

LES CONFIGURATIONS SYNOPTIQUES DE LA POLLUTION AUX PARTICULES À NICE

MARTIN N. ⁽¹⁾, ADNES C. ⁽¹⁾

(1) UMR 7300 ESPACE, Université de Nice Sophia-Antipolis, 98 Bd E. Herriot, 06204 Nice, France
[nicolas.martin@unice.fr]

Résumé – Au cours du premier semestre 2011 50 campagnes de mesures itinérantes de particules ont été conduites à vélo dans la ville de Nice sur le même parcours en début de matinée. Les moyennes calculées lors de chaque mesure et pour chaque taille de particules (TSP, PM10, PM2.5 et PM1) sont discrétisées en 5 classes pour lesquelles les configurations moyennes des variables météorologiques issues des réanalyses du NCEP, les plus liées à ce type de pollution atmosphérique, sont établies. Les résultats montrent une forte influence des dorsales anticycloniques centrées sur l'Europe de l'Ouest.

Mots-clés : mesures itinérantes, particules, réanalyses NCEP, circulation atmosphérique.

Abstract – *The synoptic configurations of the particles pollution in Nice.* During the first half of the year 2011 50 campaigns of itinerant measures of particles were led by bicycle in the city of Nice on the same route at the beginning of the morning. The averages calculated during every measure and for every size of particles (TSP, PM10, PM2.5 and PM1) are discretized in 5 classes for which the average configurations of the meteorological variables arising out of NCEP reanalysis, and the most connected to this type of atmospheric pollution, are established. The results show a strong influence of the anticyclones centered over Western Europe.

Keywords: Itinerant measures, particulate matter, NCEP reanalysis, atmospheric circulation.

Introduction

La pollution atmosphérique est devenue un sujet environnemental de plus en plus médiatique ces dernières années en raison d'impacts sanitaires puissants. Régulièrement, le chiffre de 42.000 décès annuels prématurés attribuables aux particules fines en France est repris dans les médias (European Commission, 2005). Véritable sujet de santé publique au cœur des débats politiques sur la rénovation des centres urbains et sur les sources d'énergies à privilégier pour les décennies à venir, la pollution aux particules fines n'en reste pas moins fortement influencée par les variables météorologiques.

Comme toutes les métropoles françaises, Nice est concernée par des périodes de fortes hausses des concentrations des particules. Par conséquent, 50 campagnes de mesures se sont déroulées de janvier à juillet 2011. Le protocole suivi lors de chaque journée a été le même afin de constituer par la suite des cartes moyennes des TSP (total suspended particulates), des PM10 (diamètre est inférieur à 10 μm), des PM2,5 (diamètre inférieur à 2,5 μm) et des PM1 (diamètre inférieur à 1 μm). En dépit d'un intérêt géographique majeur, dans cet article la variabilité spatiale des concentrations est volontairement mise de côté afin de privilégier la dimension temporelle et l'impact des conditions météorologiques sur l'évolution jour après jour des concentrations relevées.

Après avoir détaillé le protocole de mesure et les résultats obtenus, les relations statistiques entre les concentrations moyennes de polluants et certaines variables météorologiques seront exposées afin de justifier leur sélection pour établir les configurations synoptiques moyennes de la pollution aux particules fines à Nice.

1. Les mesures terrain de concentrations de particules

1.1. Le protocole de mesure

1.1.1. L'appareil de mesure

La mesure de la pollution de l'air nécessite de s'équiper d'appareils pointus et bien souvent onéreux. Il existe une multitude d'analyseurs de particules dont les méthodes d'évaluation des concentrations atmosphériques sont nombreuses et qui ne donnent malheureusement pas toutes les mêmes résultats (LCSQA, 2008). Un compromis a donc dû être effectué afin de

satisfaire un ensemble de critères tels que l'ergonomie, le temps de réaction et le prix entre autres. Le Turnkey Dustmate a ainsi été retenu ; cet appareil s'appuie sur un principe optique pour déterminer les concentrations particulières (laser néphélomètre). Cet instrument était placé à 1 m du sol dans un panier fixé au guidon d'un vélo permettant de circuler aisément dans la ville et enregistrait une valeur de TSP, PM10, PM2,5 et PM1 toutes les 10 secondes.

