

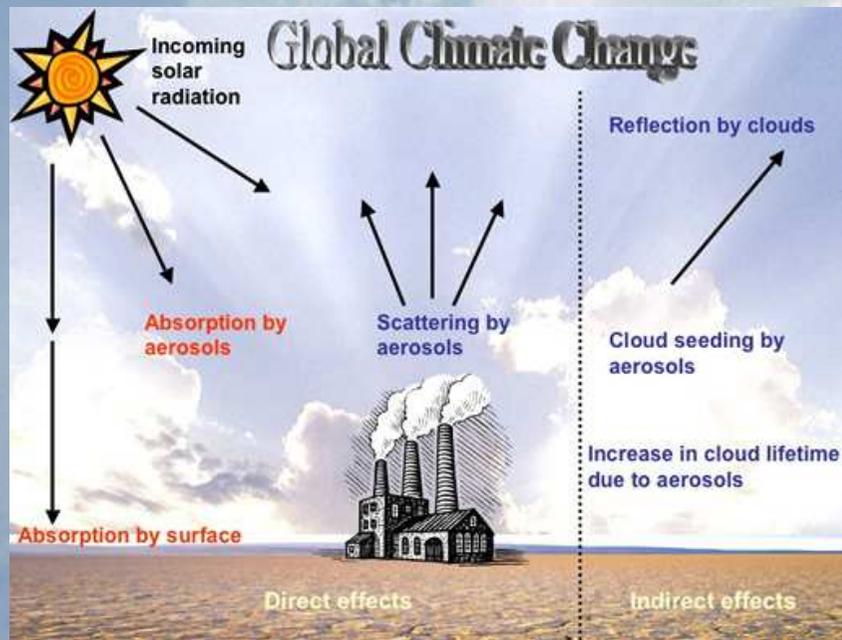


Cap sur l'innovation

ETUDE LE DYNAMIQUE DES AEROSOLS EN ZONE COTIERE MEDITERRANEEENNE

Stéphane Laussac et Jacques Piazzola
Université de Toulon (SEATECH)

L'aérosol: un rôle clef dans l'évolution climatique et l'impact anthropique, mais l'estimation de son impact reste incertaine.



Simulations sur la Méditerranée à partir du modèle CNRM-RCSM Un forçage positif à TOA (réchauffement) en Afrique du Nord et forçage négatif (refroidissement) en Europe du Sud.

Des observations récentes montreraient que l'Arctique se refroidit depuis quelque temps du fait des aérosols anthropiques (Nature, 2015)

Une meilleure connaissance du cycle de l'aérosol des sources jusqu'au dépôt

La bande côtière et littorale joue un rôle majeur dans l'impact anthropique

Les zones urbanisées côtières fournissent environ 75% de la pollution atmosphérique atteignant l'espace marin (HAP, NO_x, carbone suie, métaux lourds, sulfates...)

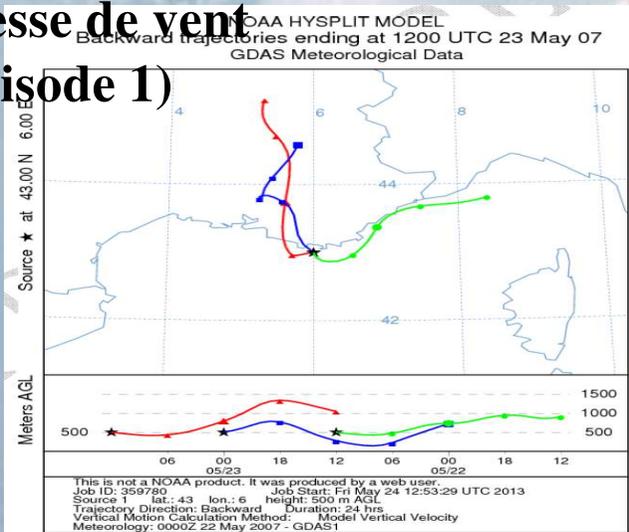
- Apports des rivières → Interface terre/mer
- Ruissellement (gazeux and particulaire) → Interface terre/mer
- Pollution atmosphérique par dépôt → Interface air/mer
- Affecte le rayonnement solaire

↓

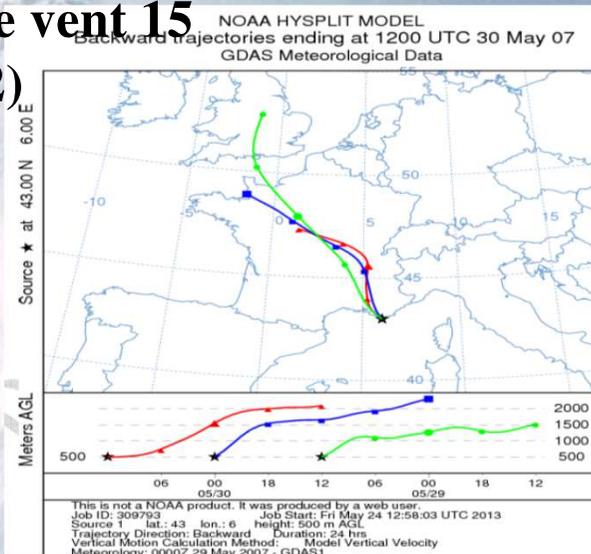
Multiplicité des sources dont l'impact est conditionne par la direction du vent

Composition de l'aérosol mesuré pour une masse d'air d'origine continentale transportée sur un fetch de 25 km

**Faible vitesse de vent
5 ms⁻¹ (Episode 1)**



**Forte vitesse de vent 15
ms⁻¹ (Episode 2)**



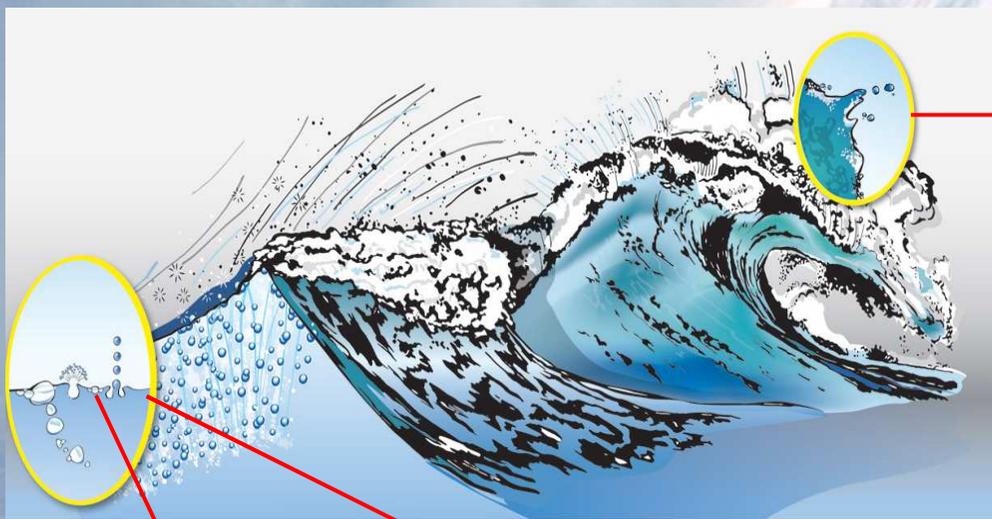
Concentrations des principaux contaminants (Piazzola et al., 2012)

Concentrations of major species ($\mu\text{g m}^{-3}$).

	Cl	NO ₃	SO ₄	Oxalate	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	OC	EC
Episode 1	0.84	1.52	3.1	0.17	0.79	0.48	0.13	0.13	0.3	4.97	0.33
Episode 2	5.14	0.24	1.18	0.02	2.99	0.08	0.12	0.41	0.1	5.37	0.13

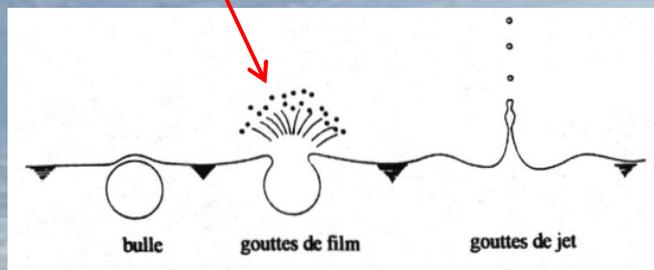
L'aérosol marin : un morceau d'océan dans la CLAM

1- Production primaire de gouttelettes via le déferlement des vagues (gouttes de film et de jet, embruns)-



Spume drops

2- Production secondaire via photo-oxydation



Une communauté chimique complexe et quel rôle de ces transferts à l'interface océan-atmosphère sur la qualité de l'air

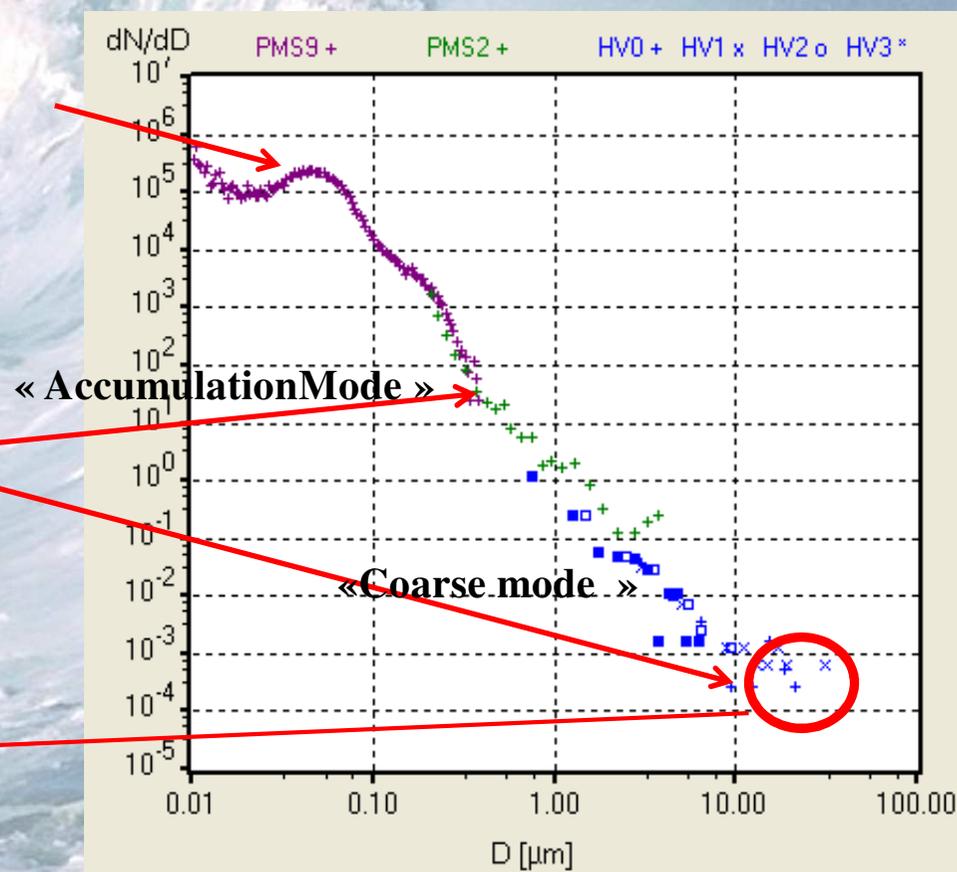
Spectre de l'aérosol en zone maritime

After van Eijk, Piazzola. (2011)

Production secondaire (DMS)-
Classificateur électrostatique SMPS-
« Mode nucléation »

Production primaire
d'embruns via le déferlement
– Compteur optique PMS

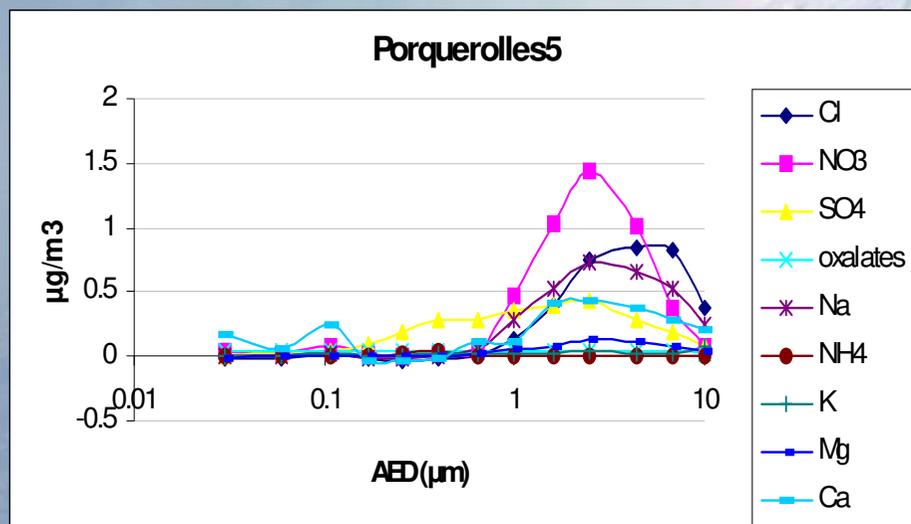
« Mode géant »



