



**HAL**  
open science

# Performances des modélisations déterministes d'ozone à méso-échelle et à micro-échelle dans les Alpes-Maritimes

Nicolas Martin

► **To cite this version:**

Nicolas Martin. Performances des modélisations déterministes d'ozone à méso-échelle et à micro-échelle dans les Alpes-Maritimes. *Cybergeo: Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2010, <http://cybergeo.revues.org/index23183.html>. hal-00515490

**HAL Id: hal-00515490**

**<https://hal.science/hal-00515490>**

Submitted on 7 Sep 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Cybergegeo : European Journal of Geography

Systemes, Modélisation, Géostatistiques

---

Nicolas Martin

## Performances des modélisations déterministes d'ozone à méso-échelle et à micro-échelle dans les Alpes- Maritimes

---

### Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

**revues.org**

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le CLEO, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

---

### Référence électronique

Nicolas Martin, « Performances des modélisations déterministes d'ozone à méso-échelle et à micro-échelle dans les Alpes-Maritimes », *Cybergegeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systemes, Modélisation, Géostatistiques, document 503, mis en ligne le 17 juin 2010. URL : <http://cybergegeo.revues.org/index23183.html>  
DOI : en cours d'attribution

Éditeur : CNRS-UMR Géographie-cités 8504

<http://cybergegeo.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne à l'adresse suivante : <http://cybergegeo.revues.org/index23183.html>

Document généré automatiquement le 19 juillet 2010.

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Nicolas Martin

# Performances des modélisations déterministes d'ozone à méso-échelle et à micro-échelle dans les Alpes-Maritimes

## Introduction

- 1 La pollution par l'ozone constitue un double enjeu environnemental qui préoccupe de plus en plus les sociétés. D'une part, l'ozone intègre la sphère du réchauffement climatique puisque ce polluant est responsable à hauteur de 8 % de l'effet de serre planétaire (IPCC, 2007) ; son niveau de fond dans les basses couches de l'atmosphère est en hausse depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle (Gheusi et al., 2007 ; Guicherit et Roemer, 2000). D'autre part, il représente un danger pour la santé qui focalise à nouveau la recherche scientifique (Kinney, 2008). Or, le département des Alpes-Maritimes, dans l'extrême sud-est de la France, réunit tous les facteurs favorables à l'expression de cette pollution : les émissions de polluants primaires (oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et composés organiques volatils COVs) par la circulation routière et par les forêts produisent des quantités d'ozone non négligeables sous un puissant rayonnement ultraviolet, d'avril à septembre, au cours de la saison dite photochimique. La configuration topographique, conjuguée à un climat méditerranéen, ne permet pas un brassage suffisant de l'air pour diluer correctement cette pollution atmosphérique (Martin, 2008).
- 2 Très présent chaque été dans les Alpes-Maritimes, les niveaux d'ozone sont suivis rigoureusement afin d'informer la population au mieux et en continu. Outre la surveillance quotidienne des concentrations atteintes grâce au réseau de mesures d'Atmopaca ([www.atmopaca.org](http://www.atmopaca.org)), ce polluant fait l'objet depuis plusieurs années de prévisions numériques. Les modèles de prévisions employés intègrent au mieux, sous forme d'équations, l'ensemble des phénomènes jouant un rôle dans les processus de formation, de transport et de destruction de l'ozone au sein de l'atmosphère. Cette démarche est plus profitable que la prévision statistique ponctuelle (station par station) puisqu'elle permet d'obtenir une information continue dans l'espace. Certes la géostatistique pourrait également fournir une cartographie du phénomène, mais elle requiert un réseau de mesures très dense afin d'appréhender au mieux la variabilité spatiale de l'ozone. Or, les contraintes économiques et techniques ne permettent que très rarement de développer un tel réseau ; les Alpes-Maritimes ne disposent que de neuf analyseurs d'ozone au sein d'un territoire très varié. Ainsi, une démarche déductive est vraisemblablement la voie la plus pertinente afin de prévoir les concentrations d'ozone dans un but préventif.
- 3 Si le modèle déterministe PREV' AIR pêche à micro-échelle, la plateforme AIRES développée depuis 2003 a pour objectif de mieux prendre en considération les particularités locales, afin de proposer des prévisions d'ozone à une meilleure résolution spatiale. Les performances de ce modèle sont évaluées grâce à une grande quantité d'observations recueillies en mode itinérant durant les saisons photochimiques 2006, 2007 et 2008.

## Les outils de prévisions d'ozone en Europe, en France et dans les Alpes-Maritimes

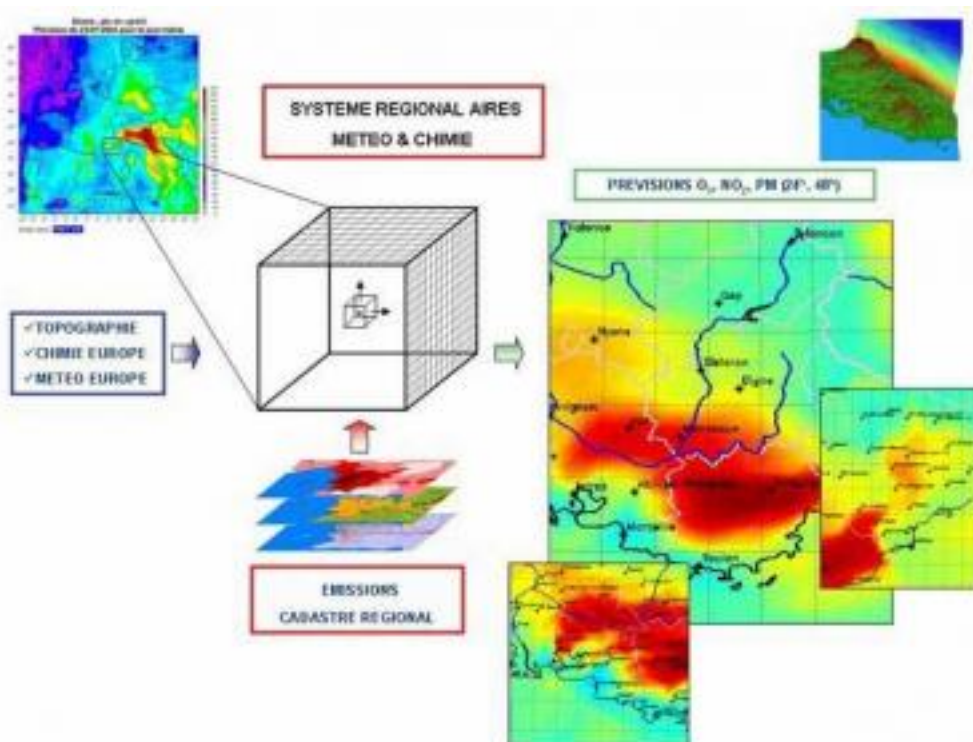
### Le système PREV' AIR

- 4 Ce système a été développé en 2003 à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable pour proposer au public des cartographies de la pollution