1.1.2. Les horaires, le calendrier et le parcours de mesure

Pour capturer au mieux la pollution particulaire, il a été décidé de mesurer les concentrations le matin pendant les déplacements domicile travail. Durant cette période d'environ 2 à 3 heures, les fortes émissions de polluants primaires issues du trafic routier combinées en moyenne à une stabilité de l'air plus importante qu'en milieu de journée provoquent un pic de pollution atmosphérique. Ainsi les mesures avaient lieu pendant 1h entre 7h45 et 8h45 du lundi au vendredi en excluant volontairement les week-ends et les vacances scolaires qui auraient faussé les relations statistiques entre pollution et météorologie en raison d'une chute du trafic routier.

A raison de 5 jours de mesures par semaine, et pour un total de 50 relevés, l'expérience a donc été renouvelée pendant 10 semaines. Celles-ci se répartissent comme suit dans le temps : 1 semaine en janvier (17/01 au 21/01), 2 semaines en février (1/02 au 11/02), 1 semaine en avril (11/04 au 15/04), 3 semaines en mai (2/05 au 20/05) et enfin 3 semaines en juin (13/06 au 01/07). Ce calendrier aurait pu être plus homogène dans l'absolu mais des contraintes d'ordre pédagogique ont provoqué cette surreprésentation des deux derniers mois du printemps.

L'itinéraire emprunté de 15 km se limitait aux espaces urbains de Nice tout en alternant entre les axes très fréquentés, les rues secondaires plus encaissées, les voies du tramway et la piste cyclable de la Promenade des Anglais côté mer (fig. 1).

1.2. Résultats et cartographie des concentrations de particules

Les concentrations moyennes sur une heure calculées pour chaque relevé varient du simple au quintuple pour les TSP et jusqu'au décuple et plus pour les particules fines (fig. 1). En moyenne sur l'ensemble des mesures la concentration (écart-type) des TSP est de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), de $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$), de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5 ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM1 ($6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La variabilité spatiale moyenne est elle aussi très forte et semble dépendre bien plus de la présence ou absence de véhicules que de la morphologie urbaine comme c'était le cas pour l'ozone (Martin, 2014).

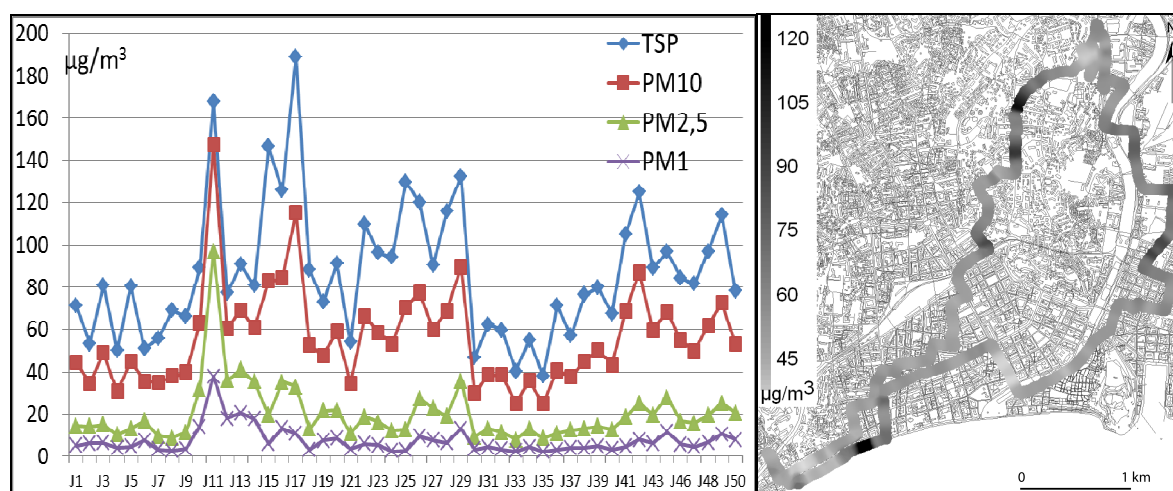


Figure 1. Concentrations moyennes journalières par taille de particules pour les 50 jours de mesures (à gauche), et cartographie de la configuration moyenne des PM10 (à droite).

2. Circulation atmosphérique et pollution atmosphérique aux particules

Quelle que soit l'échelle spatiale d'intérêt, une concentration de polluant est le résultat d'une émission ayant subi un brassage dans l'atmosphère. A quantité égale de gaz ou de poussières émis, plus le mélange est intense et plus ces substances seront diluées dans un grand volume d'air. Les concentrations mesurées seront donc faibles, et réciproquement. Localement la qualité de l'air dépend de ce principe général sans omettre un éventuel apport de polluants par advection. En effet bien qu'étant dépourvues d'émissions d'oxydes d'azote ou de dioxyde de soufre, diverses forêts dans le monde portent les stigmates des pluies acides par exemple. Ainsi les masses d'air ne sont pas pures mais imprégnées des polluants accumulés lors de leur passage sur des espaces de fortes émissions polluantes.