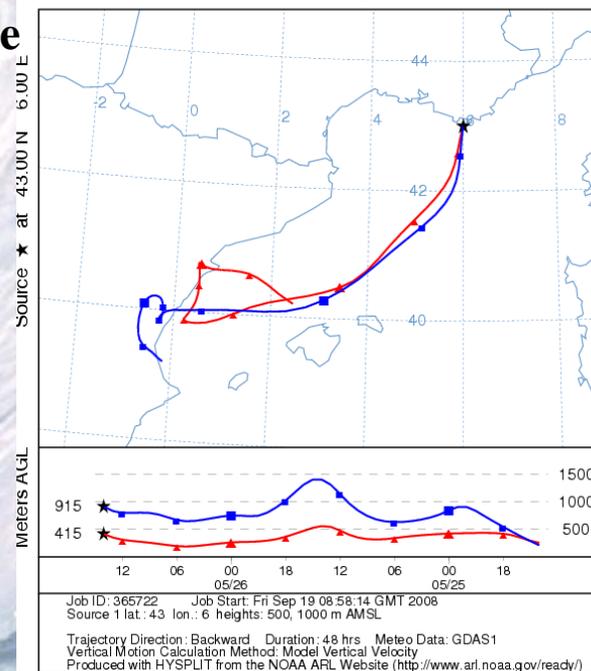
Jacques Piazzola

Devenir des aérosols marins dans la CLAM

Réaction chimique entre le nitrate atmosphérique et les embruns. Les embruns représentent un puits pour l'acide



Backward trajectories ending at 14 UTC 26 May 07
GDAS Meteorological Data



L'hypothèse selon laquelle les aérosols anthropiques sont sur la partie basse du spectre granulométrique n'est pas toujours vraie

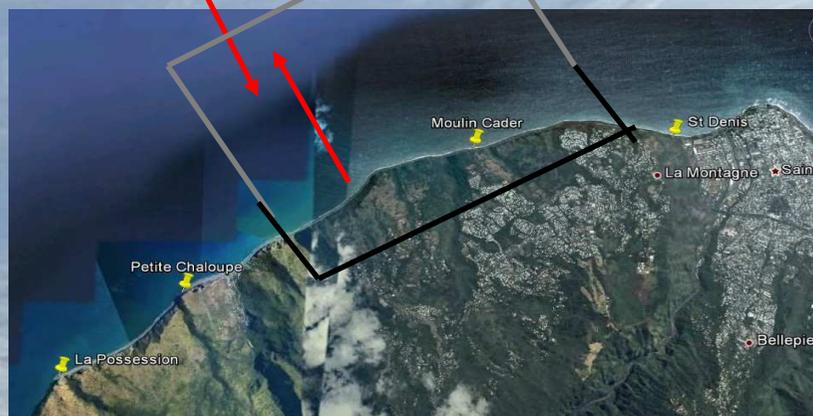
Transport des aérosols à l'échelle locale caractéristique du littoral, MACMod

L'équation de conservation de concentration moyenne d'aérosol, \bar{X} s'écrit:

$$\frac{\partial \bar{X}}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla}) \bar{X} = -\vec{\nabla} \cdot \phi$$

$$\phi = \underbrace{\overline{w'x'}}_I - \underbrace{V_D X}_{II} - \underbrace{D \frac{\partial X}{\partial z}}_{III} + S_X$$

- 2D (horizontal, vertical) + Instationnaire- Méthode Volumes finis
- horizontal direction $\rightarrow n_x = 400, D_x = 50\text{m}, \text{length} = 100\text{km}$
- * vertical direction $\rightarrow n_z = 25, D_z = 0.5\text{m}-50\text{m}, \text{top height} = 600\text{m}$



Conditions aux surfaces frontières, conditions initiales, Fonction Source et profils?

Termes sources de l'aérosol marin-Deux processus:

Coastal and remote ocean (1)

Wind waves interaction

$$S_x = dF / dr = W \tau^{-1} dE / dr$$



Near the shoreline-local contribution (2)

Bathymetry effects on surf zone and shoreline production



Production plein océan- taux de déferlement, W

$$S_X = dF / dr = W \tau^{-1} dE / dr$$

Dissipation d'énergie des vagues $\tau_{dis} = -\alpha W \omega_p E$

Etat du couplage vent-vagues

Evolution du frottement

τ

Taux de croissance des vagues

$$+ \frac{C_p}{U}$$

Influence du fetch, de l'état de développement du champ de vagues, des effets bathymétriques, des interactions vagues-courant ...

Jacques Piazzola

Source due to bathymetric processes- ONR project 2006-2008

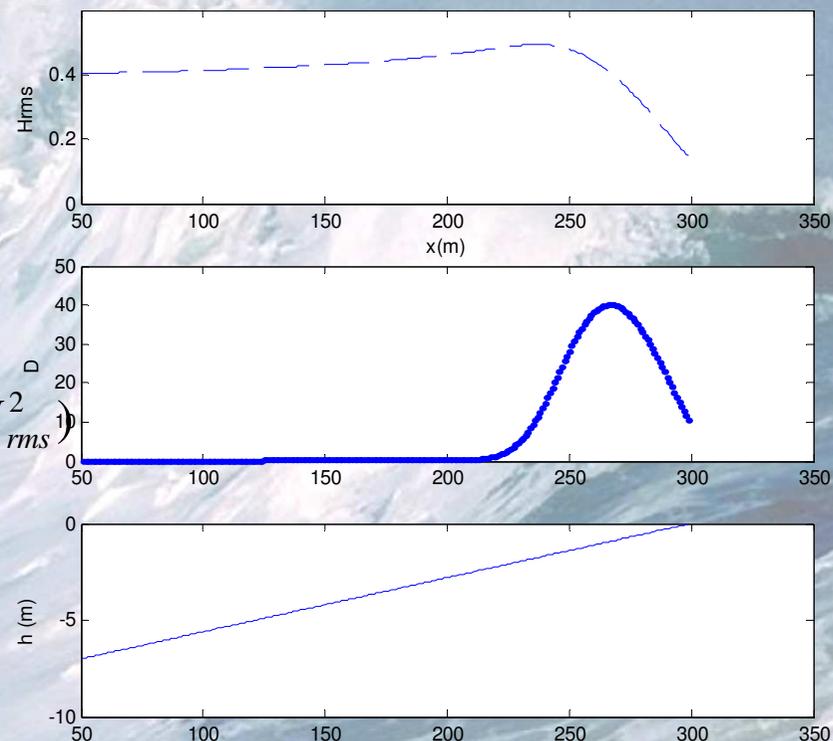
Experimental campaign at San Diego and Duck- Wave energy dissipation

$$\frac{d}{dx} (Ec_g \cos \theta) = -D$$

$$WED = \frac{\alpha}{4} \frac{1}{T_p} \rho g \exp\left[-\left(\frac{H_b}{H_{rms}}\right)^2\right] (H_b^2 + H_{rms}^2)$$

$$H_b = h \left(0.39 + 0.56 \times \tanh\left(\frac{33H_{rms0}}{L_0}\right) \right)$$

$$\frac{dF}{dD} = D^c \times 10^{\left[10 \times (1 - WED^{-0.35})\right]}$$

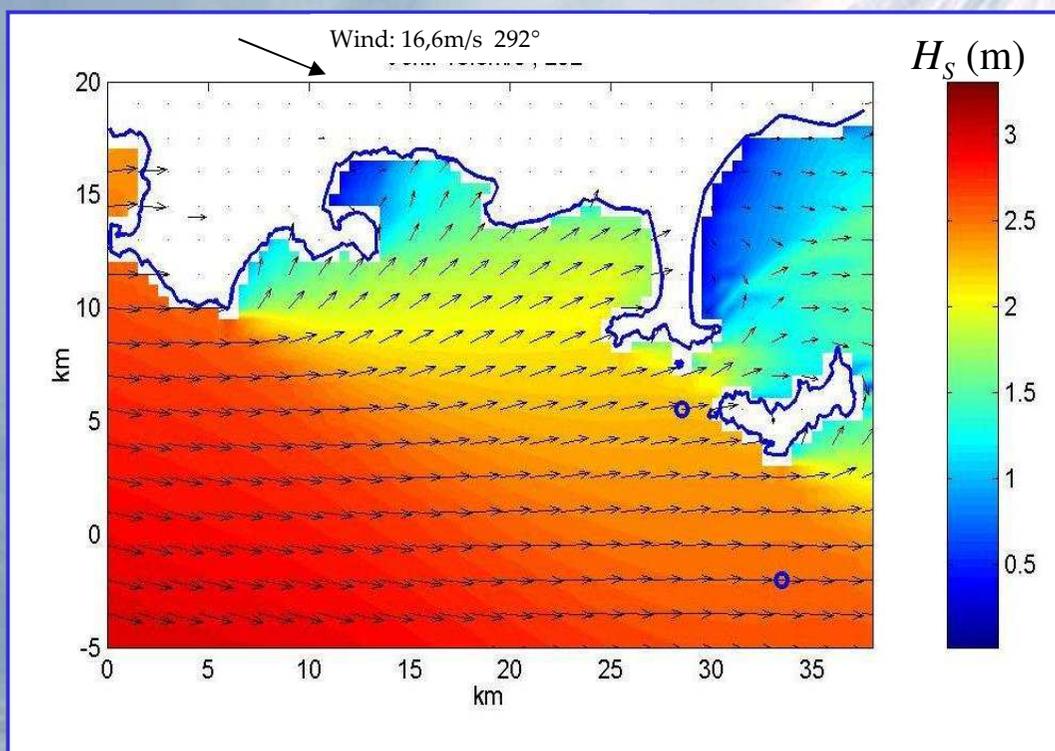


Jacques Piazzola

Implémentation of a wave model on the study area

$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial t} + \vec{v} \nabla \vec{M} = \frac{\vec{\tau}_w}{\rho_e} \quad \text{où} \quad \vec{M} = g \iint \frac{F(f, \theta)}{c(f)} \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} d\theta df$$

$$\frac{m_0}{M} = c_1 \left(\frac{c_p}{g} \right)^{c_2}$$



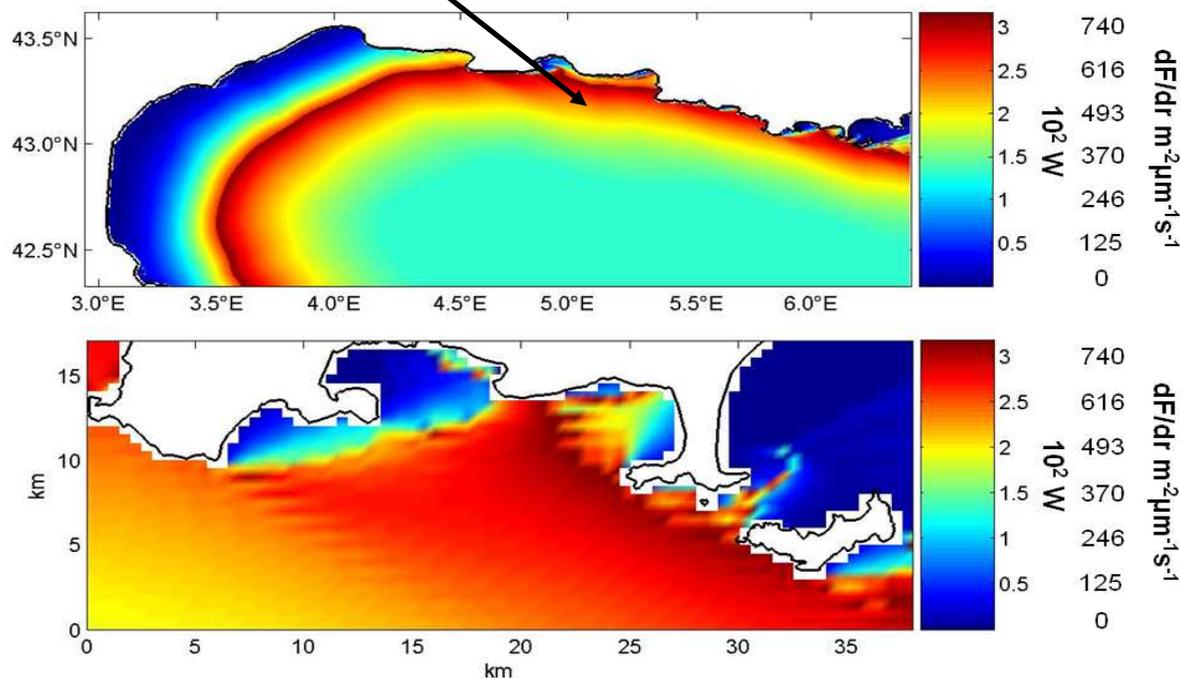
Coefficients of the model determined using buoy data recorded during The EMMA campaign

$$\tilde{H}_S^2 = 1,3 \cdot 10^{-4} \tilde{f}_p^{-2,84}$$

$$m_0 / M = 0,91 \left(c_p / g \right)^{1,00}$$

Variation spatiale des flux d'aérosols marins en zone Méditerranéenne (Piazzola et al., 2009).

