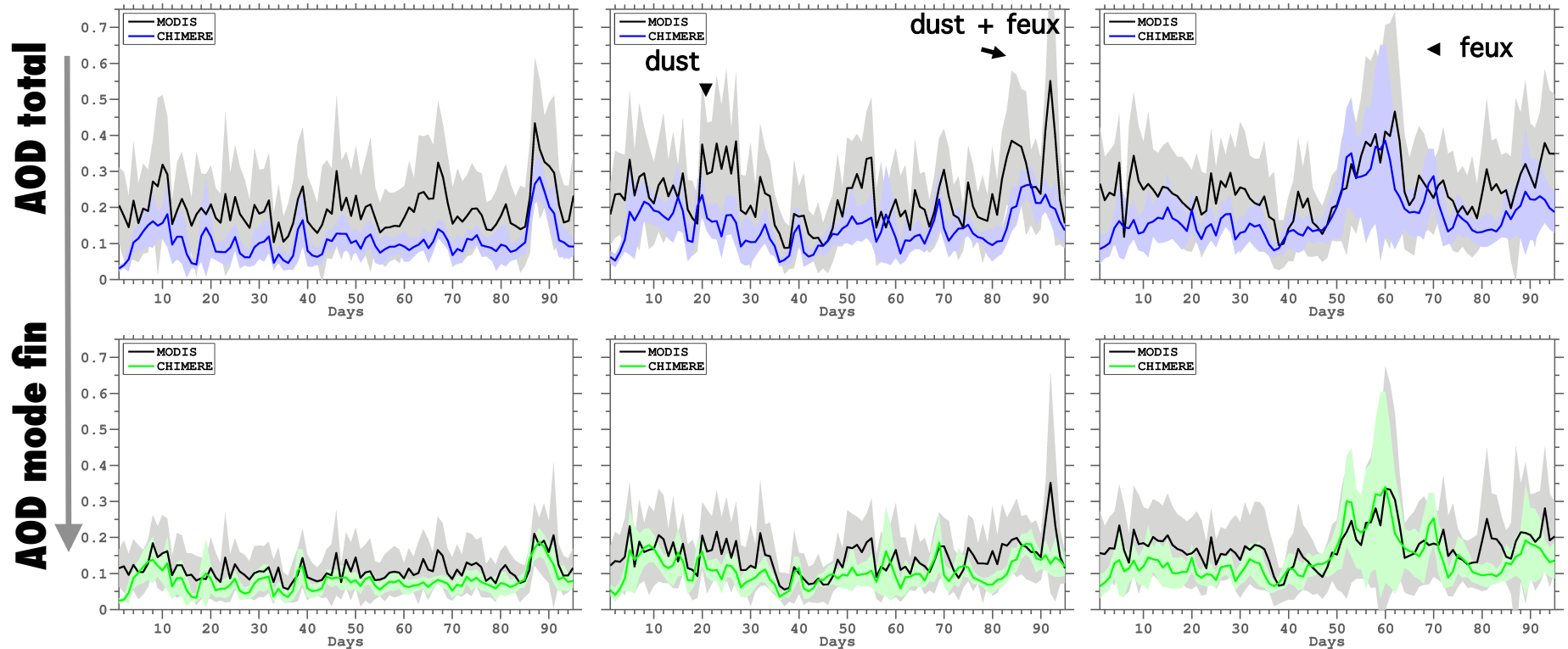
Evaluation générale des simulations / région

Aérosols sur toute la colonne : CHIMERE vs MODIS (AOD 550nm)

