

Analyse de la pollution Photochimique en France pendant l'année 1996

Analysis of photochemical pollution in France in 1996

Stéphane PAPAIS (*), Jacques FONTAN (*),
Antoine LASSERRE-BIGORRY(**), Véronique PONT(*)

RÉSUMÉ

Les données d'ozone des réseaux de surveillance français de la pollution atmosphérique sont analysées pour l'année 1996. Les valeurs maximales de la variation journalière des concentrations ont été retenues, car elles sont les moins influencées par les conditions météorologiques locales et par l'implantation des capteurs. Ceux des stations de type rue, trop proche des sources de NO, n'ont pas été pris en compte. Les zones hors agglomération sont en moyenne soumises à des concentrations maximales d'ozone supérieures à celles rencontrées dans les agglomérations. Les épisodes d'ozone concernent de larges régions, montrant une contribution régionale sur laquelle viennent se superposer des effets locaux, qui en général ne dépassent pas $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les effets locaux ne sont pas négligeables dans les grandes agglomérations (Marseille, Paris) mais ils restent le plus souvent limités, tout au moins sur les capteurs des réseaux. La comparaison entre jours ouvrables et week-end plus jours fériés confirme cette analyse. Une étude météorologique est effectuée pour les principaux épisodes de l'année 1996. Les situations à fortes concentrations d'ozone correspondent à des anticyclones d'abord centrés sur les îles britanniques puis se déplaçant vers l'est.

ABSTRACT

Data of the 1996 French ozone monitoring network are analysed. Maxima values of the daily variation of ozone concentration have been only considered because they are less influenced by local meteorological conditions and by the sensor localisation. Street localised sensors are not taken into account in the analysis. Suburb areas correspond generally to greater values of ozone maxima than station inside town. Ozone episodes affects large regions showing a mesoscale contribution. Local productions are added on it with a contribution generally less than $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and a maximum of $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the Paris region. Local production is more appreciable in greater conurbation like Marseille or Paris. Comparison between working days and week end or holidays confirms the regional importance of regional production of ozone. A meteorological analysis shows that the high values of ozone concentrations correspond for the 1996 year to anticyclonic situations when the high pressure system is moving from the British islands to the east of Europe. France is then under the influence of air masses having large continental trajectory over different polluted areas.

1. Introduction

La formation d'ozone et des polluants d'origine photochimique dans la couche limite atmosphérique se fait à des échelles de plusieurs centaines de kilomètres (COX *et al.* 1975, HARRISON *et al.* 1979, VUKOVICH *et al.* 1977). Elle peut aussi se faire à une échelle plus réduite, d'une grande agglomération urbaine (COLBECK *et al.* 1985, EUROTRAC 1997). Ce type de formation se produit à Athènes et à Barcelone. Lorsqu'il y a un épisode d'ozone c'est-à-dire de fortes concentrations, les valeurs les plus élevées s'observent dans le panache des grandes villes,

mais c'est en général une large région qui est touchée par des concentrations anormalement fortes.

La caractérisation d'un épisode d'ozone, en particulier son extension spatiale, la situation météorologique qui lui permet de s'établir, sont des problèmes essentiels pour le modéliser, le prévoir, pour aussi déterminer les actions à entreprendre pour limiter les concentrations, par exemple la restriction de la circulation automobile dans les villes.

En France, des réseaux de surveillance de la qualité de l'air ont été installés dans les grandes agglomérations urbaines et à leur périphérie. Ils mettent en évidence des épisodes de pollution qui correspondent à des accumulations de polluants primaires ou de polluants secondaires d'origine photochimique. Nous avons analysé les données ozone, recueillies par les différents

(*) Laboratoire d'aérodologie, UMR/CNRS, Observatoire Midi-Pyrénées, 14, av. Ed. Belin, 31400 Toulouse.

(**) Météo-France.

réseaux pendant l'année 1996, afin de mieux caractériser les « épisodes » de concentrations élevées, de connaître l'échelle des phénomènes conduisant aux épisodes photochimiques. Il faut noter qu'en 1996, il n'y a pas eu en France des épisodes sévères d'ozone avec des niveaux dépassant largement le seuil d'alerte de la directive européenne de 1992. Cent cinquante postes de mesures, situés en milieu urbain, périurbain ou rural, sont considérés. La localisation des réseaux est donnée sur la figure 1. Le tableau 1 donne pour chaque station, référencée par un numéro sur les figures, les noms du réseau auquel elle appartient, de la station et sa caractéristique : U pour les stations urbaines non directement influencées par les sources d'émission dues au trafic automobile ou aux sources industrielles, R pour les stations rurales localisées en dehors des zones urbaines ou des agglomérations, M pour les stations de montagne dont l'altitude est supérieure à 500 mètres, S pour les stations rue c'est à dire située dans une rue où le trafic est supérieur à 2 000 véhicules par jour, près des émissions des automobiles et O pour les stations de tous les autres types (il s'agit le plus souvent de stations à caractère industriel ou d'aéroport).

L'ozone est mesuré par absorption d'un rayonnement UV à 254 nm avec des appareils fabriqués par Environnement SA.

2. Cycle diurne de l'ozone

La production photochimique, le dépôt sec sur le sol, la destruction chimique, les échanges verticaux, entraînent une variation diurne typique de l'ozone dans la couche de surface (près du sol) (LOPEZ *et al.* 1982). En situation météorologique non perturbée, ciel clair, vent faible, la concentration de l'ozone diminue pendant la nuit près du sol et passe par un minimum en fin de nuit. Elle est maximum en début ou milieu d'après midi. Les figures 2 et 3 montrent cette évolution diurne typique de la concentration d'ozone. Pendant la nuit le gradient vertical de concentration peut être fort dans les premières dizaines de mètres. Il est faible pendant la journée. Les concentrations mesurées pendant la nuit dépendent donc de la hauteur du prélèvement, de la stabilité verticale dans la couche de surface, des émissions de polluants primaires à proximité du prélèvement, qui sont des caractéristiques très locales (SINGH *et al.* 1978). Les valeurs maximales sont celles qui sont le moins influencées par ces caractéristiques locales. Ce sont donc les valeurs horaires maximales de la variation journalière que nous avons retenues pour notre étude. Elles sont les plus représentatives pour une intercomparaison entre différentes stations et différents réseaux et pour caractériser l'extension horizontale d'un épisode d'ozone. Ce sont aussi les valeurs les plus

Tableau 1.

Identification des sites de mesure de l'ozone cités dans les figures par leur numéro. Il ne s'agit pas de l'ensemble des sites utilisés dans l'étude. Les sites urbains sont identifiés dans la dernière colonne par U, les sites ruraux par R, les sites en altitude ou de montagne par M, les sites où dans une ville le prélèvement est effectué près des véhicules par S, les sites ayant un autre type de pollution par O (par exemple une pollution industrielle ou encore un aéroport)

Identification of ozone measuring sites mentioned in the figures, by number. This does not represent all sites used in the study. Urban sites are identified in the last column by U, rural sites by R, sites at altitude or mountainous sites by M, sites where, in a city, collection is realised with vehicles, by S, sites with another kind of pollution by O (for example, industrial pollution or an airport).