Le modèle de déferlement forcé par un modèle de vagues permet d'obtenir la couverture spatiale de la production

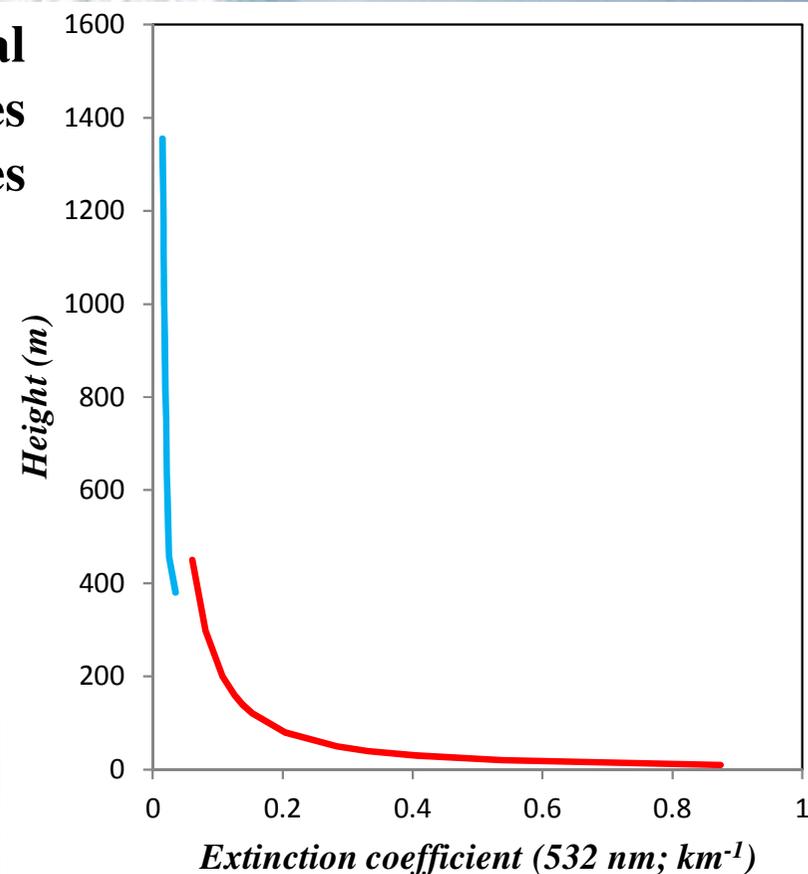
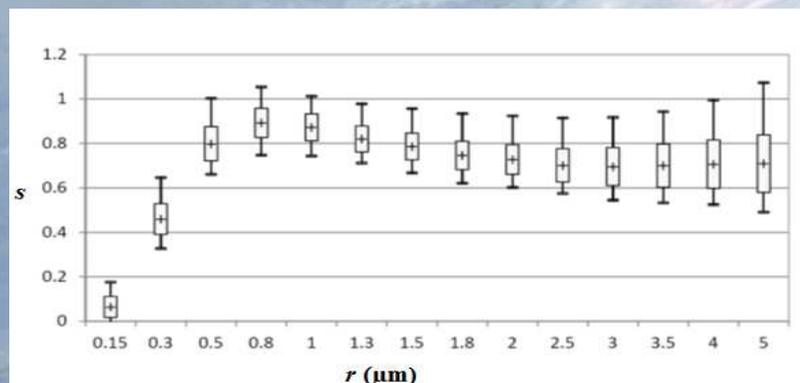


Formule de fonction source spécifiquement méditerranéenne (Demoisson et al., 2013)

Distribution verticale des concentrations des sels marins en conditions d'entrée du domaine de calcul (Piazzola et al., 2015)

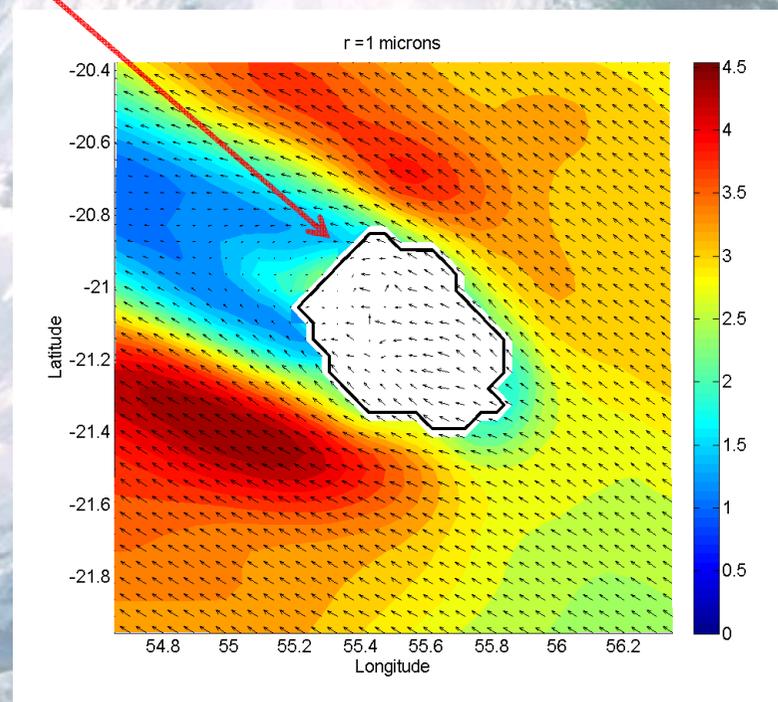
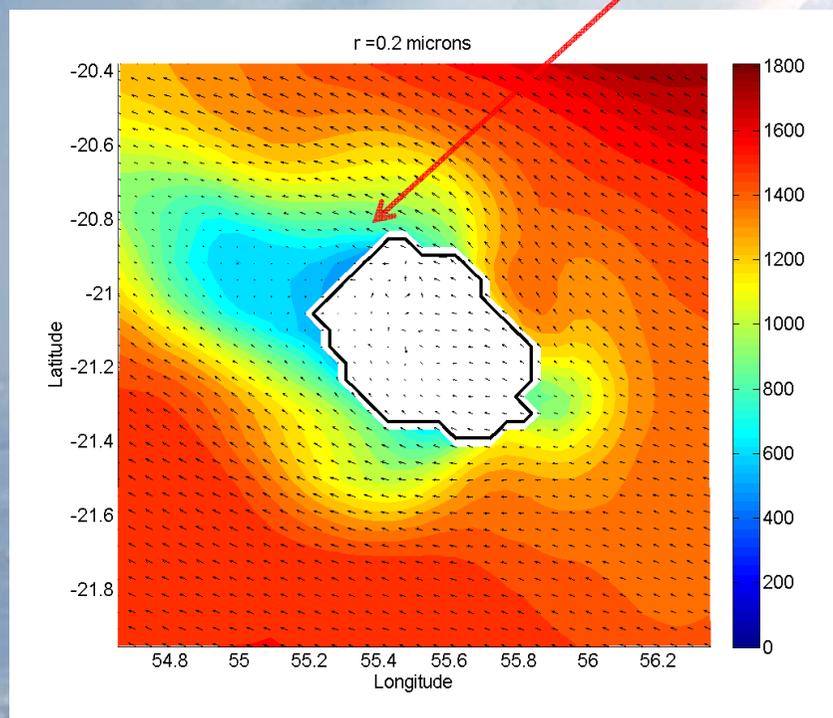
Comparison entre le profil vertical d'extinction à 0.532 μm calculé en utilisant les mesures de profil moyen à l'aide des données CALIOP. Validé par AERONET.

$$\frac{N_z}{N_{10}} = \exp(-s(z/10)) = \left(\frac{z}{10}\right)^{-s}$$



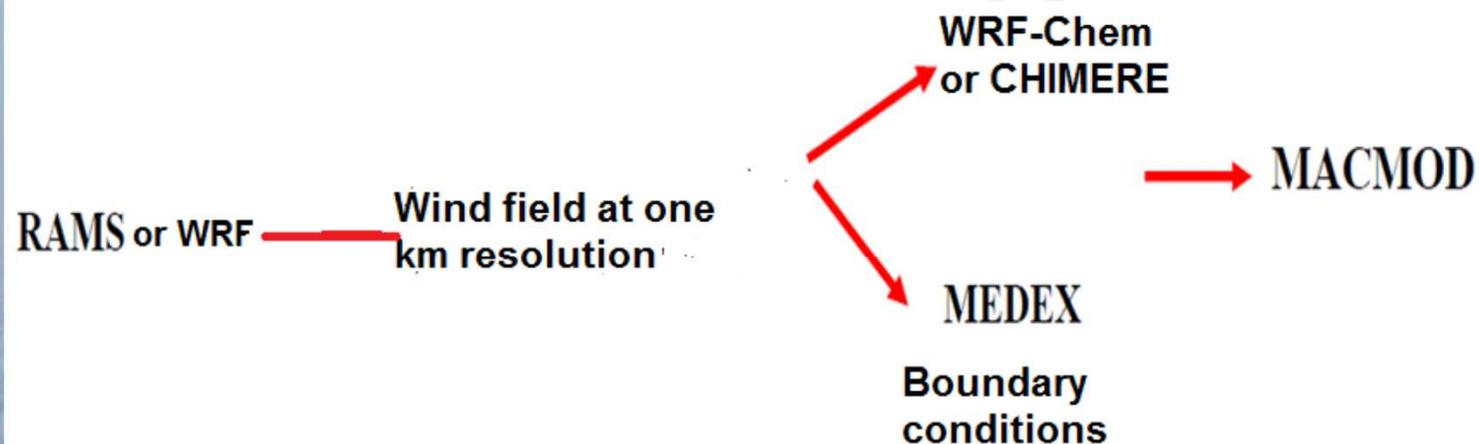
Champs de concentrations d'aérosols marins à méso-échelle par couplage RAMS/Medex (Piazzola et al., 2010).

$$N(r) = \sum_{i=1}^4 \frac{A_i}{f} \exp\left(-C_i \left(\ln\left(\frac{r}{fr_{0i}}\right)\right)^2\right)$$



Jacques Piazzola

Implementation d'une chaîne de modèles imbriqués destinée à une meilleure compréhension du devenir de l'aérosol en zone Méditerranéenne



WRF-chem

- **Système de prédiction météorologique numérique de méso-échelle couplé à un modèle de chimie**
 - **Modèle ONLINE : rétroaction chimie météo**
- ⇒ **Simuler émissions, transport, transformations chimiques à partir de données d'émissions, de conditions aux frontières et de données météorologiques**
- **Schemas d'aérosols:**
 - **GOCART : aérosols => particules et non espèces chimiques**
 - **MOSAIC : décomposition en espèces chimiques**
 - **Fonction source :**
Monahan (86), Gong (2003), Demoisson (2013), Ovadnevaite (2014)

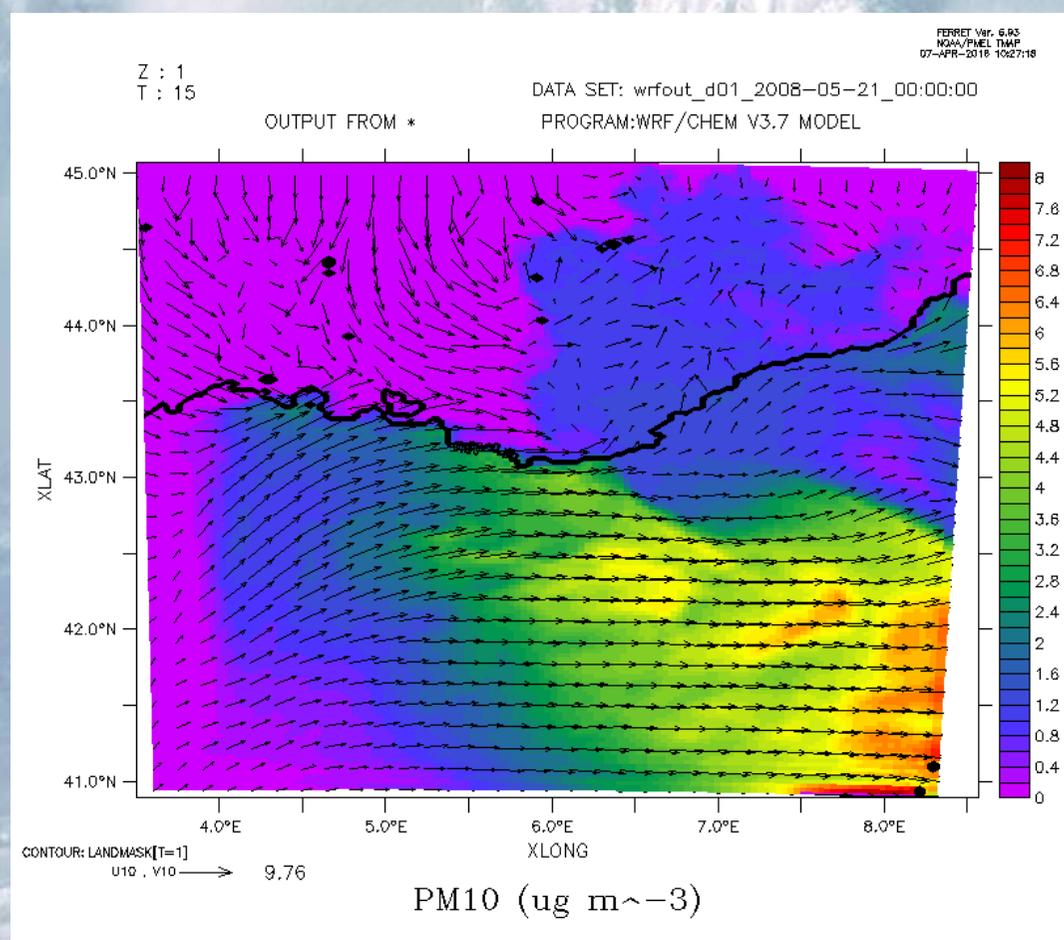
Comparaison WRF-chem / MIRAMER 2008

- **Objectif** : Comparer **WRF-chem** aux données expérimentales des capteurs optiques **PMS**
- Simulations : 2 fonctions sources
 - **Monahan (86)**
 - GOCART – 21 mai 2008 14h - résolution **3km**
 - GOCART – 21 mai 2008 14h - résolution **2km**
 - GOCART – 21 mai 2008 14h - résolution **1km**
 - **Gong (2003)**
 - GOCART – 21 mai 2008 14h - résolution **1km**