En guise de première approche, l'échelle continentale a été privilégiée : quelle est l'influence de la circulation atmosphérique à macro-échelle sur les niveaux de particules localement à Nice ? Cette démarche a donc pour originalité de relier deux échelles spatiales très distinctes. Après avoir identifié statistiquement les relations entre certaines variables météorologiques et les concentrations de particules, les situations synoptiques moyennes construites à partir de plusieurs variables issues de réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (Kalnay, 1996), à l'échelle de l'Europe et à 2,5° de résolution spatiale, sont calculées selon plusieurs classes de pollution particulaire.

2.1. Les corrélations entre les réanalyses NCEP et les particules

Pour identifier des variables météorologiques potentiellement explicatives de la pollution particulaire, des calculs de corrélation sont effectués à l'aide des 2 pixels de grille des réanalyses les plus proches spatialement de Nice (coordonnées des centres : 7.5°E/45°N et 7.5°E/42.5°N). Malheureusement, aucun des 2 pixels n'est idéalement situé pour être directement comparable à l'amphithéâtre niçois, l'un étant centré sur la plaine du Pô à 15 km au sud-ouest de Turin et l'autre au-dessus de la Méditerranée à plus de 100 km des côtes.

Ces calculs n'ont pas seulement "confronté" les concentrations moyennes de particules du jour J avec les valeurs des variables des réanalyses du jour J. En effet, le phénomène d'accumulation de polluants dans l'atmosphère revêt un rôle souvent capital afin de visualiser et de mesurer les liens entre conditions météorologiques et qualité de l'air. De ce fait, les coefficients de corrélation ont aussi été établis avec des décalages temporels : à J-1, J-2, J-3 et J-4, c'est-à-dire que la pollution du jour J a été comparée au contexte synoptique de la veille, de l'avant-veille, etc.

Tableau 1. Coefficients de corrélation entre les PM10 ou les PM2.5 et les variables météorologiques des réanalyses du NCEP du jour J au jour J-4.

PM10/PM2.5	J		J-1		J-2		J-3		J-4	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
U à 500 hPa	0.08	-0.05	-0.16	-0.2	-0.28	-0.38	-0.27	-0.43	-0.28	-0.43
V à 500 hPa	0.06	0.23	0.01	0.21	-0.03	0.04	-0.24	-0.19	-0.39	-0.19
Géopotential 500 hPa	0.2	0.06	0.29	0.16	0.3	0.2	0.3	0.22	0.26	0.22
Vorticité relative à 500 hPa	-0.28	-0.34	-0.44	-0.5	-0.39	-0.47	-0.43	-0.5	-0.36	-0.5
Humidité spécifique à 925 hPa	-0.07	-0.27	-0.04	-0.3	-0.12	-0.39	-0.19	-0.44	-0.13	-0.44
Pression en surface	0.06	0.15	0.11	0.26	0.17	0.3	0.21	0.37	0.24	0.37

Globalement, ces coefficients de corrélation ne sont pas élevés même pour les plus forts d'entre eux, et alors que les résultats exposés ci-dessus résument les meilleurs scores obtenus entre toutes les variables des réanalyses du NCEP testées et les particules de différentes

tailles. Par ailleurs, des relations statistiques apparaissent ou se renforcent lorsqu'un décalage temporel est introduit entre les concentrations de particules et les conditions météorologiques. Par exemple, le coefficient de corrélation entre les PM_{2.5} et la pression atmosphérique en surface passe de 0.15 à 0.37 quand un décalage de 3 ou 4 jours entre les séries temporelles est pris en compte.

Le tableau 1 montre que le flux d'altitude et sa dynamique covarient modérément avec les PM₁₀ et les PM_{2.5}. L'altitude du géopotential 500 hPa et la vorticité relative à 500 hPa influencent l'intensité de la pollution de l'air par le jeu des centres d'action : les mouvements verticaux des masses d'air sont ascendants dans les dépressions, permettant une meilleure dilution des particules que dans les anticyclones où la subsidence de l'air tasse les polluants près du sol. La direction et la vitesse du vent à 500 hPa permettent d'identifier les origines de masses d'air ayant un "passif" en particules. Plus près de la surface, l'humidité spécifique à 925 hPa et la pression atmosphérique au niveau de la mer présentent également une évolution parallèle avec les concentrations de particules. Si la relation avec la pression en surface est classique, celle avec l'humidité spécifique à 925hPa paraît plus originale. Le signe du coefficient de corrélation indique que plus l'air est humide, moins les concentrations de particules sont élevées et réciproquement. Afin d'interpréter ce résultat, il est nécessaire d'établir les cartographies des configurations moyennes d'humidité spécifique à 925 hPa par classe d'intensité de pollution.

