

La pollution automobile à Paris

Influence du trafic et des conditions météorologiques

Atmospheric pollution from road traffic in Paris *Relation with road traffic and meteorological conditions*

par René ALARY, Jacques DONATI, Henri VIELLARD (*)

RÉSUMÉ

L'amélioration de la qualité de l'air en milieu urbain est un enjeu majeur notamment pour le dioxyde d'azote polluant toxique réglementé par la Directive Européenne CEE n° 85-203 et le décret du 25/10/1991. En complément des baisses des émissions unitaires des véhicules par la mise en œuvre de pots catalytiques, la réduction du trafic automobile appliquée dans certaines villes européennes, est une voie de recherche.

A Paris, la survenue d'épisodes horaires de forte pollution (dûs essentiellement aux teneurs en NO₂ dépassant la valeur limite horaire de 200 µg/m³) a sensibilisé l'opinion publique et les autorités administratives, et une réflexion s'est engagée pour réduire l'importance de ces épisodes.

L'étude présentée traite de la recherche d'une relation entre le trafic automobile (débits en véhicules/h) et les concentrations observées en 1992 en oxydes d'azote (NO et NO₂) et monoxyde de carbone sur deux sites de mesure à Paris.

Cette relation a été estimée par l'établissement de la droite de régression variation du trafic-variation des teneurs pour chacun des polluants.

Lorsque la dispersion des polluants est bonne, les droites de régression peuvent être calculées pour NO et NO₂. La pente est nettement plus forte entre le trafic et NO que celle obtenue pour NO₂.

Par contre, lors de conditions météorologiques défavorables (anticyclone, stabilité de l'atmosphère, inversion de température et fort rayonnement solaire), aucune corrélation significative n'a été mise en évidence.

Ceci démontre que les mesures de restriction de circulation éventuelles auraient un effet plutôt réduit sur les teneurs en NO₂.

L'étude a confirmé également que le monoxyde d'azote NO est un très bon indicateur de la pollution d'origine automobile, compte tenu de la part croissante des véhicules à moteur diesel dans le parc français.

ABSTRACT

The improvement of urban air quality is a major challenge namely for NO₂ (Nitrogen dioxide), a toxic pollutant controlled by European Regulation EEC n° 85-203. We now know that catalytic converters reduce car emissions and we believe that a reduction in traffic (already enforced in some cities), the restriction of vehicle road traffic, applied to some European towns, is a research way.

In Paris, the existence of periods of serious pollution (essentially due to the NO₂ levels reaching over 200 µg/m³ in periods of several hours) has made the public and public administration aware of this importance of the problem.

Thus, a commitment has been made to reduce these periods of severe pollution.

The study being presented deals with the search for a correlation between vehicles traffic (flows of vehicle/hour) and measured concentrations of NO, NO₂ and CO at two sites in Paris in 1992.

This relation has been established by plotting the traffic levels against concentrations of each gaseous effluent.

When the pollutants are well dispersed, it is possible to plot the concentrations of NO and NO₂. The slope is much steeper for NO than for NO₂.

On the other hand, when meteorological conditions are unfavorable (high pressure zone, stability of the atmosphere, temperature inversion or strong solar radiance) no significant correlation could be observed.

This proves that possible restrictive traffic measures would have a more limited effect on NO₂ levels.

The study also confirmed that NO is a very good indicator of car pollution, taking into account of the increasing number of Diesel powered vehicles in France.

I. - Introduction : les sources de pollutions par les transports

Les principales sources de pollutions peuvent être classées en cinq catégories :

(*) Laboratoire Central de la Préfecture de Paris.