Nom du réseau	Numéro du site	Nom du site	Identification du site
AIRLOR	30016	HOTEL DISTICAL	S
	30017	REFERENCE	U
	30018	REMIREMONT	U
	30019	EPINAL	U
	30020	BAR-LE-DUC	U
	30021	FLEVILLE	U
	30022	GERARDMER	U-M
	30023	ST-NICOLAS	U-O
	30024	TOMBLAINE	U
	30025	MADINE	R
	30026	LUNEVILLE	U
	30027	FROLOIS	O
AIRMARAI	03019	LES PENNES MIRABEAU	U
	03022	BOUC BEL AIR	U-O
	03024	ROUSSET	U-O
	03027	PLAN D'AUPS	M
	03031	CADARACHE	R
	03035	PLAN DE CUQUES	U
	03037	P/HUVEAUNE GYMNASE	U
	03043	CINQ AVENUES	U
	03045	STE MARGUERITE	U
	04011	OPIS-1600	U
AIRPARIF	04018	AUBERVILLIERS	U
	04030	FORET DE	R
	04037	PARIS 13	U
	04038	FORET DE	R
	04046	AEROPORT DE ROISSY	O
	04063	MANTES LA JOLIE	U
	04142	MONTGE-EN GOELLE	R
	07001	ROYAT	U
AMPAC	07002	GRAVANCHES	U
	07003	CENTRE VILLE	U
	07014	AURILLAC AERODROME	R-O
	07015	SOMMET PUY DE DOME	M
	07016	MONTLUCON	U
AMPADILR	08005	LES CEVENNES	U
	08204	VALLABREGUES	R
	08401	COLOMBIER	U
ASPA	16001	SCHILT ASPA	U
	16031	LA PETITE PIERRE	R
	16060	VILLAGE NEUF	U
	16064	INRA COLMAR	U

représentatives pour une comparaison entre modèle et mesures. Il peut, en effet y avoir de grandes dispersions sur les valeurs mesurées pendant la nuit, comme nous venons de le voir et des incertitudes sur les valeurs calculées en raison des difficultés de bien simuler la stabilité verticale dans la couche de surface.

La variation journalière est toutefois utile pour caractériser la « qualité » d'une station de mesure. En effet comme nous l'avons indiqué, la variation journalière standard correspond à une cour-

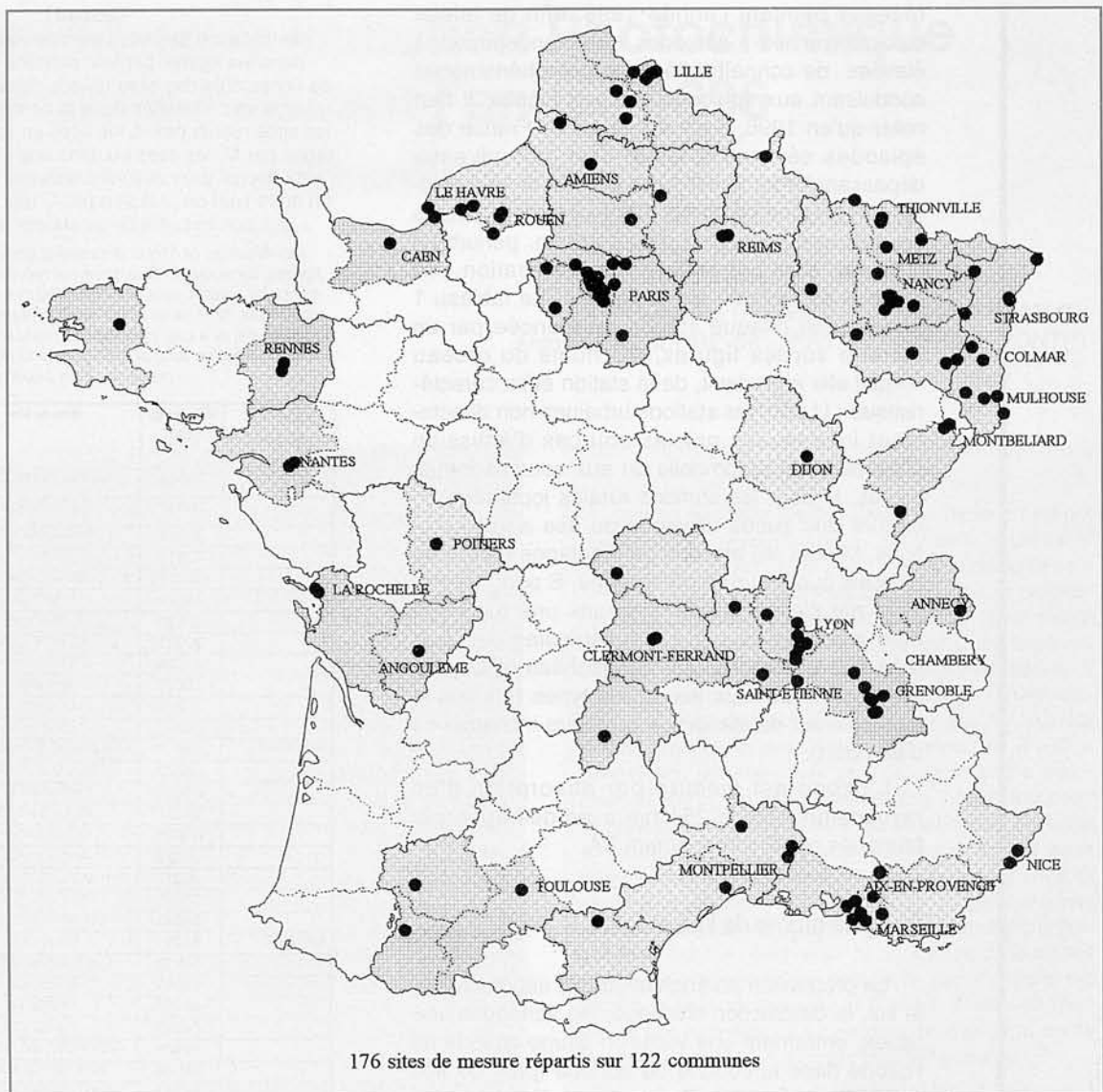


Fig. 1.

Implantation des sites de mesure de l'Ozone - O₃

(Carte réalisée à partir des stations des AASQA reliées à la BDQA - Etat 1996).

Location of ozone, O₃, measuring sites (map realised on basis of AASQA sites linked to the BDQA, 1996 statement).

be monotone avec un maximum dans l'après midi et un minimum en fin de nuit. Des variations ne suivant pas ce type de courbe, avec par exemple des pics, peuvent correspondre à des effets très locaux, comme la proximité de précurseurs ou encore à un dysfonctionnement du capteur. Les stations ne fonctionnant pas « normalement » ont été éliminées.

Il faut noter que pour les stations situées en altitude, sur des collines ou des montagnes par exemple, la variation diurne est très atténuée. On voit sur la figure 1 que le poste 3027, installé en altitude à 690 mètres (région de Marseille), a une diminution nocturne faible par rapport aux autres postes urbains, qui ont une altitude plus basse. On peut le constater aussi sur la figure 4 où le site 7015 est le sommet du Puy de Dôme (1 460 m d'altitude). La variation diurne est très

faible. En milieu de journée toutes les stations de la région ont la même valeur des concentrations, montrant le mélange de l'ozone dans la couche limite atmosphérique.

La figure 5 montre le cas d'une station ayant une variation d'ozone non conforme à celles des autres de la même région. La station 30016 à Nancy est de « type rue », c'est-à-dire située à moins de 50 mètres d'une voie de circulation où le trafic est supérieur à 2 000 véhicules/jour alors que les autres sites sont de type urbain, sans influence majeure d'une source très proche. Les concentrations de cette station de type rue sont systématiquement inférieures à celles des autres. Cette station n'est pas représentative pour caractériser un épisode d'ozone et son extension spatiale.

