

Titre de la thèse :

Modélisation haute résolution de la dynamique de l'aérosol côtier en zone méditerranéenne : application à la qualité de l'air

Directeurs de thèse :

- Jacques Piazzola (MIO, UMR n°7294) jacques.piazzola@univ-tln.fr
- Pierre Sagaut (M2P2, UMR n° 7340) pierre.sagaut@univ-amu.fr

1. Contexte et objectifs

L'atmosphère côtière méditerranéenne est caractérisée par la présence de nombreuses sources de particules atmosphériques d'origine anthropique ou naturelle dont l'impact sur la qualité de l'air et la santé préoccupe grandement les autorités. En particulier, dans un contexte global de changement climatique et de la pression anthropique subie par les régions urbanisées côtières, de larges incertitudes concernent l'évolution à moyen terme de la qualité de l'air en région SUD PACA. C'est dans ce cadre que s'inscrit notamment, le projet AER-NOSTRUM du dernier volet MARITIMO et financé par le programme INTERREG dédié au suivi et à la modélisation de la qualité de l'air dans les ports méditerranéens dans lequel le laboratoire MIO est impliqué. L'estimation de l'impact des aérosols sur les propriétés de la basse atmosphère en région côtière nécessite une meilleure compréhension de la dynamique atmosphérique des particules. Pour ce faire, l'utilisation de modèles numériques dits de « chimie et de transport » connus aussi sous leur nom anglais, Chemistry Transport Model (CTM) peut s'avérer une aide précieuse dans l'évaluation du devenir atmosphérique des particules. Un des axes de travail du sujet de thèse proposé consistera à travailler sur le couplage entre un modèle CTM d'emprise régionale, type WRF-Chem (Skamarok et al., 2005) ou MESO-NH (Aumond et al., 2013) à des modélisations nouvelle génération à haute résolution de type LES (Large Eddy Simulation ; Sagaut, 2005). L'objectif sera de pouvoir fournir des simulations numériques permettant de prédire la qualité de l'air à l'échelle d'une rue, d'une plage ou d'un port. L'utilisation d'un modèle CTM fournira les conditions aux frontières ainsi que l'ensemble des sources et leurs caractéristiques, ce qui est important dans le cas de zones anthropisées telle que la zone côtière méditerranéenne. Cependant, l'amélioration des prévisions de ces modèles pour les zones côtières urbanisées nécessite la possibilité de comparer les simulations avec des données expérimentales pertinentes. C'est pourquoi, le candidat validera la démarche de modélisation en mettant en place une série de mesures sur des sites côtiers particulièrement vulnérables (plages, ports, routes littorales ...), qui correspondent à des zones spatialement limitées. Les mesures devront être alors comparées aux prédictions de la chaîne de modèles haute résolution mise en place au préalable par le candidat. Pour ce faire, il serait nécessaire de conduire une série de campagnes expérimentales dédiées à l'analyse physico-chimique des particules transitant en zone côtière, combinant différentes techniques d'analyse et méthodologies expérimentales innovantes et sur différents sites côtiers. Dans le cadre de cette thèse, nous proposons de mettre en place une méthodologie de mesures innovante basée sur le développement d'un réseau de capteurs, dont un ensemble portatif pour investiguer à échelle fine différents lieux de la zone méditerranéenne nord-occidentale. En particulier, on souhaite utiliser des capteurs

d'aérosols portatifs permettant un échantillonnage fin de la zone investiguée à partir de piétons. En particulier, il semble pertinent que ce réseau soit constitué de stations en zone urbaine et quelques-unes plus éloignées des zones anthropisées. C'est pourquoi, une partie des mesures seront conduites à la station du MIO sur l'île de Porquerolles qui permettra de mieux appréhender la dynamique atmosphérique des polluants vis-à-vis d'une zone urbaine. Ce travail doit permettre de fournir au finale une meilleure description du devenir des aérosols dans la couche limite atmosphérique en région littorale en développant plus spécifiquement trois axes de travail (cf. paragraphe 2) :

1/ Implémentation d'une chaîne de modèles à haute résolution CMT-LES incluant une modélisation avancée instationnaire à haute-fidélité de la physique des aérosols (génération, transport, évolution)

2/ Mise en place de campagne de mesures sur plage et rue du littoral à l'aide de piétons équipés de capteurs portatifs et ainsi que mesures de références à la station du MIO sur l'île de Porquerolles.