ouest

centre

est



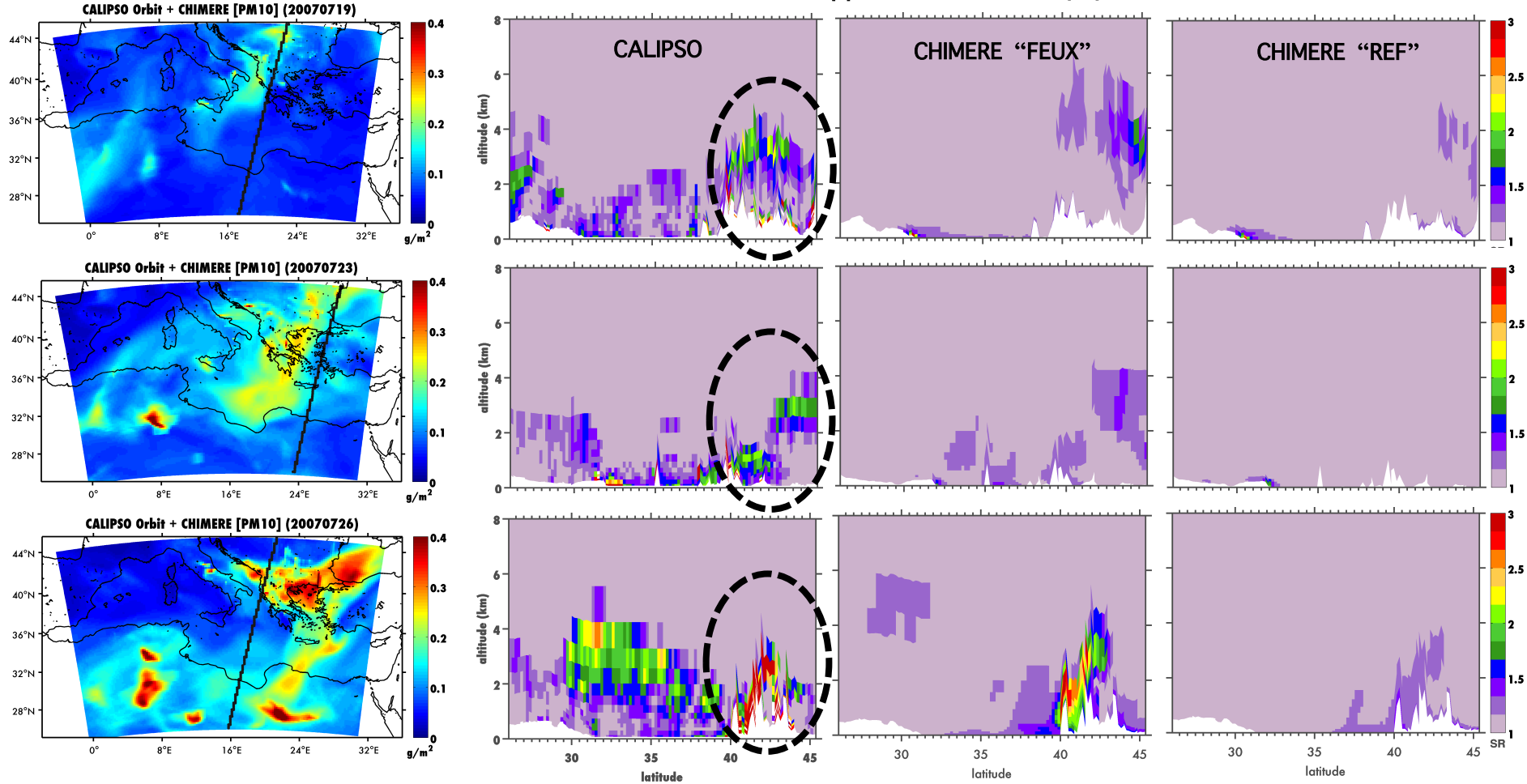
- **Biais négatif générale**
- **Sous-estimation de l'intensité d'AOD pour les épisodes de DUST**
- **Bon accord pour l'épisode de feux fin juillet (variabilité & valeur absolue)**

Distribution verticale des aérosols de feux

CHIMERE vs CALIPSO

Episode de feux (19-31 juillet 2007)

Rapport de diffusion (R')



- Localisation des principales signatures de feux correctement simulée
- Hauteur des panaches généralement en cohérence avec les observations