atmosphérique (ozone et dioxyde d'azote à l'origine, et particules dès 2006) sur la France et l'Europe, mais également sur l'ensemble du globe pour l'ozone ([www.prevoir.org](http://www.prevoir.org)). Divers acteurs contribuent au fonctionnement de ce modèle : l'INERIS (Institut National de l'Environnement et des RISques), l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), Météo-France et l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). De multiples composantes sont intégrées dans PREV'AIR afin de reproduire le plus fidèlement possible les mécanismes naturels et pour prendre en compte les facteurs anthropiques responsables des concentrations de polluants mesurées dans les basses couches de l'atmosphère. Des cadastres d'émissions et des prévisions météorologiques (modèle ARPEGE de Météo-France) alimentent le système. Les modèles de chimie-transport MOCAGE et CHIMERE sont ensuite chargés d'établir la prévision des concentrations des divers polluants. Ces simulations sont établies pour trois domaines, le globe, l'Europe et la France. Les modélisations effectuées sur ce pays ont une résolution spatiale de  $0,15^\circ \times 0,1$ . Elles serviront de conditions aux limites dans la plateforme AIRES.

## La plateforme AIRES

- 5 Dès 2000, une coordination régionale voit le jour entre l'ADEME, la DRIRE PACA et les trois réseaux de surveillance de la qualité de l'air de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur de l'époque (Qualitair, Airfobep et Airmaraix ; Air Languedoc-Roussillon rejoindra ce groupe en 2007). Une des missions régionales, pilotée par Airmaraix (devenue depuis Atmopaca après la fusion avec Qualitair), est dédiée aux "émissions et modélisation des polluants". A ses débuts (2001-2003), cette mission régionale consistait essentiellement en un suivi et une valorisation à vocation opérationnelle du programme scientifique ESCOMPTE (Expérience sur Site pour COntreindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Emissions <http://escompte.mediasfrance.org>). A partir de 2003, cette coopération régionale prend le nom d'Air Alpes Méditerranée, se dote d'une charte de mutualisation des moyens et, avec l'aide du Contrat de Plan Etat-Région, développe la plateforme de modélisation régionale AIRES. Ses objectifs sont d'établir des cadastres d'émissions à fine résolution spatiale et de prévoir les concentrations des polluants atmosphériques pour le jour J, J+1 et J+2. La plateforme AIRES est imbriquée dans le système PREV'AIR et permet d'affiner les simulations à méso-échelle au sein de la région PACA, pour les Bouches-du-Rhône et les Alpes-Maritimes (figure 1).



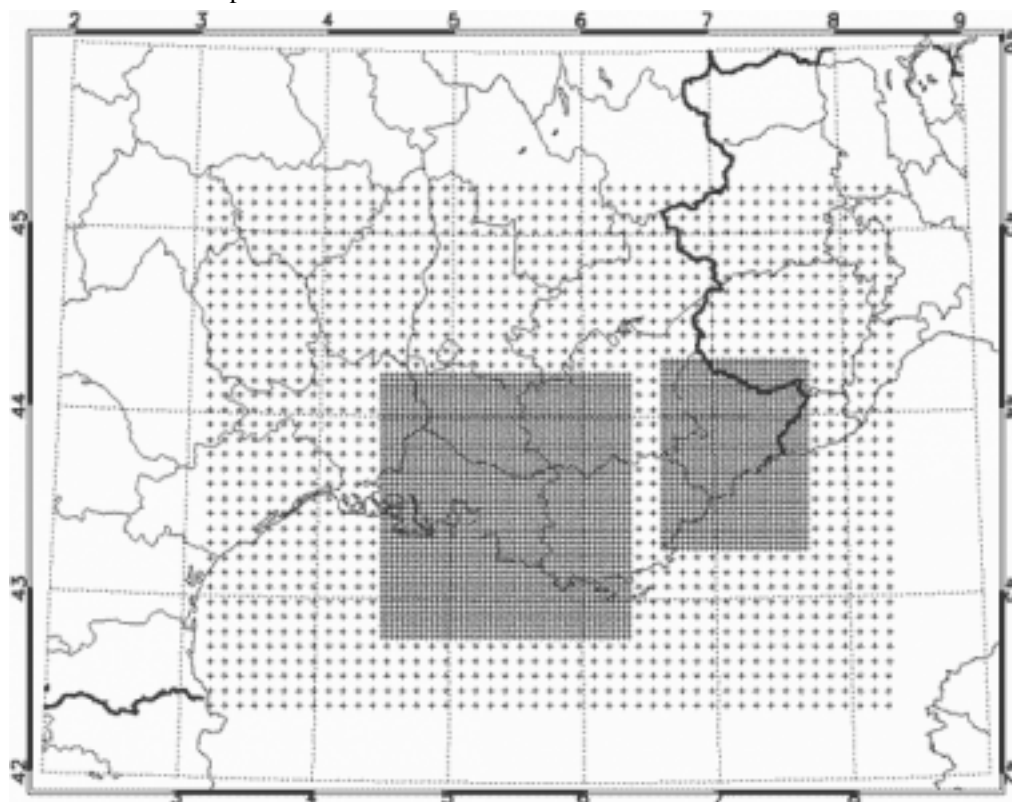
**Figure 1. Schéma descriptif du système AIREs**

Source : [www.aires-mediterranee.org](http://www.aires-mediterranee.org)

6 Son fonctionnement suit la même logique que celui du système PREV'AIR ; des données d'entrées nourrissent un modèle de chimie-transport qui fournit en sortie une information spatiale sur l'ozone, le dioxyde d'azote ou les particules fines :

- Les données d'entrée sont composées d'un cadastre d'émissions à une résolution kilométrique (référence 1999). D'une part, ce cadastre est évolutif tout au long de l'année, afin de prendre en compte notamment les composés organiques volatils d'origine biogénique dont les émissions sont fonction des rythmes végétaux (Kesselmeier et Staudt, 1998) ; d'autre part, le cadastre est également fonction du jour de la semaine dont l'impact sur les rejets de polluants, par le trafic routier et par les industries, fluctue fortement entre le weekend et le reste de la semaine (Marr et Harley, 2002 ; Blanchar et Tanenbaum, 2003). Les conditions de pollution atmosphérique aux limites sont apportées par les simulations à l'échelle de la France du système PREV'AIR. La topographie est décrite par un M.N.T. à 50 m de résolution spatiale et l'occupation du sol est fournie par la base de données CORINE Land Cover à 100 m. Enfin, les prévisions météorologiques sont assurées par le modèle MM5 (Mesoscale Model 5, <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>), lui-même alimenté par les prévisions du NCEP (National Centers for Environment Prediction). Les sorties numériques de MM5 ont une résolution spatiale de 3 km (contraintes physiques du modèle). La topographie initiale a donc été dégradée ; par conséquent, les calculs suivants utiliseront cette résolution, impliquant également une dégradation de la finesse du cadastre d'émissions.
- Le modèle de chimie-transport CHIMERE (<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere>) après collecte des données d'entrée simule les concentrations de polluants pour le jour même, le lendemain et le surlendemain à 3 km de résolution spatiale. Une modélisation des niveaux de pollution de la veille est également effectuée : les prévisions du NCEP sont alors remplacées par les analyses du NCEP en entrée de MM5. Le développement, la validation et la mise à jour du modèle CHIMERE est assurée par le Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'IPSL.

