

# Approche multiscalaire de la variabilité spatiale et temporelle d'un pic d'ozone le 30 juin et le 1<sup>er</sup> juillet 2009 dans la région parisienne

## Multi-scalar approach of the spatial and temporal variability of high ozone concentration on June 30th and July 1st 2009 in the Paris area

Sarah DUCHÉ<sup>1</sup>, Nicolas MARTIN<sup>2</sup>, Malika MADELIN<sup>1</sup>

### Résumé

Début juillet 2009, de fortes concentrations d'ozone, avoisinant à plusieurs reprises des seuils critiques, ont été observées dans l'ensemble de l'Île-de-France. Afin d'étudier la variabilité spatiale à une échelle fine, nous avons mesuré les concentrations d'ozone à l'aide d'un capteur portable durant les après-midi du 30 juin et 1<sup>er</sup> juillet sur deux transects touristiques parisiens. L'analyse de ces mesures de terrain est replacée dans un contexte régional, en utilisant les données horaires de 28 stations AIRPARIF réparties dans toute la région parisienne.

À l'échelle régionale, l'étude des taux horaires montre une répartition spatiale des concentrations fortement liée à la direction du vent et l'environnement des stations. À l'échelle locale, outre les fortes concentrations mesurées, conformes à celles d'AIRPARIF, l'analyse des données indique une importante variabilité spatiale liée essentiellement à la proximité du trafic routier et fluvial. Cette variabilité observée dépend aussi, dans une moindre mesure, du substrat (sols nus, enherbés, asphaltes...).

### Mots-clés

Mesures itinérantes. Ozone. Échelles locales et régionales. Variabilité spatiale. Qualité de l'air.

### Abstract

In the beginning of July 2009, high concentrations of ozone, close to guidelines recommendation, were observed in Île-de-France. To study spatial variability on a fine scale, we measured ozone concentrations using a portable sensor during the afternoon of June 30th and July 1st on two Parisian touristic area. The analysis of these field measurements is seen in a regional context, using hourly data from 28 stations of AIRPARIF throughout the Paris region.

At the regional scale, the study of hourly concentrations shows a spatial distribution of ozone concentration strongly related to the wind direction and the stations environment. At the local scale, in addition to high concentrations measured in conformity with those of AIRPARIF, data analysis shows an important spatial variability related mainly to the proximity of road and river traffic. This variability depends, to a lesser extent, on the substrate (bare soil, grassed, asphalt...).

### Keywords

Field campaign. Ozone. Regional and local scale. Spatial variability. Air quality.

1. CNRS UMR 8586 PRODIG – Équipe Dynamique des Milieux et Risques – Université Diderot – Paris 7 – 5, rue Thomas Mann – 75205 Paris Cedex 13 – [sarah.duche@univ-paris-diderot.fr](mailto:sarah.duche@univ-paris-diderot.fr) – [malika.madelin@univ-paris-diderot.fr](mailto:malika.madelin@univ-paris-diderot.fr)

2. CNRS UMR 6012 ESPACE – Équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement – Université de Nice-Sophia – 98, bd Édouard Herriot – 06204 Nice Cedex 3 – [nicolas.martin@unice.fr](mailto:nicolas.martin@unice.fr)

## 1. Introduction

L'ozone est actuellement un des polluants les plus problématiques en Île-de-France [1]. En effet, les taux d'ozone moyens annuels ont augmenté de 89 % de 1992 à 2008 et les seuils d'information et de recommandation fixés à  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une moyenne d'une heure (normes françaises) sont fréquemment dépassés chaque année. Les situations anticycloniques avec un temps calme (peu ou pas de vent, faible nébulosité) favorisent l'accumulation de l'ozone et sa variabilité spatiale [2], comme ce fut le cas du 30 juin au 2 juillet 2009, en Île-de-France : forte insolation, vent calme ( $< 3 \text{ m/s}$  en moyenne) et températures élevées (maxima  $> 30^\circ\text{C}$  à Paris-Montsouris sur les trois jours). Ces conditions ont entraîné des forts taux de pollution (en moyenne sur l'Île-de-France,  $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 30,  $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 1<sup>er</sup> et  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 2) avec plusieurs dépassements du seuil critique de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dans ce contexte et dans le cadre d'une recherche doctorale visant à évaluer l'exposition des touristes à la pollution de l'air en métropole parisienne, des mesures de concentration d'ozone ont été réalisées le 30 juin et le 1<sup>er</sup> juillet 2009 sur deux transects situés sur des sites touristiques : Champ de Mars, Tour Eiffel, Trocadéro et Champs-Élysées, Jardin des Tuileries. Cet article présente les résultats de cette campagne de mesure à une échelle fine et replace au préalable cet épisode de pic de pollution à l'échelle régionale, celle de l'Île-de-France.

## 2. L'épisode de pollution du 30 juin au 2 juillet 2009 à l'échelle régionale en Île-de-France

Afin de mieux comprendre et expliquer les forts taux d'ozone mesurés à une échelle fine, il est nécessaire d'étudier le contexte à l'échelle régionale [3], en l'occurrence les pics d'ozone du 30 juin au 2 juillet 2009.

### 2.1. Utilisation du réseau AIRPARIF et Météo-France

Pour étudier la distribution spatiale et temporelle des concentrations d'ozone à l'échelle régionale du 30 juin au 2 juillet 2009, nous avons utilisé les mesures issues du réseau AIRPARIF. Les taux d'ozone sont mesurés à l'échelle horaire par 27 stations de fond (urbaines, périurbaines et rurales ; Figure 1) ainsi que celle dite « d'observation », située au troisième étage de la Tour Eiffel. Les données retenues présentent moins de 5 % de lacunes. Après une analyse de la variabilité temporelle et spatiale, nous avons mis en relation ces résultats avec la vitesse et la direction du vent mesurées par cinq stations Météo-France : Tour Eiffel, Paris-Montsouris, Villacoublay, Orly et Le Bourget. En outre, ce pic de pollution a été replacé et comparé avec les épisodes précédents sur une période de 11 ans (1<sup>er</sup> janvier 1999 – 31 décembre 2009).

