

La pollution par les oxydes d'azote et l'ozone à Alger

The nitrogen oxides and ozone pollution in Algiers

Rabah KERBACHI (*), Ménouër BOUGHEDAOU (**),
Nadia KOUTAI (*), Taouès LAKKI (*)

RÉSUMÉ

L'étude consiste à situer les niveaux de pollution atteints par les oxydes d'azote (NO et NO_2) et l'ozone en divers sites de la ville d'Alger. On y présente les cycles diurnes moyens des trois polluants ainsi que l'évolution journalière relative à certaines périodes particulières telles que le mois de Ramadhan et les jours de week-end où le trafic routier évolue différemment. Si dans l'ensemble les teneurs en NO et NO_2 ne semblent pas poser de problèmes majeurs, ce n'est pas le cas du photo-oxydant O_3 qui atteint en été des teneurs très excessives au niveau de la périphérie de la ville. En site périurbain, sur les hauteurs résidentielles de la ville, on mesure durant plusieurs journées de l'été des teneurs maximales en ozone oscillant entre 100 et 135 ppb. Ces épisodes d'ozone photochimique sont dus probablement au transport du panache urbain en dehors de l'espace fortement urbanisé.

ABSTRACT

The study presents the different levels of the photo-oxydant O_3 and its precursors the nitrogen oxides (NO , NO_2) in the city of Algiers. The mean diurnal cycles are presented for the three pollutants with the daily variation during particular periods such as the Ramadhan month and the weekend days where the road traffic evolution is different. Generally the NO and NO_2 levels reached do not seem causing any great problems but the ozone has reached high levels in the suburban area of the city. In the site of El Madania situated in the periphery residential area of Algiers, we measure during several days of summer maximum ozone levels from 100 to 135 ppb. These photochemical ozone episodes are probably caused by the transport urban plume outside the urban area.

1. - Introduction

En milieu urbain, les activités du transport routier sont les premiers responsables de la dégradation de la qualité de l'air. C'est ainsi que certains auteurs estiment qu'environ 70 % des NO_x émis dans l'atmosphère des grandes villes sont imputables au trafic routier (JOURNARD, 1989). Avec les hydrocarbures, ces NO_x constituent les principaux précurseurs de l'ozone photochimique. De part leurs réactivités, ils subissent des transformations complexes qui induisent dans la basse troposphère des teneurs élevées en oxydant O_3 (BUTLER, 1979 ; TOUPANCE, 1988). En vertu des nuisances multiples qu'ils peuvent engendrer, l'ozone et les NO_x , en particulier le NO_2 , font de nos jours l'objet d'une surveillance particulière. Tout comme les grandes villes du bassin méditerranéen, l'agglomération d'Alger qui

abrite un important trafic routier et dont la position géographique (latitude Nord $36^\circ 43'$) est favorable aux processus photochimiques, réunit toutes les conditions qui peuvent engendrer une intense pollution oxydante. Ces dernières années, la forte croissance du trafic routier urbain a fait en sorte qu'Alger totalise actuellement à elle-seule le 1/4 du parc national global. En dix années le parc automobile de l'agglomération a connu une croissance d'environ 70 % pour atteindre en 1995 environ 600 000 véhicules tout genre confondu. Par ailleurs, on estime que plus du 1/3 des déplacements urbains sont assurés par l'automobile (véhicules particuliers, transports publics et taxis) avec une proportion importante de trajets courts ; en moyenne un déplacement sur trois est inférieur à 10 km. Toutes ces considérations font que l'espace urbain de la ville et en particulier les sites de proximité peuvent être exposés à une importante pollution par les véhicules qui sont dans leur totalité dépourvus de pots catalytiques. Devant cette situation et en l'absence d'un réseau de surveillance classique, il nous est apparu nécessaire d'évaluer les

(*) Ecole Nationale Polytechnique, Département Génie de l'Environnement, 10, Avenue Hassan Badi, El Harrach, Alger.

(**) Université de Blida, Institut de Chimie Industrielle, BP 270, 09000 Blida.

niveaux de pollution atteints par le NO, NO₂ et O₃ en certains sites de la ville d'Alger.

2. Méthodologie

2.1. Sites de prélèvement

A Alger la densité élevée des résidents et le climat qui favorise une vie extérieure intense et prolongée, font que les sites de proximité sont en général les plus représentatifs pour l'étude des expositions moyennes de la population. C'est dans ce sens que nous avons retenu pour l'étude des trois polluants quatre sites de proximité qui sont localisés en plein centre ville près des axes routiers où le flux des véhicules atteint en moyenne 12 à 15 000 véhicules/jour. Pour l'étude de l'ozone en périphérie, nous avons choisi un site au quartier d'El-Madania sur les hauteurs d'Alger à une altitude d'environ 100 m / niveau de la mer et à quelques 5 km au sud-est du centre ville. A l'inverse des autres sites, ce poste de mesure qui se trouve à plus de 400 mètres des grandes voies de circulation n'est pas influencé directement par les émissions du trafic routier. Il représente pour notre étude une station urbaine de fond. La localisation et les caractéristiques des sites étudiés sont résumées au tableau I.

2.2. Prélèvement et analyse

Au niveau des sites de proximité, les prélèvements ont été effectués à une distance de 2 à 3 m du bord de la chaussée et à une altitude de 3 m à 6 m. Pour tous les prélèvements la durée d'échantillonnage est fixée à une heure. Aux sites S1 à S4, l'étude s'est étalée sur la période allant de juillet 1992 à août 1993 avec certaines interruptions ponctuelles. Pour le site de périphérie

d'El-Madania, le poste de prélèvement est implanté à 6 mètres d'altitude en un lieu dégagé et librement exposé à la ventilation naturelle. En ce site, l'étude a été effectuée durant la période allant d'août 93 à août 1994.

L'analyse des NO_x est effectuée d'après la méthode spectrophotométrique de Saltzman. Cette méthode consiste à aspirer l'air à un débit de 0.5 l/mn dans un barboteur à verre fritté contenant 10 ml de réactif absorbant de Saltzman. Le principe consiste à transformer en milieu aqueux le NO₂ en un colorant azoïque rose à l'aide d'une amine aromatique de diazotation, l'acide sulfanilique et une amine de copulation, le N-1-naphtyléthylène-diamine dihydrochloride (Intersociety Committee, 1969). Le dosage du NO nécessite une transformation préalable en NO₂. Cette oxydation a lieu dans un tube en U renfermant de l'acide chromique porté à 60 °C et intercalé entre deux barboteurs. Dans le premier flacon laveur, il y a rétention de l'humidité de l'air par H₃ PO₄ à 85 % et dans le second, le réactif de Saltzman. L'oxydant est préparé en trempant des tamis moléculaires dans l'acide chromique à 17 % pendant 1 heure (LEVAGGY D.A. *et al.*, 1974 ; Intersociety Committee, 1969). L'oxydant dont l'activité dure deux à trois jours est périodiquement renouvelé. Le dosage de l'ozone a lieu d'après la méthode spectrophotométrique Neutral Buffered KI-Method (NBKI), (Intersociety Committee, 1972). L'air est aspiré à 1 l/mn dans un barboteur contenant 10 ml de la solution absorbante de KI à 0.1 % tamponnée à pH = 6.8 ± 0.2. Pour éviter les pertes d'iode par entraînement, on utilise deux barboteurs placés en série.

Dans ces conditions expérimentales de dosage des NO_x et de O₃, il a été vérifié sur des prélèvements effectués simultanément que l'erreur reste inférieure à 4 %. Les données validées et

Tableau I.
Caractéristiques des sites
Sites characteristics.

Sites	Localisation	Principales caractéristiques
S1	Rue Didouche Mourad (centre ville)	- Grandes artères commerciales - Forte affluence piétonnière
S2	Rue Colonel Amirouche (centre ville)	- Trafic routier intense - Rue de type canyon
S3	Place du 1 ^{er} Mai (centre ville)	- Important carrefour - Bonne ventilation - Présence d'un grand hôpital (CHU) dans le voisinage immédiat
S4	Place Audin (centre ville)	- Trafic routier dense, important carrefour - Forte population exposée (facultés, lycée, cafés, magasins, etc.)
S5	El-Madania quartier en périphérie	- Site périphérique situé à 5 km au Sud-Est du centre ville - Surplombe le centre ville (altitude 100 m/niv. mer) - Faible trafic routier

retenues pour l'étude constituent environ 84 % de l'ensemble des prélèvements effectués. Le rejet de certaines données est dû principalement aux arrêts des pompes et parfois à l'instabilité du débit.

3. Résultats et discussion

3.1. Evolution journalière des polluants NO, NO₂ et O₃ aux sites de proximité

Les cycles diurnes moyens des trois polluants mesurés au niveau des sites de proximité S1 à S4 sont représentés respectivement en figures 1, 2, 3, 4.