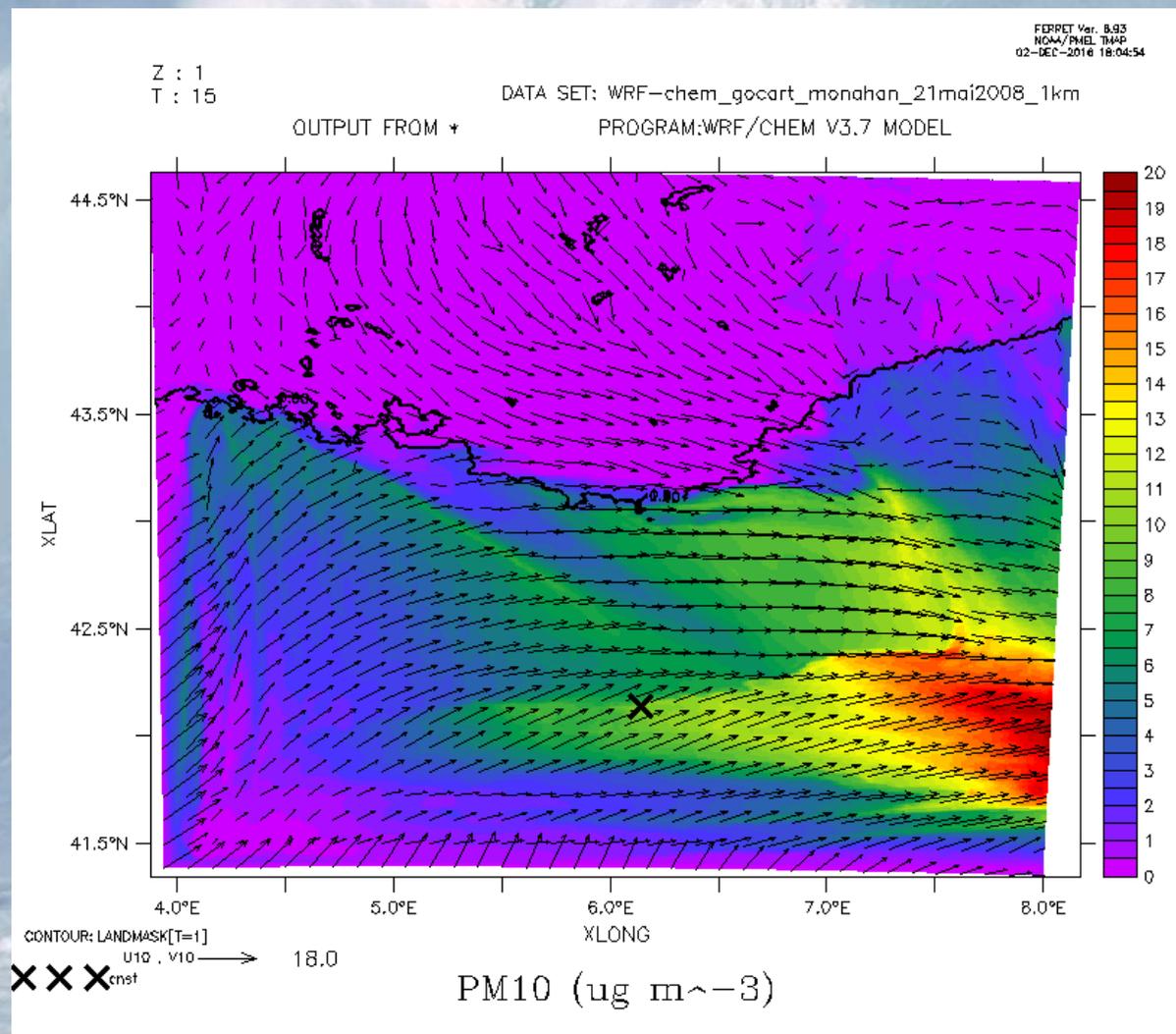
WRF-chem	Expérimental
4,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	19,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

⇒ Sous-estimation de WRF-chem par rapport aux données expérimentales (PMS)

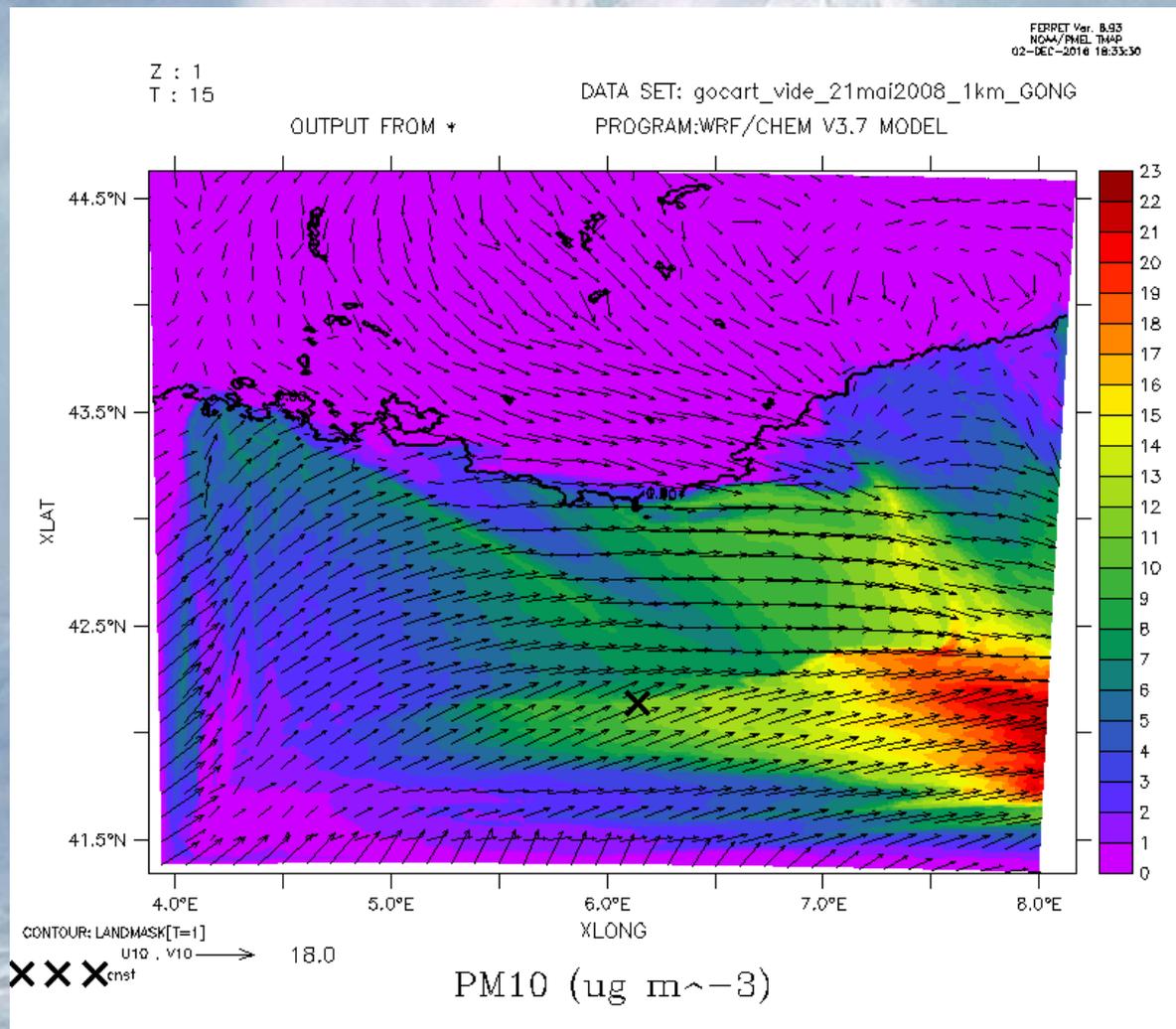
WRF-chem GOCART avec Monahan et al., 1986)- Concentration PM10 à 14h le 21 Mai 2008 – résolution 3km



WRF-chem GOCART -Concentration PM 10 à 14h le 21 Mai 2008 – résolution 1km



WRF-chem GOCART (GONG 2003)-Concentration PM 10 à 14h le 21 Mai 2008 – résolution 1km



Comparaison WRF-chem / données chimiques Porquerolles 2007

- **Objectif** : Comparer **WRF-chem** aux données **chimiques** expérimentales du 23 mai 2007
- Simulations : 2 retenues
 - **MOSAIC** – 23 mai 2007 11h – résolution 3 km

WRF-chem	Expérimental
PM10 = 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Seas = Cl + 1,47 Na = 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

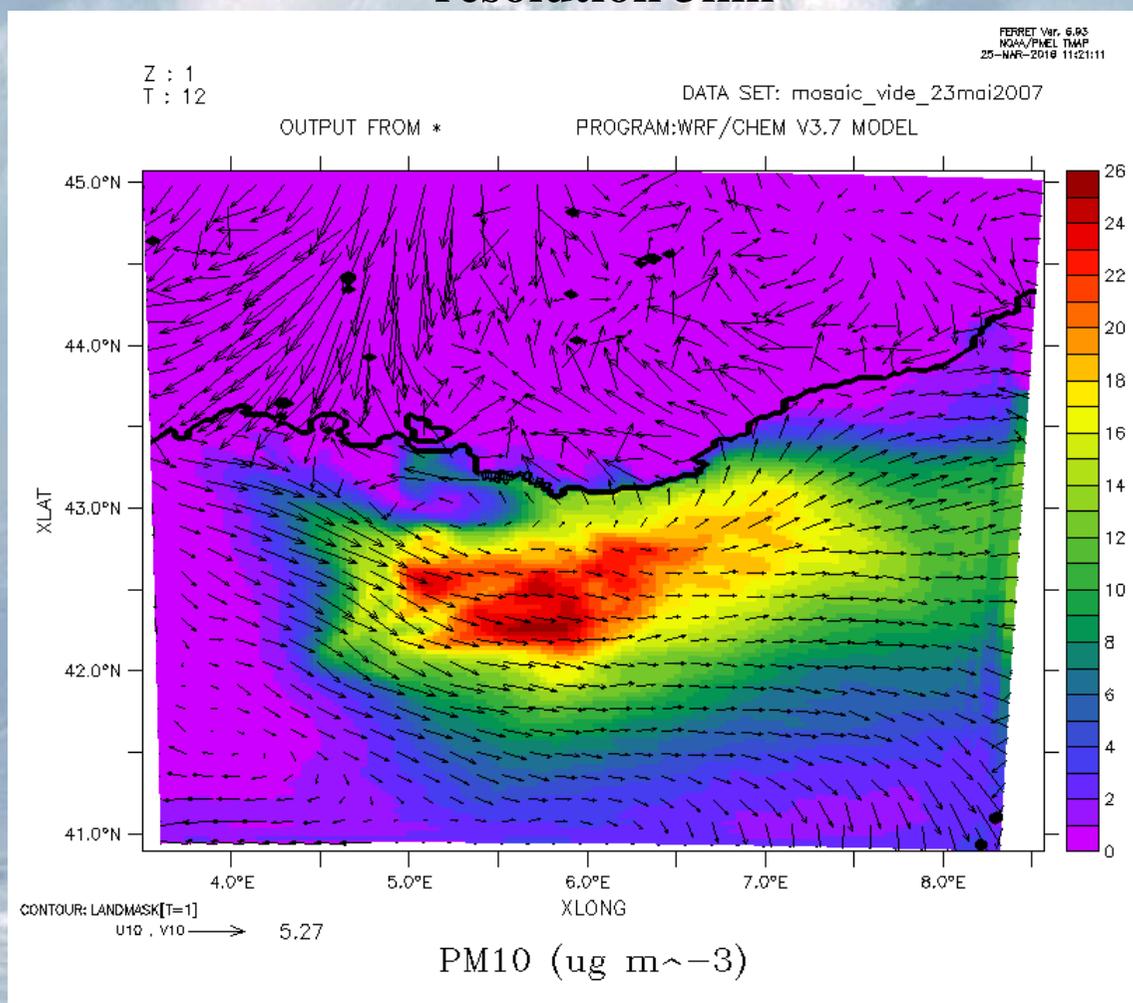
- ⇒ Surestimation de WRF-chem par rapport aux données expérimentales
- ⇒ Cadastre émissions à rajouter (en cours)