- 7 Trois domaines étaient imbriqués à l'origine pour les simulations (fig. 2). Depuis l'intégration de la région Languedoc-Roussillon, le plus grand domaine s'est élargi et un troisième zoom a vu le jour. Ces sous-domaines permettent d'améliorer la finesse des sorties numériques à 3 km de résolution spatiale.



**Figure 2. Les trois domaines imbriqués de modélisation de l'ozone en PACA**

Source : [www.aires-mediterranee.org](http://www.aires-mediterranee.org)

- 8 Il n'est pas aisé, en raison du faible nombre de points de mesures fixes de l'ozone, d'apprécier la qualité des modélisations de ce polluant dans le département. L'expérience ESCOMPTE a permis de mieux comprendre les mouvements des masses d'air dans la basse troposphère dans l'ouest de la région PACA, et a ainsi permis de mieux "caler" la plateforme AIREs pour les simulations dans les Bouches-du-Rhône (Bastin et al., 2004, Pirovani et al., 2007). En revanche, les Alpes-Maritimes n'ont jamais bénéficié d'études aérologiques de grande ampleur alors que la topographie très accidentée induit probablement un schéma de circulation de l'air particulièrement complexe (Carrega, 2008). Il se pourrait donc que les concentrations d'ozone obtenues en sortie d'AIREs ne soient pas le reflet de la réalité. Le croisement de ces données modélisées avec les mesures de terrain effectuées de 2006 à 2008 permet d'évaluer la fiabilité de la plateforme dans les Alpes-Maritimes.

## Les mesures itinérantes d'ozone

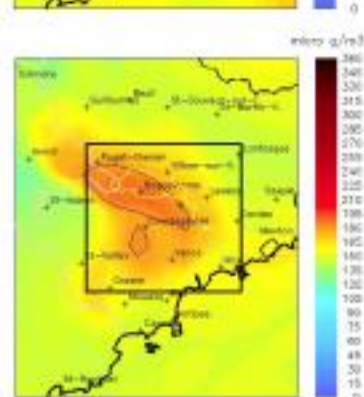
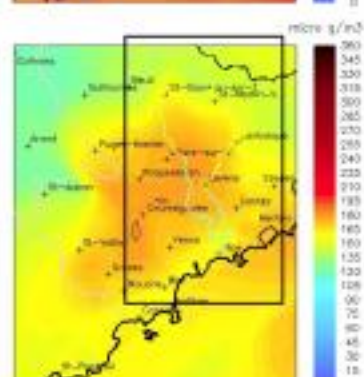
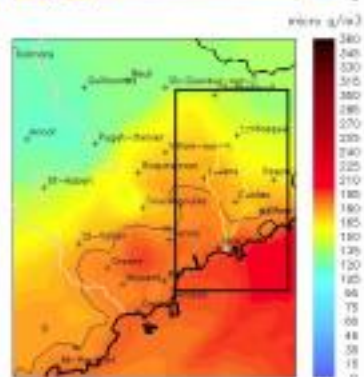
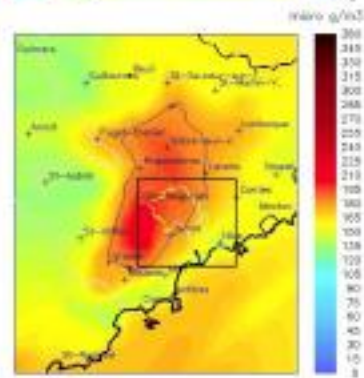
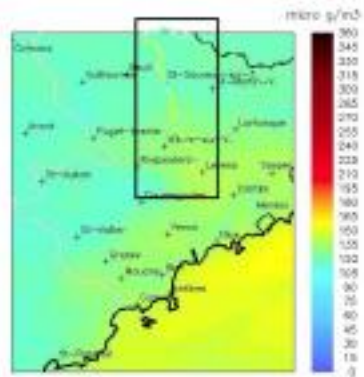
- 9 Au cours des saisons photochimiques de 2006 à 2008, des mesures d'ozone réalisées à l'aide d'analyseurs d'ozone portables (modèle 205 Dual Beam de 2B Technologies, Bognar et Birks, 1996) ont permis de capter la variabilité spatiale de ce polluant à très fine échelle dans le département. Recueillies en voiture ou à vélo selon l'aire d'étendue de la campagne de mesures, ces concentrations d'ozone sont établies selon le même procédé que celui utilisé par les appareils d'Atmopaca et se sont avérées d'une aussi bonne précision. Lors de chaque campagne de mesures, l'objectif était d'enregistrer la variabilité spatiale et non temporelle de l'ozone ; la mesure était donc validée *a posteriori* en fonction de la stabilité temporelle des

concentrations enregistrées par les stations d'Atmopaca à proximité immédiate du parcours emprunté.

- 10 La majorité de ce travail de terrain s'est orientée sur Nice et ses environs. Plus de 85 journées d'avril à septembre 2007 ont fait l'objet d'enregistrements d'ozone à vélo sur le même itinéraire urbain et périurbain de 45 km (Martin, 2009). Ces données permettent de tester à micro-échelle, et dans le temps, la pertinence des modélisations d'ozone de la plateforme AIREs. Le recours à des outils statistiques (moyennes et coefficients de corrélation) pour confronter les simulations aux mesures est rendu possible en raison du grand nombre d'observations.
- 11 À l'inverse, d'autres mesures itinérantes, en voiture cette fois, se sont déroulées sur une plus grande superficie au sein des Alpes-Maritimes, mais de manière bien plus épisodique en 2006 et 2008. Ce second type de données est confronté de manière plus subjective aux sorties d'AIREs à méso-échelle afin de caractériser la vraisemblance spatiale des simulations.