L'examen de ces figures montre que l'évolution journalière du NO accuse deux pics importants, l'un en début de matinée entre 7 h et 9 h et l'autre en fin d'après-midi entre 17 h et 19 h. Un troisième pic de moindre amplitude apparaît parfois en fin de matinée. En ces sites qui sont fortement exposés aux émissions des véhicules, les maxima de NO coïncident avec l'intensification du trafic routier aux heures de pointe. En moyenne, les teneurs en NO restent sur tous les sites inférieures à 100 ppb, mais on observe parfois des teneurs horaires ponctuelles qui sont supérieures à 200 ppb.

Le percentile 98 (P98) s'élève à 168 ppb et la teneur horaire maximale enregistrée a atteint le niveau de 301 ppb. Les teneurs nocturnes sont très faibles et restent bien en deçà des niveaux rencontrés habituellement dans les grandes villes. Ces teneurs de nuit qui sont en fait exceptionnelles et conjoncturelles s'expliquent par l'instauration du couvre-feu. Cette situation qui engendre le gel du trafic routier et de toute activité industrielle confirme ainsi l'origine anthropique de ce polluant. Etant donné que même en hiver le NO nocturne est fort réduit, on peut en déduire qu'à Alger, les foyers fixes de combustion ou le chauffage domestique ne constituent pas une source importante d'émission des NO_x. Ceci expliquerait aussi le fait qu'on ne note pas une différence notable en NO entre les teneurs hivernales et estivales.

Une autre situation spécifique à notre culture concerne le mois de Ramadhan (mois de jeûne) qui par ses propres caractéristiques présente un cas d'étude fort intéressant. Durant ce mois, le changement de mode de vie, surtout en soirée se répercute clairement sur les émissions nocturnes du NO. En effet au coucher du soleil lors de la rupture du jeûne entre 19 h et 19 h 45, l'arrêt quasi total et instantané du trafic routier se traduit par une baisse rapide des teneurs en NO qui chutent jusqu'à leurs valeurs minimales. A partir de 20 h, les veillées traditionnelles de ce mois s'accompagnent d'une reprise assez intense du

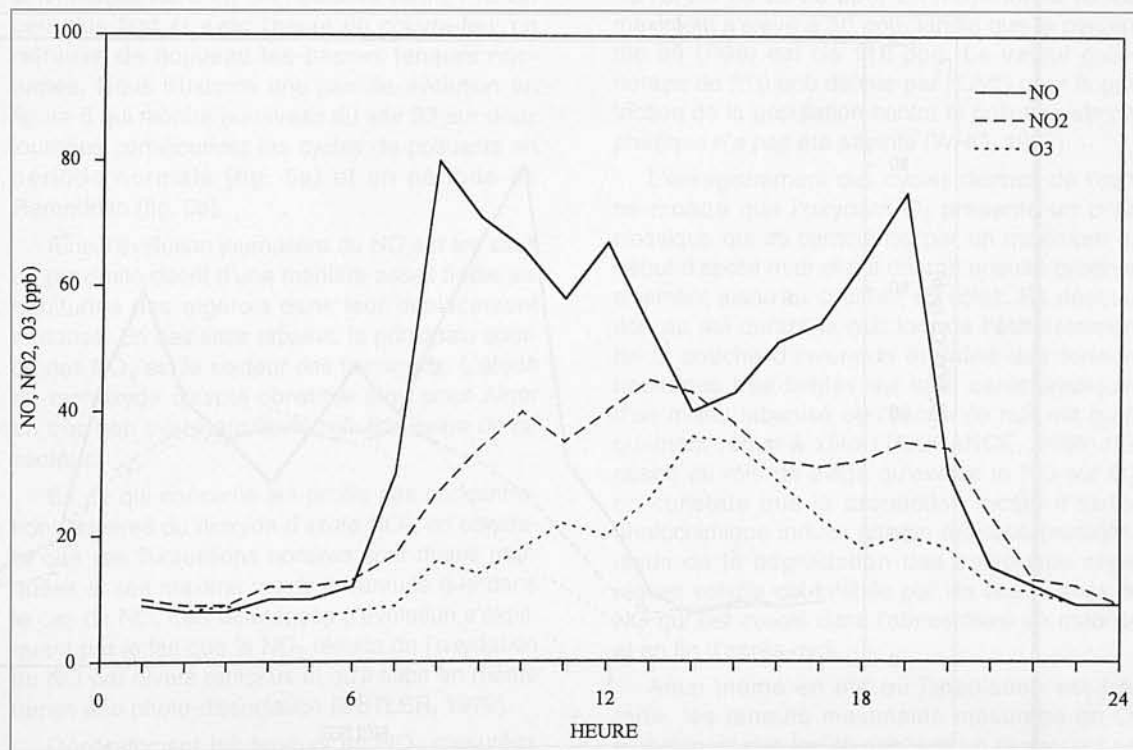


Figure 1.
Cycle journalier moyen du NO, NO₂ et O₃ à Alger centre (Rue Didouche Mourad).
Mean daily cycle of NO, NO₂, O₃ in Algiers city (Didouche Mourad Street).

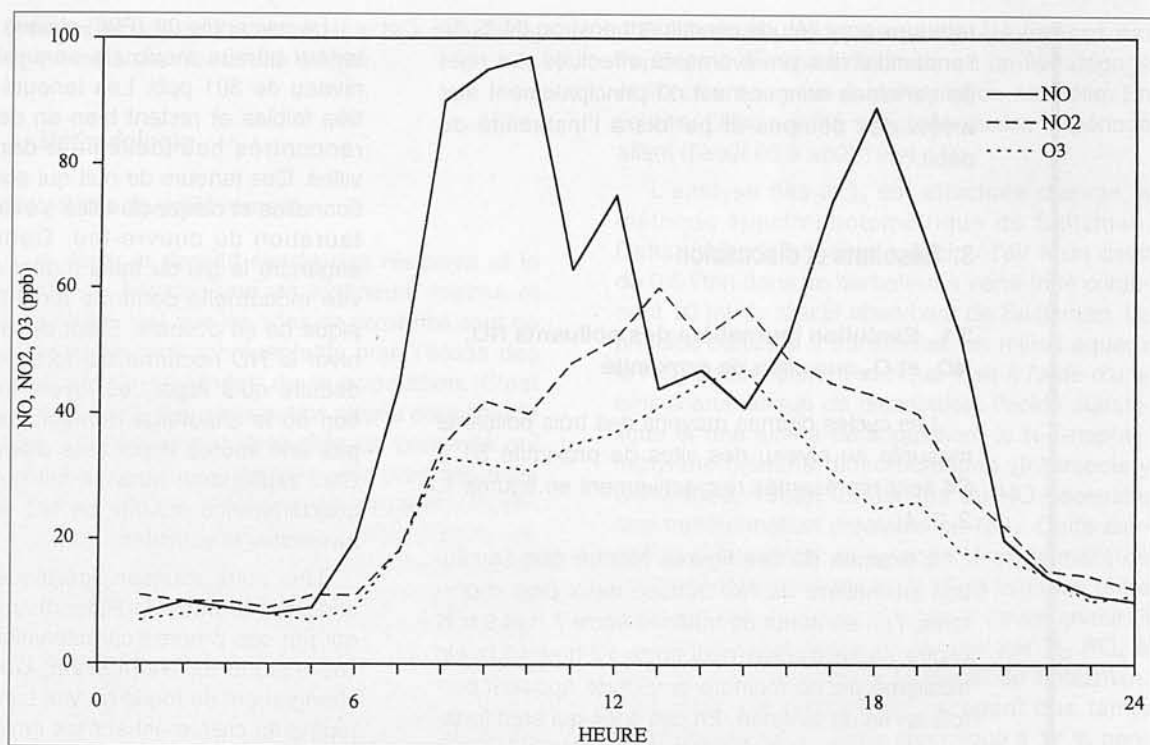


Figure 2.
Cycle journalier moyen du NO, NO₂ et O₃ à Alger centre (Rue Colonel Amirouche).
Mean daily cycle of NO, NO₂, O₃ in Algiers city (Colonel Amirouche Street).