- **GOCART** – 23 mai 2007 11h – résolution 3 km

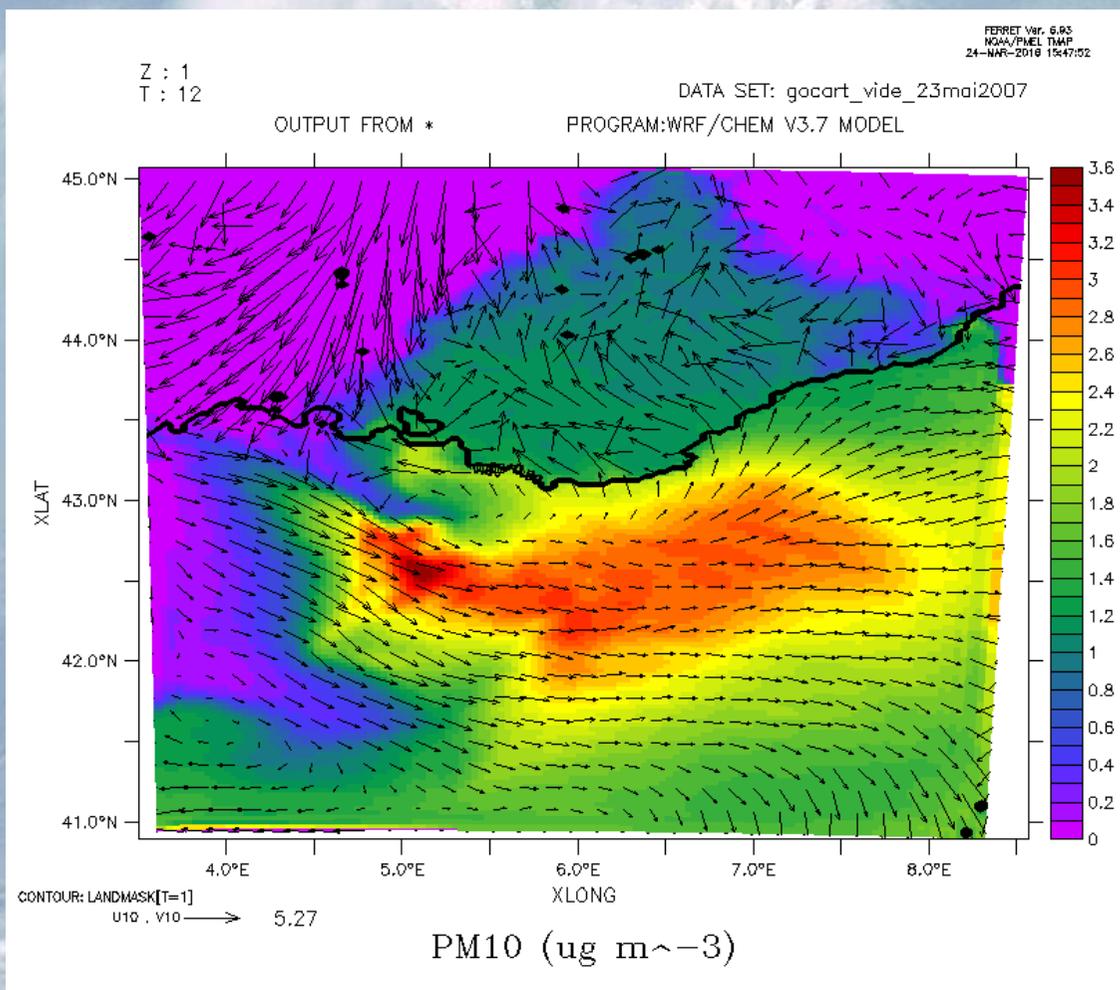
WRF-chem	Expérimental
PM10 = 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Seas = Cl + 1,47 Na = 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- ⇒ Résultats proches des données expérimentales

WRF-chem MOSAIC -Concentration PM 10 à 11h le 23 Mai 2007 résolution 3km



WRF-chem GOCART (Monahan et al., 1986)- Concentration PM 10 à 11h le 23 Mai 2007 – résolution 3km



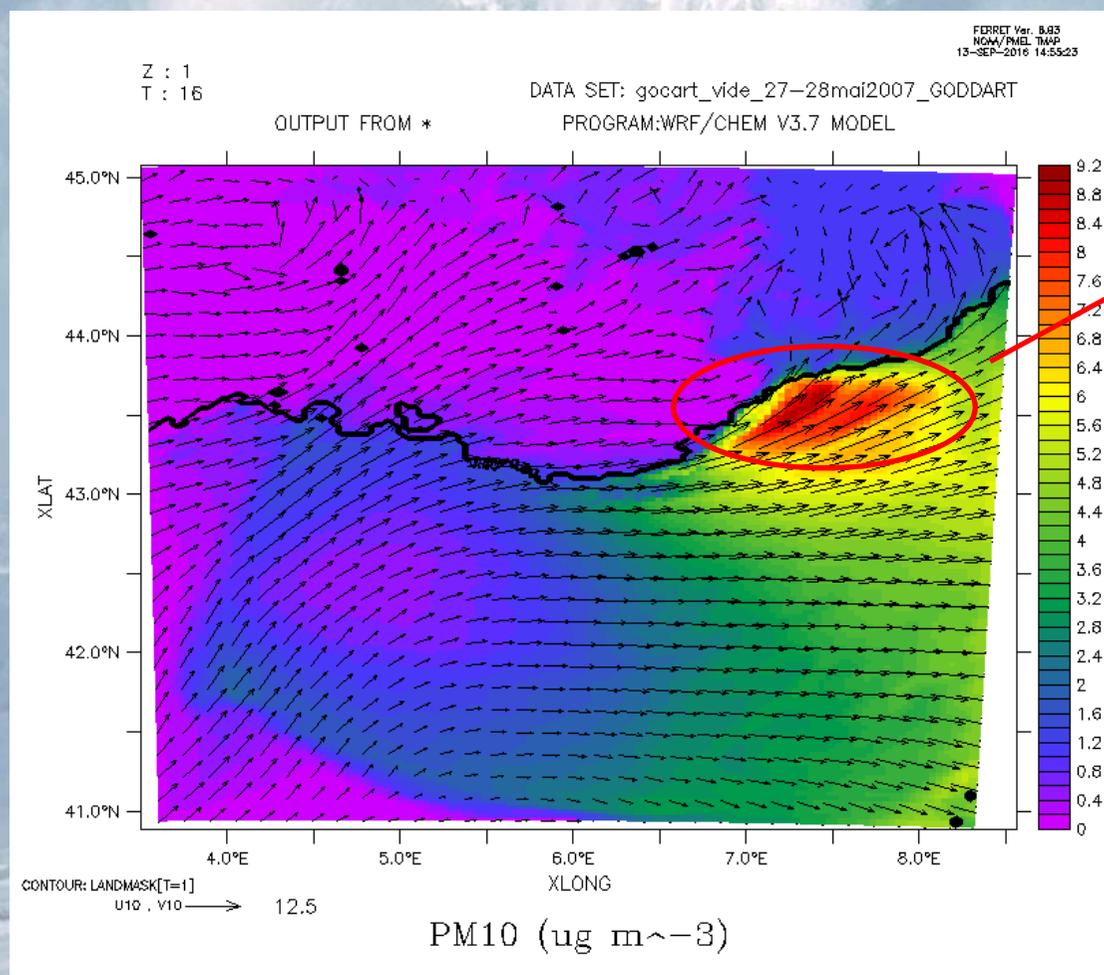
Comparaison -WRF-chem / données chimiques Porquerolles 2007

- **Objectif** : Comparer **WRF-chem** aux données **chimiques** expérimentales du 27 mai 2007
 - **GOCART** – 27 mai 2007 15h – résolution 3km (Mistral)

WRF-chem	Expérimental
PM10 = 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Seas = Cl + 1,47 Na = 9,5 ug/m^3

- ⇒ Sous-estimation de WRF-chem / données expérimentales
 - ⇒ Forte concentration de pm10 vers St Tropez (9 ug/m^3)
 - ⇒ Zone mal placée ?
- ⇒ Faire tourner WRF-chem MOSAIC sur cette même période

WRF-chem GOCART - Concentration PM 10 à 15h le 27 Mai 2007 – résolution 3km



Problème
données entrée
météo ?

Campagne 2016 (BAM et PMS) –Aspect métrologique

- **Objectif** : Quel est le facteur de correction pour exploiter toutes les campagnes de mesures avec les appareils ?
- 3 Manipulations menées :
 - Au labo
 - Sur le campus
 - A Porquerolles
- Facteurs de correction entre PMS et BAM : PMS / BAM

Labo	Campus	Porquerolles
0,4 à 0,5	0,5 à 0,8	1,4 à 2

- ⇒ Concentration massique contre mesure optique
- ⇒ BAM et PMS mesurent de manières différentes
- ⇒ Mesures toujours associées à une incertitude
- ⇒ Disfonctionnement tête de coupure ?

Comparaison avec WRF-chem

- 1 simulation: GOCART résolution **2km 13 mai 2016**

WRF-chem	PMS	BAM
15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

⇒ Sous-estimation de WRF-chem par rapport aux données expérimentales (PMS et BAM)

⇒ Concentration au dessus du seuil de qualité de l'air pourtant aucun polluant

- Composants de l'atmosphère le 27 mai 2007 :

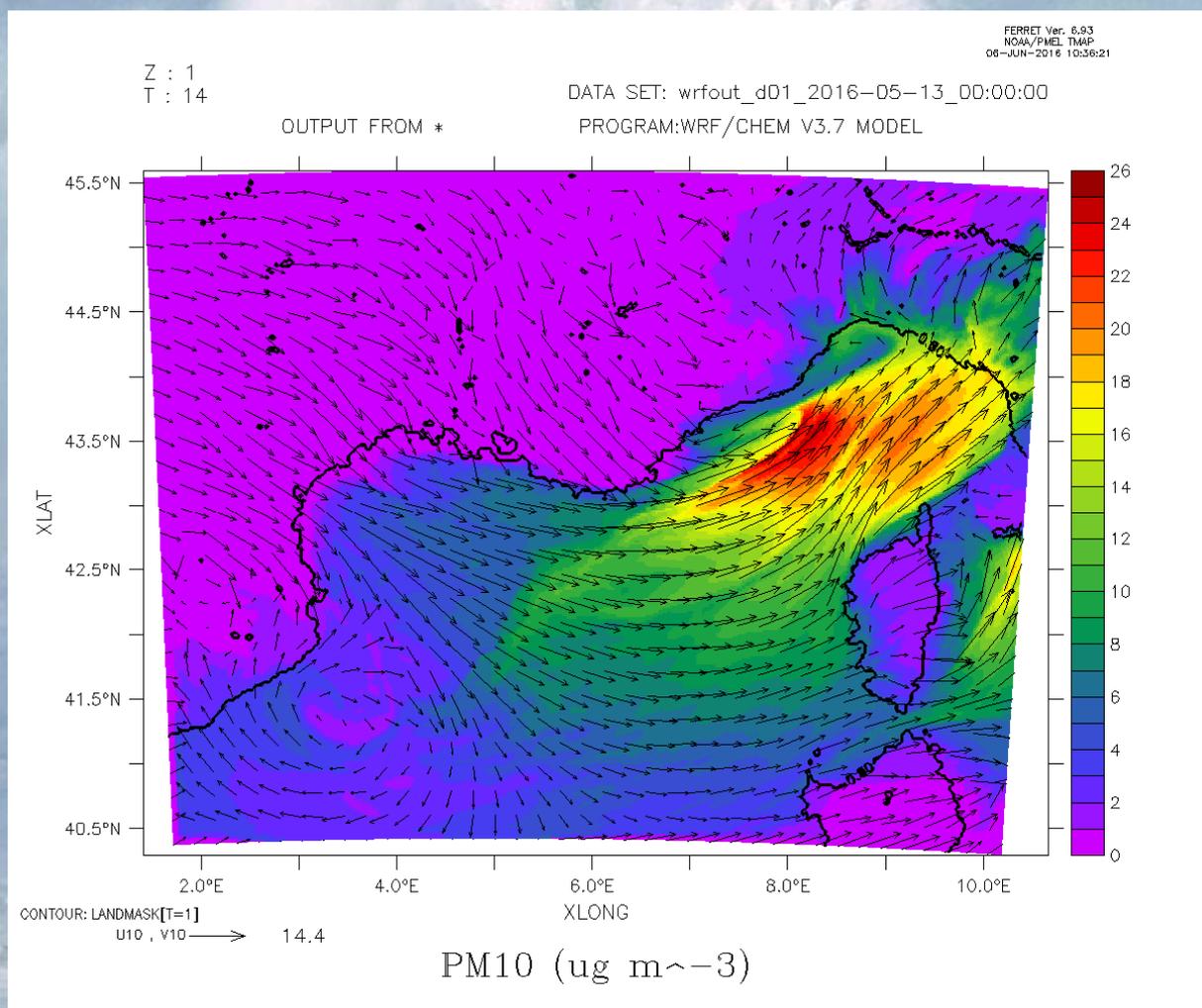
⇒ Pas de composé anthropique

- Dépassement de seuil ?

Table 2: Concentrations of major species ($\mu\text{g m}^{-3}$)

	Cl	NO3	SO4	ox	Na	NH4	K	Mg	Ca	OC	EC
Coastal	0.84	1.52	3.10	0.17	0.79	0.48	0.13	0.13	0.30	4.97	0.33
Mediterranean	1.84	3.48	2.67	0.37	1.79	0.21	0.16	0.35	1.78	2.07	0.17
Mistral	5.14	0.24	1.18	0.02	2.99	0.08	0.12	0.41	0.10	5.37	0.13

WRF-chem GOCART-Concentration PM 10 à 13h le 13 Mai 2016 – résolution 2km



Perspectives

- **Validation WRF-chem :**
 - Simulations avec fonctions sources Demoisson (2013) et Ovadnevaite (2014)
 - Introduire le cadastre des émissions de Airpaca pour lancer des simulations avec le module d'aérosols MOSAIC
 - Impact radiatif

Sujets de thèse en gestation

1. Vent onshore- zone urbaines

Coupler WF-Chem à des modèles 3D de haute résolution (LES Large Eddy Simulations –models) qui fourniront ladynamique atmosphérique fine. Stratégie de maillage évolutif entre WRF-Chem et le modèle ARPS (Leroy et al., 2007).