2.2. L'influence de la circulation atmosphérique sur la pollution particulaire

Afin de déterminer les contextes synoptiques en partie responsables de différents niveaux de particules, les 50 campagnes de mesures (résumées chacune par une concentration moyenne par taille de particules) ont été réparties en 5 classes (tableau 2). Les seuils de classe ont été choisis arbitrairement en privilégiant des classes d'amplitudes égales, excepté pour la classe 5 qui regroupe les jours les plus pollués. Pour chacune de ces classes, à partir des 187 points de grille couvrant l'Europe (de 35°N à 60°N et de 15°W à 25°E à 2.5° de résolution spatiale), a été reconstitué le "champ-type" de chacune des variables météorologiques retenues, fondé sur la moyenne de toutes les situations quotidiennes constituant la classe.

Tableau 2. Moyennes des concentrations de particules par classe (nombre d'individus)

en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TSP	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁
Classe 1 (16j)	65	39	11	3
Classe 2 (11j)	74	46	15	5
Classe 3 (10j)	99	63	20	7
Classe 4 (6j)	109	74	27	11
Classe 5 (7j)	123	90	45	19

Bien que les relations statistiques entre les concentrations de particules et les différentes variables issues des réanalyses du NCEP aient été caractérisées par des coefficients de corrélation d'intensité faible à modérée, les configurations synoptiques moyennes correspondant aux classes de pollution particulaire déterminées ci-dessus montrent une évolution remarquable. En effet, du groupe de jours les moins pollués à celui marqué par une forte pollution particulaire, les conditions météorologiques moyennes à macroéchelle évoluent d'une circulation zonale d'ouest à un flux plus méridien avec le développement d'une dorsale anticyclonique sur l'Europe de l'ouest (fig. 2). De la classe 1 à la classe 5, les valeurs de vorticité relative faiblissent nettement en devenant clairement négatives lorsque les concentrations de particules sont élevées traduisant une subsidence de l'air au dessus du sud-est de la France. Parallèlement, et avec l'orientation du flux au nord-ouest, l'origine des masses d'air est de plus en plus "continentale", l'humidité spécifique en basse couche baisse et potentiellement une accumulation de particules peut s'opérer durant le survol de

nombreuses grandes métropoles depuis la Grande-Bretagne au bassin parisien et enfin jusqu'au sud-est de la France.