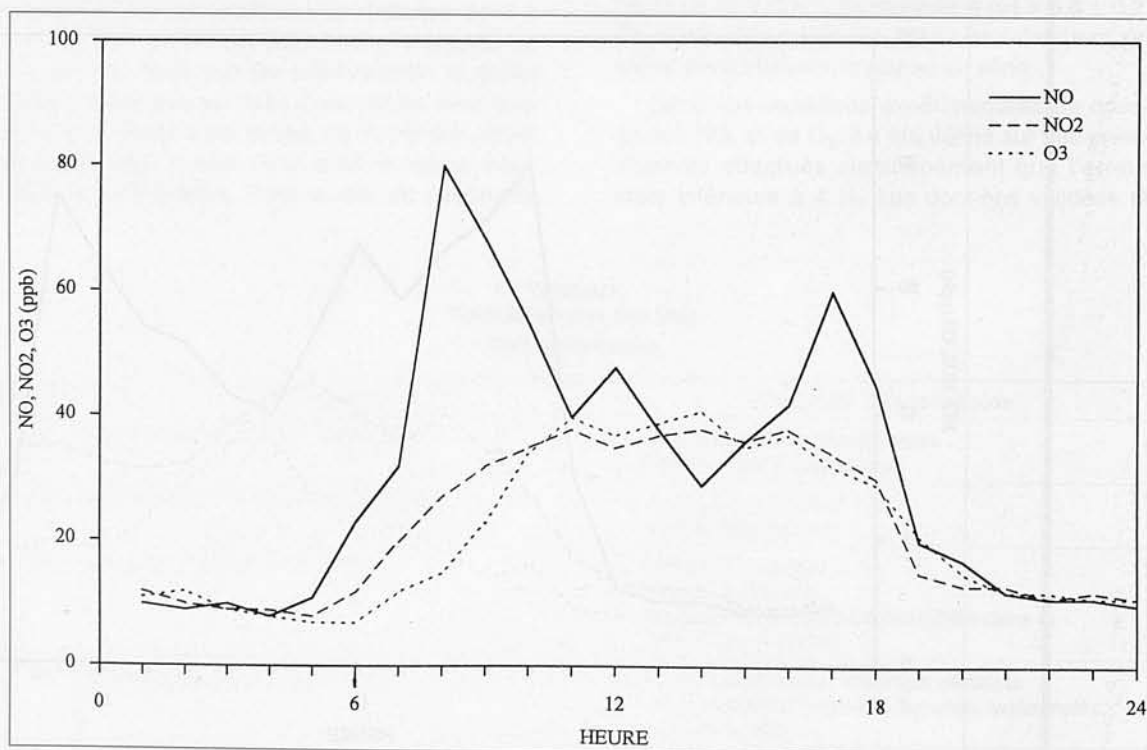


Figure 3.
Cycle journalier moyen du NO, NO₂ et O₃ à Alger centre (place du 1^{er} Mai).
Mean daily cycle of NO, NO₂, O₃ in Algiers city (place du 1^{er} Mai).

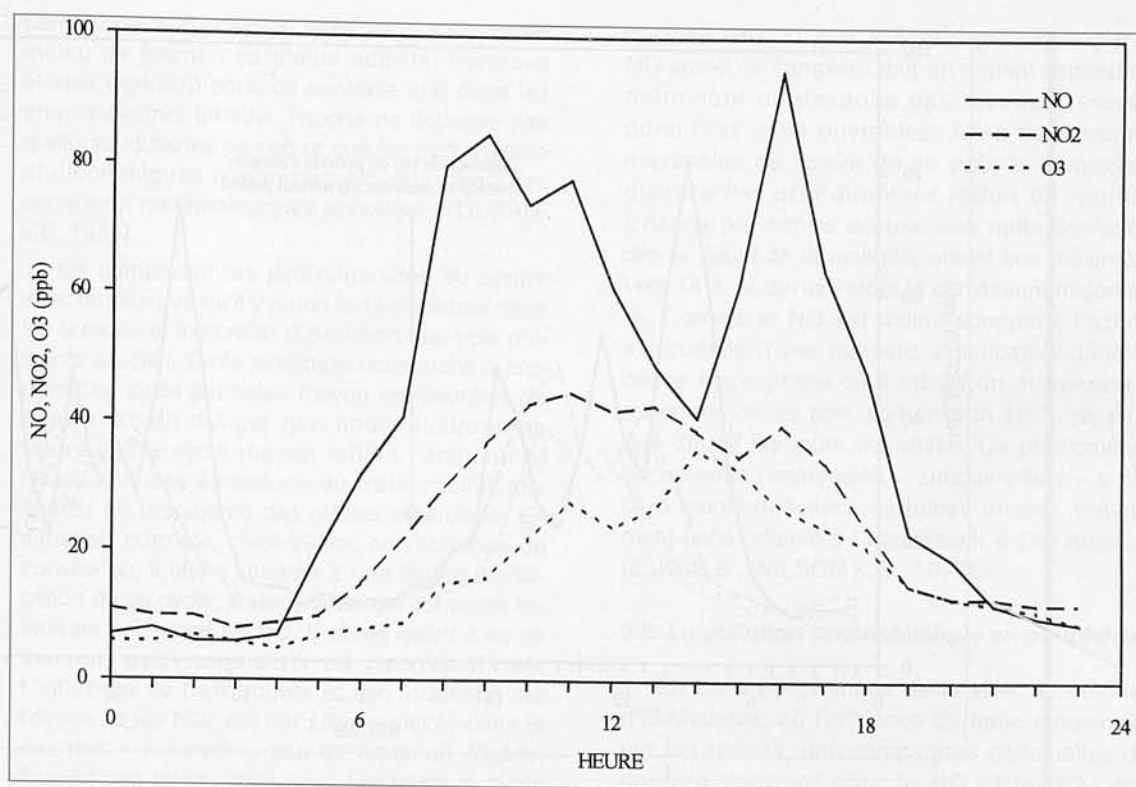


Figure 4.
Cycle journalier moyen de NO, NO₂, O₃ à Alger centre (place Audin).
Mean daily cycle of NO, NO₂, O₃ in Algiers city (place Audin).

trafic routier qui introduit à nouveau dans l'atmosphère des quantités nouvelles de NO, donnant ainsi naissance à un pic nocturne vers 21 h. Un peu plus tard et avec l'heure du couvre-feu, on retrouve de nouveau les basses teneurs nocturnes. Nous illustrons une pareille évolution en figure 5 qui montre au niveau du site S3 sur deux journées consécutives les cycles de polluants en période normale (fig. 5a) et en période de Ramadhan (fig. 5b).

Ainsi l'évolution journalière du NO sur les sites de proximité décrit d'une manière assez fidèle les habitudes des algérois dans leur déplacement motorisé. En ces sites urbains, la principale source des NO_x est le secteur des transports. L'étude du monoxyde d'azote constitue ainsi pour Alger un très bon indicateur de la pollution issue de ce secteur.

En ce qui concerne les profils des concentrations horaires du dioxyde d'azote NO₂, on constate que ses fluctuations horaires sont moins marquées et ses maxima moins accentués que dans le cas du NO. Ces différences d'évolution s'expliquent par le fait que le NO₂ résulte de l'oxydation du NO par divers radicaux et qu'il subit en même temps une photo-dissociation (BUTLER, 1979).

Généralement les teneurs en NO₂ mesurées en ces sites sont toujours inférieures à celles du NO, sauf en début d'après-midi où le rapport [NO₂]/[NO] est parfois légèrement supérieur à

l'unité. Sur tous les sites étudiés, le NO₂ présente une teneur moyenne journalière (sur 24 heures) de l'ordre de 25-30 ppb. En moyenne la teneur maximale s'élève à 50 ppb, tandis que le percentile 98 (P98) est de 110 ppb. La valeur guide horaire de 210 ppb définie par l'OMS pour la protection de la population contre la pollution atmosphérique n'a pas été atteinte (WHO, 1987).

L'enregistrement des cycles diurnes de l'ozone montre que l'oxydant O₃ présente un profil classique qui se caractérise par un maximum en début d'après-midi et qui décroît ensuite progressivement jusqu'au coucher du soleil. Sa destruction au sol durant la nuit lors de l'établissement de la couche d'inversion entraîne des teneurs nocturnes très faibles qui sont caractéristiques d'un milieu urbanisé où l'ozone de nuit est pratiquement réduit à zéro (TOUPANCE, 1988). En raison du rôle de piège qu'exerce le NO sur O₃, on constate que la production locale d'ozone photochimique induite par les radicaux peroxydes issus de la dégradation des composés organiques volatils est inhibée par les taux élevés de NO qui est injecté dans l'atmosphère en matinée et en fin d'après-midi.