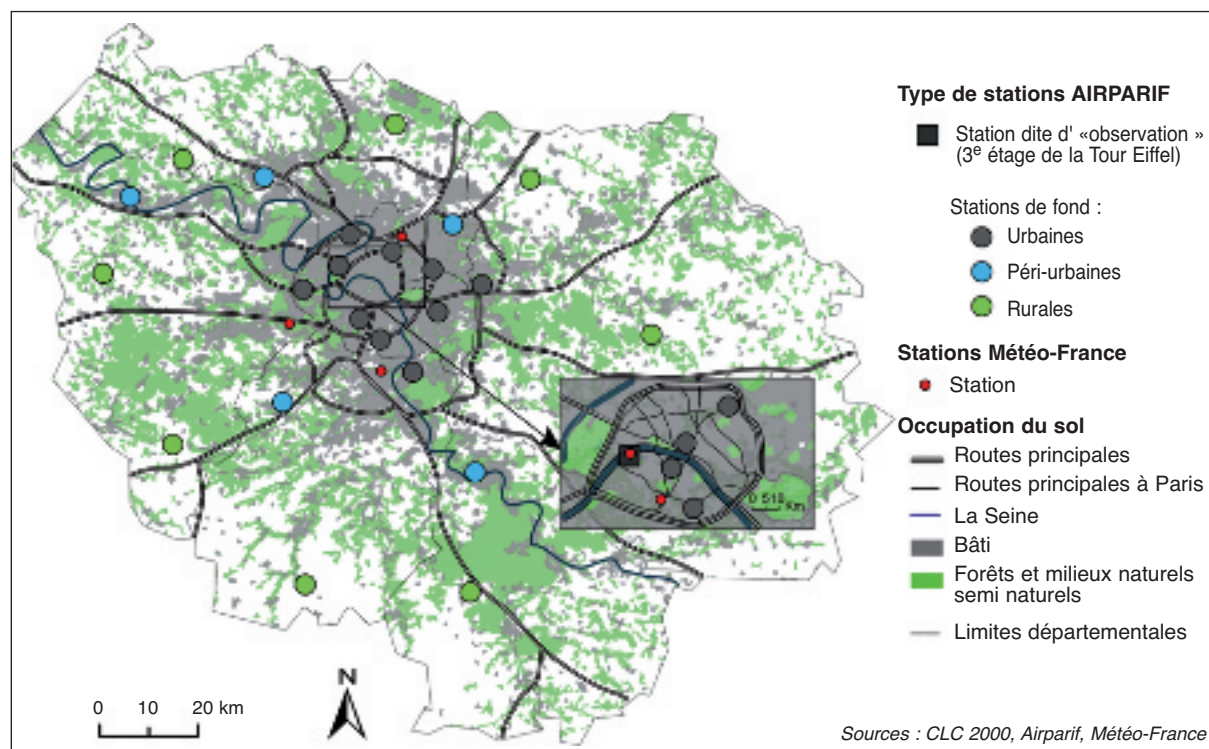


Figure 1.

Localisation des 27 stations de fond et d'observation AIRPARIF et des 5 stations Météo-France utilisées du 30 juin au 2 juillet 2009.  
[AIRPARIF background monitoring and Météo-France weather stations locations, data used from June 30 to July 2, 2009.](#)

## 2.2. Variabilité temporelle du pic de pollution

Du 30 juin au 2 juillet 2009, les données météorologiques observées à Paris-Montsouris et à Orly montrent des températures élevées (en moyenne journalière respectivement de 24 °C à 25 °C avec des maximales horaires supérieures à 29 °C), un ciel clair (indice de nébulosité entre 0 et 2 octas) et des vents faibles (inférieurs à 3 m/s). Cette situation radiative a favorisé la formation et la stagnation de l'ozone. Le 30 juin, les taux moyens journaliers avoisinent en moyenne 104  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et une station dépasse le seuil d'information et de recommandation fixé à 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Les Ulis avec un maximum de 208  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ce seuil critique fixé au niveau national correspond à une concentration d'ozone dans l'atmosphère au-delà de laquelle une exposition de courte durée peut entraîner des effets sur la santé des personnes sensibles (enfants, personnes âgées, asthmatiques et avec insuffisances respiratoires chroniques) [4]. Le 1<sup>er</sup> juillet, les concentrations moyennes journalières sont un peu plus élevées (moyenne régionale de 108  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et deux stations dépassent le seuil critique. Enfin, le dernier jour, où les concentrations d'ozone sont plus élevées en moyenne que les deux autres jours, la procédure d'alerte est déclenchée par AIRPARIF à 16 h UTC (18 h locales) avec un dépassement du seuil critique par 13 stations.

L'épisode de pollution à l'ozone du 30 juin au 2 juillet n'est pas exceptionnel en intensité et en durée par rapport à d'autres épisodes (par exemple en août 2003 ou encore en juillet 2006). Par contre, à partir des données depuis juillet 2006 (avec un réseau quasi similaire), il se démarque par son extension spatiale : un plus grand nombre de stations a atteint le seuil critique. Notons que ce même été 2009, de fortes concentrations d'ozone ont aussi été

observées le 6 août mais le pic n'a duré qu'une journée avec des taux en moyenne plus bas que début juillet.