### **Comparaison des mesures d'ozone à méso-échelle avec les prévisions d'ozone de la plateforme AIREs**

- 12 La démarche adoptée est fondée uniquement sur une comparaison visuelle des cartes de prévisions des concentrations d'ozone avec les données enregistrées au cours des quelques campagnes de mesures effectuées dans le département. Seules les expériences s'opérant sur une superficie conséquente sont illustrées et débattues ici. Malheureusement, pour quelques journées de mesures, la plateforme AIREs n'a pas fourni de prévisions ; ce fut le cas pour les 21 juin et 24 juin 2008. Ainsi, uniquement cinq cas permettent de qualifier les performances du modèle de prévision des concentrations d'ozone. Ils ont majoritairement concerné le Nord et l'Est du département (fig. 3).
- 13 Moins le tracé des mesures est visible et plus la concordance avec les simulations est forte ; volontairement, aucun contour n'a été ajouté à la ligne représentant les concentrations d'ozone enregistrées afin de faciliter la comparaison. L'échelle des couleurs est bien entendue exactement la même pour les deux types de données. La première barrière à laquelle ce heurte la comparaison est la stabilité spatiale des concentrations au cours des mesures ; celle-ci n'a pas toujours été observée, avec parfois une baisse du niveau général d'ozone en fin de parcours (26 juin 2008 et 29 août 2008). De plus, le cheminement sur une route expose nécessairement l'analyseur aux polluants primaires (évolution des mesures derrière un bus de Nice à Levens le 29 août 2008).





**Figure 3. Comparaison des prévisions déterministes du maximum horaire d'ozone dans les Alpes-Maritimes avec les mesures itinérantes effectuées le même jour à méso-échelle ; de gauche à droite et de haut en bas sont exposés le 10 août 2006, le 26 juin 2008, le 29 juin 2008, le 29 août 2008 et le 30 août 2008**

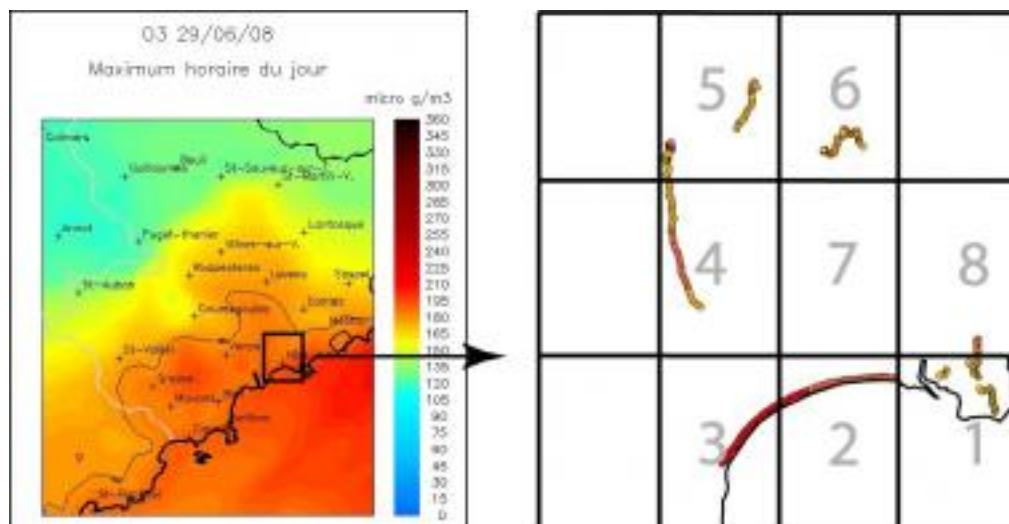
- 14 Globalement, les niveaux d'ozone modélisés sont surestimés, excepté durant la journée du 10 août 2006 où une advection d'ozone, avérée par des mesures aérologiques dans la vallée de la Tinée, a entraîné des concentrations plus élevées que celles anticipées par la prévision. Le 26 juin 2008, les très fortes teneurs simulées dans l'arrière-pays grassois (au centre de la carte) ont légèrement surestimé les valeurs mesurées, mais la structure spatiale de l'ozone avait été correctement prévue. Les 29 juin et 29 août 2008, l'ozone a pénétré très loin dans les vallées de la Tinée et de la Vésubie. A la fin du mois d'août, des mesures effectuées à Isola 2000 (immédiatement au centre-nord de la carte), à 2 km de la frontière franco-italienne, ont prouvé que des masses d'air pollué par l'ozone pouvaient y être advectées. Or, les simulations correspondant à ces deux journées limitent la pénétration des plus fortes concentrations dans les environs de Lantosque pour la vallée de la Vésubie et dans les alentours de Saint-Sauveur-sur-Tinée. Enfin, le 30 août 2008 permet de constater à nouveau une légère surestimation de la modélisation.

### **Validation des prévisions déterministes d'ozone à micro-échelle sur Nice et ses alentours**

- 15 Le grand nombre de campagnes de mesures réalisées dans Nice et sa périphérie d'avril à septembre 2007 offre la possibilité d'établir une solide comparaison des concentrations d'ozone prévues avec celles mesurées. Il est nécessaire de choisir les points de grille de la plateforme AIREs qui seront croisés avec les points de mesures du parcours. La précision temporelle des simulations est établie pour l'ensemble des journées où les sorties de modèle et les mesures terrain sont disponibles (63 cas sur 85 journées de mesures).

#### **Sélection des nœuds de grille**

- 16 Le sous-domaine de modélisation de la plateforme AIREs centré sur les Alpes-Maritimes propose une résolution spatiale d'environ 3 km (distance moyenne en x et en y parce qu'issue d'une conversion de coordonnées géographiques), qui constitue un haut degré de précision pour un modèle de simulation d'ozone troposphérique. Néanmoins, la superposition des nœuds de grille avec l'itinéraire de mesures illustre une nécessaire contraction des données de terrain afin de procéder à une comparaison. Seuls les points de mesures les moins affectés par les émissions issues du trafic routier sont conservés pour établir une moyenne d'ozone par nœuds de grille ; il s'agit de concentrations d'ozone enregistrées dans des espaces non concernés, ou très faiblement, par la circulation routière (fig. 4). Cette sélection semble utile afin de comparer des éléments comparables ; le cadastre d'émission sur lequel le modèle de simulation s'appuie pour calculer les valeurs d'ozone est certes très fin, mais ne propose qu'une information initiale sur 1 km<sup>2</sup> qui est lissée à 9 km<sup>2</sup> pour les calculs, tandis que les mesures d'ozone effectuées sur une route fréquentée dépendent étroitement d'émissions très ponctuelles de polluants primaires. Les teneurs d'ozone enregistrées seraient ainsi potentiellement bien plus faibles que les niveaux simulés ; elles sont donc éliminées pour les traitements. Les huit mailles concernées sont affectées d'un chiffre attribué selon le sens de déroulement des mesures itinérantes.