Ainsi même en été où l'insolation est très forte, les teneurs maximales mesurées en O₃ n'atteignent que les 40 ppb, soit un niveau qui est du même ordre de grandeur que le taux naturel de fond. Ce maximum de faible amplitude qu'on observe l'après-midi est dû en partie au dévelop-

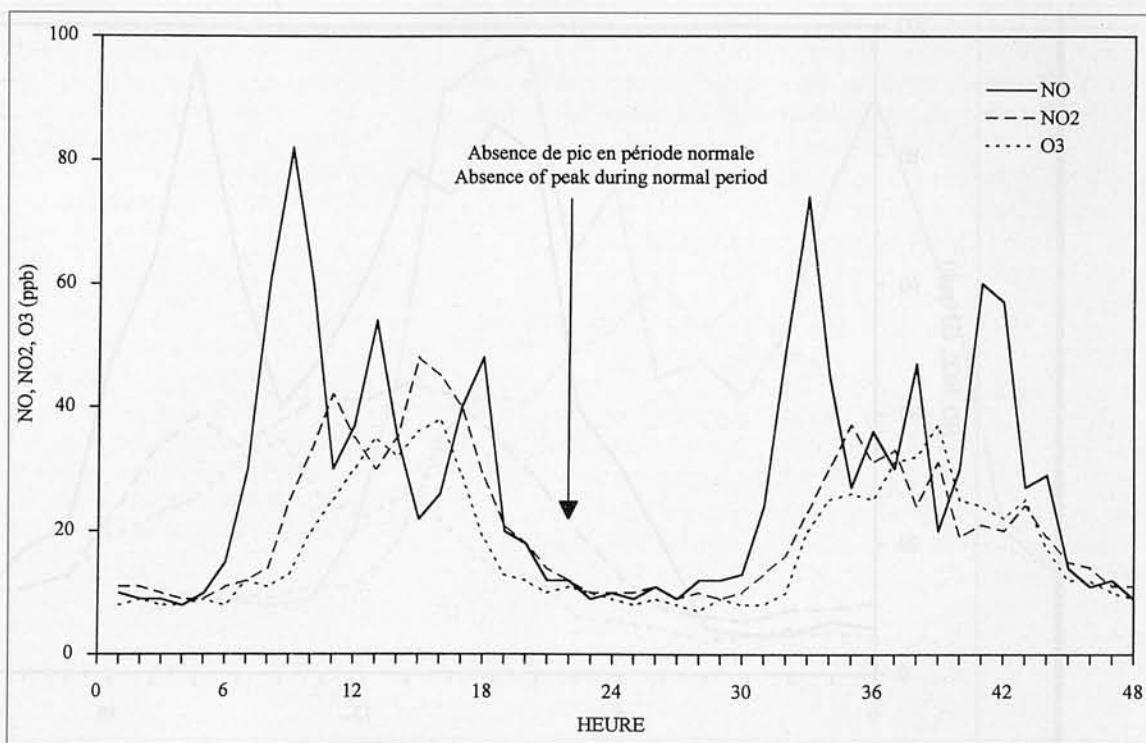


Figure 5a.
Evolution horaire du NO, NO₂, O₃ à Alger centre (place 1^{er} Mai).
Cycles mesurés en période normale les 7 et 8 février 1993.
Hourly evolution of NO, NO₂, O₃ in Algiers city (place 1^{er} Mai).
Cycles measured during ordinary period on the 7 and 8 february 1993.

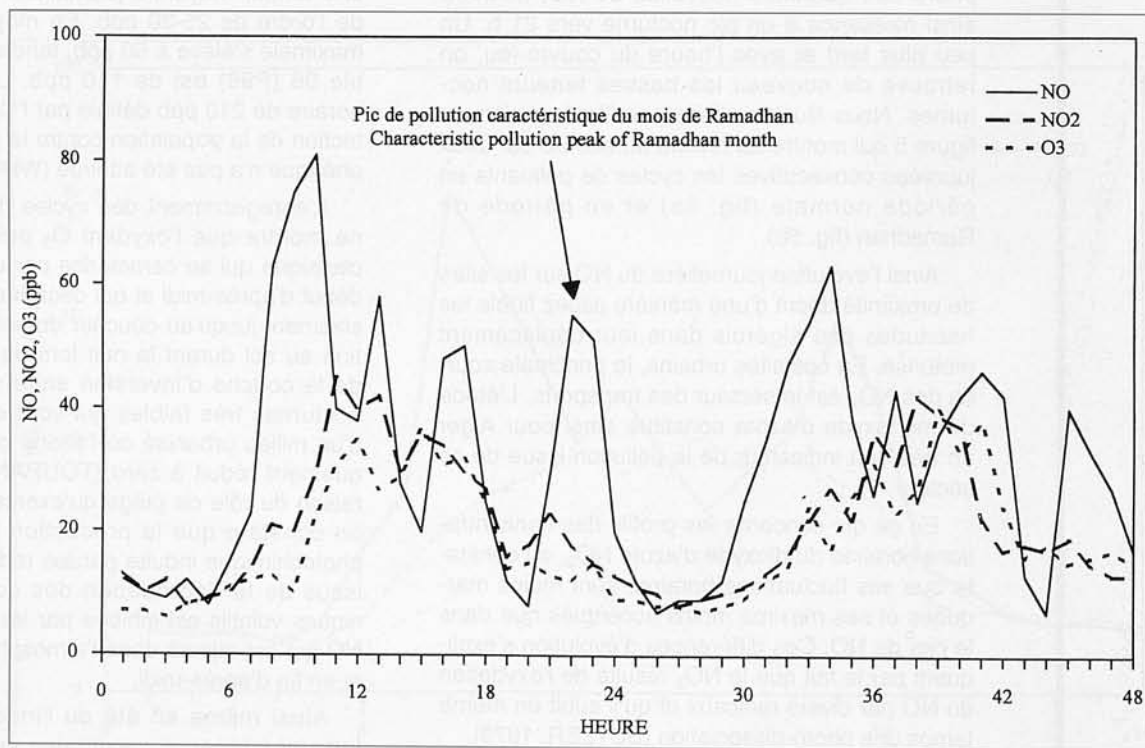


Figure 5b.
Evolution horaire du NO, NO₂, O₃ à Alger centre (place 1^{er} Mai).
Cycles mesurés durant la période de Ramadhan les 7 et 8 mars 1993.
Hourly evolution of NO, NO₂, O₃ in Algiers city (place 1^{er} Mai).
Cycles measured during Ramadhan period on the 7 and 8 march 1993.

pement de la convection verticale qui atteint en milieu de journée sa pleine activité. Diverses études signalent dans ce contexte que dans les grands centres urbains, l'ozone ne dépasse pas quelques dizaines de ppb et que les pics d'ozone photochimiques n'apparaissent que dans des conditions météorologiques spéciales (TOUPAN-CE, 1988).

En comparant les différents sites du centre ville, on observe qu'il y a une forte similitude dans les teneurs et les profils d'évolution des trois polluants étudiés. Cette similitude nous incite à proposer un cycle journalier moyen représentatif du centre urbain d'Alger que nous illustrons en figure 6. Ce cycle moyen reflète l'ampleur et l'évolution des émissions du trafic routier aux abords de la majorité des artères algéroises. En situation normale, c'est-à-dire, en l'absence de couvre-feu, il faut s'attendre à une légère modification de ce cycle, surtout en ce qui concerne les teneurs nocturnes en NO. L'ozone quant à lui ne devrait pas connaître de modifications. L'influence du trafic routier et son incidence sur l'ozone et les NO_x est par ailleurs visible dans le cas des « vendredi », jour de repos en Algérie. Durant ces jours, dont nous illustrons le cycle diurne moyen en figure 7, des différences notables sont observées par rapport aux jours ouvrables. En effet et en concordance avec la réduction du trafic, l'étude révèle que le pic matinal du NO_x n'apparaît plus et c'est en fin de

matinée vers 11 h et durant l'après-midi que le NO prend de l'ampleur tout en restant cependant nettement en dessous des niveaux relevés durant les jours ouvrables. Avec des teneurs maximales de l'ordre de 50 ppb, le monoxyde d'azote est pratiquement réduit de moitié. L'ozone par contre accuse une nette évolution dès le début de la matinée, atteint son maximum vers 14 h et devient alors le constituant majoritaire. Comme le NO est moins abondant, l'ozone s'accumule d'une manière significative dans la basse troposphère où il atteint en moyenne un maximum de 55 ppb, soit environ 20 % de plus que durant les jours ouvrables. Ce phénomène, connu sous l'expression « sunday effect » a été déjà mentionné dans certaines études, notamment celle relative à Long Beach à Los Angeles (ELKUS B., WILSON K.R., 1977).

3.2. La pollution photochimique en périphérie

En zone périphérique de la ville, au quartier d'El-Madania, où l'influence du trafic automobile est fort réduite, des campagnes ponctuelles de mesure donnent pour le NO et le NO_2 des teneurs maximales de l'ordre de 25 et 40 ppb respectivement. Ces niveaux constituent sans doute pour la ville les teneurs urbaines de fond. L'ozone par contre atteint selon l'intensité du flux radiatif solaire des niveaux plus ou moins élevés.