À une échelle temporelle plus fine, les moyennes régionales des concentrations horaires d'ozone présentent une variabilité et un cycle diurne bien marqué (Figure 2) : les taux d'ozone sont plus élevés l'après-midi et relativement stables pendant quelques heures. Cet accroissement des taux d'ozone s'explique, d'une part, par une insolation plus forte l'après-midi favorisant la photochimie de l'ozone et, d'autre part, par la dynamique de la couche limite qui facilite le brassage de l'air dans la journée. La période de stabilité de l'ozone dans l'après-midi, appelée « niveau d'équilibre d'ozone journalier » est souvent observée et s'étend ici de 12 h à 16 h UTC. À l'inverse, les taux les plus faibles sont mesurés entre 4 h et 7 h UTC du matin : la photochimie est impossible la nuit et l'affaissement de la couche limite bloque l'ozone auprès du sol qui est détruit au contact de l'oxyde d'azote.

Les courbes d'évolutions horaires des concentrations d'ozone montrent des évolutions similaires pour les trois types de station de fond, avec cependant une différence observée la nuit. En effet, les taux sont relativement plus élevés de 4 h à 8 h UTC en zone rurale que dans les zones urbaines et périurbaines, ce qui peut s'expliquer par la densité du trafic routier aux heures matinales de pointe. L'oxyde d'azote émis par la circulation routière a une réaction de titration de l'ozone qui provoque sa destruction [5].

Par ailleurs, les mesures de la station d'observation montrent un décalage dans la diminution des concentrations d'ozone la nuit. En fin de nuit, les concentrations y sont plus élevées que pour les stations de fond, ce qui s'explique par la situation de cette station au 3<sup>e</sup> étage de la Tour Eiffel, dans la couche intermédiaire la nuit.

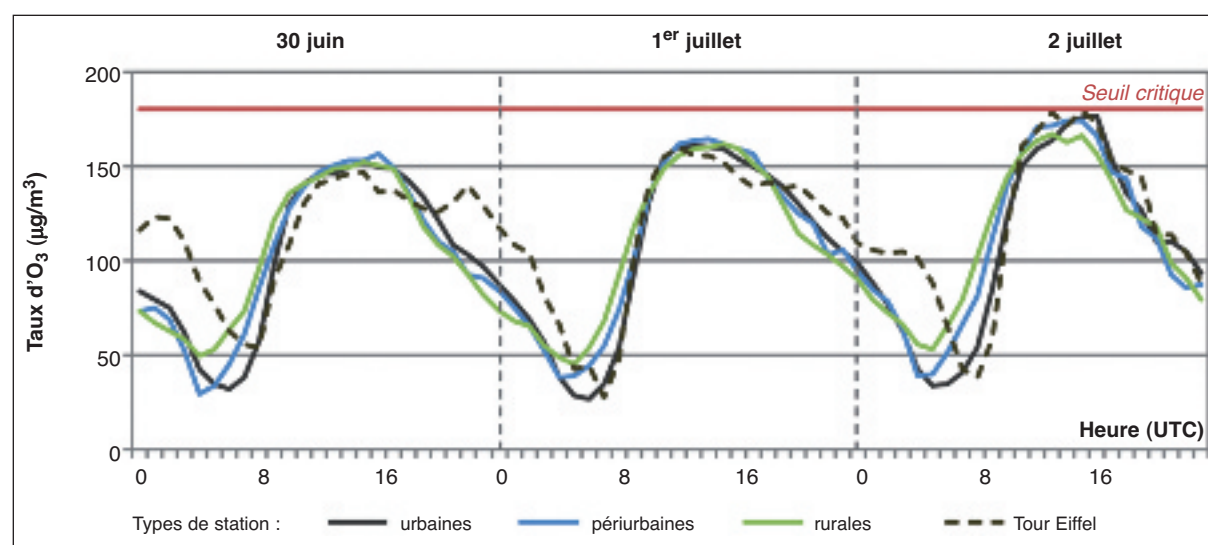


Figure 2.

Variabilité des taux horaires moyens issus de stations de fond (urbaine, périurbaine et rurale) du réseau AIRPARIF, du 30 juin au 2 juillet 2009.

Spatial variability of the ozone hourly mean concentrations from AIRPARIF background stations (urban, suburban, rural), from June 30 to July 2, 2009.

### 2.3. Distribution spatiale des concentrations d'ozone

Afin d'étudier la variabilité spatiale des taux d'ozone à l'échelle régionale, nous avons choisi de nous focaliser sur les maximums journaliers calculés à partir des concentrations horaires d'ozone. Ils ont tous été observés entre 12 h et 16 h.

La carte des maximums des taux horaires pour les trois journées indique une forte variabilité spatiale (Figure 3). Ainsi, les deux premiers jours, les plus fortes valeurs sont globalement relevées du nord de Paris au sud-ouest de la région avec des maximums dans l'Essonne. Cette distribution spatiale corrobore les sorties de modèles d'Airparif et peut s'expliquer par un vent faible (de 1 à 3 m/s) principalement de nord-est entraînant l'ozone vers le sud-ouest de la région.

Le 2 juillet, les maximums des taux horaires sont plus élevés et 13 stations dépassent le seuil d'information et de recommandation entre 12 h et 16 h UTC. De plus, la variabilité spatiale est plus forte que les jours précédents : l'écart-type de la distribution des concentrations horaires maximales est de  $15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alors que le 30 juin, elle est de  $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et de  $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le lendemain (hiérarchie respectée avec les coefficients de variation). Le 2 juillet, la direction du vent est plus variable mais elle est de dominance

sud-est de 16 h à 17 h UTC environ. Cette variation explique des taux élevés dans tout le centre et l'ouest de la région parisienne. Si le sujet d'étude est l'exposition des touristes à la pollution, dans cette dernière configuration régulièrement observée lors des épisodes d'ozone, les touristes sont moins exposés dans l'est de l'Île-de-France (Eurodisney, Fontainebleau...) que dans Paris *intramuros* ou à l'ouest (château de Versailles).