3/ Validation d'outils destinés à prévoir la qualité de l'air du littoral Méditerranéen

2. Démarche proposée

Le travail s'organisera en trois axes :

1- Modélisation de la dynamique atmosphérique des particules à haute résolution pour la zone littorale par modélisation LES

Le premier axe de travail consistera à développer une approche multi-échelle, le modèle régional résout généralement les équations de Navier-Stokes, permettant une résolution spatiale jusqu'à 1 km et une résolution temporelle généralement d'une heure. L'optimisation des performances du modèle de transport des aérosols à l'échelle littorale nécessite dans un premier temps une étude approfondie des conditions aux surfaces frontières et d'initialisation. Une comparaison des modèles WRF-Chem et MESO-NH sera menée pour modéliser la dispersion atmosphérique des contaminants. Cependant, ces modèles CTM ne peuvent pas travailler à des résolutions inférieures à 500 mètres pour des raisons de stabilité numérique. La description de l'environnement à grande échelle ainsi obtenue servira donc à initialiser les calculs de modèles atmosphériques à haute résolution tels que les modèles LES (Large Eddy Simulation) capables de fournir une description de la dynamique petite échelle de l'atmosphère. Une stratégie de modèles imbriqués fournira des simulations haute résolution sur des sites présélectionnés dans l'objectif de valider par des mesures la modélisation proposée. Un effort sera consacré à la modélisation de la physique des aérosols dans le modèle LES.

2- Validation expérimentale

Dans un second temps, on s'appuiera sur une campagne expérimentale de validation menée sur différents sites du littoral varois à partir d'une méthodologie innovante basée sur l'utilisation d'un ensemble des capteurs portatifs de concentrations d'aérosols. Les sites choisis pourront être le port de Toulon en période de trafic portuaire intense et une rue adjacente,

ainsi que sur la plage du Mourillon à Toulon. Il est prévu d'équiper des piétons de capteurs portatifs qui permettront d'une part la mise en place d'un maillage fin des sites investigués et de mettre à contribution la population. Dans le même temps, une campagne de mesures long terme sera conduite sur l'île de Porquerolles à la station du laboratoire située au Grand-Langoustier pour étudier la dispersion des polluants vers un territoire extérieur à la zone source anthropisée. On mesurera les distributions granulométriques de l'aérosol à partir d'un compteur BAM 1020, utilisé par la surveillance de la qualité de l'air, mais aussi de deux sondes PMS, la CSASP-100 HV et le modèle ASASP-X pour la gamme de taille 0.1- 45 μm , assez large pour évaluer les transformations atmosphériques sur ces échelles de distances littorales et référent pour ma mesure en zone maritime.

3. Conséquences sur la prévision de la qualité de l'air sur le littoral Méditerranéen

Les nouvelles connaissances sur la dynamique atmosphérique de l'aérosol marin acquises au cours de ce travail de thèse devront permettre de mettre en place de nouveaux outils pour mesurer et prédire la qualité de l'air sur des zones de petite échelle spatiale.

Collaborations et projets en soutien :

Le projet pourra bénéficier du projet AER-NOSTRUM financé sur le dernier volet du programme, INTERREG MARITMO et des travaux de modélisation prévus dans le cadre du projet ANR "MATRAC" porté par le MIO et pour lequel le CNRM est impliqué pour les comparaisons WRF-Chem/ Mésos-NH, en collaboration notamment avec Christine Lac (IR), spécialiste de la modélisation météorologique et M. Mallet (CR1) spécialiste de l'aérosol. Il est possible aussi que les directeurs de thèse sollicitent un soutien au programme national LEFE (Les Enveloppes Fluides et l'Environnement - CNRS Insu) dont le prochain appel d'offres est programmé pour septembre 2020.

Références

Andreas, E. L. (2011), Fallacies of the enthalpy transfer coefficient over the ocean in high winds, *J. Atmos. Sci.*, 68, 1435–1445, doi:10.1175/2011JAS3714.1.

Andreas, E. L. (2010), Spray-mediated enthalpy flux to the atmosphere and salt flux to the ocean in high winds, *J. Phys. Oceanogr.*, 40, 608–619, doi:10.1175/2009JPO4232.1.

Aumond, P., V. Masson, C. Lac, B. Gauvreau, S. Dupont and M. Berengier (2013). Including the drag effects of canopies: real case large-eddy simulation studies, *Boundary-Layer Meteorol.* 146, 65-80.

Barthe, C, Hoarau, T, Tulet, P, Bovalo, C, Pinty, JP, Claeys, M and Vié, B (2016) First evaluation of the aerosol - microphysics - electrification coupling in the Meso-NH model: lightning activity within a tropical cyclone of the South-West Indian ocean, 17th International Conference on Clouds and Precipitation, Jul 2016, Manchester, United Kingdom BibTex.

Berk, A. Bernstein L.S. and D.C. Robertson, "MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN 7," Air Force Geophysics Laboratory Technical Report GL-TR-89-0122, Hanscom AFB, MA (1989).

Blanchard, D.C. and A.H. Woodcock (1958), Bubble formation and modifications in the sea and its meteorological significance, *Tellus* 9, 145-158.

Demoisson, A., Tedeschi, G. and J. Piazzola, (2013) A model for the atmospheric transport of sea-salt particles in coastal areas, *Atmospheric Research*, vol 132-133, pp. 144-153.

Giorgi, F. and P. Lionello, (2008) Climate change projections for the Mediterranean region, *Global Planet. Change*, 63, 90–104, doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005.