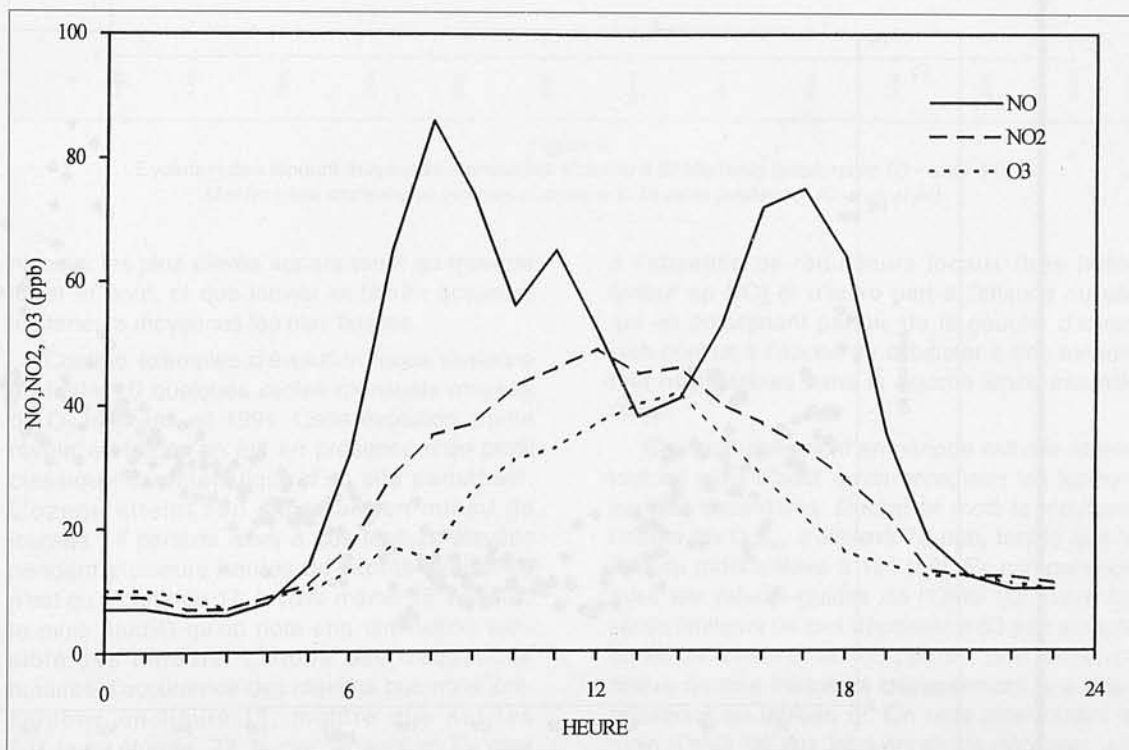


Figure 6.
Cycle journalier moyen de NO, NO_2 , O_3 à Alger centre.
Mean daily cycle of NO, NO_2 , O_3 in Algiers city.

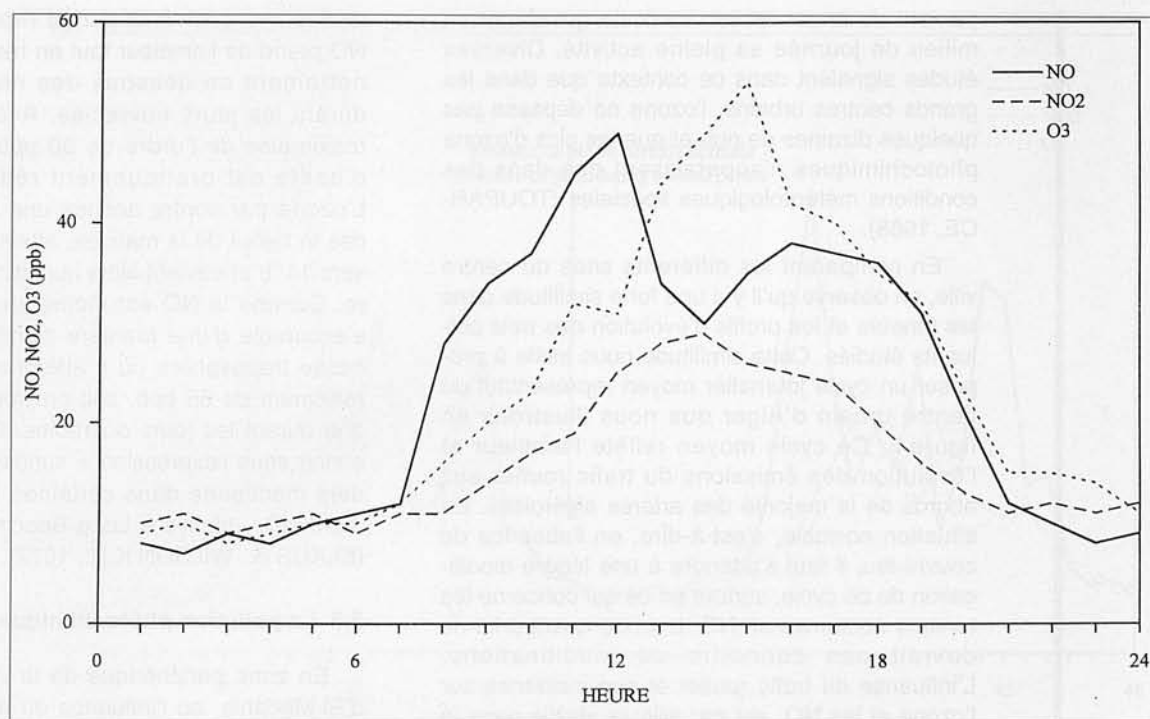


Figure 7.
Cycle journalier moyen du NO, NO₂ et O₃ mesuré le Vendredi (Week-end) à Alger centre.
Mean daily cycle of NO, NO₂, O₃ measured on Friday (weekend) in Algiers city.

Les teneurs horaires maximales mesurées de septembre 93 à août 94 et illustrées en figure 8 montrent une importante variation temporelle avec des teneurs oscillant entre 20 et 124 ppb.

A partir des données du tableau II et des graphes (fig. 9) donnant la variation des concentrations moyennes mensuelles et celles des concentrations maximales, on constate que les

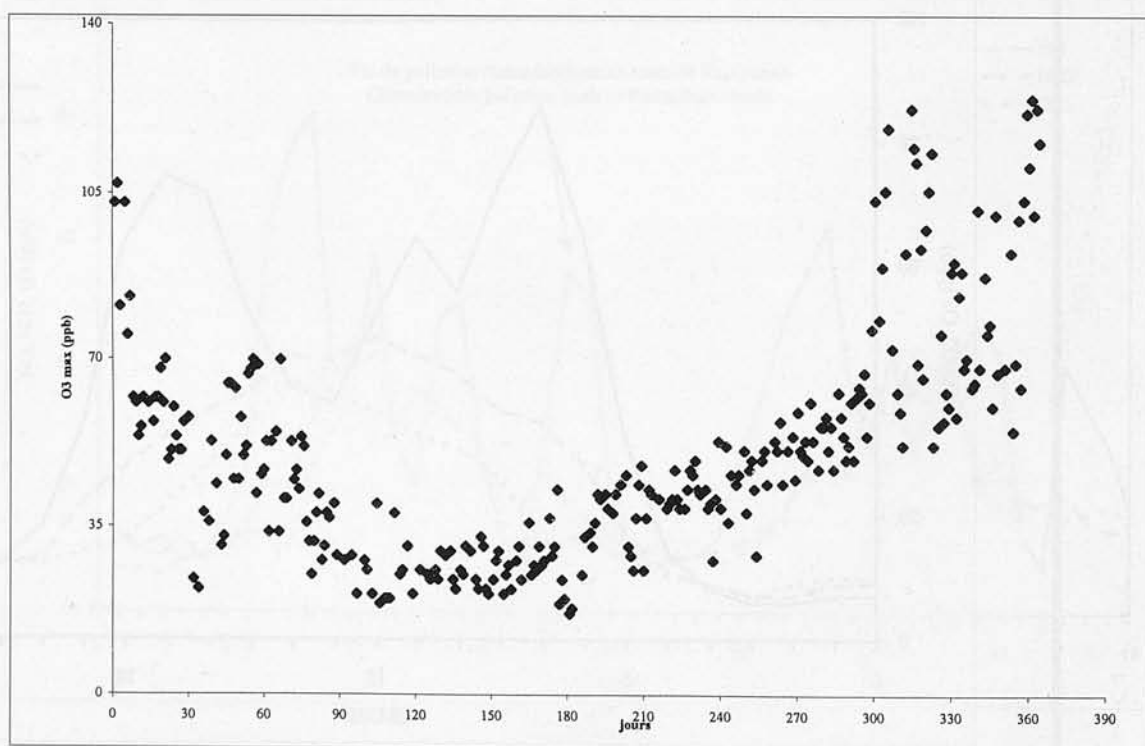


Figure 8.
Variation journalière des teneurs horaires maximales en ozone à El Madania (septembre 93 - août 94).
Daily maximum hourly mean ozone concentration in El Madania (september 93 - august 94).