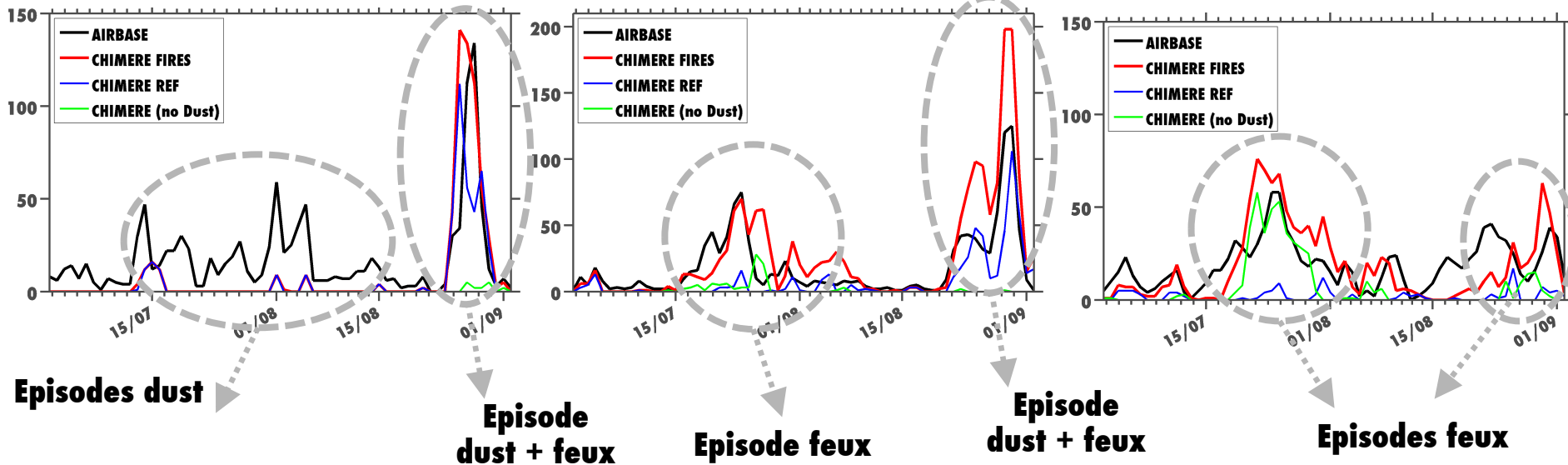
Importance des aérosols minéraux et de feux

Nombre de dépassements du seuil de pollution ($PM_{10} > 50 \mu g/m^3$) par région