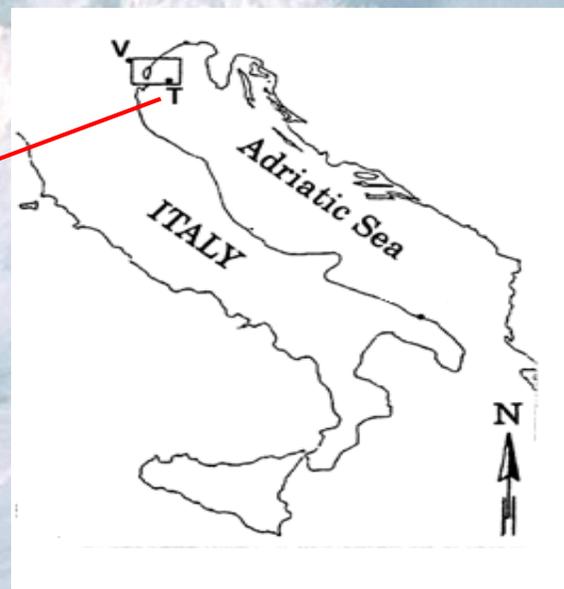
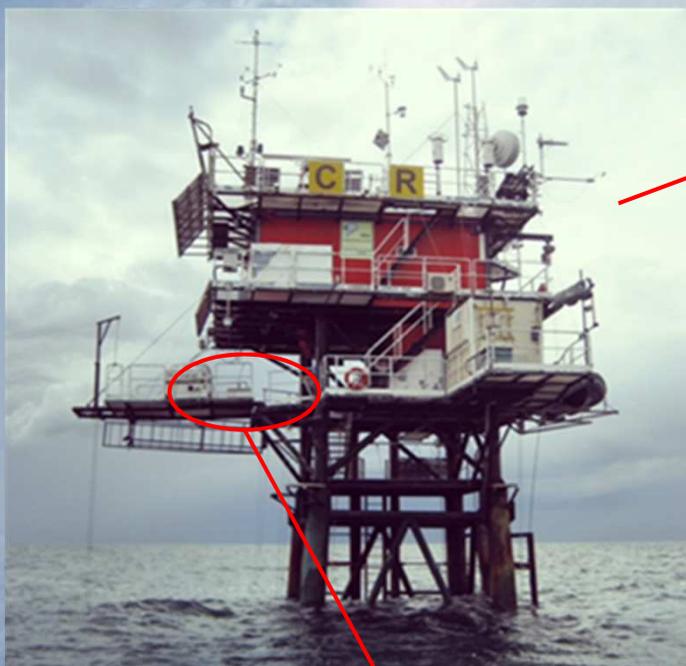
2. Effet de la composition de l'eau de mer sur les flux océan-atmosphère

3. Projections et conséquences SHS

Confronter des scénarii qualité de l'air à l'aide de WRF-Chem aux modèles socio-économiques dans le but de proposer les orientations souhaitables de notre politique environnementale pour le futur.

Jacques Piazzola

Comparaison avec des données mesurées en Mer Adriatique (Programme européen FP7-JERICO n° 262584)

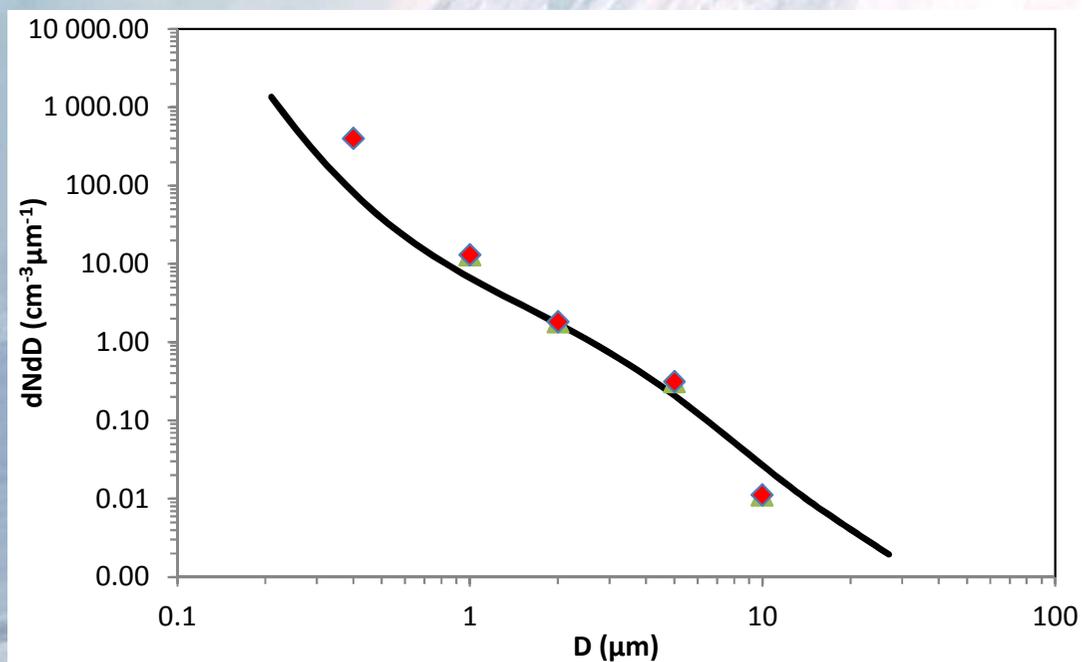


The aerosol probes



Validation in the Northern Adriatic using MACMod (Piazzola et al., 2015)

Comparison between data and the MACmod model



Jacques Piazzola

Ce n'est pas fini

Production par écrêtage

Temperature de l'eau

Bloom phytoplanktonique

Activité biologique et qualité des eaux côtières

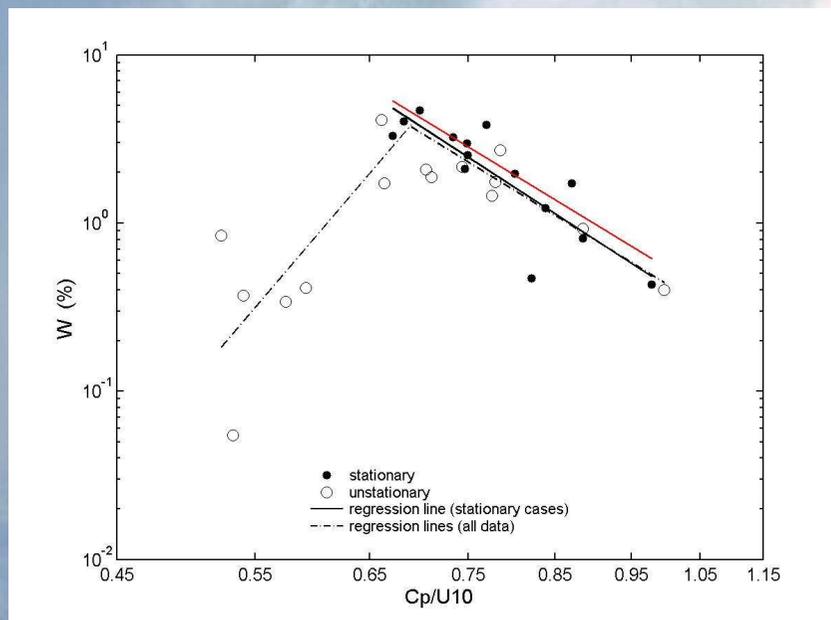
Couplages bio-physiques

Production secondaire

Jacques Piazzola

Le taux de déferlement W pour des états de mer partiellement développés (Lafon et al., 2007)

Lafon et al. (2007)-Méthode vidéo



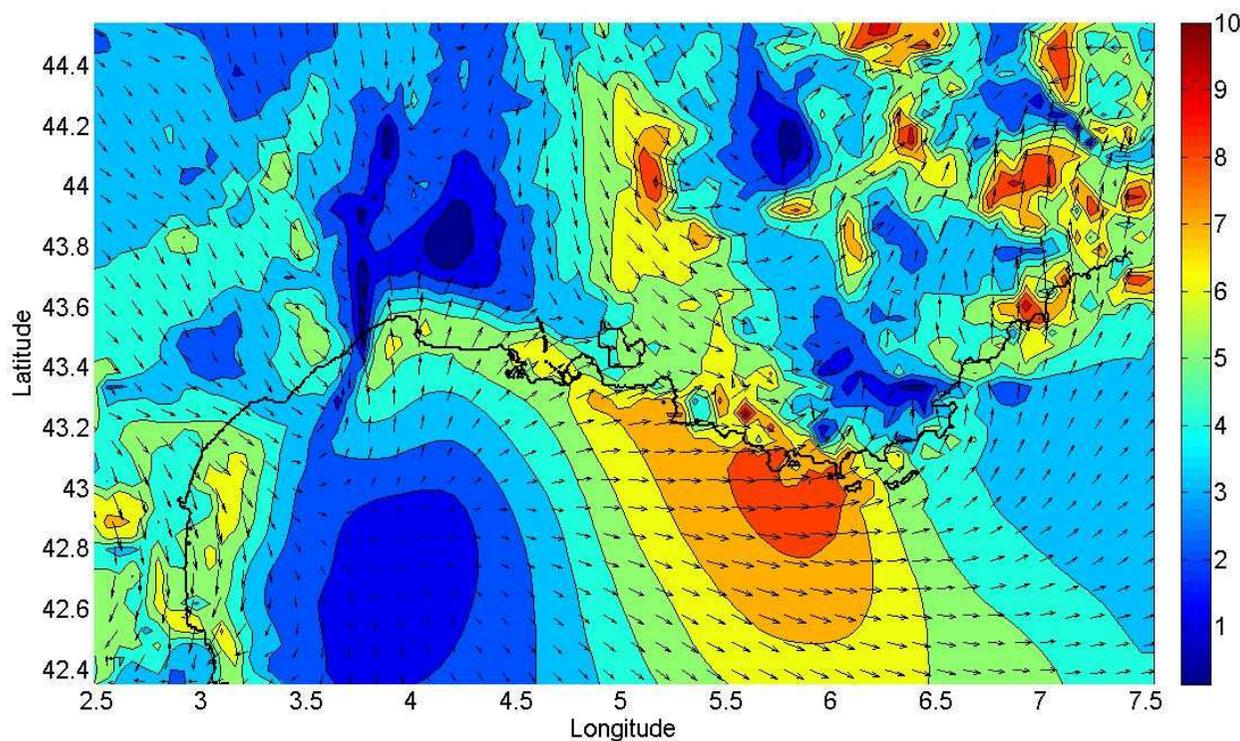
$$dF/dr = W\tau^{-1}dE/dr$$

$$W(\%) \approx \begin{cases} 70 \times (c_p/U_{10})^{85} & \text{for } c_p/U_{10} \leq 0.68 \\ 0.65 \times (c_p/U_{10})^{-41} & \text{for } c_p/U_{10} > 0.68 \end{cases}$$



Jacques Piazzola

Zone de transition terre-mer : spécificités météorologiques et géographiques à prendre en compte



Description du frottement

D'après Kudryavtsev et Makin (2002) :

$$\tau = \tau^v + \tau^w + \tau^s \quad \leftarrow \text{Termes source de l'équation de conservation du moment}$$

where τ^v the viscous stress

τ^w the wave-induced stress at the surface

τ^s the surface flux supported by AFS

An expression for the wave growth parameter

The growth rate parameter can be approached by :

$$\frac{\gamma}{\omega} = \frac{\dot{E}}{\omega E} = \frac{\rho_a}{\rho_\omega} \left[\frac{u_*}{c} \cos(\theta - \phi) \right]^2 \beta$$

with
$$\beta = \frac{\beta_m}{k^2} \mu \ln^4(\mu)$$

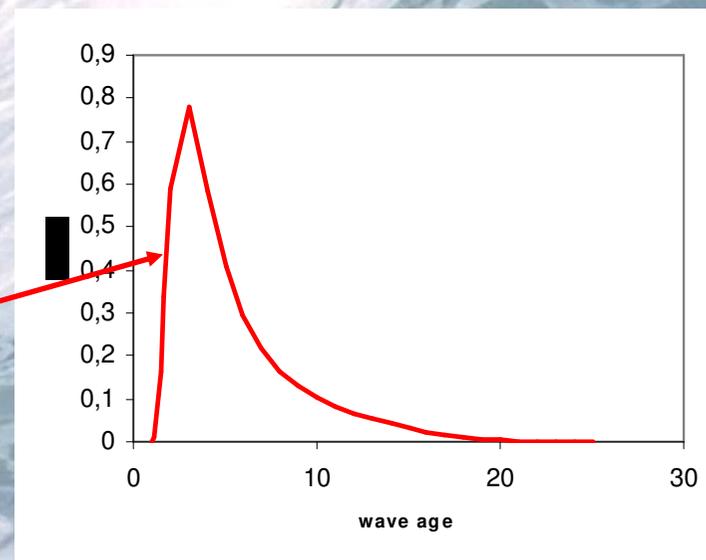
$$\mu = k^2 \frac{gz_0}{u_*^2} \left(\frac{u_*}{kc_p} \right)^2 \exp\left(k \frac{c_p}{u_*}\right)$$

An expression of W for a growing wave field

$$\tau_{dis} = -\alpha W \omega_p E \quad \text{Kraan et al. (1996)}$$

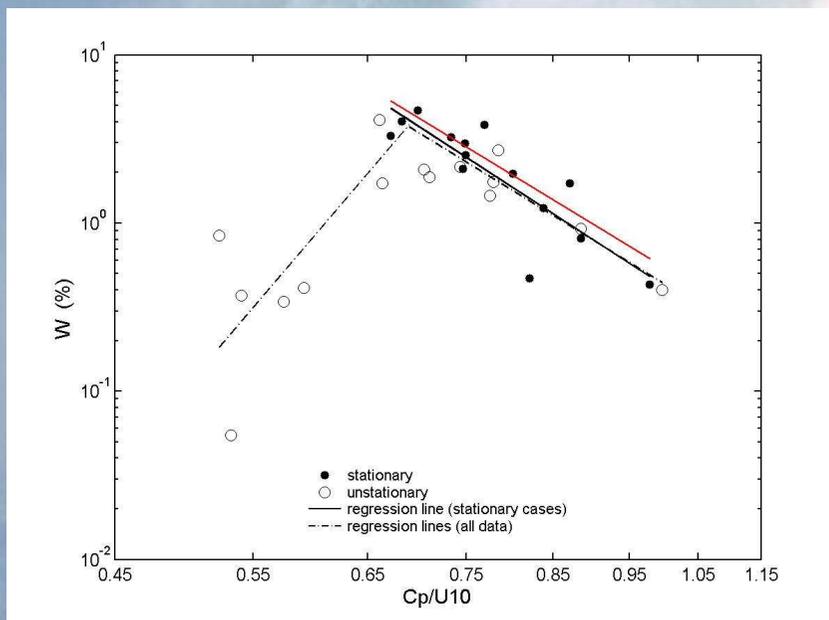
$$W \approx \dot{E} \approx \omega E \frac{\rho_a}{\rho_w} \left[\frac{u_*}{c} \cos(\theta - \phi) \right]^2 \beta \approx \tau_{dis}$$

$$W \approx \frac{\rho_a}{\rho_w \alpha} \left(\frac{u_*}{c} \right)^2 \beta$$



Modification de Monahan et al. (1986)- Le taux de déferlement W pour des états de mer partiellement développés (Lafon et al., 2007)