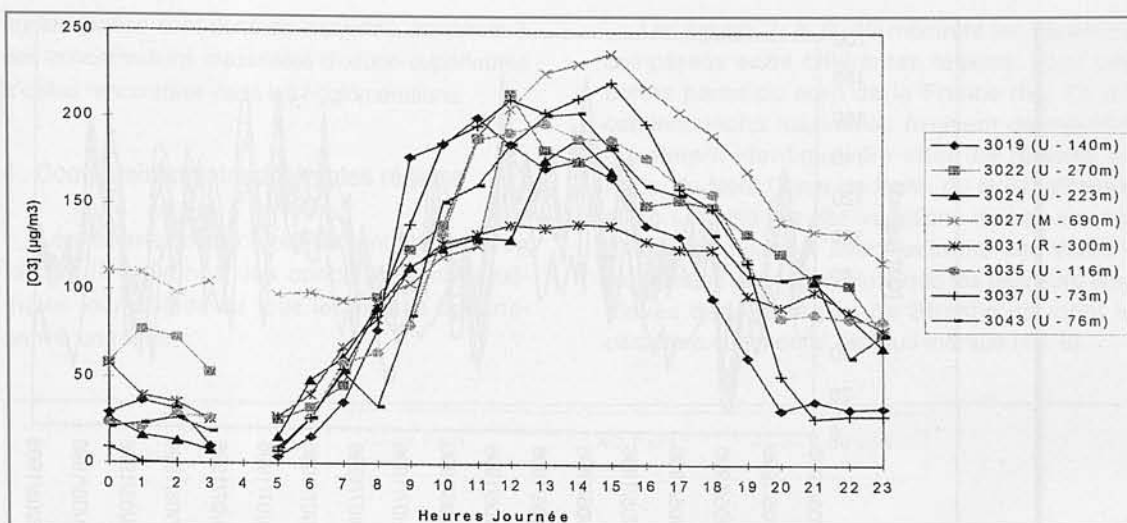


Fig. 2.

Variations journalières de la concentration en ozone pour différents sites dans la région de Marseille, le 12/06/96.

La situation des capteurs est donnée dans le tableau I. (Réseau Airmaraix, Marseille).

Daily variations in the concentrations of ozone for various sites in the Marseilles region on 12/6/96.

The location of the sensors is given in Table I (Airmaraix networks, Marseilles).

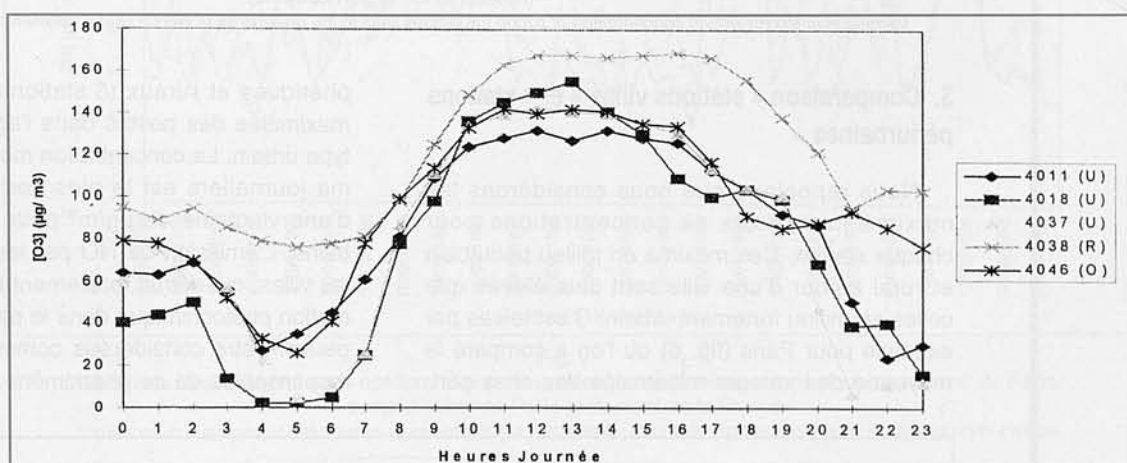


Fig. 3.

Variations journalières de la concentration en ozone pour différents sites dans la région de Paris, le 05/06/96. (Réseau Airparif, Ile de France).

Daily variations in the concentration of ozone for various sites in the Paris region, on 5/6/96 (Airparif network, Ile-de-France).

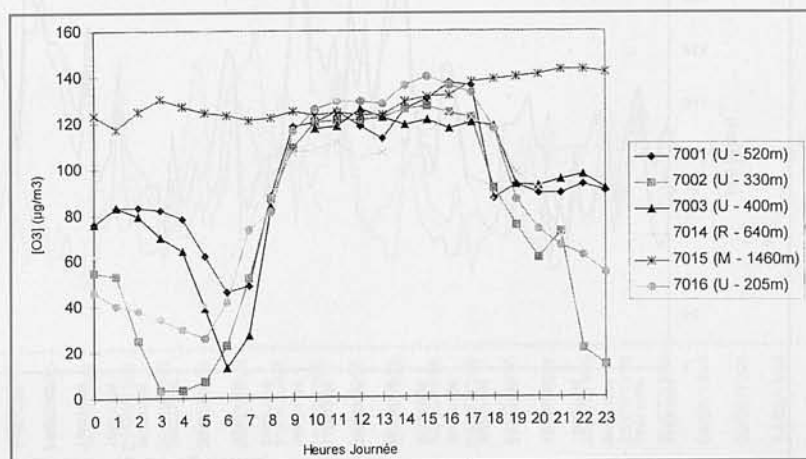


Fig. 4.

Variations journalières de la concentration en ozone pour différents sites dans la région de Clermont-Ferrand le 19/07/96 (réseau Ampac, région Auvergne).

Daily variations in the concentration of ozone for various sites in the Clermont-Ferrand region, on 19/7/96 (Ampac network, Auvergne region).

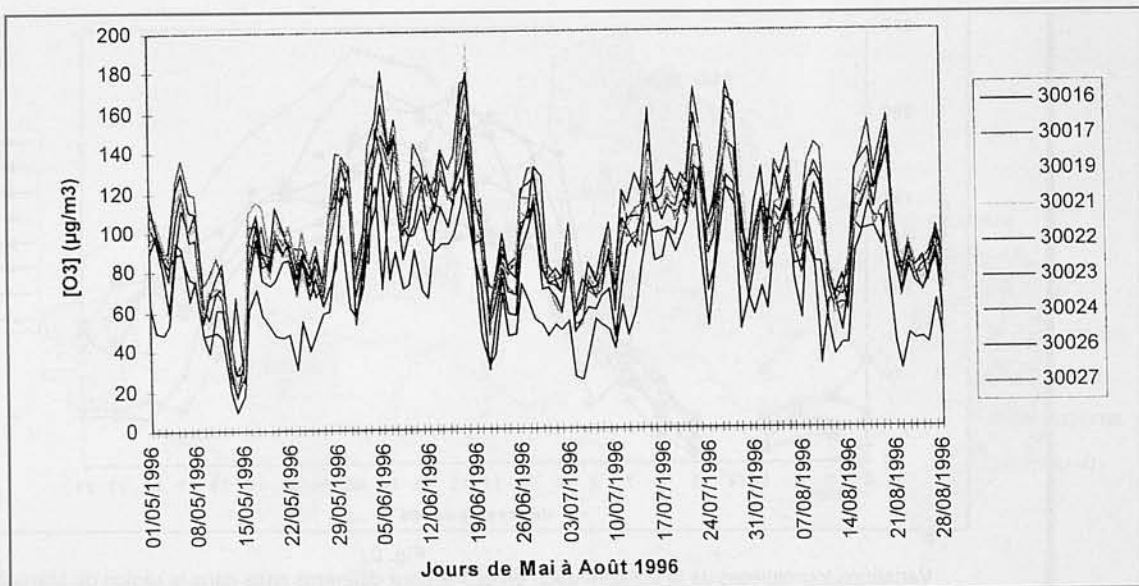


Fig. 5.

Variations des concentrations maximales d'ozone pour différents sites dans l'agglomération de Nancy (réseau Airlor, région Lorraine).

Variations in the maximum concentration of ozone for various sites in the urban area of Nancy (Airlor network, Lorraine region).