Tableau II.
Evolution mensuelle des teneurs en ozone mesurées à El madania (période septembre 93 - août 94).
Monthly evolution of ozone concentration measured in El madania (period of september 93 - august 94).

Ozone	sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août
Max sur 1 heure (ppb)	63	49	41	28	25	26	37	42	51	61	66	78
Moy. sur 24 heures (ppb)	41	28	22	17	16	14	21	26	33	39	44	53

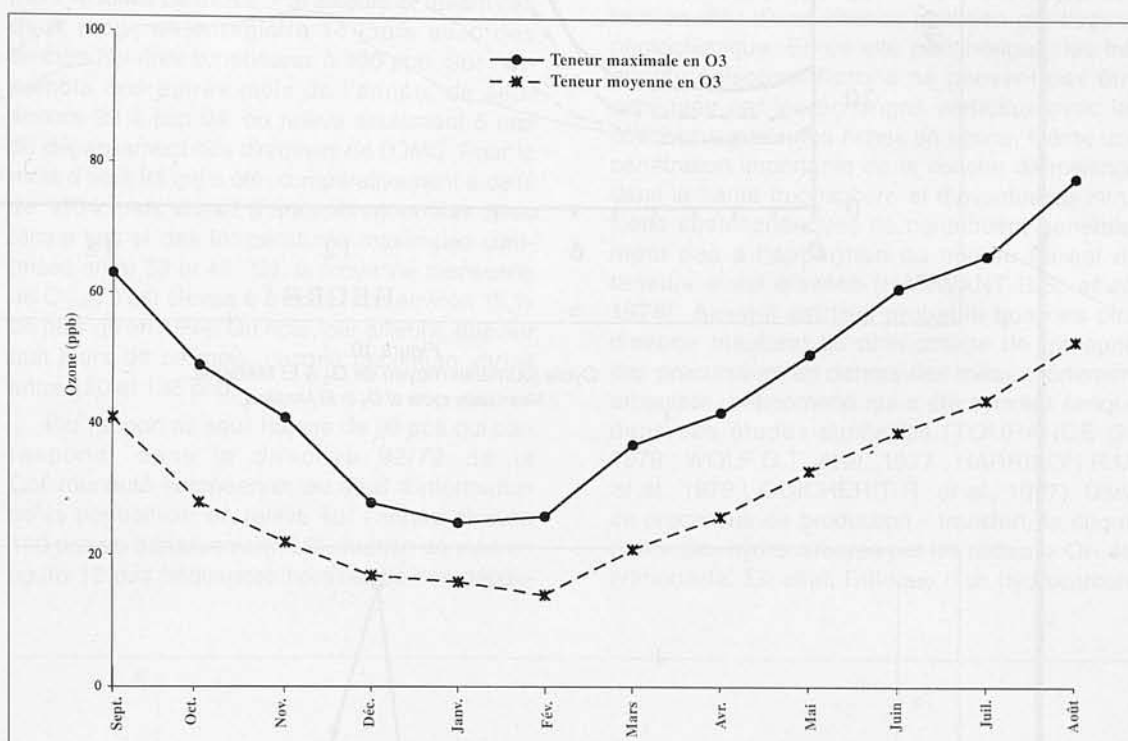


Figure 9.
Evolution des teneurs moyennes mensuelles d'ozone à El Madania (septembre 93 - août 94).
Monthly mean concentration evolution of ozone in El Madania (september 93 - august 94).

niveaux les plus élevés apparaissent au mois de juillet et août, et que janvier et février accusent les teneurs moyennes les plus basses.

Comme exemples d'évolution, nous illustrons en figure 10 quelques cycles mensuels moyens de O_3 mesurés en 1994. Cette évolution diurne révèle en fait qu'on est en présence d'un profil classique caractéristique d'un site périurbain. L'ozone atteint son maximum en milieu de journée ; il persiste alors à des teneurs élevées pendant plusieurs heures de l'après-midi et ce n'est qu'à partir de 17 h voire même 19 h (selon le mois étudié) qu'on note une diminution sensible des teneurs. L'étude des fréquences horaires d'occurrence des maxima que nous présentons en figure 11, montre que sur les 304 jours étudiés, 77 % des teneurs en O_3 max apparaissent entre 11 h et 18 h. Durant la nuit et à l'inverse des autres sites étudiés, l'ozone n'est pas toujours détruit au sol. Ceci est dû d'une part

à l'absence de réducteurs locaux (très faible teneur en NO) et d'autre part à l'altitude du site qui en émergeant parfois de la couche d'inversion permet à l'ozone de subsister à des teneurs non négligeables dans la couche limite intermédiaire.

C'est naturellement en période estivale et surtout au mois d'août qu'on enregistre les teneurs les plus excessives. Durant ce mois la moyenne horaire en O_{3max} s'élève à 78 ppb, tandis que le P98 du mois s'élève à 121 ppb. En comparaison avec les valeurs-guides de l'OMS qui fixent les seuils limites à ne pas dépasser à 60 ppb sur une durée de 8 heures et 100 ppb sur une heure, on relève de très fréquents dépassement que nous résumons au tableau III. On note ainsi durant le mois d'août 94 des fréquences de dépassement de 64 % et 36 % respectivement pour le premier et deuxième seuil-limite. Durant le mois de juillet ces fréquences de dépassement sont pratique-

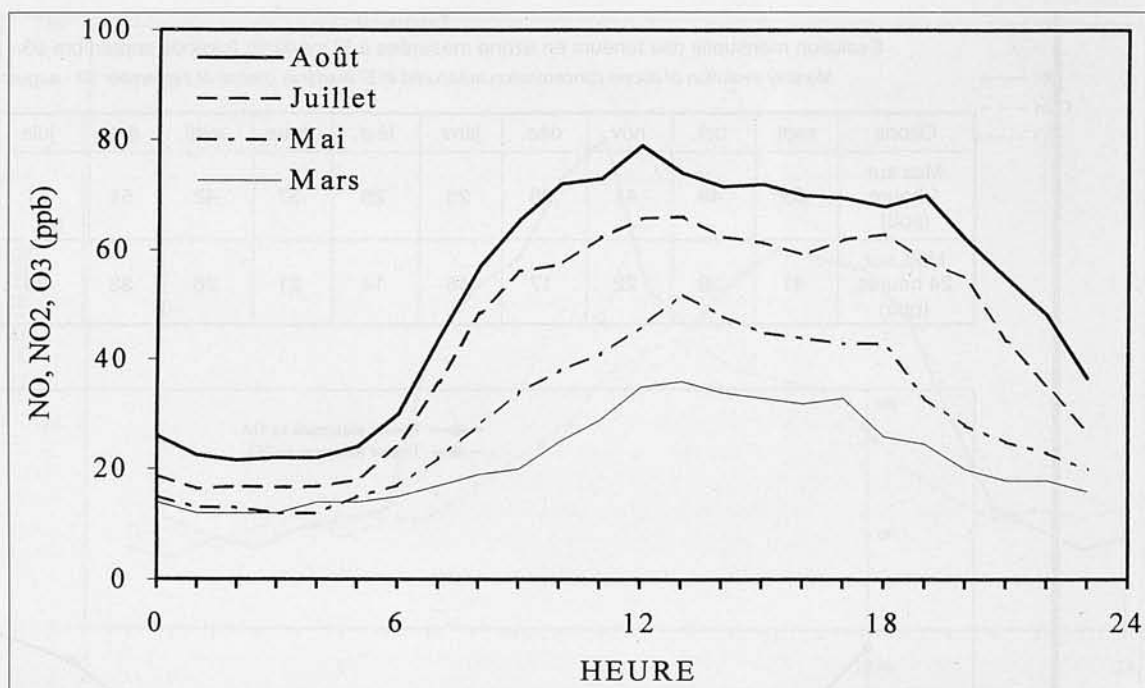


Figure 10.
Cycle journalier moyen de O₃ à El Madania.
Mean daily cycle of O₃ in El Madania.