**Figure 4. Superposition des concentrations d'ozone modélisées par maille de la plateforme AIRE5 avec les points de mesures d'ozone situés dans la commune de Nice et les moins influencés par les polluants primaires ; chaque nœud de grille recoupant le parcours de mesures est dénommé par un chiffre**

### Degré de précision de la plateforme AIRE5

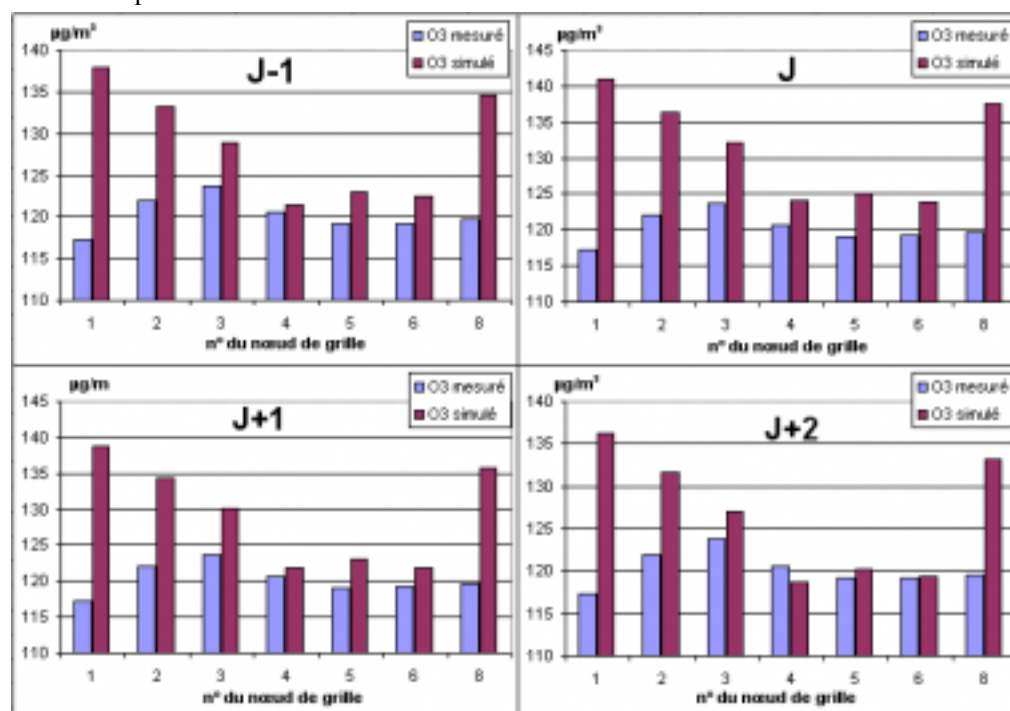
- 17 Chaque jour, la plateforme prévoit les concentrations d'ozone pour le jour même (J), le lendemain (J+1) et le surlendemain (J+2) ; de plus, la pollution de la veille est à nouveau modélisée à partir de données météorologiques analysées (J-1). Quatre séries d'ozone sont donc croisées aux données relevées sur le terrain (tab. 1). Les plus fortes relations sont observées pour J et J+1, quelle que soit la maille concernée. Les meilleures performances du modèle pour les prévisions du lendemain ne trouvent pas d'explications. Néanmoins, ces coefficients de corrélation ne signifient pas que les valeurs absolues prévues concordent avec les teneurs mesurées, mais ils traduisent simplement des covariations temporelles relativement élevées. Les prévisions à deux jours sont plus inexactes, et étonnamment, les modélisations des niveaux d'ozone de la veille sont moins précises que celles du jour J.

n° nœud	J - 1	J	J + 1	J + 2
1	0,48	0,48	0,56	0,49
2	0,50	0,55	<b>0,61</b>	0,51
3	0,56	<b>0,62</b>	<b>0,66</b>	0,55
4	0,55	0,55	0,59	0,51
5	0,54	0,54	0,57	0,51
6	0,52	0,55	0,55	0,51
8	0,58	<b>0,61</b>	<b>0,63</b>	0,53

**Tableau 1. Coefficients de corrélation entre les concentrations d'ozone simulées par la plateforme AIRE5 et les concentrations d'ozone mesurées dans Nice et sa périphérie au cours de 63 jours d'avril à septembre 2007 et par nœud de grille**

- 18 L'intensité des relations entre l'ozone simulé et l'ozone mesuré fluctue sensiblement en fonction du nœud de grille considéré. Le nœud 1 est affecté des plus faibles coefficients. L'explication la plus probable pourrait provenir de la localisation de cette maille qui recouvre en partie une portion de terre ; la valeur d'ozone est calculée pour son centre qui se situe en mer. Or, la chimie de l'ozone étant différente en fonction des propriétés de surface, notamment au travers des impacts sur la destruction thermodynamique par dépôt (Grøntoft, 2003 ; Chang,

2003), des divergences significatives pourraient se produire entre les valeurs simulées pour ce nœud 1 et les mesures enregistrées sur terre. Les nœuds 2, 3 et 8 bénéficient au contraire de bien meilleurs coefficients de corrélation. Pour les deux premiers, il semblerait que la grande promiscuité des centres des mailles avec les mesures de terrain soit responsable des assez bonnes relations dans des espaces où très peu de facteurs perturbent la nature des masses d'air advectées par la brise marine. La maille 8 n'est superposée qu'avec quelques points de mesures. Cette fois, le centre de la maille implanté sur une surface terrestre permet une meilleure adéquation entre les modélisations et les mesures. Enfin, les trois autres nœuds, situés sur les collines périphériques à l'ouest et au nord de Nice, proposent des coefficients de corrélation légèrement plus élevés que pour le nœud 1. Il est possible que les mesures réalisées sur routes, bien que celles-ci soient très peu fréquentées, soient affectées par des polluants primaires émis lors du passage ponctuel d'un véhicule à moteur, et ceci de manière aléatoire dans le temps.