Lafon et al. (2007)-Méthode vidéo



$$dF/dr = W\tau^{-1}dE/dr$$

$$W(\%) = \begin{cases} 70 \times (c_p/U_{10})^{85} & \text{for } c_p/U_{10} \leq 0.68 \\ 0.65 \times (c_p/U_{10})^{-41} & \text{for } c_p/U_{10} > 0.68 \end{cases}$$

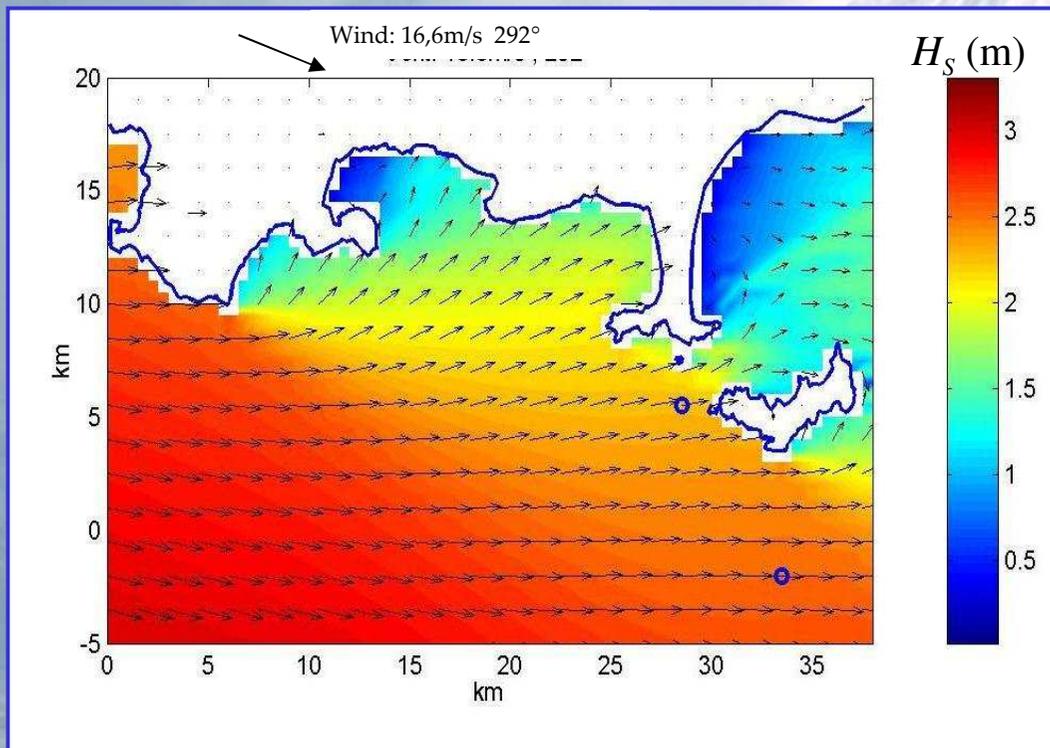


Jacques Piazzola

Implémentation of a wave model on the study area

$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial t} + \vec{v} \nabla \vec{M} = \frac{\vec{\tau}_w}{\rho_e} \quad \text{où} \quad \vec{M} = g \iint \frac{F(f, \theta)}{c(f)} \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} d\theta df$$

$$\frac{m_0}{M} = c_1 \left(\frac{c_p}{g} \right)^{c_2}$$



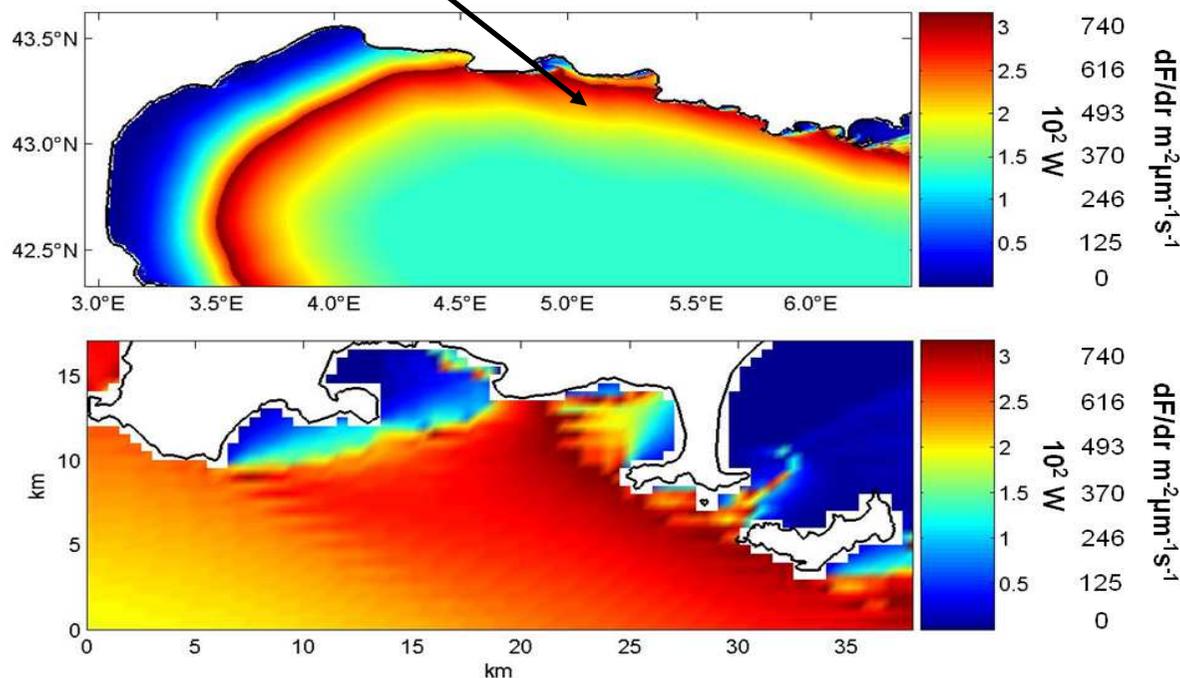
Coefficients of the model determined using buoy data recorded during The EMMA campaign

$$\tilde{H}_S^2 = 1,3 \cdot 10^{-4} \tilde{f}_p^{-2,84}$$

$$m_0 / M = 0,91 \left(c_p / g \right)^{1,00}$$

Variation spatiale des flux d'aérosols marins en zone Méditerranéenne (Piazzola et al., 2009).

Le modèle de déferlement forcé par un modèle de vagues permet d'obtenir la couverture spatiale de la production



L'aire colorée en rouge correspond à une production d'aérosols marins deux à trois fois plus importante qu'en plein océan (zone verte).

Conditions aux surfaces frontières-Un modèle pour le spectre en taille de l'aérosol marin dans la couche limite atmosphérique marine.

MEDEX (Piazzola et al., 2000; 2003)

$$N(r) = \sum_{i=1}^4 \frac{A_i}{f} \exp\left(-C_i \left(\ln\left(\frac{r}{fr_{0i}}\right)\right)^2\right)$$

Les formules relient l'amplitude et la largeur du mode au fetch, X (en mètres) et à la vitesse du vent U (in ms^{-1}):

Le facteur de grossissement : $f = \left(\frac{2-S}{6(1-S)}\right)^{1/3}$

$$A_1 = -24350 \text{Ln}X + 345901$$

$$((0.03 \text{Ln}X - 0.282)U - 0.385 \text{Ln}X + 5.25)$$

$$A_2 = 10$$

$$((0.045 \text{Ln}X - 0.398)U - 0.47 \text{Ln}X + 3.25)$$

$$A_3 = 10$$

$$((0.0095 \text{Ln}X - 0.0593)U + 0.1424 \text{Ln}X - 4.3417)$$

$$A_4 = 10$$

$$C_1 = -0.19 \text{Ln}X + 3.2$$

$$C_2 = -0.148 \text{Ln}X + 2.883$$

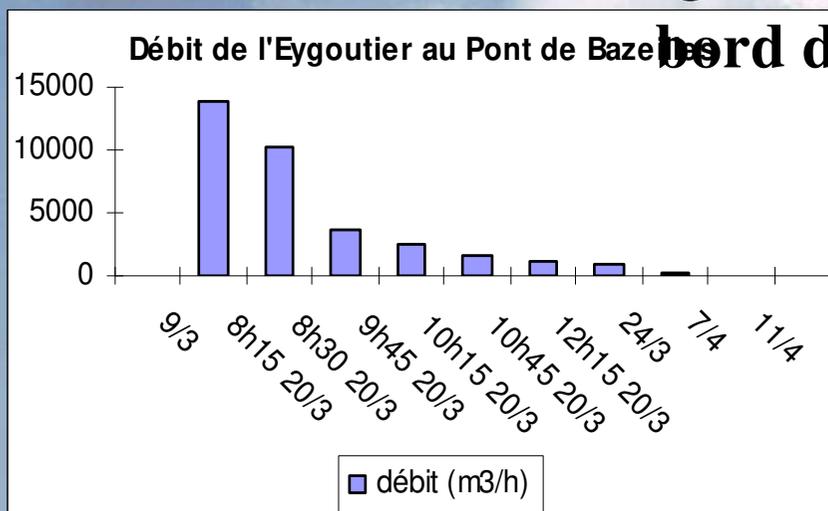
$$C_3 = -0.295 \text{Ln}X + 4.55$$

$$C_4 = 10$$

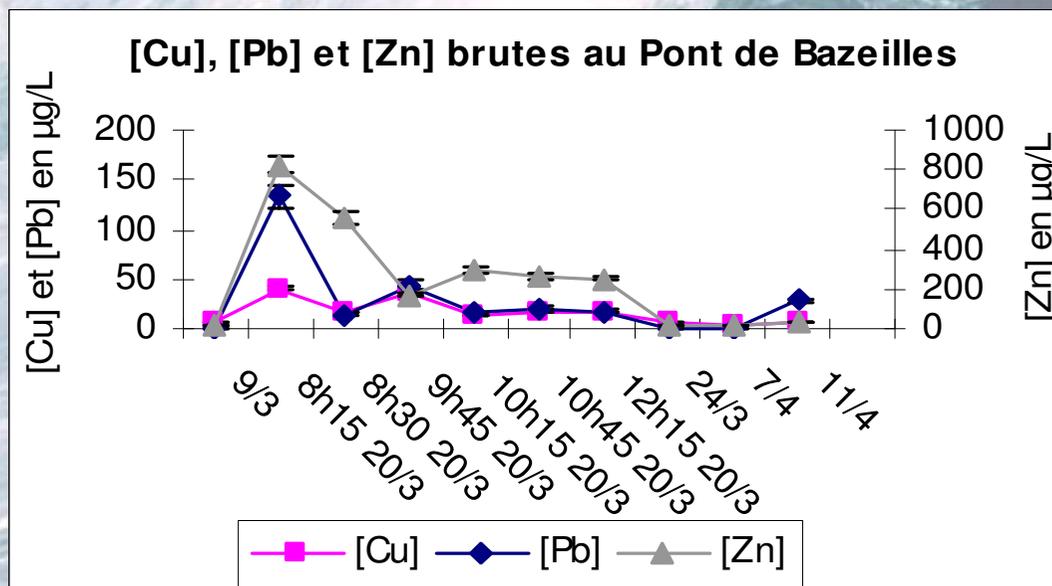
Jacques Piazzola

IMPACT LOCAL DES PHENOMENES DE RUISSELLEMENT

Qualité des eaux- Déferlement en bord de plage



Pluie intense (9 cm en 1h 30) après 3 mois de sécheresse.