### 3. Mesures de terrain des concentrations d'ozone à l'échelle fine sur deux transects touristiques parisiens

Des analyses des données Airparif de 1999 à 2008 (non montrées ici) ont mis en évidence des épisodes de pics de pollution à l'ozone plus fréquents en juillet et août, période durant laquelle la fréquentation touristique est la plus élevée. Dans le cadre de l'avancement du travail doctoral sur la pollution de l'air et les touristes, nous avons donc choisi de surveiller les modèles météorologiques et ceux d'Airparif pendant les premières vacances estivales. La période la plus propice est arrivée rapidement : du 30 juin au 1<sup>er</sup> juillet 2009. De plus, avant d'aller sur le terrain, nous avons étudié les courbes

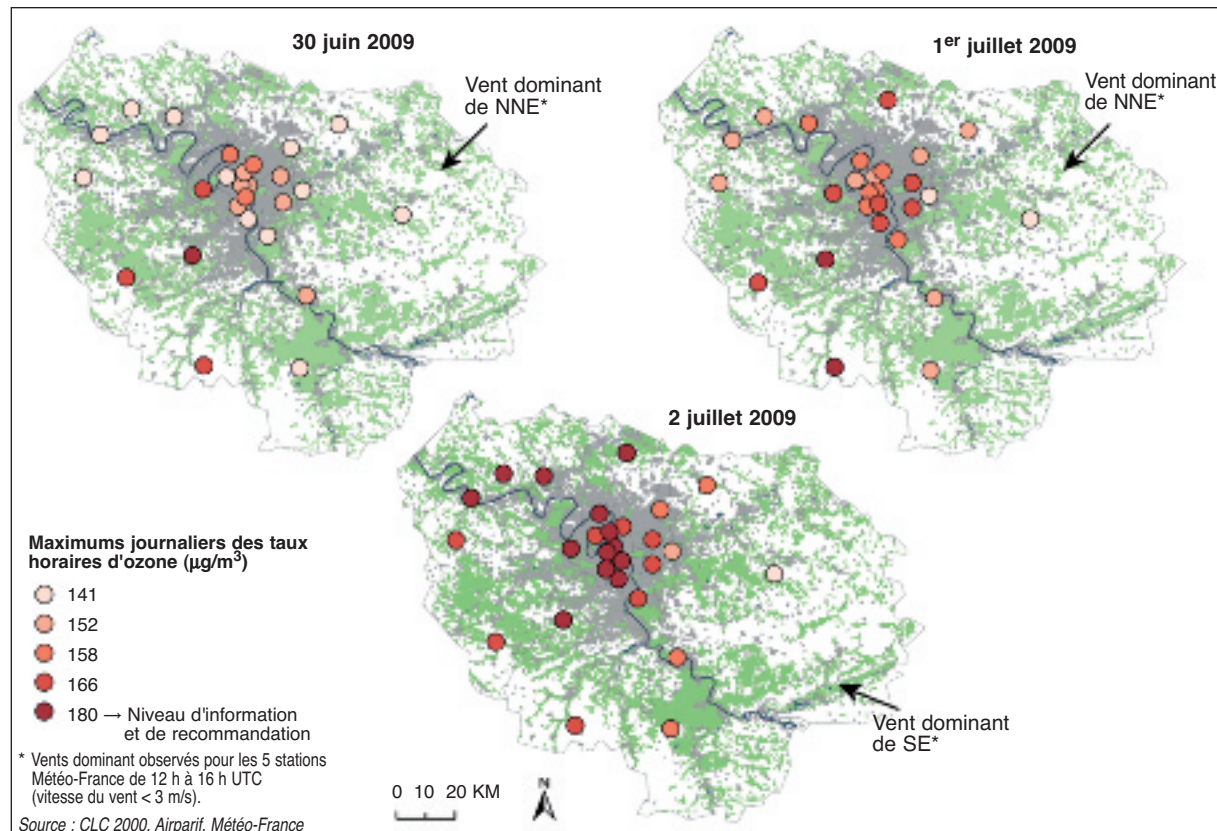


Figure 3.

Distribution spatiale des maximums journaliers d'ozone mesurés par 27 stations de fond entre 12 h et 16 h UTC et sens du vent dominant du 30 juin au 2 juillet 2009.

Spatial distribution of ozone daily maximum concentrations measured by 27 background stations between 12 h and 16 h UTC and the prevailing wind direction from June 30 to July 2, 2009.