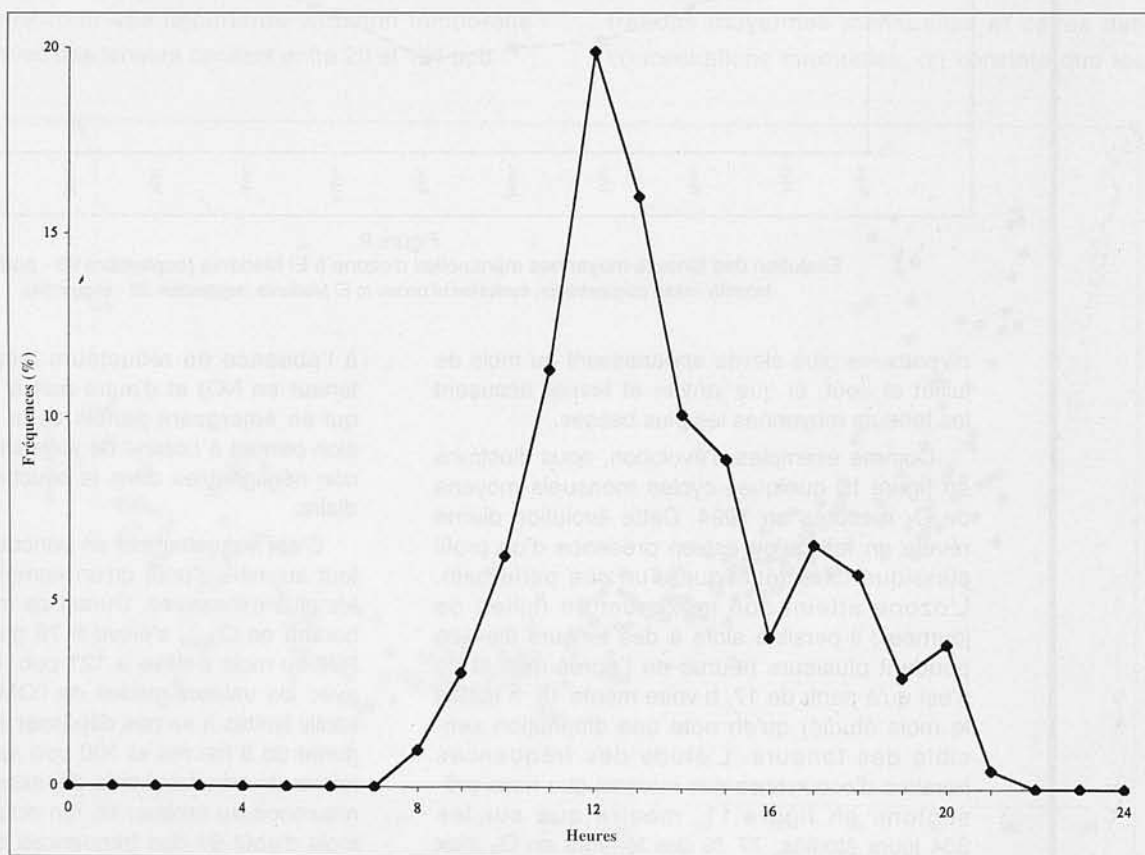


Figure 11.
Fréquences horaires des maxima journaliers d'ozone à El Madania (septembre 93 - août 94).
Hourly frequency of daily maximum ozone concentration in El Madania (september 93 - august 94).

Tableau III.
Fréquences de dépassement par l'ozone en site
périurbain à Alger (été 1994).
*Ozone exceeding frequencies at suburban site in Algiers
(summer 1994).*

Valeurs-guides OMS	Fréquences de dépassement	
	Juillet	Août
60 ppb/8 heures	33 %	64 %
100 ppb/1 heure	22 %	36 %

ment réduites de moitié. Par ailleurs et durant ces deux mois, on enregistre 14 jours avec des teneurs horaires supérieures à 100 ppb. Sur l'ensemble des autres mois de l'année, de septembre 93 à juin 94, on relève seulement 5 cas de dépassement des directives de l'OMS. Pour le mois d'août 93 qui a été, comparativement à celui de 1994, plus chaud (fréquentes journées avec temps sec et des températures maximales comprises entre 38 et 42 °C), la moyenne mensuelle de O_{3max} s'est élevée à 91 ppb, soit environ 15 % de plus qu'en 1994. On note, par ailleurs, que sur huit jours de ce mois, l'ozone maximum variait entre 120 et 135 ppb.

Par rapport au seuil horaire de 90 ppb qui correspond, dans la directive 92/72 de la Communauté européenne, au seuil d'information de la population, on relève sur l'année étudiée 110 cas de dépassement. L'illustration donnée en figure 12 des fréquences horaires de ces dépas-

sements montre que dans environ 78 % des cas, ils ont eu lieu entre 11 h et 19 h ; la fréquence la plus élevée se situant entre 12 h et 13 h. Le graphe montre par ailleurs que de fréquents dépassements apparaissent même après 20 h. Il en résulte que des niveaux élevés d'ozone persistent souvent pendant plus de 10 heures portant par-là sans doute un préjudice à la santé des personnes vulnérables et causant des dommages à la végétation.

L'ensemble de ces résultats montrent qu'en milieu périurbain, la ville d'Alger fait l'objet, surtout en été, d'une intense pollution par l'ozone photochimique. En ce site périphérique, les fréquents épisodes d'ozone ne peuvent pas être expliqués par les échanges verticaux avec les couches supérieures riches en ozone. Même une pénétration importante de la couche de mélange dans la haute troposphère et d'éventuelles intrusions stratosphériques ne contribuent généralement pas à l'apparition au niveau du sol de teneurs aussi élevées (HANWANT B.S. *et al.*, 1978). Aussi il est très probable que ces pics d'ozone résultent du phénomène de transport des précurseurs en dehors des milieux fortement urbanisés, phénomène qui a été souvent évoqué dans des études similaires (TOUPANCE G., 1979 ; WOLF G.T. *et al.*, 1977 ; HARRISON R.M. *et al.*, 1979 ; GUICHERIT R. *et al.*, 1977). Dans ce processus de production - transfert, la dégradation des hydrocarbures par les radicaux OH est primordiale. En effet, l'attaque d'un hydrocarbure

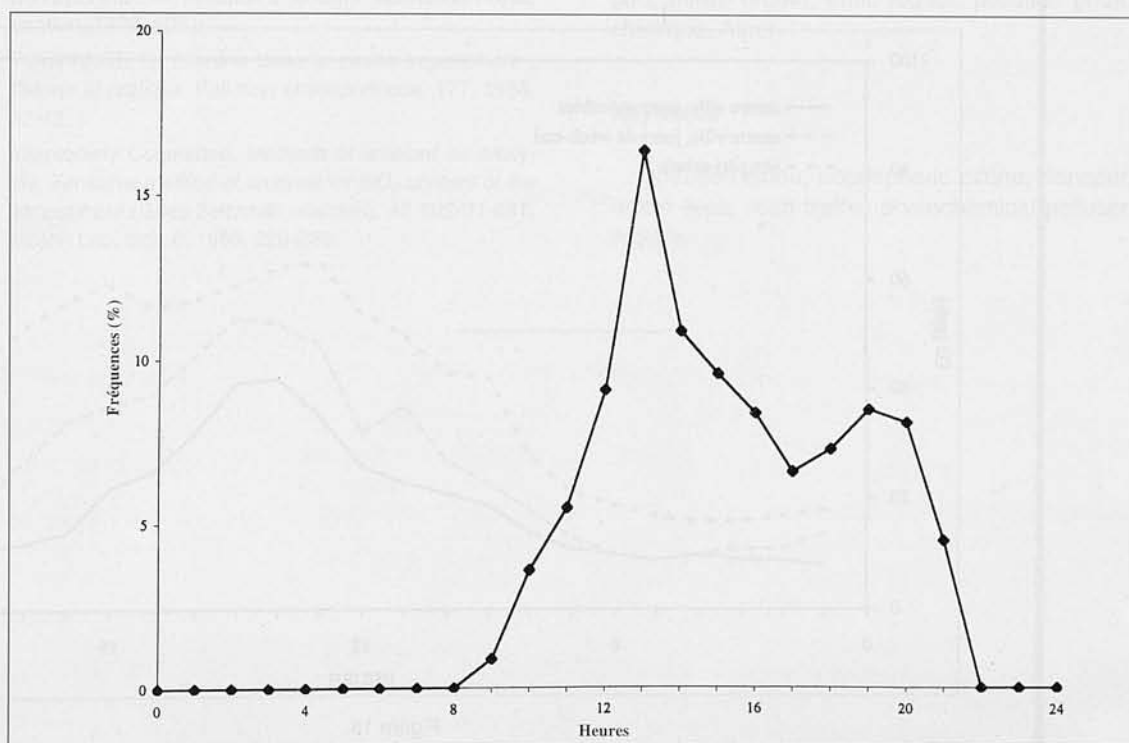


Figure 12.
Dépassement du seuil horaire d'ozone de 90 ppb à El Madania durant septembre 93 - août 94.
Ozone hourly threshold of 90 ppb in El Madania during september 93 - august 94.

par un radical OH donne naissance à des radicaux alcoyles R qui en réagissant avec l'oxygène donnent les radicaux peroxy RO_2 et HO_2 . Ces derniers oxydent alors rapidement le NO en NO_2 et permettent ainsi à l'ozone de s'accumuler et d'atteindre des teneurs élevées (COLLS J., 1997 ; BUTLER J.D., 1979).