ouest

centre

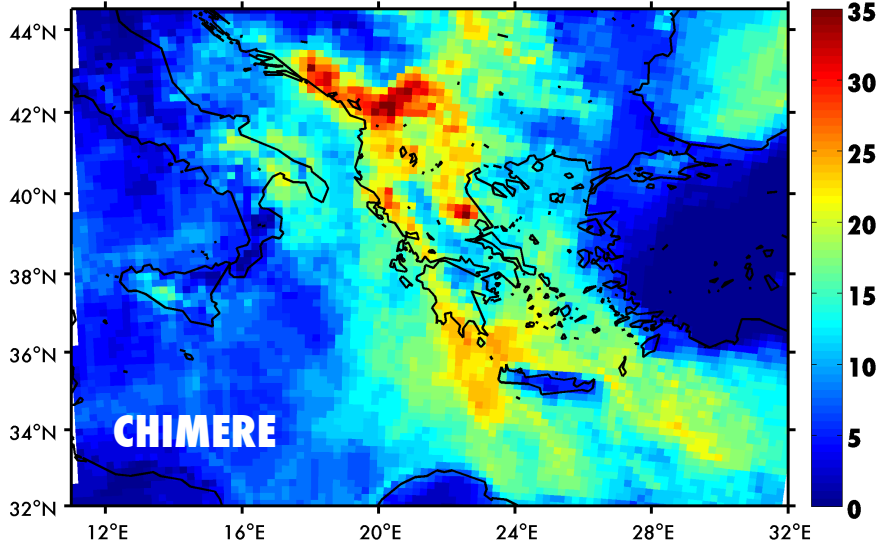
est



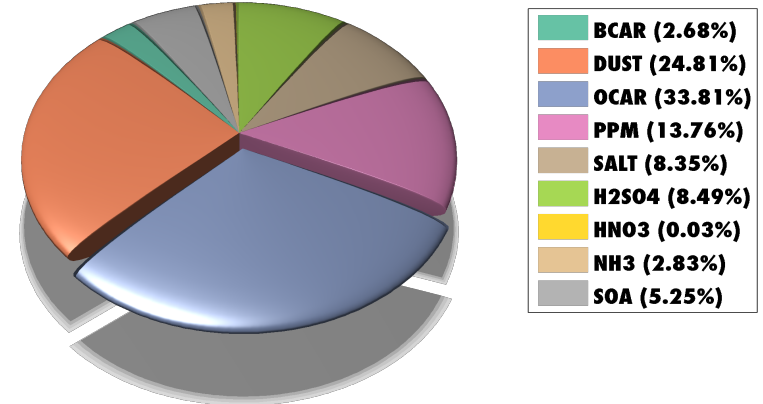
- **Aérosols minéraux: Impact sous-estimé**
- **Aérosols de feux: Dépassements légèrement surestimés**

Contribution relative des aérosols de feux sur le budget régional de PM₁₀

Jours où PM₁₀ > 50 μg/m³

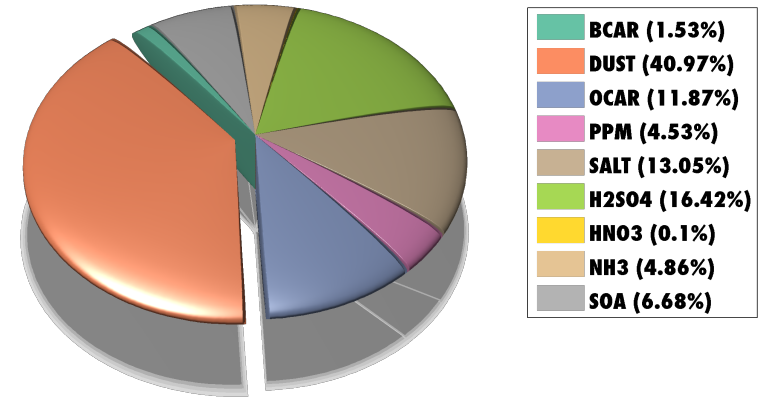


Sous-domain
« est »



contribution moyenne de chaque espèce chimique aux dépassements

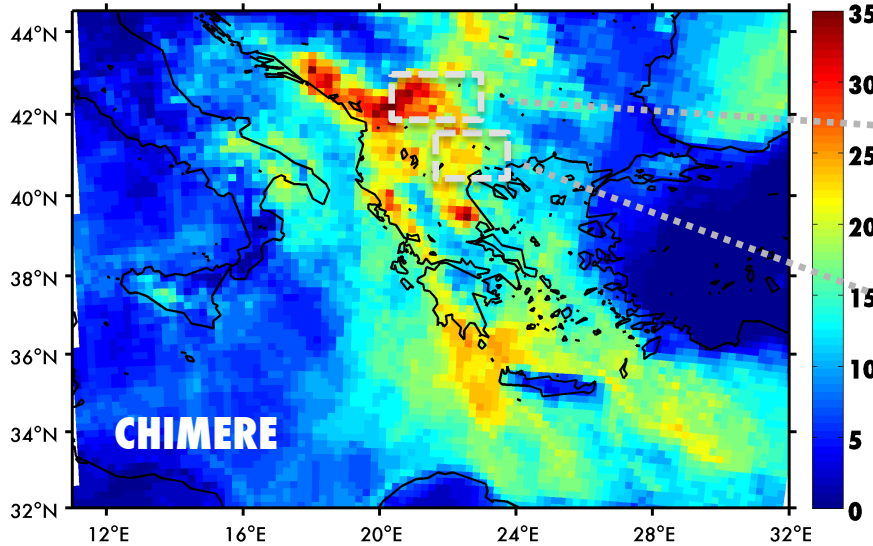
Aérosols minéraux et de feux :
Sources indispensable pour retrouver quantitativement le nombre de jours de dépassement du seuil de pollution