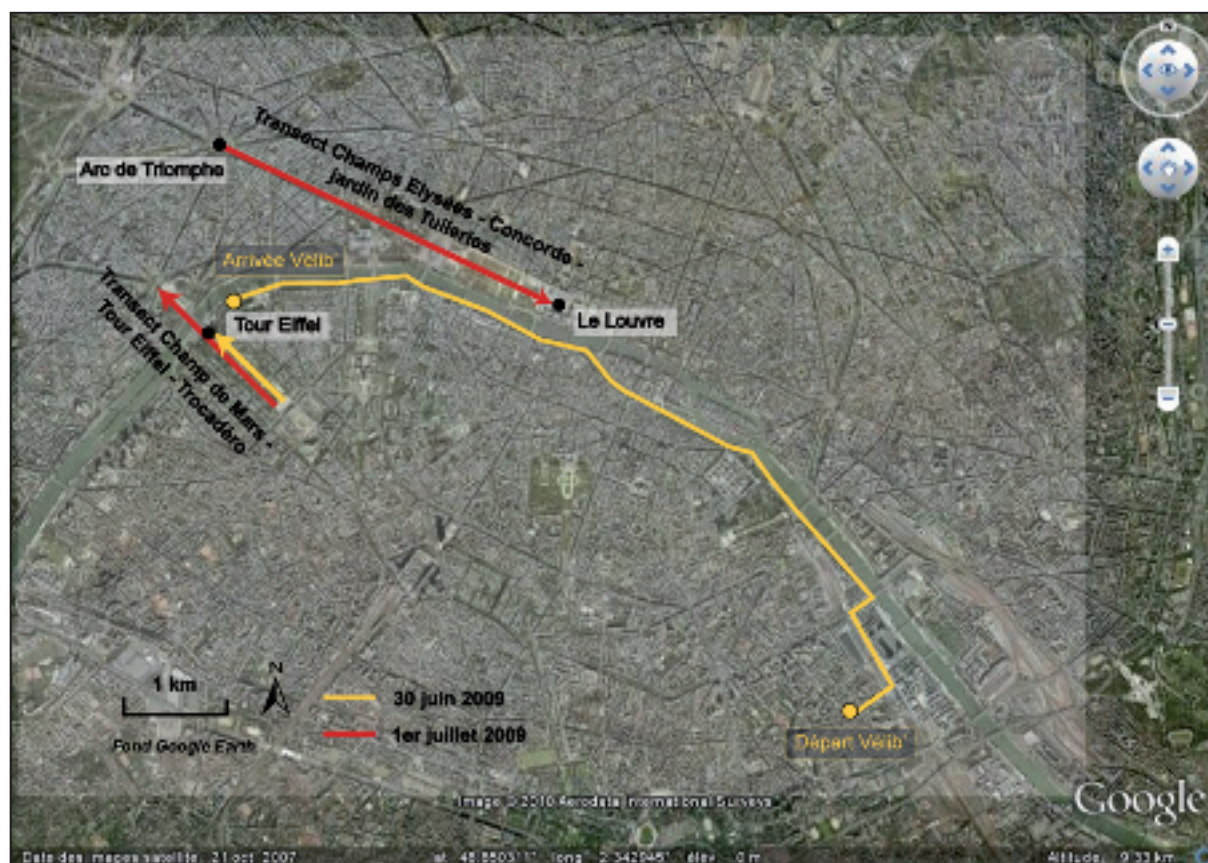


Figure 4.

Transects des mesures de terrain effectuées le 30 juin et 1<sup>er</sup> juillet 2009, et itinéraire des mesures en Vélib' du 30 juin 2009.  
 Field measurements transects made on 30th June and 1st July 2009, and route on Vélib', 30th June 2009.

des données horaires d'ozone actualisées toutes les heures sur le site d'AIRPARIF ([www.airparif.fr](http://www.airparif.fr)) afin de commencer les mesures au début du niveau d'équilibre diurne de l'ozone (Figure 2) et de nous focaliser surtout sur la variabilité spatiale.

### 3.1. Protocole de mesure

Les mesures d'ozone ont été réalisées les après-midi du 30 juin et du 1<sup>er</sup> juillet, à l'aide d'un analyseur portable 2B Technologies Model 205 mesurant l'ozone par absorption de rayon UV (même méthode que pour les stations automatiques AIRPARIF), avec un pas de temps de 10 secondes [6]. De plus, nous disposions d'un capteur Testo mesurant des paramètres météorologiques (température, humidité et vitesse du vent). Ces données ont été notées ponctuellement tout au long du trajet lors d'arrêts de trente secondes environ. L'objectif était de caractériser la variabilité spatiale des concentrations d'ozone sur des sites touristiques parisiens lors du niveau d'équilibre d'ozone journalier entre 12 h et 16 h UTC, voire de mettre en évidence l'influence des paramètres météorologiques.

Deux transects entre des sites très touristiques ont été retenus : du Champs de Mars à la Tour Eiffel

et au Trocadéro ; des Champs-Élysées au Jardin des Tuileries. Ce choix a aussi été motivé par l'hétérogénéité spatiale des espaces rencontrés : surfaces enherbées ou artificialisées, proximité ou non du trafic routier, etc. Le 30 juin, nous avons mesuré sur un premier transect horizontal Champs de Mars-Tour Eiffel et sur un transect vertical (1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> étages de la Tour Eiffel) ; le 1<sup>er</sup> juillet, sur les deux transects étudiés.

Signalons que le 30 juin, nous avons voulu mesurer en premier les concentrations d'ozone le long des quais de la Seine, rive gauche, en utilisant un Vélib' (en outre, cela nous permettait de rejoindre le site de la Tour Eiffel). Ce trajet relie plusieurs sites touristiques parisiens, de la Bibliothèque François Mitterrand à l'esplanade des Invalides en passant par Notre-Dame ou encore le musée d'Orsay (Figure 4). L'itinéraire choisi est un des axes routiers les plus empruntés à Paris. Or l'ozone réagit rapidement au contact des oxydes d'azote émis par les véhicules et donc, à chaque passage ou arrêt de véhicule à proximité du capteur, les concentrations d'ozone diminuaient fortement. La variabilité des mesures faites durant ce trajet est tellement élevée qu'il est difficile d'interpréter les données. Nous avons donc décidé de ne pas les présenter ici.

### 3.2. Étude de la variabilité spatiale autour de la Tour Eiffel

Les mesures des concentrations d'ozone ont été réalisées sur le site du Champ de Mars à la Tour Eiffel le 30 juin et du Champ de Mars au Trocadéro le 1<sup>er</sup> juillet 2009. Les données nous ont permis d'analyser la variabilité spatiale sur ce site mais les différences de concentrations moyennes entre les deux jours et les horaires différents (entre 16 h 00-16 h 30 UTC le 30 juin et 13 h 50-14 h 20 UTC le 1<sup>er</sup> juillet) ne permettent pas de comparer directement la variabilité entre les deux jours. Nous préférons donc détailler les deux événements à la suite.