QUESTION 1- CONSÉQUENCES DES TEMPÊTES SUR LES FLUX D'AÉROSOLS MARINS

Inondations+ épisodes de pollution

Question de la modification déferlement et des flux océan-atmosphère

**Qualité des eaux côtières
(diagnostic de l'appauvrissement de l'écosystème littoral)**



Qualité de l'air

INFLUENCE DE LA COMPOSITION DE L'EAU SUR LE DEFERLEMENT - COUPLAGES VENT/BATHYMETRIE



Analyses en laboratoire-Soufflerie « eau salée »

Physique

Chimie de l'eau

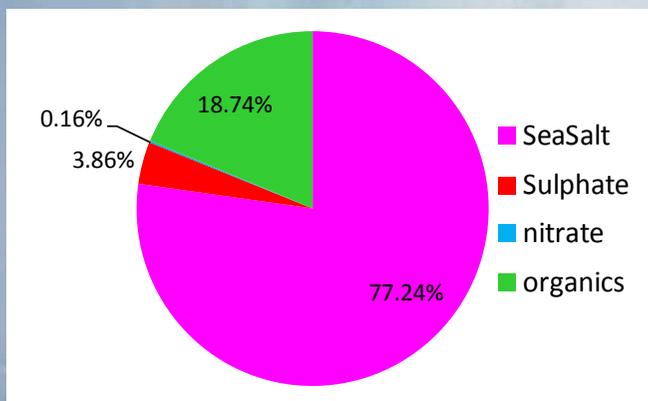
Effets bathymétriques +
vagues de vent

Composition chimique (gaz
dissous, DOM, surfactants,
métaux) EDX

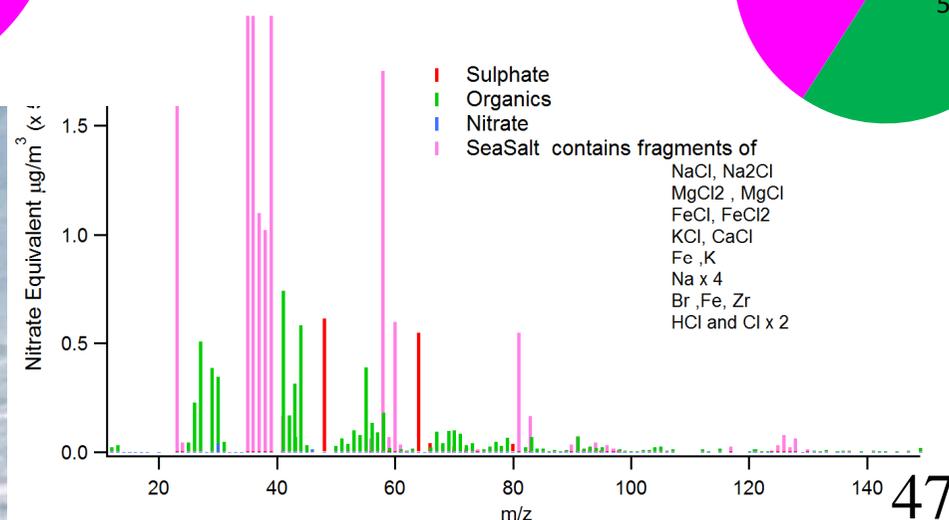
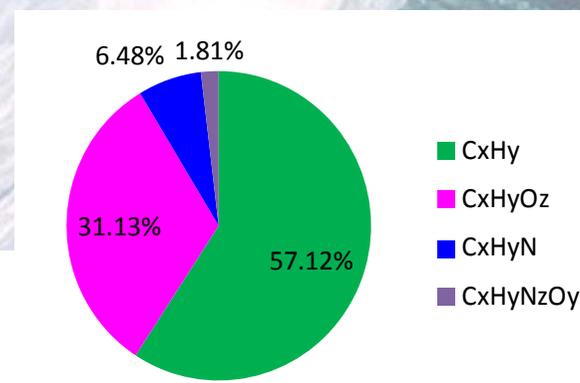
Mesure du taux de déferlement par méthode
photographique (Lafon et al., 2007)

Mise en place d'un suivi saisonnier de concentrations d'aérosols en zone littorale (site à définir) Spectrométrie de masse

Analyse des épisodes de bloom

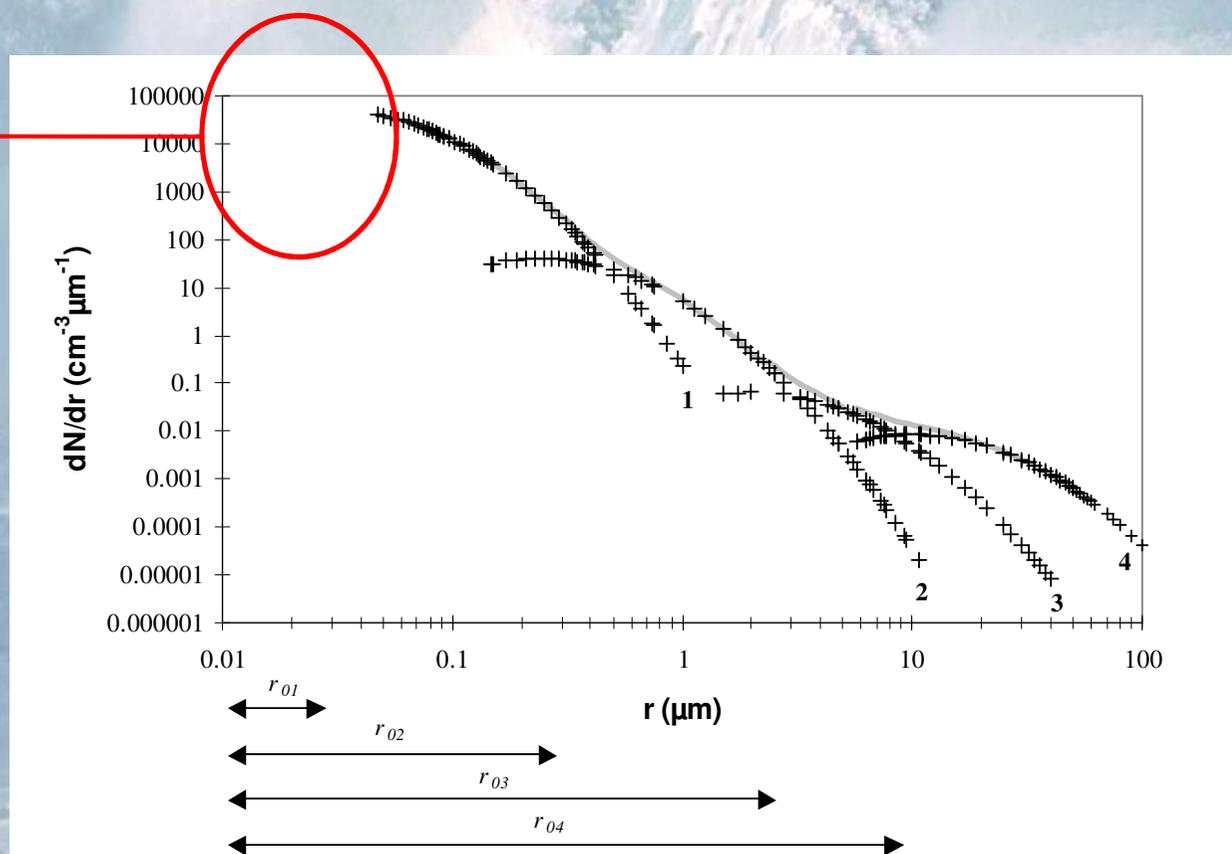


Empreinte de la fraction organique de la composante marine

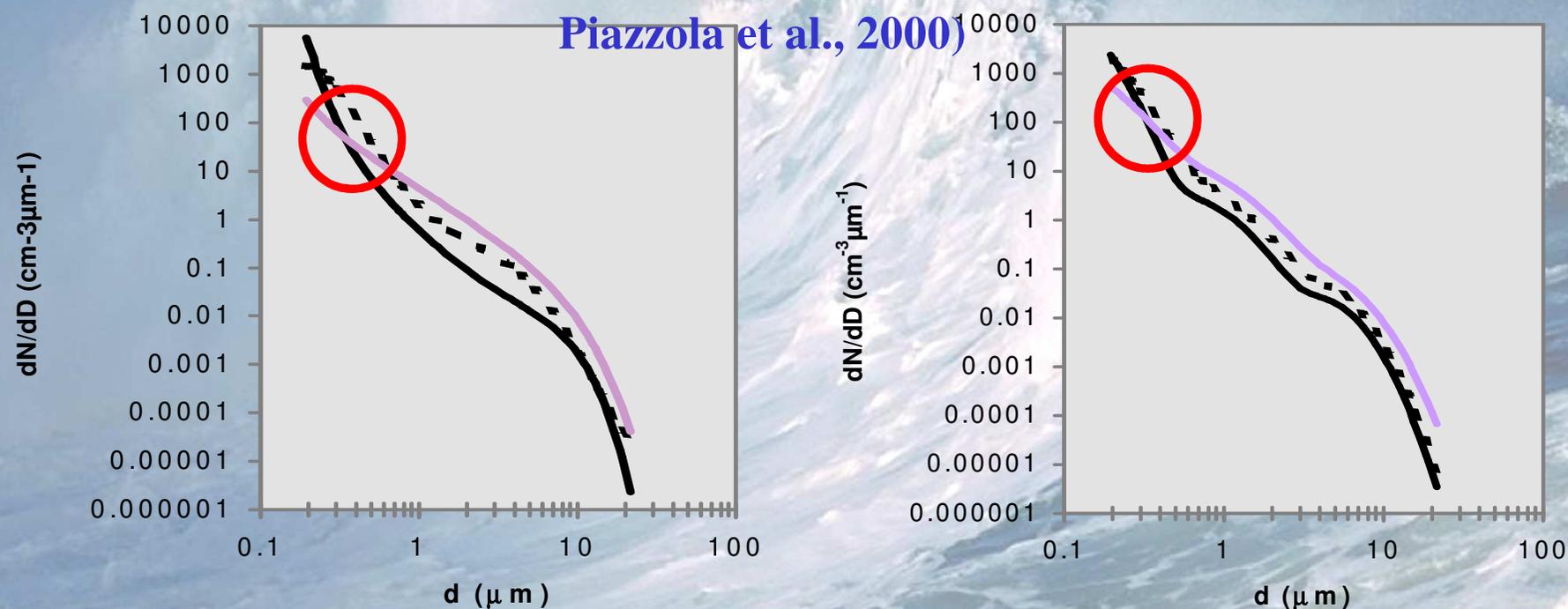


The aerosol size spectrum calculated using the sum of four log-normal laws

The Aitken peak is missing



Modèle pour les distributions en zone cotière



Full line: fetch of 10 km; dashed line: 22 km; grey curve: 200 km. The wind speed is 10 m/s.

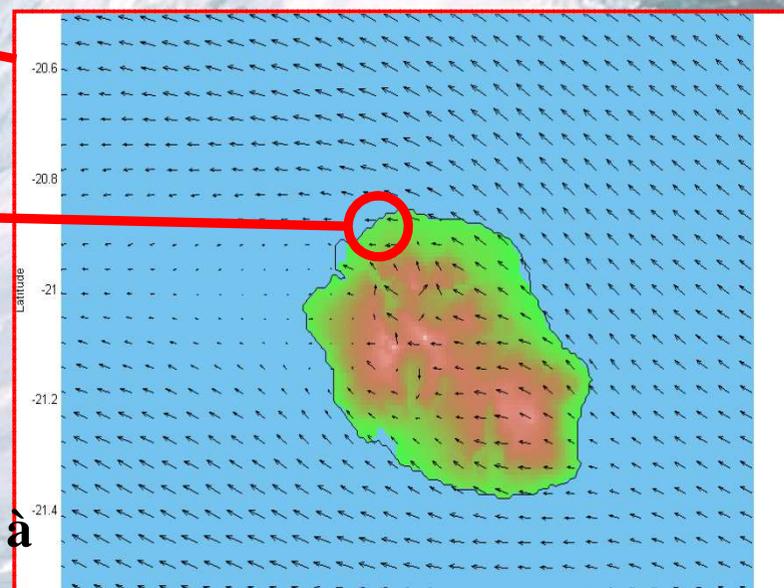
Jacques Piazzola

La description complète de la dynamique de l'aérosol marin sur la zone littorale est obtenue à partir d'une chaîne de modèles imbriqués RAMS-MEDEX-MACMod

RAMS+MEDEX

**Echelle locale
MACMod**

Modèles utilisés calés sur la zone d'étude à partir de données expérimentales



Conditions aux limites en zone anthropisée- Caractérisation physico-chimique de l'aérosol en zone côtière méditerranéenne (Piazzola et al., 2012)

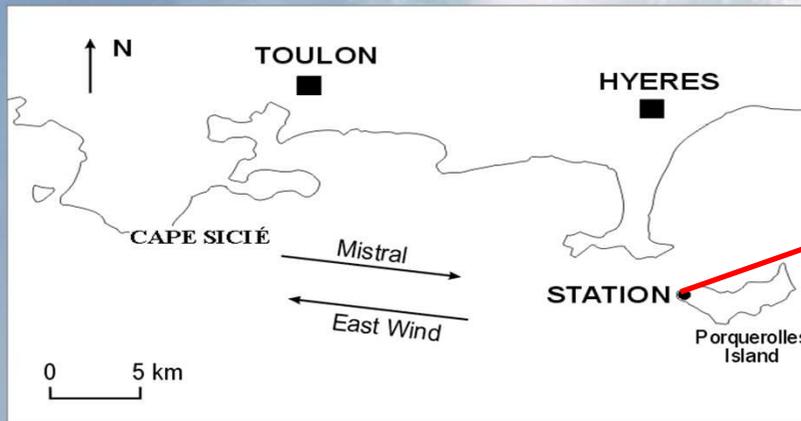


Table 2: Concentrations of major species ($\mu\text{g m}^{-3}$)

	Cl	NO ₃	SO ₄	ox	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	OC	EC
Coastal	0.84	1.52	3.10	0.17	0.79	0.48	0.13	0.13	0.30	4.97	0.33
Mediterranean	1.84	3.48	2.67	0.37	1.79	0.21	0.16	0.35	1.78	2.07	0.17
Mistral	5.14	0.24	1.18	0.02	2.99	0.08	0.12	0.41	0.10	5.37	0.13

Cl et Na confirment Sellegri et al. (2001) sur la zone et Bardouki et al. (2003) en Med. orientale

Sulfates: concentrations inférieures à Eleftheriadis et al. (2006) et (Bardouki et al. 2003), en Med. orientale i.e., 10.12 et $6.88 \mu\text{g m}^{-3}$

OC dans le mode submicronique supérieurs qu'en période de bloom phytoplanctonique Atlantique Nord (Cavalli et al., 2004)-

Jacques Piazzola