3. Comparaison « stations villes » et « stations périurbaines »

Nous rappelons que nous considérons les maxima journaliers de concentrations pour chaque station. Ces maxima en milieu périurbain et rural autour d'une ville sont plus élevés que celles en milieu fortement urbain. C'est le cas par exemple pour Paris (fig. 6) où l'on a comparé la moyenne des valeurs maximales des sites péri-

phériques et ruraux (5 stations) et les valeurs maximales des postes dans l'agglomération, de type urbain. La concentration moyenne des maxima journaliers est le plus souvent supérieure d'une vingtaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les sites périurbains. L'émission de NO par les véhicules dans les villes, qui détruit localement l'ozone, et la formation photochimique dans le panache de la ville peuvent être considérées comme les principaux responsables de ce phénomène. Les zones hors

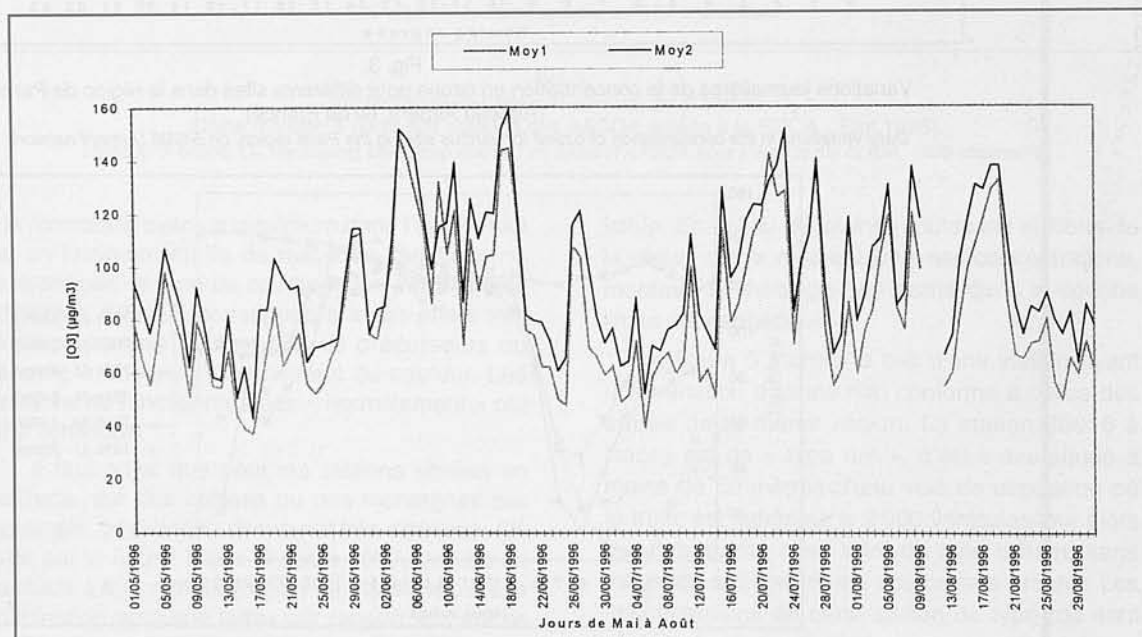


Fig. 6.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone à l'intérieur de la ville de Paris (Moy1) et en périphérie (Moy2).

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone within the city of Paris (Moy 1) and on the outskirts (Moy 2).

agglomération sont donc en moyenne soumises à des concentrations maximales d'ozone supérieures à celles rencontrées dans les agglomérations.

4. Comparaison entre différentes régions

Les valeurs pour une région sont obtenues en faisant la moyenne des concentrations maximales journalières de tous les postes appartenant à un réseau.

Les figures 7, 8, 9, 10 montrent les variations comparées entre différentes régions. Pour une bonne partie du nord de la France (fig. 7), les concentrations maximales évoluent de manière quasiment identique. En effet les régions de Paris, du Nord Ouest de Paris, du Nord, d'Alsace et de Lorraine ont des variations de ces valeurs d'ozone similaires, avec toutefois des valeurs plus faibles pour Lille, alors que les pics sont plus élevés dans la région de Strasbourg, dont le caractère continental est plus marqué (fig. 8).

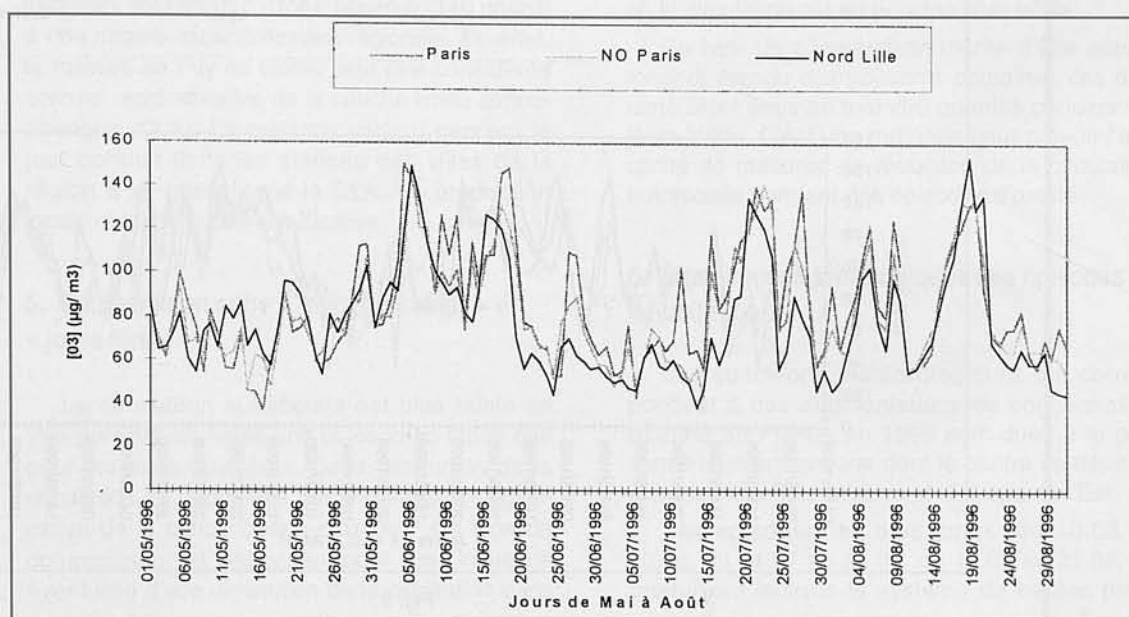


Fig. 7.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone pour les régions de Paris, du nord-ouest de Paris et du nord de la France.

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for the Paris regions, northwest Paris and north France.