Hultin, K. A. H., E. D. Nilsson, R. Krejci, E. M. Martensson, M. Ehn, A. Hagstrom, and G. de Leeuw (2010), In situ laboratory sea spray production during the Marine Aerosol Production 2006 cruise on the northeastern Atlantic Ocean, *J. Geophys. Res.*, 115, D06201, doi:10.1029/2009JD012522.

Labarre L., Caillaud K., Fauqueux S., Malherbe C., Roblin A., Rosier B., Simoneau P., Stein K., Wendelstein N (2011) MATISSE-v2.0 : new functionalities and comparison with MODIS satellite images Proc. SPIE Defense, Security and Sensing, Orlando, 2011.

Martinet, M., O. Nuissier, F. Duffourg, V. Ducrocq and D. Ricard (2017) Fine-scale numerical analysis of the sensitivity of the HyMeX IOP16a heavy precipitating event to the turbulent mixing length parameterization, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 143, 3122-3135,

Merrouchi, R. , Chagdali, M., Mordane S., Piazzola, J. (2013) Study of the Impact of the Natural Production of Coastal Marine Aerosols on the Dynamics and Microphysical Behavior of a Convective Cloud, *Geosciences*, pp. 35-47 DOI: 10.5923/j.geo.20130302.01

Monahan, E.C., D.E. Spiel and K.L. Davidson (1986), A model of marine aerosol generation via whitecaps and wave disruption, in *Oceanic Whitecaps*, edited by E.C. Monahan and G. McNicocail, pp. 167-174, D. Reidel, Norwell, Mass.

Piazzola, J. Bouchara, F. Van Eijk A.M.J. et G. De Leeuw (2003) “Development of the Mediterranean extinction code MEDEX,” *Optical Engineering*, vol. 42, n° 4, pp 912-924.

Richter, H and D.P Stern (2014) Evidence of spray-mediated air-sea enthalpy flux within tropical cyclones, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2997–3003, Doi: 10.1002/2014GL059746.

Sagaut, P (2005) *Large-eddy simulation for incompressible flows*, third edition, Springer

Skamarock, W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Wang W., Powers J. G (2005) A description of the Advanced Research WRF Version 2, NCAR Tech Notes-468+STR.

Stramska, M. Marks R. and E.C. Monahan (1990) Bubble mediated aerosol production as a consequence of wave breaking in supersaturated (hyperoxic) sea water, *J. Geophys. Res.*, 95, No. C10, 18,281-18, 288.

Références de l'équipe sur le sujet et bibliographie :

1. S. Laussac, J. Piazzola, G. Tedeschi, E. Canepa, C. Yohia, U. Rizza et A.M.J. van Eijk (2018) Development of a fetch dependent sea-spray source function using aerosol concentration measurements in the North-Western Mediterranean, *Atmospheric Environment* n° 132. pp. 153–162, doi:10.1016/j.atmosenv.2016.02.044G.
2. Tedeschi, A.M.J. van Eijk, J. Piazzola et J. Kusmierczyk-Michulec (2017) Influence of the Surf Zone on the Marine Aerosol Concentration in a Coastal Area, pp. 1-24, *Boundary-Layer Meteorology*. doi:10.1007/s10546-016-0229-7
3. J. Piazzola, N. Mihalopoulos, E. Canepa, G. Tedeschi, P. Prati, P. Zampas, M. Bastianini, T. Missamou et L. Cavaleri (2016) Characterization of aerosols above the Northern Adriatic Sea: case studies of offshore and onshore wind conditions, *Atmospheric Environment* n° 132. pp. 153–162, doi:10.1016/j.atmosenv.2016.02.044.
4. J. Piazzola, Tedeschi, G et Demoisson A (2015) A model for the transport of sea-spray aerosols in the coastal zone, *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 155, n° 2, 350-369, doi10.1007/s10546-014-9994-3.
5. Demoisson, A, Tedeschi, G and J. Piazzola (2013) A model for the atmospheric transport of sea-salt particles in coastal areas, *Atmospheric Research*, vol 132-133, pp. 144-153, doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.04.002.
6. Feng, Y., Boivin, P., Jacob, J., Sagaut, P. (2019) Hybrid recursive regularized lattice Boltzmann simulation of humid air with application to meteorological flows, *Phys. Rev. E* 100, 023304
7. Merlier, L., Jacob, J., Sagaut, P. (2019) Lattice-Boltzmann Large-Eddy Simulation of pollutant dispersion in complex urban environment with dense gas effect : Model evaluation and flow analysis, *Building and Environment* 148, 634-652
8. Merlier, L., Jacob, J., Sagaut, P. (2018) Lattice-Boltzmann Large-Eddy Simulation of pollutant dispersion in street canyons including tree planting effects, *Atmospheric Environment* 195, 89-103
9. Jacob, J., Sagaut, P. (2018) Wind comfort assessment by means of large-eddy simulation with Lattice-Boltzmann method in full scale city area, *Building and Environment* 139, 110-124
10. Mons, V., Margheri, L., Chassaing, J.C., Sagaut, P. (2017) Data assimilation-based reconstruction of urban pollutant release characteristics , *J. Wind Engng. Industrial Aerodyn.* 169, 232-250