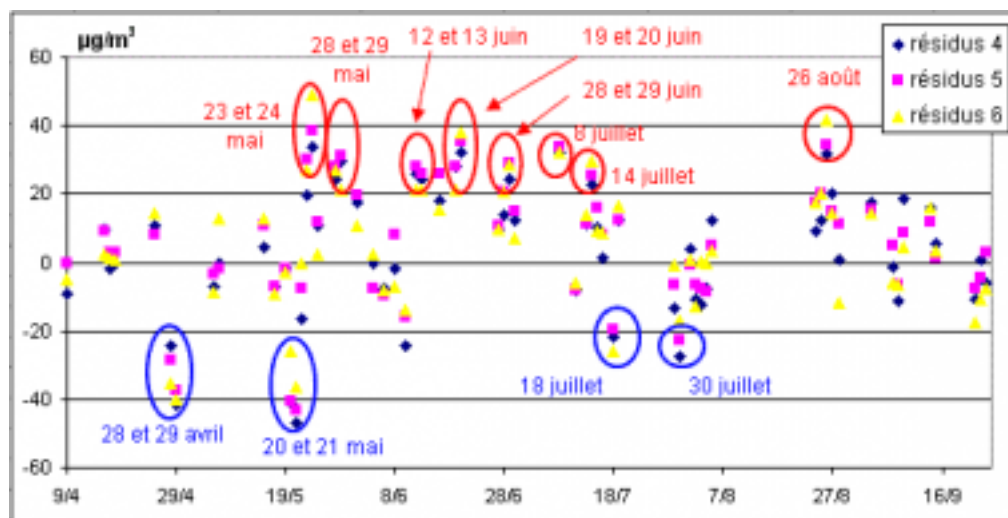
**Figure 5. Comparaison des concentrations d'ozone moyennes simulées par la plateforme AIRES pour J-1, J, J+1 et J+2 avec les concentrations d'ozone mesurées à Nice durant 63 jours d'avril à septembre 2007 et par nœud de grille**

- 19 Par ailleurs, l'étude comparative des valeurs absolues des concentrations d'ozone prévues et enregistrées sur le terrain permet cette fois de d'apprécier les écarts à la réalité (fig. 5). Ces résidus indiquent pour chaque nœud une surestimation des simulations d'ozone par rapport aux teneurs mesurées, quelle que soit l'échéance de prévision considérée. Cependant, ces écarts sont très variables selon la maille du modèle et leurs comportements sont similaires pour les quatre journées simulées (de J-1 à J+2). Les nœuds 1 et 8 présentent des écarts à la réalité de l'ordre de 15 à 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les mailles 2 et 3 arborent encore des disparités importantes avec des résidus d'environ 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Enfin les nœuds 4, 5 et 6 disposent de simulations très proches de la réalité, avec des écarts moyens de l'ordre de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . L'ordre dans lequel ont été énoncés les résidus suit la logique de leur répartition spatiale. En effet, les points de grille les plus proches du littoral, à la limite même entre la mer et la terre, sont affectés des plus forts écarts tandis que les points de grille situés sur les collines périurbaines à l'ouest et au nord de Nice proposent de faibles résidus. Les simulations des concentrations d'ozone dans les

mailles recouvrant à la fois une portion terrestre et une portion maritime sont affectées d'une dilution mécanique des oxydes d'azote puisque, par définition, moins d'émissions ont lieu en mer. Les nœuds 1, 2 et 3 sont donc moins concernés par la titration de l'ozone (destruction de l'ozone par le monoxyde d'azote). Cet artefact du modèle, induit par la résolution spatiale des simulations, provoque une surestimation des niveaux d'ozone dans les mailles littorales. Pour mesurer la pertinence globale de la plateforme AIRE, il semblerait préférable de ne pas prendre en compte ces points de grille puisque les écarts à la réalité sont davantage le fruit d'une imprécision spatiale locale que d'un problème de fond concernant l'intégration des processus physico-chimiques de l'ozone.

## Sous-estimations et surestimations de la plateforme AIRE

- 20 Si l'aspect moyen des écarts du modèle à la réalité attribue une performance globale satisfaisante aux simulations, certaines journées connaissent toutefois des disparités importantes entre les prévisions et les mesures. L'observation des résidus pour les nœuds de grille 4, 5 et 6 met en valeur près de 20 cas pour lesquels l'écart à la réalité dépasse  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en valeur absolue (fig. 6). Les résidus négatifs, c'est-à-dire ceux dénotant une sous-estimation du modèle, sont bien moins nombreux que les résidus positifs ; cette caractéristique concorde avec la légère surestimation globale du modèle identifiée au paragraphe précédent.
- 21 Ces erreurs de simulations auraient deux origines majeures probables : soit le module de chimie-transport CHIMERE restitue de manière incorrecte les processus physico-chimiques réels de l'ozone, soit la prévision météorologique faite en amont est erronée ou trop approximative. De plus, le cadastre d'émission en entrée, certes très pointu, est imprégné d'une certaine incertitude tant la prise en compte de l'ensemble des sources diffuses de pollution primaire paraît complexe ; enfin, les conditions de pollution aux limites du domaine simulé sont les résultats d'autres modélisations (PREV' AIR) et peuvent par conséquent être entachées d'importants écarts à la réalité. Les causes d'erreur identifiées plus bas sont toutes le fruit de prévisions météorologiques approximatives calculées par le modèle MM5 ; certains résidus difficilement interprétables verront leurs causes attribuées aux imprécisions des données d'entrée (autres que les données météorologiques) ainsi qu'aux incertitudes pesant sur la qualité des performances du module de chimie-transport à une telle échelle spatiale.
- 22 Les simulations du temps élaborées par MM5 dans les Alpes-Maritimes paraissent surestimer assez largement les températures de surface sur le continent. Cette constatation découle uniquement de l'observation de la cartographie quotidienne des modélisations de cette variable météorologique. Jouant un rôle de catalyseur dans les réactions photochimiques, la température est un facteur non négligeable dans l'absolu pour la production d'ozone. Les valeurs élevées de ce paramètre pourraient être une des causes susceptibles d'expliquer la légère surestimation générale des concentrations d'ozone par la plateforme AIRE. D'autres variables modélisées par MM5 telles que l'épaisseur optique (degré de transparence de l'atmosphère) ou encore la hauteur de la couche limite ne sont pas directement mesurables chaque jour, mais la couverture nuageuse permet cependant d'évaluer l'épaisseur optique.



**Figure 6. Résidus entre les concentrations d'ozone modélisées pour le jour J par la plateforme AIREs et les concentrations d'ozone mesurées à Nice au cours de 63 jours d'avril à septembre 2007 pour les mailles 4, 5 et 6 localisées sur les collines périurbaines à l'ouest et au nord de la ville**

- 23 La force du vent et l'épaisseur optique semblent expliquer quelques cas de forts résidus. En effet, l'intensité de dilution des polluants dans les basses couches de l'atmosphère et l'intensité du rayonnement ultra-violet influencent fortement les concentrations d'ozone. Or, pour le 28 mai par exemple, la prévision de la force du vent par MM5 a été sous-estimée avec des vitesses d'environ 8 à 10 m/s à l'aéroport de Nice, alors que les vitesses mesurées dans cette station étaient comprises entre 14 et 17 m/s. De même le lendemain, tandis que le modèle simulait correctement la non pénétration du flux d'ouest dans le département, les vitesses de vent calculées par MM5 étaient à nouveau plus faibles que celles enregistrées à l'aéroport. Ainsi la moins forte dilution des polluants prévue par le modèle entraîna mécaniquement une surestimation des niveaux d'ozone. Par ailleurs, une prévision approximative de la couverture nuageuse provoqua également de forts résidus pour la journée du 12 juin au cours de laquelle la faiblesse du rayonnement UV, induite par une nébulosité réelle plus forte que celle prévue, inhiba encore davantage les réactions photochimiques. La situation opposée eut lieu le 20 mai où la prévision de valeurs élevées d'épaisseur optique ne s'est pas concrétisée par une couverture nuageuse importante ; le rayonnement UV plus fort que prévu aurait permis de produire plus d'ozone que la simulation ne le prédisait.