Le 30 juin, nous observons une variabilité spatiale relativement faible et des valeurs assez homogènes, que ce soit sur le plan horizontal ou vertical. La Figure 5 est un montage pour le 30 juin entre la courbe d'évolution au pas de 10 secondes avec des repères cartographiques et la représentation des taux d'ozone relevés ponctuellement sur le transect.

À une micro-échelle, cette faible variabilité observée peut être liée à des rafales de vent ou bien à l'enherbement mais il est difficile de dégager des tendances. La température mesurée présente aussi une faible variabilité avec une moyenne élevée de 32 °C.

Ensuite, nous avons aussi souhaité savoir s'il existait une variabilité verticale des taux d'ozone. Pour cela, nous avons réalisé des mesures aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> étages de la Tour Eiffel. Ceci étant, la relation entre

l'altitude et les concentrations n'est pas significative : les moyennes observées au 1<sup>er</sup> étage de la Tour Eiffel sont de 146  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de 147  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au 2<sup>e</sup> étage, donc quasi identiques. Par ailleurs, à la vue des variations entre les taux d'ozone mesurés par les stations de fond et la station d'observation la nuit, il serait intéressant de réaliser des mesures à différents étages en fin de soirée.

Le 1<sup>er</sup> juillet, les taux horaires d'ozone étaient en moyenne légèrement plus élevés à Paris que le 30 juin (101  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière le 30 juin pour les stations de fond AIRPARIF et 106  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  le 1<sup>er</sup> juillet). Sur le terrain, nous avons aussi observé des taux plus importants le deuxième jour mais cette information est à prendre avec précaution car les mesures n'ont pas été faites à la même heure.

La variabilité spatiale observée sur le transect allant du Champ de Mars au Trocadéro de 13 h 50 à 15 h 05 est relativement importante (Figure 6). Les taux sont plus élevés sur le site du Champ de Mars, espace vert, qu'à proximité de la circulation routière, du trafic fluvial et des espaces artificialisés (route, pont d'Iéna). En effet, la moyenne des taux d'ozone mesurés sur le Champ de Mars est de 167  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (sans prendre en compte les taux mesurés, délibérément, à côté du bus), alors que la moyenne des taux d'ozone diminue à proximité de la voie de circulation des quais de Seine et sur le pont Iéna, au-dessus de la Seine, où le trafic fluvial était relativement important : elle est de 166  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur le parvis de la Tour

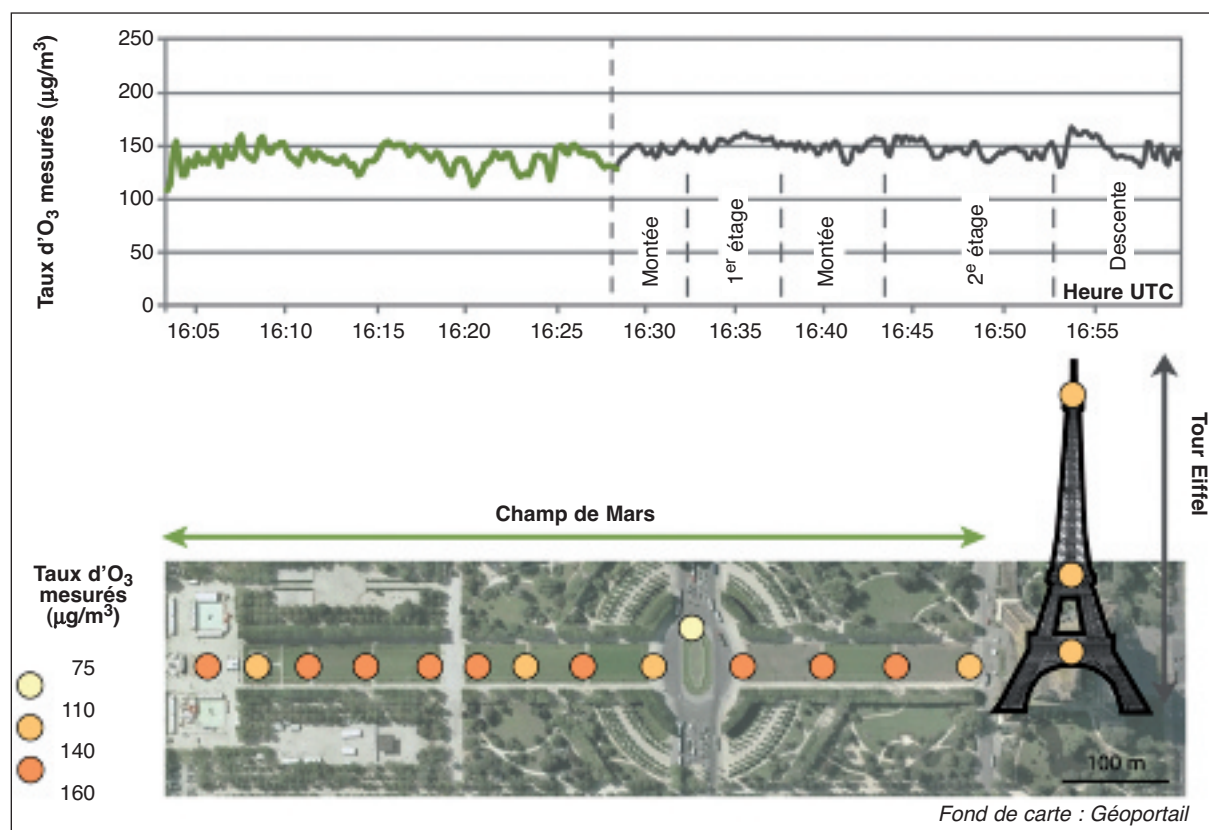


Figure 5.