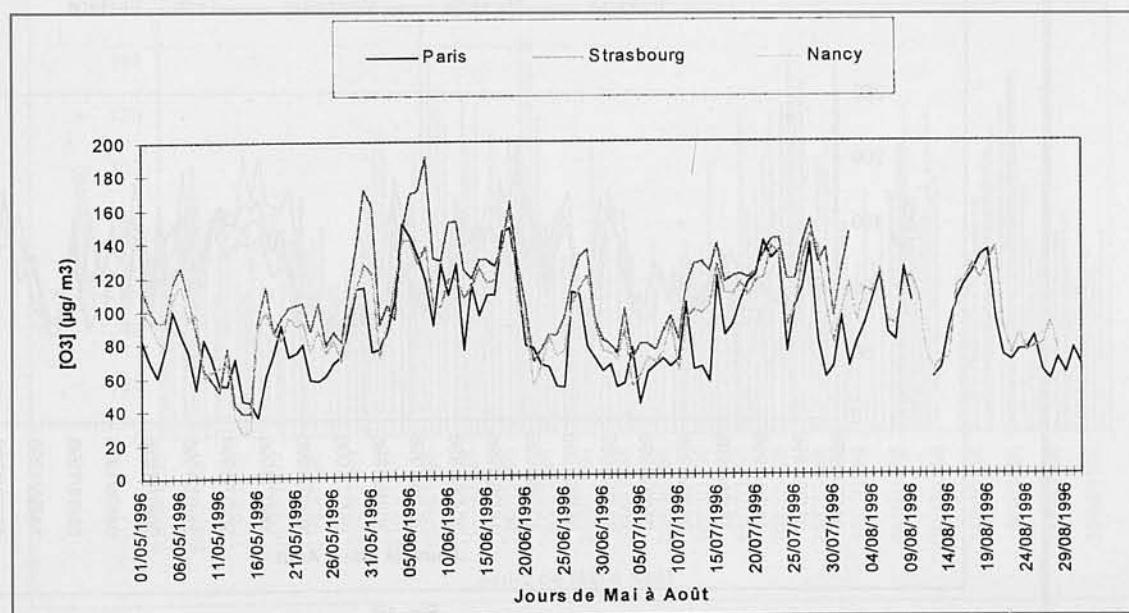


Fig. 8.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone pour les régions de Paris, Nancy et Strasbourg.

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for the Paris regions, Nancy and Strasbourg.

On peut constater le même phénomène dans la partie centrale de la France, de La Rochelle à Lyon en passant par Clermont-Ferrand (fig. 9). C'est dans la région lyonnaise que les valeurs sont les plus importantes.

Pour la partie Sud de la France, on observe encore le même type de variation pour l'ensemble des stations. C'est dans la région de Marseille que les valeurs sont les plus fortes (fig. 10).

Ces courbes mettent en évidence le caractère régional étendu des épisodes d'ozone, ce qui n'exclut pas des effets locaux qui viennent s'ajouter à ces variations de plus grande échelle. Lorsqu'on compare pour une région donnée les variations des différents postes, à l'exception de quelques stations de proximité, on observe que lorsque les valeurs maximales journalières sont faibles, les valeurs des postes sont peu différentes. Les champs de concentration sont

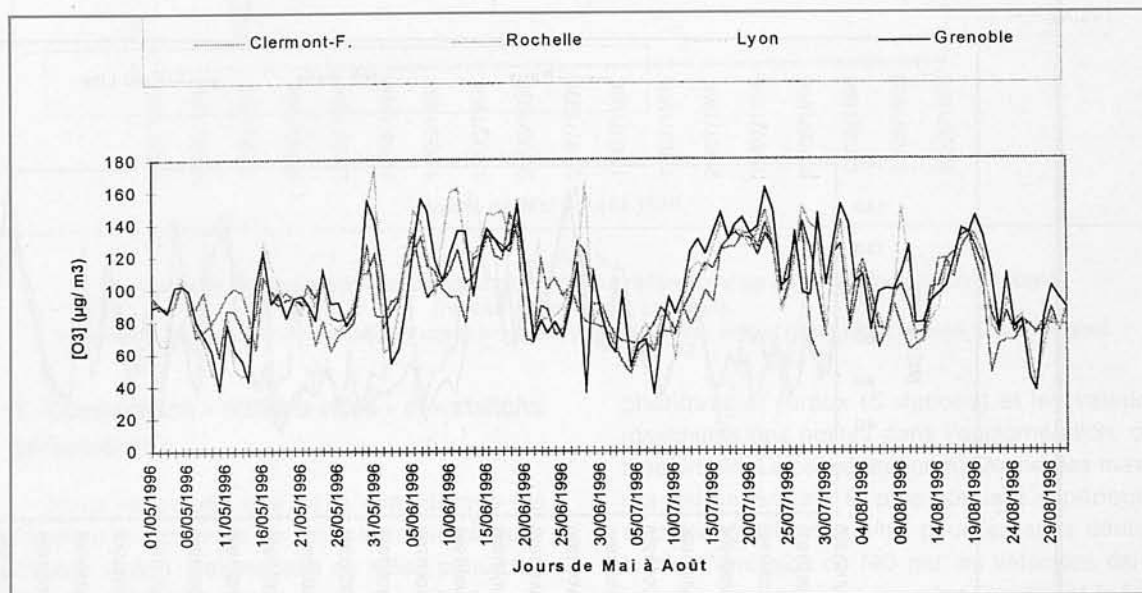


Fig. 9.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone pour les régions de La Rochelle, Clermont-Ferrand, Lyon et Grenoble.

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for the regions of La Rochelle, Clermont-Ferrand, Lyons and Grenoble.

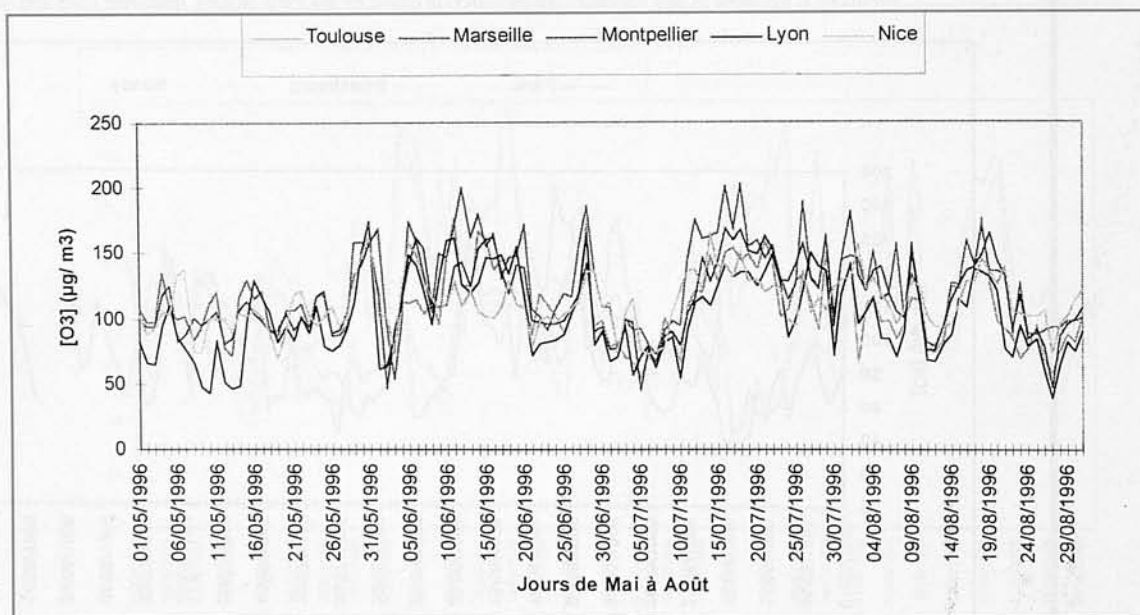


Fig. 10.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone pour les régions de Toulouse, Montpellier, Nice; Marseille, Nice et Lyon.

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for the regions of Toulouse, Montpellier, Nice, Marseilles, Nice and Lyons.

homogènes à l'échelle d'une région. Lorsqu'il y a des pics de pollution on constate par contre des écarts entre les stations qui en général ne dépassent pas $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 25 ppb) et atteignent au maximum $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la région parisienne. Les effets locaux ne sont donc pas négligeables, mais ils restent le plus souvent limités.

Remarque

Pour la région de Clermont-Ferrand qui ne correspond pas à une grande métropole urbaine, la figure 4 montre sur l'exemple du 19.07.96 que le niveau maximum d'ozone observé ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a une origine essentiellement régionale. En effet, la mesure au Puy de Dôme peut être considérée comme représentative de la couche limite atmosphérique (CLA). Le mélange vertical pendant le jour conduit dans les stations des villes de la région à la valeur dans la CLA. La production locale n'est donc pas significative.