## Conclusion

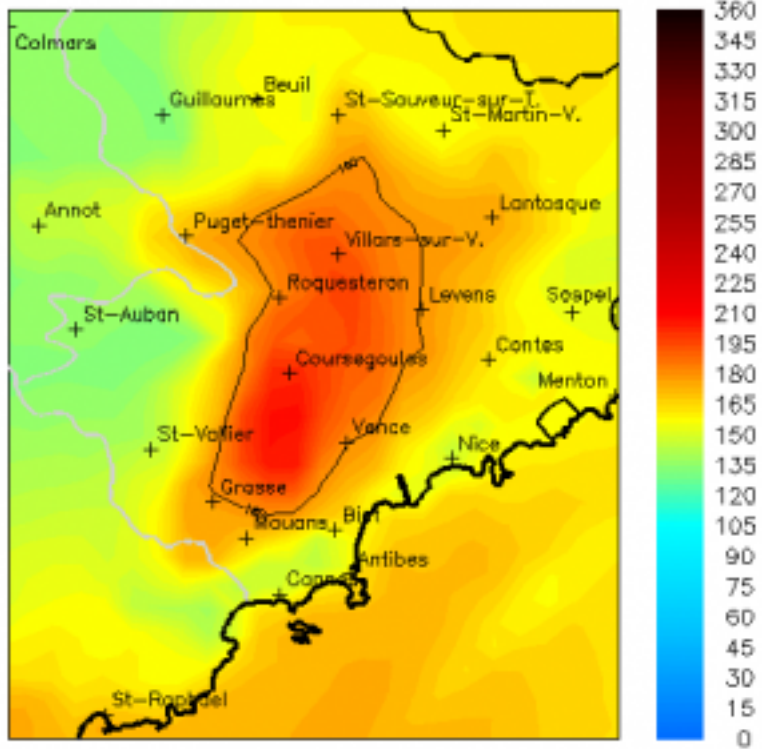
- 24 Globalement, les performances de la plateforme AIREs sont satisfaisantes au regard des coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et celles prévues, mais cet aspect moyen masque des écarts à la réalité parfois très importants. Les simulations numériques du temps en amont des modélisations de l'ozone jouent visiblement un rôle non négligeable dans les erreurs produites par la plateforme AIREs. Il semble probable de pouvoir améliorer la précision des simulations météorologiques en optimisant la résolution spatiale des sorties du modèle MM5 qui prendrait alors mieux en compte la finesse du M.N.T et du cadastre d'émissions en entrée ; ce dernier est d'ailleurs en cours d'actualisation puisque depuis 1999 (année référence du cadastre utilisé) les émissions des divers polluants atmosphériques responsables de la production d'ozone ont sensiblement baissé au regard des inventaires établis par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique ([www.citepa.org](http://www.citepa.org)). Enfin, la topographie très complexe du département agissant de manière tyrannique sur les écoulements d'air, une description plus fine de celle-ci pourrait permettre

de mieux modéliser les brises thermiques responsables d'advection de masses d'air pollué depuis le Sud du département.

- 25 Par ailleurs, il serait nécessaire d'installer de nouveaux points de mesures fixes d'ozone dans le sud-ouest et le centre-ouest des Alpes-Maritimes, où des concentrations d'ozone élevées sont assez souvent simulées sans qu'aucune validation ne puisse être réalisée. A ce titre, les simulations de J-1 sont employées pour produire des cartes dites "de surveillance" qui intègrent les données d'ozone enregistrées la veille par le réseau de mesures d'Atmopaca ; or la cartographie corrigée des simulations d'ozone du 26 juin 2008 paraît plus éloignée de la réalité que les prévisions établies le jour même et validées, en partie, par les mesures itinérantes effectuées dans le centre-est du département (fig. 7). Il semblerait donc que l'absence d'informations dans cette zone soit préjudiciable à la qualité du suivi des épisodes photochimique par AIRES.

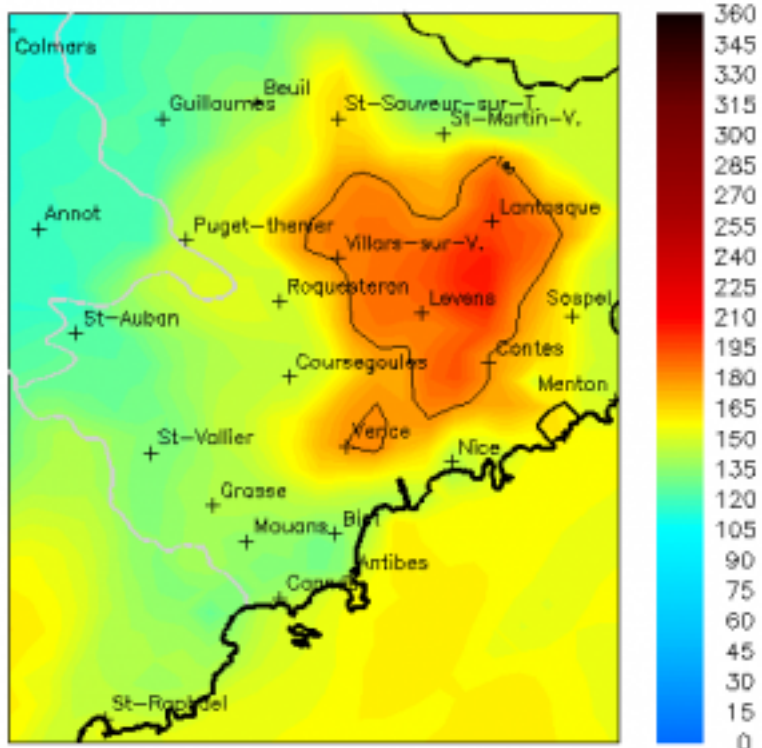
03 26/06/08

Maximum horaire du jour

micro g/m<sup>3</sup>

03 26/06/08

Maximum horaire du jour

micro g/m<sup>3</sup>

**Figure 7. Comparaison de la prévision des concentrations d'ozone du jour J le 26 juin 2008 (à gauche) avec les concentrations d'ozone simulées le 27 juin 2008 pour la veille et corrigées par les données du réseau de mesures d'AtmoPACA (à droite)**

26 Les concentrations d'ozone modélisées par la plateforme AIRES ont pu être comparées aux nombreuses campagnes de mesures itinérantes effectuées entre 2006 et 2008 dans les Alpes-Maritimes. Le croisement de ces deux types d'informations, mesurées et simulées, n'est malheureusement pas assez fréquent pour pouvoir valider ou non les sorties de modèles ; ces dernières bénéficient, parfois à tort, d'une grande confiance accordée par les modélisateurs. Malgré la tâche colossale que représente l'établissement de campagnes de mesures récurrentes, il serait judicieux de concentrer les efforts dans cette direction, dans un souci d'amélioration des modèles de prévision de la qualité de l'air à méso-échelle et à micro-échelle.