Variabilité spatiale des concentrations d'ozone sur le site de la Tour Eiffel, le 30 juin 2009.

[Spatial variability of ozone concentrations at the Eiffel Tower site, 30th June 2009.](#)

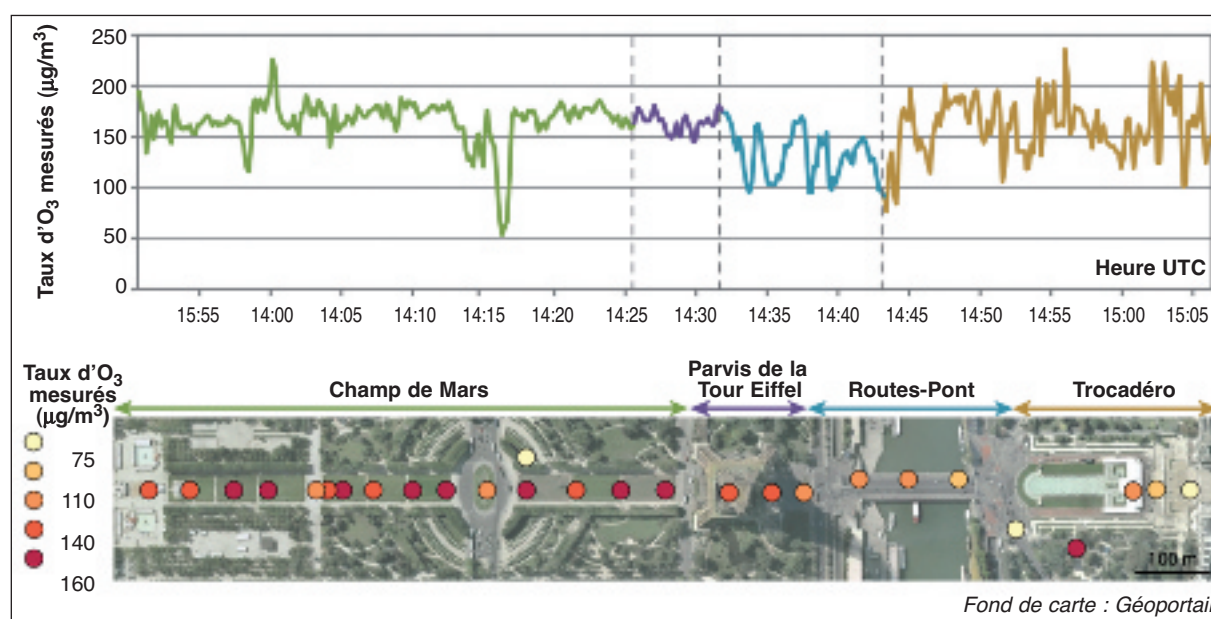


Figure 6.

Variabilité spatiale des concentrations d'ozone sur le site de la Tour Eiffel, le 1<sup>er</sup> juillet 2009.

Spatial variability of ozone concentrations at the Eiffel Tower site, 1st July 2009.

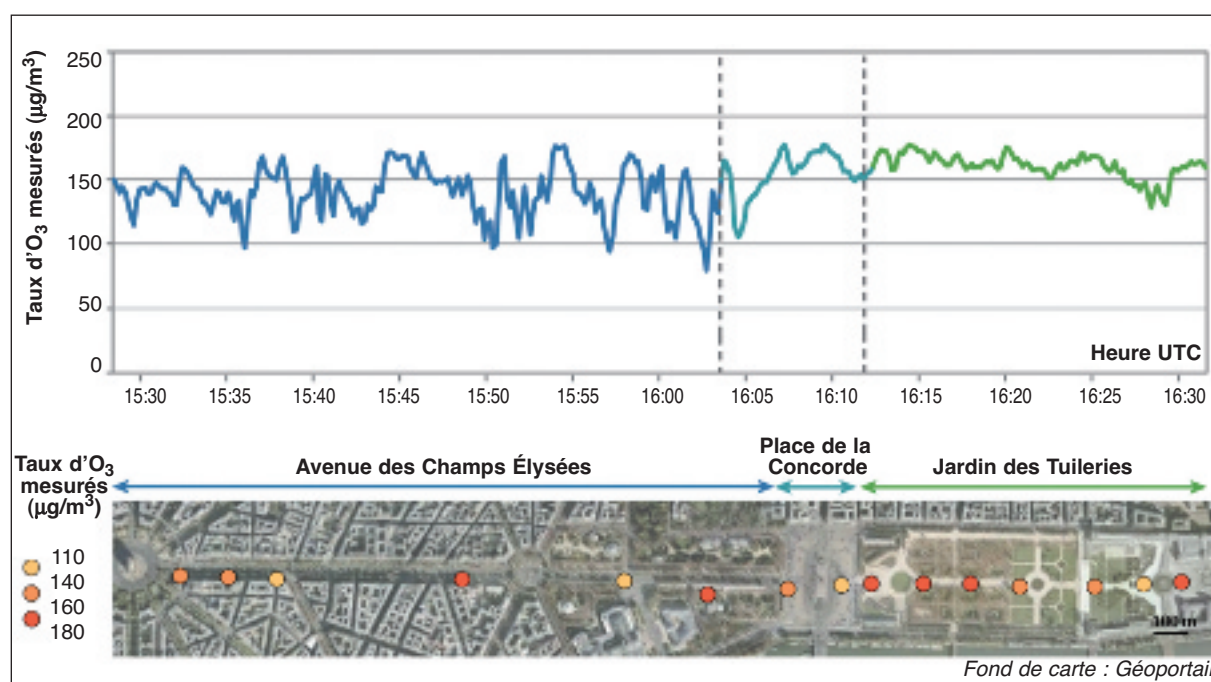


Figure 7.