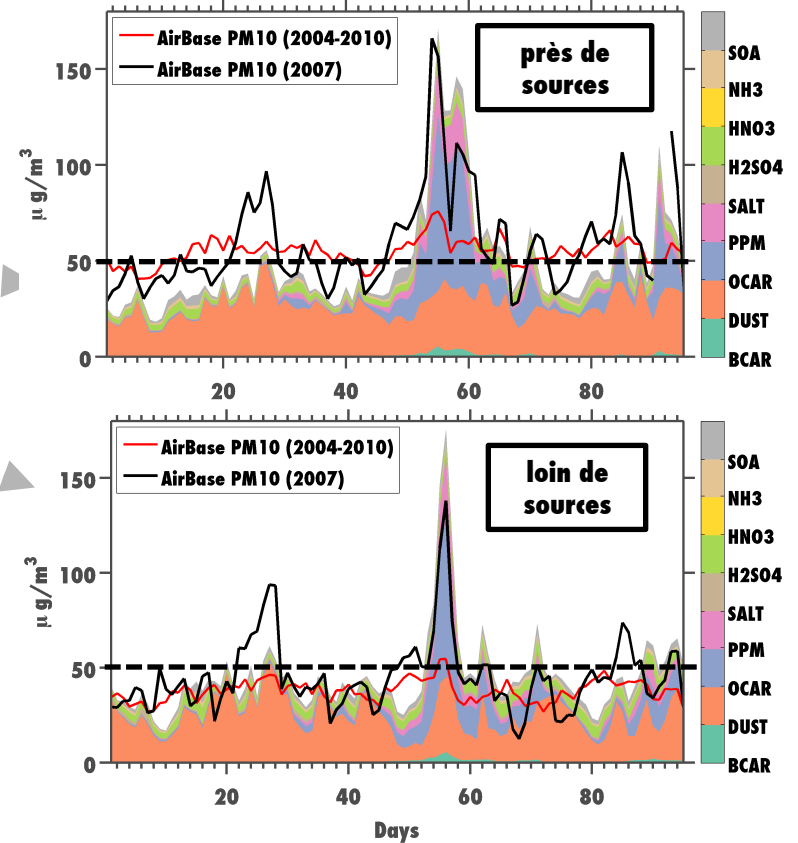
contribution moyenne de chaque espèce chimique hors dépassements

Contribution relative des aérosols de feux sur le budget régional de PM₁₀

Jours où PM₁₀ > 50 μg/m³



CHIMERE vs AIRBASE



Selon CHIMERE jusqu'à 55% de dépassements observés pendant tout l'été en Europe de l'est peuvent être attribués au feu

Conclusions

- **Variabilité interannuelle des aérosols en Euro-Méditerranée:**
 - **Tendance à une baisse des concentrations près de la surface**
 - **Pas de tendance décroissante pour l'AOD**
 - **Fortes concentrations en hiver au nord, en été au sud**
 - **Les maxima d'AOD sont observés en été (pourtour Méditerranéen)**
 - **Prédominance des grosses particules en Europe du sud, aérosols fins au nord de l'Europe**
- **Modélisation (OPTSIM):**
 - **Comparaison directe entre modèles – observations, simulation de données lidar de niveau 1 (L1)**
 - **Points critiques à raffiner: émissions, distribution en taille, diffusion verticale**
- **Impact relatif des aérosols minéraux et de feux sur la qualité de l'air en Euro-Méditerranée :**
 - **La prise en compte des aérosols minéraux et de feux est indispensable pour retrouver quantitativement le nombre de jours de dépassement de seuils en particules**
 - **Aérosols minéraux : Forte contribution, impact sur l'ensemble du domaine**
 - **Contribution relative des feux: majoritairement près des sources**
 - **Aérosol de feux: Jusqu'à 55% des jours de dépassements cumulés pendant tout l'été 2007 et observés en Europe de l'est**

Perspectives

- **Extension de cette analyse sur plusieurs années (2004 à 2010)**

- **OPTSIM: revoir les hypothèses de sphéricité et de diffusion multiple**
- **Prise en compte de l'impact radiatif des aérosols – lien entre aérosols & photochimie**

- **Utilisation de mesures lidar au sol (EARLINET)**
- **Exploitation des nouvelles données re-calibrées CALIOP + dépolarisation**

Merci de votre attention 😊