5. Comparaison entre « jours ouvrables » et « jours fériés »

La circulation automobile est plus faible en ville pendant les week-end et les jours fériés que pour les jours ouvrables. Cette diminution de la circulation se traduit-elle par une variation significative de la concentration d'ozone ? Ce type de comparaison est intéressant pour voir l'influence éventuelle d'une diminution de la circulation dans

une ville lors d'un épisode d'ozone (circulation alternée par exemple).

Nous avons tracé les variations des concentrations maximales moyennes sur tous les sites de deux réseaux, Paris (fig. 11) et Marseille (fig. 12) en fonction de chaque jour de mai à août en différenciant les jours ouvrables et les jours fériés.

Pour ces deux grandes agglomérations, la pollution par l'ozone ne paraît pas être affectée pendant les week-ends. On ne voit pas apparaître une tendance à la diminution pour ces jours où la circulation est en principe plus faible.

Ce type de comparaison mérite d'être approfondi et étendu aux polluants primaires, ces derniers étant émis en moindre quantité pendant les jours fériés. C'est une méthode pour prévoir l'efficacité de mesures de réduction de la circulation automobile pendant des épisodes d'ozone.

6. Situations météorologiques des épisodes de pollution

Les conditions météorologiques qui correspondent à des augmentations de concentration d'ozone en France en 1996 sont dues à la présence d'un anticyclone dont le centre se déplace entre les Iles Britanniques et l'Europe de l'Est.

Les épisodes les plus longs (du 10.06 au 20.06, du 11.07 au 23.07, du 15.08 au 21.08) se produisent lorsque le système de hautes pres-

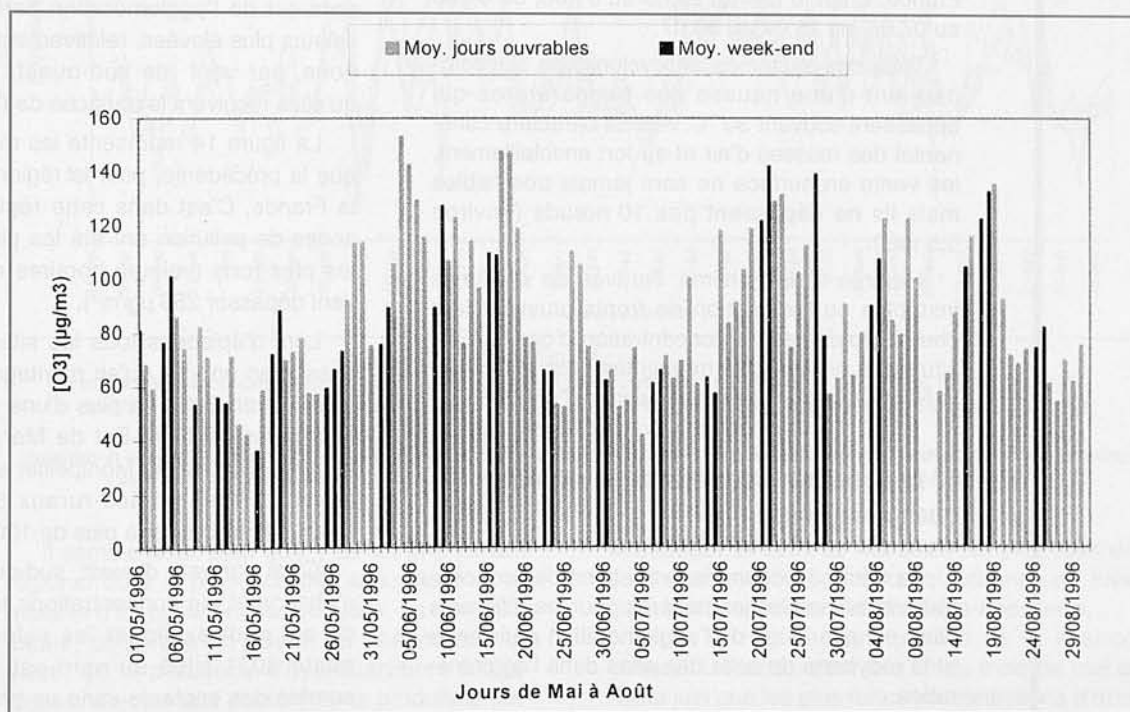


Fig. 11.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone pour la région de Paris, pour les jours ouvrables et les week-ends et jours fériés.

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for the Paris region on working days, weekends and holidays.

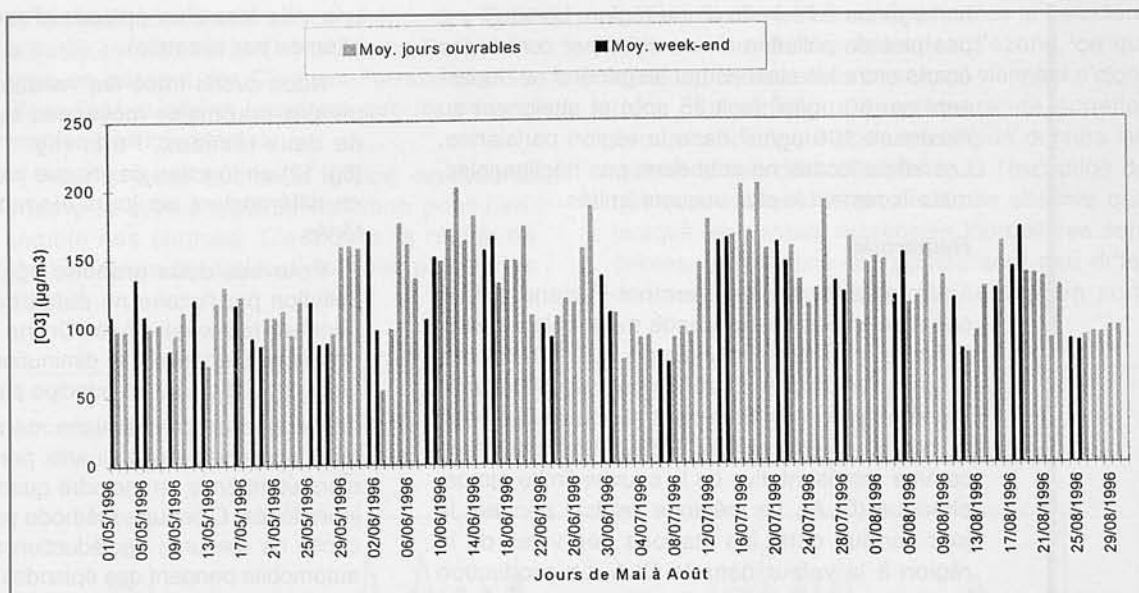


Fig. 12.

Variations des moyennes des concentrations maximales journalières en ozone pour la région de Marseille, suivant les jours ouvrables et les week-ends et jours fériés.

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for the Marseilles region on working days, weekends and holidays.

sions reste localisé au-dessus des Iles Britanniques et la Mer du Nord pendant plusieurs jours, avant d'être repoussé vers l'Europe du Nord-Est par des perturbations venant du nord-ouest.

Les épisodes sont plus courts lorsque le système de hautes pressions se déplaçant vers l'est passe plus rapidement au-dessus de la France. C'est le cas du 29.05 au 01.06, du 04.06 au 07.06, du 25.07 au 30.07.

Tous ces systèmes anticycloniques s'accompagnent d'une hausse des températures qui dépassent souvent 30 °C, liée au caractère continental des masses d'air et au fort ensoleillement, les vents en surface ne sont jamais très faibles mais ils ne dépassent pas 10 nœuds (environ 5,5 m/s).