Variabilité spatiale des concentrations d'ozone sur le transect des Champs-Élysées-Jardin des Tuileries, le 1<sup>er</sup> juillet 2009.

Spatial variability of ozone concentrations on transect from the Champs-Élysées Avenue and Tuileries Garden, 1st July 2009.

Eiffel et de  $141 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les deux axes de circulation et le pont d'Iéna. Nous notons également une forte variabilité sur le Trocadéro, espace très hétérogène, avec des taux d'ozone aussi élevés que sur le Champ de Mars et à l'inverse, des taux plus faibles se rapprochant plus des concentrations observées à proximité du trafic routier et sur les espaces artificialisés. Les températures sont aussi variables et plus élevées sur le Trocadéro et au passage de la Seine

(moyenne de  $33,2^\circ\text{C}$ ) que sur le Champ de Mars et sur le parvis de la Tour Eiffel, relativement ombragé (moyenne de  $31,8^\circ\text{C}$ ).

À une échelle plus fine, nous observons donc une variabilité intra-espace, que ce soit pour les températures ou pour les taux d'ozone. Les températures sont en moyenne plus élevées au début du parcours, espace plus ouvert et avec moins de rafales de vent, que sur le reste du Champ de Mars. De plus, les taux

d'ozone sont relativement plus faibles au début avec un taux moyen de  $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$  qu'au milieu et la fin du Champ de Mars avec un taux médian  $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sans compter le bus). Ceci peut s'expliquer par des rafales de vent (jusqu'à  $4,2 \text{ m/s}$ ) plus fréquentes favorisant le brassage de l'air et donc la formation de l'ozone ainsi que sa concentration dans certaines zones. Sur cette zone, nous avons mesuré l'ozone à côté d'un bus touristique et les taux d'ozone ont chuté instantanément : l'oxyde d'azote détruit l'ozone. Sur le parvis de la Tour Eiffel, les taux d'ozone diminuent à proximité du trafic routier. La variabilité au passage de la Seine s'explique également par le passage de véhicules et de péniches à proximité ainsi que de faibles brises apportant de l'oxyde d'azote de sources. Sur le Trocadéro, espace très hétérogène, la proximité d'espaces enherbés ou de zones artificialisées et de machines de construction explique la forte variabilité sur cet espace.

### 3.3. Étude de la variabilité spatiale sur le transect allant des Champs-Élysées au Jardin des Tuileries

Les taux d'ozone relevés sont relativement plus faibles sur ce deuxième transect que sur le premier réalisé le même jour. Cependant, ils n'ont pas été mesurés en même temps et, selon les moyennes horaires des stations de fond à Paris, les taux ont commencé à diminuer à partir de 16 h.

La Figure 7 nous indique deux phases : les taux d'ozone sont en moyenne plus faibles sur l'avenue des Champs-Élysées et la place de la Concorde que dans le jardin des Tuileries (respectivement  $141 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Comme précédemment, nous remarquons que les espaces à proximité du trafic routier

présentent des taux plus faibles d'ozone. Sur les Champs-Élysées, nous avons aussi pu observer que les concentrations étaient en moyenne plus élevées lors de croisements entre deux rues. De plus, dans le jardin des Tuileries, les taux sont plus faibles à la fin du transect, avec le passage au-dessus d'un tunnel assez fréquenté et 250 m plus loin, au niveau de la rue devant la pyramide du Louvre.

## 4. Conclusion et perspectives

Du 30 juin au 2 juillet 2009, les concentrations horaires d'ozone étaient élevées en région parisienne et plus précisément dans le centre et l'est, dépassant pour quelques stations le seuil critique de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (normes françaises). Une variabilité temporelle avec un cycle bien marqué et des taux plus élevés le dernier jour ont été observés. De plus, nous avons montré l'influence du vent sur les configurations spatiales des concentrations.

À échelle fine, les mesures de terrain ont mis en évidence une variabilité spatiale fortement liée à la proximité du trafic routier et fluvial ainsi que du type de surface : les taux sont plus faibles à proximité de la circulation routière et du trafic fluvial que dans les espaces verts.

Ces mesures des concentrations d'ozone seront étendues l'été prochain à d'autres sites touristiques, avec une meilleure prise en compte de la variabilité temporelle. Une campagne hivernale de mesures de particules fines a été lancée en hiver 2011 avec, entre autre, des mesures en péniche sur la Seine afin d'évaluer les concentrations de ce polluant émises par le trafic fluvial.

## Références

- [1] AIRPARIF. *La qualité de l'air en Île-de-France en 2008*, Rapport d'activité 2009, 91 p.
- [2] Camalier L., Cox W., Dolwick P. The effects of meteorology on ozone in urban areas and their use in assessing ozone trends, *Atmospheric Environment* 2007 ; 41 : 7127-37.
- [3] Martin N., Carrega P. La variabilité spatiale de l'ozone en milieu urbain et périurbain : le cas de Nice, *Pollution Atmosphérique* 2009 ; 204 : 461-74.
- [4] Weber F. et al. Ozone troposphérique et santé, *EXTRAPOL* 2008 ; 36, 44 p.
- [5] Camredon M., Aumont B. Modélisation chimique de l'ozone et des oxydants gazeux, *Pollution Atmosphérique* 2007 ; 193 : 51-90.
- [6] Burley J.-D., Ray J.-D. Surface ozone in Yosemite National Park, *Atmospheric Environment* 2007 ; 41 : 6048-62.