---

### **Bibliographie**

Bastin S., Drobinski P., Dabas A., Delville P., Reitebuch O., Werner C., 2005, "Impact of the Rhône and Durance valleys on sea-breeze circulation in the Marseille area", *Atmospheric Research*, vol. 74, No.3, 303-328.

Blanchard C.L., Tanenbaum S.J., 2003, "Differences between weekday and weekend air pollutant levels in southern California", *Journal of the air waste management association*, vol. 53, No.7, 16-28.

Bognar J. A., Birks J. W., 1996, "Miniaturized ultraviolet ozonesonde for atmospheric measurements", *Analytical chemistry*, VOL. 68, No.17, 3059-3062.

Carrega P., 2008, "Le vent : importance, mesures, modélisation et tribulations", *Bulletin de la Société géographique de Liège*, No.51, 17-29.

Chang W., Heikes B. G., Lee M., 2004 "Ozone deposition to the sea surface: chemical enhancement and wind speed dependence", *Atmospheric Environment*, vol. 38, No.7, 1053-1059.

Gheusi F., Chevalier A., Delbarre H., Delmas R., 2007, "Ozone et pollution atmosphérique à grande échelle, le réseau de surveillance PAES", *La Météorologie*, No.58, 30-35.

Gheusi F., Chevalier A., Ravetta F., Delbarre H., Campistron B., Delmas R., 2007, "Ozone et pollution atmosphérique à grande échelle, la campagne de mesures Pic 2005", *La Météorologie*, No.59, 31-38.

Grøntoft T., Henriksen J. F., Seip H. M., 2004, "The humidity dependence of ozone deposition onto a variety of building surfaces", *Atmospheric Environment*, vol. 38, No.1, 59-68.

Guicherit R., Roemer M., 2000, "Tropospheric ozone trend", *Chemosphere-Global Change Science*, vol. 2, No.2, 167-183.

IPCC, 2007, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", *The fourth IPCC Assessment Report*, <http://www1.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.

Kesselmeier J., Staudt M., 1998, "Biogenic volatils organic compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology", *Journal of atmospheric chemistry*, vol. 33, No.1, 23-28.

Kinney P., 2008, "Ozone troposphérique et santé humaine : un renouveau de la recherche", *Extrapol*, No.36, 3-9.

Marr L.C., Harley R.A., 2002, "Spectral analysis of weekday-weekend differences in ambient ozone, nitrogen oxide and non-methane hydrocarbon times series in California", *Atmospheric Environment*, vol. 36, No.14, 2327-2335.

Martin N., 2008, *La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes*, Thèse de doctorat en géographie, université de Nice Sophia-Antipolis.

Martin N., Carrega P., 2009, "La variabilité spatiale de l'ozone en milieu urbain et périurbain : le cas de Nice", *Pollution Atmosphérique*, No.204, 461-474.

Pirovano G., Coll I., Bedogni M., Alessandrini S., Costa M. P., Gabusi V., Lasry F., Menut L., Vautard R., 2007, "On the influence of meteorological input on photochemical modelling of a severe episode over coastal area", *Atmospheric Environment*, vol. 41, No.30, 6445-6464.



### ***Pour citer cet article***

Référence électronique

Nicolas Martin, « Performances des modélisations déterministes d'ozone à méso-échelle et à micro-échelle dans les Alpes-Maritimes », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 503, mis en ligne le 17 juin 2010. URL : <http://cybergeo.revues.org/index23183.html>

---

### ***À propos de l'auteur***

**Nicolas Martin**

Maître de conférences, nicolas.martin@unice.fr, UMR 6012 ESPACE

---

### ***Droits d'auteur***

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

---

### ***Résumé / Abstract***

Dans l'extrême sud-est de la France, les Alpes-Maritimes sont régulièrement touchées par des épisodes de pollution par l'ozone. Les émissions de polluants par les activités humaines et par certaines sources naturelles en sont responsables dans des conditions météorologiques propices à leur mauvaise dispersion. Cette pollution dite photochimique est simulée numériquement par des modèles déterministes à diverses échelles spatiales : ils prennent en compte la chimie de l'atmosphère et le transport des polluants. Excessivement complexes, ces outils de prévision permettent de renseigner les citoyens la veille ou l'avant-veille sur la qualité de l'air qu'ils vont respirer. Ces modèles remplissent donc une mission préventive puisque certaines décisions seront prises en cas de prévision de pics de pollution. L'objectif de cet article est d'évaluer la fiabilité de la plateforme AIRES, une application locale du modèle PREV'AIR qui modélise la pollution atmosphérique à l'échelle européenne. Cette validation est établie par la confrontation des sorties de modèle aux données mesurées sur le terrain au cours de très nombreuses campagnes de mesures itinérantes d'ozone.

Mots clés : modélisation, prévision, validation, pollution atmosphérique, météorologie, échelle locale

### **Performances of the ozone determinist modellings at mesoscale and at microscale in the Alpes-Maritimes**

In the extreme southeast of France the Alpes-Maritimes are regularly touched by ozone pollution. Pollutant emissions due to human activities and to certain natural sources are responsible for it in weather conditions convenient to their bad dispersal. This photochemical said pollution is numerically feigned by determinist models with diverse spatial scales: they take into account atmosphere chemistry and transport of pollutants. Excessively complex these tools allow to inform the citizens the day before or two days before about the air quality whom they are going to inhale. These models thus perform a preventive mission because certain decisions will be taken in case of peaks pollution forecast. This article aims to estimate the reliability of the AIRES platform, a local application of the PREV'AIR model which models the atmospheric pollution on a European scale. This validation is established by the confrontation of the model outputs with the data measured on the ground during very numerous itinerant ozone measurements campaigns.

**Keywords :** validation, local scale, meteorology, modelling, forecast, atmospheric pollution