Dans le cas d'El-Madania, le régime de brise de mer et les vents dominants Nord et Nord-Est font que ce site est balayé par les masses d'air qui en transitant sur le centre ville se chargent en NO_x et hydrocarbures. Ce panache urbain induit sous l'effet des radiations solaires une forte production d'ozone photochimique dans la région d'El-Madania. Comme la vitesse du vent est en moyenne assez faible (3 à 5 m/s), le transport dure environ moins d'une demi-heure. C'est aussi la raison pour laquelle dans certains cas, nous avons observé qu'un changement de direction de vent entraînait moins d'une heure après une sensible diminution des teneurs en ozone. Il est alors très plausible qu'un transfert de plus longue durée sur de plus longues distances, entraînerait dans les zones limitrophes et assez éloignées de l'agglomération d'Alger, des teneurs plus excessives que celles mesurées à El-Madania. En résumé et comme l'illustre la comparaison donnée en figure 13, l'ozone rencontré dans l'agglomération d'Alger se situe globalement à trois niveaux :

- un niveau faible, par jours ouvrables, au centre ville et dans un rayon de 2 à 3 km à partir de la baie du port d'Alger,
- un niveau intermédiaire mais peu inquiétant par jour de week-end au centre ville,
- un niveau excessif de pollution photochimique sur les hauteurs résidentielles de la ville et toute la zone périurbaine au sud et sud-est de la ville.

4. Conclusion

L'étude montre qu'à Alger, le trafic routier est à l'origine de la presque totalité des NO_x émis dans l'atmosphère. Les résultats obtenus en certaines périodes spéciales telles que le mois de Ramadhan, les jours de week-end et les heures de couvre-feu, montrent des évolutions spécifiques qui sont directement liées à l'intensité du trafic routier. Comparé à des villes européennes de même envergure, la ville d'Alger ne subit pas une pollution alarmante par les NO_x . Ceci s'explique d'une part par le faible taux de motorisation à Alger (environ un véhicule pour 6 personnes) et d'autre part par l'absence en milieu urbain de grandes installations industrielles émettrices de NO_x .

Le suivi de l'ozone a montré qu'au centre ville, l'oxydant ne dépasse pas quelques dizaines de ppb. Ce niveau est toutefois plus élevé pendant les jours de week-end où le monoxyde d'azote est moins abondant. La situation est tout autre au

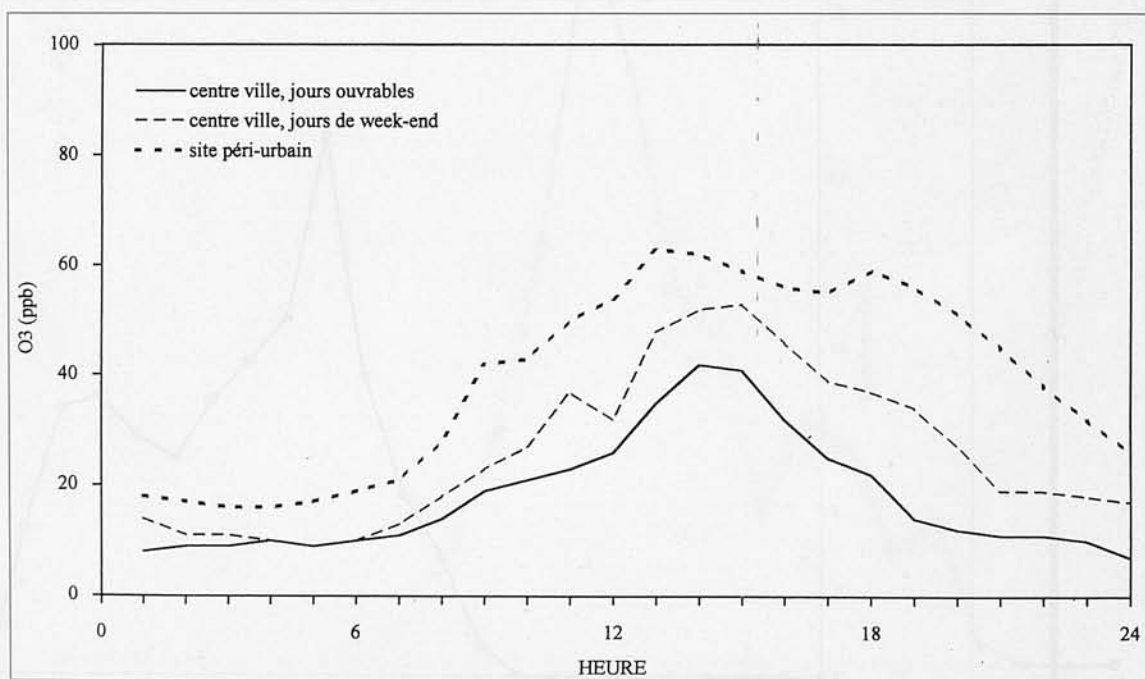


Figure 13.
 Comparaison des profils journaliers moyens en O_3 mesurées au centre ville d'Alger (jours ouvrables et de week end) et en périphérie à El-Madania (période de mesure entre Mai et Août).
 Comparison of daily mean profiles of O_3 levels measured in Algiers city (during open days and week end) and at the suburban site in El Madania (measure period between May and August).

site périurbain d'El-Madania. En ce site l'ozone atteint des teneurs très excessives durant les mois de juillet et août. En cette période estivale, les fréquences de dépassements des valeurs guides de OMS sont très élevées. On y mesure sur plusieurs journées des teneurs horaires allant de 100 à 135 ppb. On constate par ailleurs qu'environ 80 % des teneurs horaires maximales apparaissent entre 11h et 18h.

C'est la production photochimique lors du transport du panache urbain qui est à l'origine de ces épisodes d'ozone. Cette situation est d'autant plus inquiétante que les masses d'air transitant sur la ville se dirigent fréquemment vers les banlieues sud et est où de nouvelles cités à forte densité de population ont vu le jour ces dernières années. Tout comme dans d'autres villes, l'urbanisation et le trafic routier sans cesse croissant représentent à Alger l'enjeu essentiel pour la qualité de l'air. Il est alors nécessaire de doter la ville d'un réseau complet de surveillance (CO, HC, Pb, particules en suspension, etc.). Dans le cas de la pollution photochimique une attention particulière doit être accordée aux zones résidentielles et de banlieues qui y sont les plus exposées.

5. Références

- JOUMARD R. *Quels polluants ? Contribution des transports*. Pollution atmosphérique, 121, 1989, 5-8.
- BUTLER J.D. *Air pollution chemistry*. Academic Press, London, 1979, 408 p.
- TOUPANCE G. *L'ozone dans la basse troposphère : théorie et pratique*. Pollution atmosphérique, 177, 1988, 32-42.
- Intersociety Committee. *Methods of ambient air analysis. Tentative method of analysis for NO₂ content of the atmosphere* (Gries-Saltzman reaction), 42 602-01-68T, Health Lab. Sci., 6, 1969, 228-236.

LEVAGGI D.A. *et al. Quantitative analysis of nitric oxide in presence of nitrogen dioxide at atmosphere concentrations*, Environmental Science and Technology, Vol. 28, n° 4, 1974, 348-350.

Intersociety Committee. *Methods of air sampling and analysis*. American Public Health Association, Washington D.C. 1972, 329-339 et 351-355.

WHO. *Air quality guidelines of Europe*. Regional publications, European services, Copenhagen, 23, 1987.

ELKUS B., WILSON K.R. *Photochemical air pollution : weekend - weekday differences*, Atmos. Environ., vol. 11, n° 3, 1977, 509-515.

HANWANT B.S., LUDUWIG F.L., WARREN B.J. *Tropospheric ozone : concentrations and variabilities in clean remote atmospheres*. Atmos. Environ., 12, 1978, 2185-2196.

WOLFF G.T. *et al. An investigation of long-range transport of ozone across the midwestern and eastern US*, Atmos. Environ., 11, 1977, 797-802.

HARRISON R.M., HOLMAN C.D. *The contribution of middle and long-range transport of tropospheric photochemical ozone to pollution at rural site in north-west England*. Atmos. Environ., 13, 1979, 1535-1545.

GUICHERIT R., VAN DOP H. *Photochemical production of ozone in western Europe (71-75) and its relation to meteorology*, Atmos. Environ., 11, 1977, 145-155.

COLLS J. *Air Pollution*, E & FN SPON, London, 1997, 341 p.

Mots-clés

Oxyde d'azote, ozone troposphérique, transport, milieu urbain, trafic routier, pollution photochimique, Alger.

Keywords

Nitrogen oxide, tropospheric ozone, transport, urban area, road traffic, photochemical pollution, Algiers.