L'entrée d'air maritime, l'arrivée de systèmes instables ou l'apparition de fronts pluvieux font chuter rapidement la concentration d'ozone. Ces situations ont été plus fréquentes pour le Nord et le Nord-Ouest de la France pendant l'été 1996.

7. Analyse des concentrations observées pour quelques réseaux

La figure 13 donne les variations des concentrations maximales journalières pour les différents sites périphériques de l'agglomération parisienne et la moyenne de celle des sites dans l'agglomération.

Le capteur 4038 en site rural est à l'ouest-sud-ouest, à une cinquantaine de kilomètres de l'agglomération parisienne. Les valeurs les plus élevées par rapport aux autres stations sont

observées par vent du nord-est, lorsque le site est sous le panache de l'agglomération. De fortes valeurs (200 µg/m³) plus élevées que celle des autres stations sont aussi observées en juin par vent de Sud Est, alors que la station est en principe au vent de l'agglomération.

Les stations 4046 et 4142 situées au nord-nord-est de l'agglomération parisienne ont des valeurs plus élevées, relativement aux autres stations, par vent de sud-ouest, là encore lorsqu'elles reçoivent le panache de l'agglomération.

La figure 14 représente les mêmes variations que la précédente, pour la région du Sud-Est de la France. C'est dans cette région que les épisodes de pollution ont été les plus nombreux et les plus forts (valeurs horaires maximales pouvant dépasser 250 µg/m³).

Lors d'épisodes tous les sites sont touchés, aussi bien en ville qu'en montagne (3027) ou en milieu rural (3031), à plus d'une cinquantaine de kilomètres au Nord-Est de Marseille. Les capteurs de la zone de Montpellier sont touchés, de même que les postes ruraux 8204 et 8209 à l'ouest de Marseille, à plus de 100 km de la ville.

C'est par vent d'ouest, sud-ouest ou sud que s'observent les concentrations les plus élevées ce qui peut expliquer les valeurs élevées du poste 3031 situé au nord-est. Toutefois l'ensemble des capteurs varie en phase, en particulier ceux situés en milieu rural au nord-ouest de la ville et de la zone industrielle de Fos-Berre qui ne sont pas placés sous le vent des émissions de précurseurs

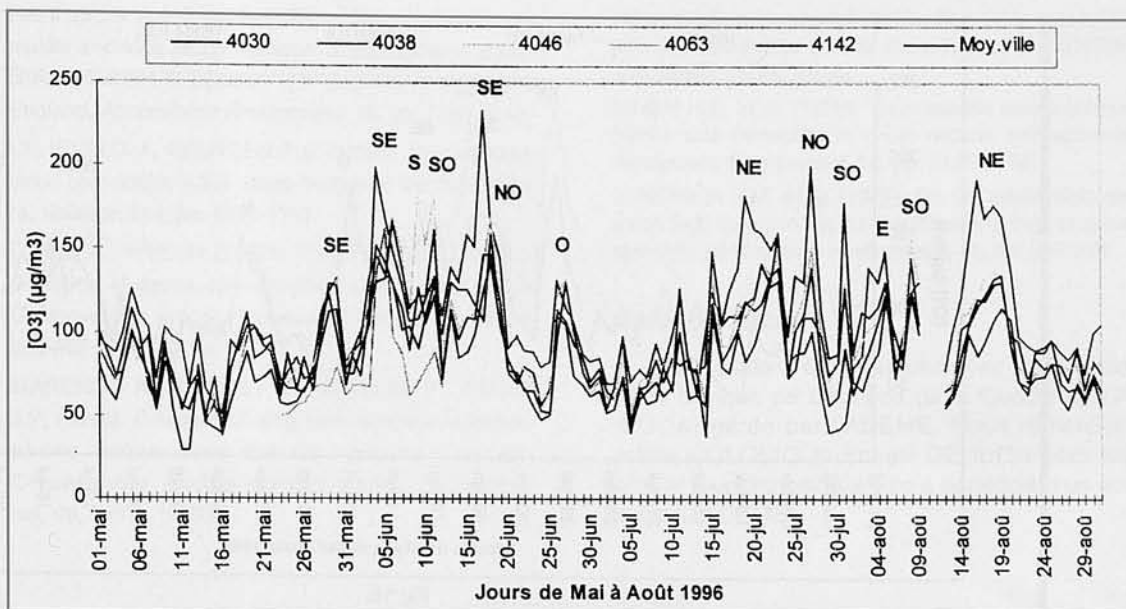


Fig. 13.

Variations des concentrations maximales journalières en ozone pour les différents sites périphériques à l'agglomération parisienne et de celles des sites dans l'agglomération. La direction du vent dominant présent lors des maxima de pollution est signalée. (Réseau Airparif, Ile de France).

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for various sites on the outskirts of urban Paris and on the outskirts of the sites in the city. The direction of the prevailing wind during maximum pollution is indicated (Airparif network, Ile-de-France).

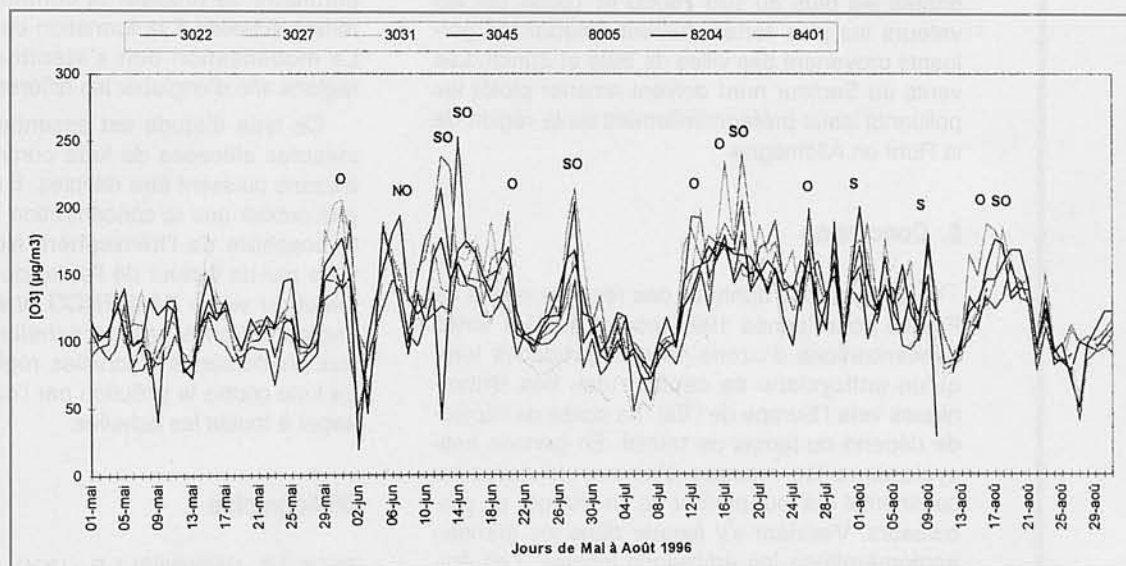


Fig. 14.

Variations des concentrations maximales journalières en ozone pour les différents sites de la région sud-est. La direction du vent dominant présent lors des maxima de pollution est signalée. (Réseaux Airmariax, Marseille, et Ampadi Languedoc Roussillon).

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for various sites in the southeast region. The direction of the prevailing wind during maximum pollution is indicated (Airmariax network, Marseilles and Ampadi Languedoc Roussillon).

Il semble donc bien qu'il y ait un phénomène régional dû à la présence de l'anticyclone et de masses d'air continentales polluées. La formation locale, complexe en raison du phénomène de brise, de la présence d'hydrocarbures biogéniques, s'ajoute aux photoxydants produits à partir de précurseurs venant de sources plus lointaines, qui se sont accumulés lors du transport continental de la masse d'air. Pour les forts pics de pollution, les écarts entre les capteurs de

Montpellier et ceux de Marseille les plus touchés sont d'environ 50 µg/m³, ce qui donne une idée de la contribution du site Marseille-Fos-Berre.