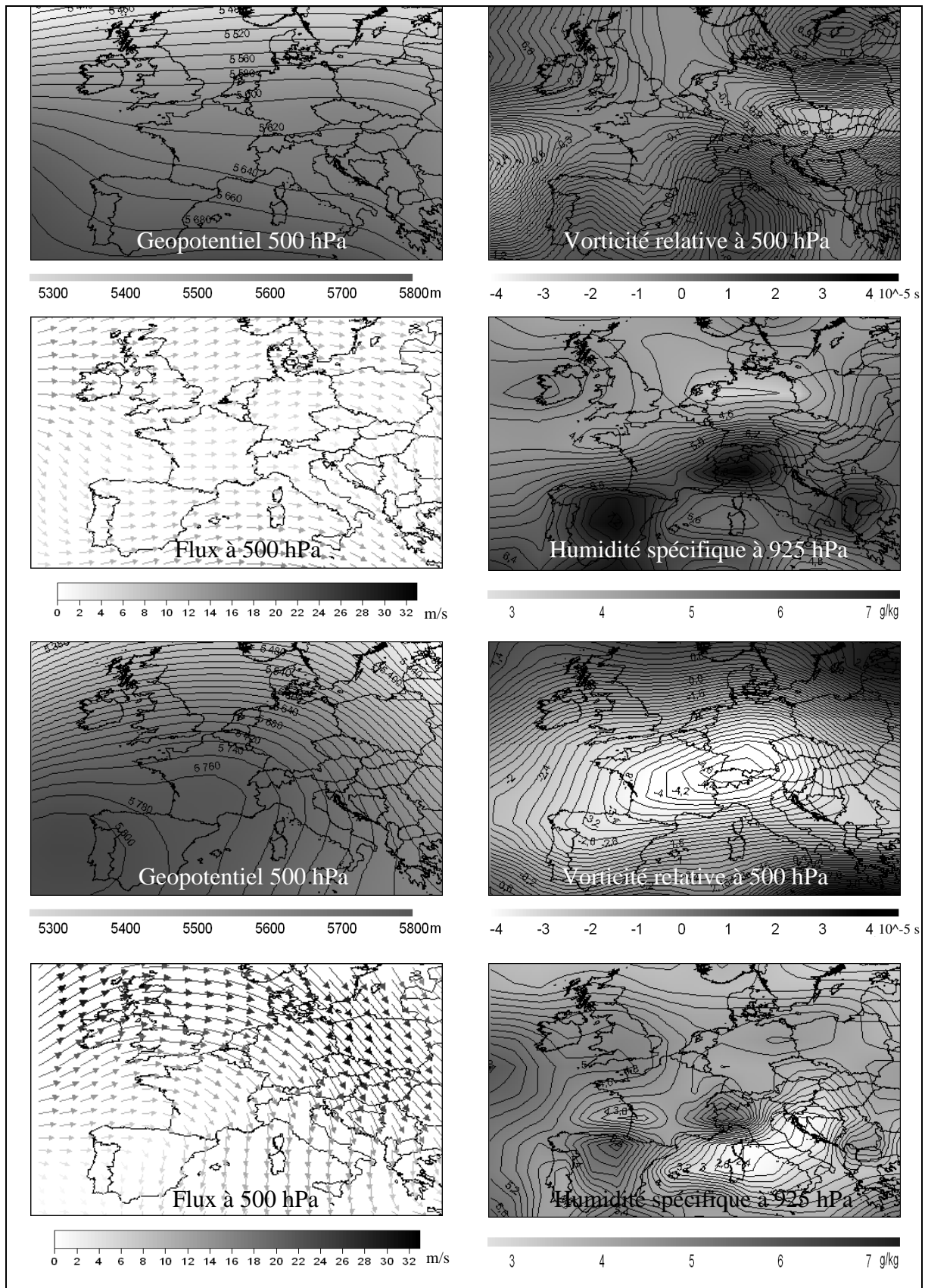


Figure 2. Configurations moyennes à J-3 de l'altitude du géopotential 500 hPa, de la vorticité relative et du flux à 500 hPa, et de l'humidité spécifique à 925 hPa pour la classe 1 (en haut) et la classe 5 (en bas).

Conclusion

La ville de Nice, dépourvue d'industries en son sein ou dans son environnement immédiat (excepté un incinérateur de déchets au nord-est), et implantée entre mer et montagnes, présente un trafic routier dense sur une superficie réduite. La pollution particulaire est parfois intense. Les 50 jours de mesures itinérantes effectuées à travers l'espace urbain l'ont prouvé. Les particules sont régies par des mécanismes complexes d'échelles spatiales diverses, souvent non linéaires notamment pour les particules secondaires. Cependant, le recours à des outils statistiques simples a permis d'identifier quelques relations entre les concentrations de particules et certaines variables météorologiques à macroéchelle. En discrétisant les campagnes itinérantes en 5 classes puis en établissant pour chacune des classes les cartographies moyennes des variables météorologiques liées à la pollution particulaire, il semblerait que plus les masses d'air sont stables, voire subsidentes, et plus elles empruntent une trajectoire nord-ouest/sud-est avant de survoler le littoral azuréen, alors plus les concentrations de particules sont élevées à Nice. Il faudrait désormais déterminer la nature chimique des poussières mesurées afin d'en trouver l'origine (Michelot, 2014) ; il paraît peu probable que seules les émissions niçoises puissent expliquer les fortes concentrations enregistrées lors des pics.

Remerciements : Les auteurs remercient le NOAA/OAR/ESRL PSD (Boulder, Etats-Unis) pour l'obtention des réanalyses atmosphériques NCEP/NCAR.

Références bibliographiques

European Commission, 2005 : *Clean Air For Europe CBA, Baseline Analysis 2000 to 2020*, 122 p.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds E., Jenne R. et Joseph D., 1996 : The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-470.

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, INERIS, 2008 : *Indicateurs optiques pour la mesure massive de particules dans les environnements intérieurs*, 37 p.

Martin N., Adnès C., 2014 : Spatialisation de l'ozone en milieu urbain et périurbain, *Actes du XXVIème colloque AIC*, Dijon juin 2014, 164-169.

Michelot N., 2014 : *L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le sud-ouest des Alpes-Maritimes*, Thèse de doctorat, 417p.