Pour la région du Nord-Est de la France (Alsace, Lorraine), c'est à la fin du mois de mai et début juin que les plus fortes concentrations d'ozone ont été observées. Ces pics de pollution correspondent à des vents de sud-est et ouest-nord-ouest, (comme on peut l'observer sur la fig. 15), de vitesse moyenne inférieure à 7,5 nœuds (environ

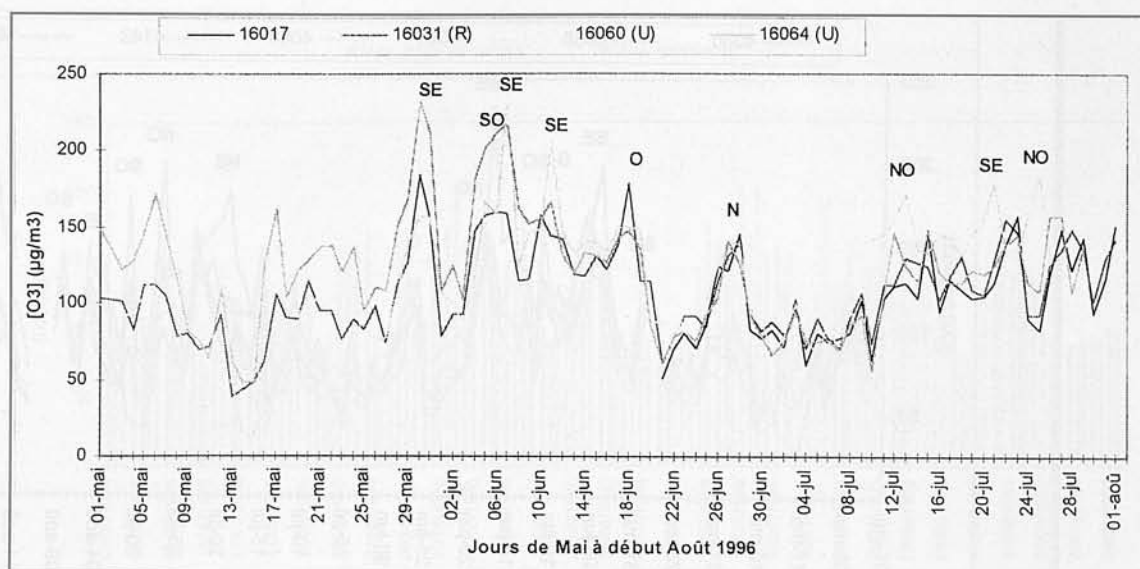


Fig 15.

Variations des concentrations maximales journalières en ozone pour les différents sites de la région alsacienne. La direction du vent dominant présent lors des maxima de pollution est signalée (Réseau Aspa, Alsace).

Variations in averages of daily maximum concentration of ozone for various sites in the Alsace region. The direction of the prevailing wind during maximum pollution is indicated (Aspa network, Alsace).

14 km/h). Les vents de sud-est pour lesquels les postes les plus au sud 16060 et 16064 ont les valeurs les plus fortes doivent amener les polluants provenant des villes de Bâle et Zurich. Les vents du Secteur nord doivent amener plutôt les polluants issus préférentiellement de la région de la Ruhr en Allemagne.

8. Conclusion

L'analyse des données des réseaux ozone en France pour l'année 1996 montre que les fortes concentrations d'ozone se sont produites lorsqu'un anticyclone se déplace des Iles Britanniques vers l'Europe de l'Est. La durée de l'épisode dépend du temps de transit. En période anticyclonique les masses d'air ont un parcours continental qui leur permet de se charger en précurseurs. Viennent s'y ajouter dans les grandes agglomérations les émissions locales. Les épisodes d'ozone intéressent de larges régions avec les concentrations les plus élevées dans la périphérie des grandes métropoles.

La réduction des émissions, si elle est limitée aux transports urbains, ne pourra avoir dans ces conditions qu'un effet limité localement puisque l'action se manifesterait sur une seule des composantes de cette production photochimique. Dans les villes de moyenne importance l'effet régional doit être prépondérant et les mesures locales ne pourront avoir qu'un effet très limité.

Cette étude n'a porté que sur les mesures ozone de l'année 1996. Il s'agit de la compléter en analysant plusieurs années, mais aussi il serait intéressant d'étudier simultanément les concentrations des précurseurs. Elle doit être

complétée par des modélisations qui peuvent permettre de préciser la contribution des différentes échelles à la formation des photoxydants. La modélisation doit s'étendre sur de larges régions afin d'englober les différentes échelles.

Ce type d'étude est essentiel pour que des mesures efficaces de lutte contre ces épisodes d'ozone puissent être définies. Il faut toutefois ne pas oublier que la concentration d'ozone dans la troposphère de l'hémisphère Nord a été multipliée par un facteur de l'ordre de 3 à 5 depuis le début du siècle (MARENCO *et al.* 1994.). Cette augmentation à grande échelle vient s'ajouter aux phénomènes d'échelles régionale et locale. La lutte contre la pollution par l'ozone doit s'envisager à toutes les échelles.

Bibliographie

- BECK J.P., GRENNFELT P. (1994), Estimate of ozone production and destruction over northwestern Europe, *Atmospheric Environment*, 28, pp. 129-140.
- COLBECK I., HARRISON R.M. (1985), The frequency and causes of elevated concentration of ozone at ground level at rural sites in north-west England, *Atmospheric Environment*, 19, 10, pp. 1577-1587.
- COX R.A., EGGLETON A.E. (1975), Long range transport of photochemical ozone in northwestern Europe, *Nature*, 255, pp. 118-121.
- EUROTRAC (1997), Photo-oxidants, Acidification and Tools : Policy Applications of EUROTRAC Results, BORRELL P., BUILTJES P., GRENNFELT P., HOV O. (eds).
- GUICHERIT R., VAN DOP H. (1977), Photochemical production of ozone in western Europe (1971-75) and its relation to meteorology, *Atmospheric Environment*, 11, pp. 145-155.

HARRISON et HOLMAN (1979), The contribution of middle and long range transport of tropospheric photochemical ozone to pollution at a rural site in north-west England, *Atmospheric Environment*, 13, pp. 1535-1545.

LELIEVELD J., CRUTZEN P.J. (1994), Role of deep cloud convection in the ozone budget of the troposphere, *Science*, 264, pp. 1759-1761.

LOPEZ A., PRIEUR S., KIM P.S., FONTAN J. (1982), Variation of ozone concentrations at an urban site in South-western France, Toulouse. *Envir. Techn. Lett.* 3, 553-562

MARENCO A., GOUGET H., NEDELEC P., PAGES J.P. (1994), Evidence of long term increase in tropospheric ozone from Pic du midi data series : Consequence, positive radiative forcing. *J. Geophys. res.*, 99, 16617-16632.

MEAGHER J.F. *et al.* (1997), The SOS Nashville/Middle Tennessee Ozone Field Study, *EUROTRAC Newsletter*, 18, pp. 26-32.

SINGH H.B. *et al.* (1978), Tropospheric ozone concentration and variability in clean remote atmospheres, *Atmospheric Environment*, 12, pp. 2185-2196.

VUKOVICH F.M. *et al.* (1977), On the relationship between high ozone in the rural surface and high pressure systems, *Atmospheric Environment*, 11, pp. 967-983.

Remerciements

Cette étude a été effectuée avec les données de la Banque de Données de la Qualité de l'Air (BDQA) gérée par l'ADEME. Nous remercions Joëlle COLOSIO et Pascal DEUDON pour leur aide et leur disponibilité. Elle a bénéficié d'un soutien de l'ADEME.