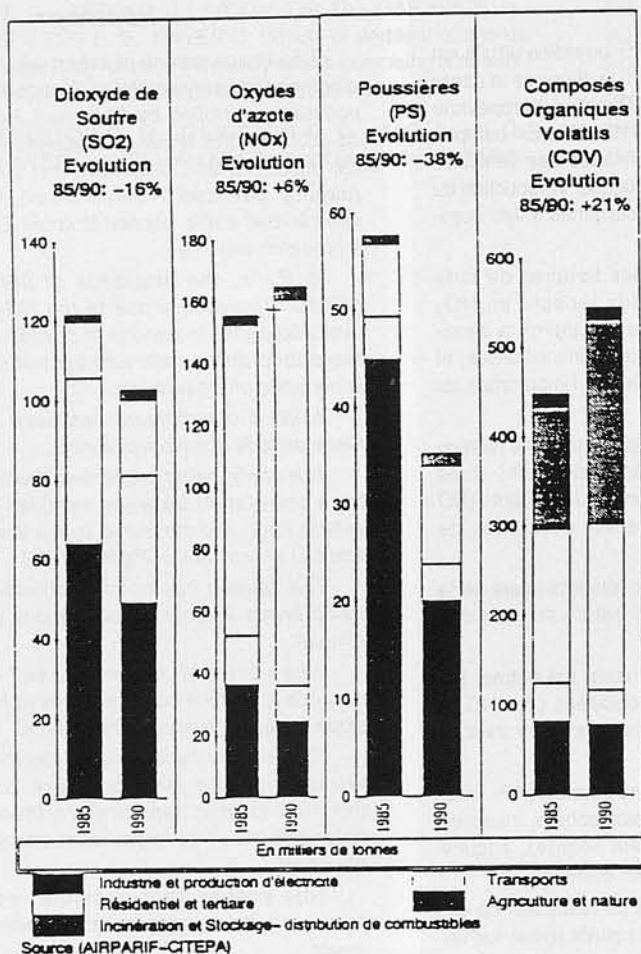
- l'industrie et la production d'électricité ;
- les foyers fixes de combustion (chauffage résidentiel et tertiaire) ;
- l'incinération des déchets, le stockage et la distribution des combustibles ;
- les transports ;
- l'agriculture et les émissions naturelles.

La figure 1 des émissions annuelles en polluants par type d'activité dans la région Ile de France montre la part importante du transport dans les émissions en oxydes d'azote (NO_x exprimé en NO₂) (124 300 tonnes en 1990 soit 75 %) et en composés organiques volatils (COV) et l'évolution défavorable de ces émissions entre 1985 et 1990.

Figure 1.

Émissions de polluants en Ile de France en 1985 et 1990 par secteur d'activité.

Emissions of air pollution in Paris region in 1985 and 1990 by sources.



En ce qui concerne le monoxyde de carbone, les émissions dues au transport en France en 1991 représentaient 6 400 000 tonnes soit 87,2 % des émissions (source CITEPA).

Les données concernant l'Ile de France ne sont pas encore disponibles.

Du fait de la diminution de la pollution soufrée d'origine industrielle (en 25 ans les teneurs en dioxyde de soufre à Paris ont baissé de 70 %), la pollution due aux transports est devenue relativement plus importante et devient le problème n° 1 de la qualité de l'air en milieu urbain.

II. - Trafic automobile à Paris

Les données globales concernant le trafic automobile dans Paris sont précisées dans les figures 2a et 2b.

A partir de 1983, on note une relative stabilité du nombre de véhicules entrant et sortant de Paris (2 500 000 véhicules de 6 heures à 21 heures).

Cette tendance est nettement confirmée à partir de 1986, avec semble-t-il une légère baisse, comme le montre l'examen du volume de circulation dans Paris intra-muros (8 810 000 véhicules/km par jour en 1992).

A Paris intra-muros, le trafic varie peu dans l'année, il baisse pendant les mois de juillet et août (de l'ordre de 20 % début août).

Par contre en Ile de France, le trafic automobile a augmenté en moyenne depuis 1985 de 2,3 % par an. Ces chiffres impliquent que cette augmentation affecte uniquement la banlieue parisienne et que les temps de trajet sont plus longs.

III. - Résultats globaux relatifs à la qualité de l'air à Paris

3.1. Le dispositif de mesure de la pollution d'origine automobile à Paris

La qualité de l'air à Paris et en Ile de France est mesurée par le réseau automatique de surveillance de la pollution atmosphérique géré par l'Association AIRPARIF sise 10, rue Crillon, 75004 Paris.

La carte ci-jointe (figure 3) montre l'implantation des capteurs à Paris opérationnels fin 1992. Cet ensemble de stations a pour objectif, d'une part la mesure de la pollution urbaine de fond (stations de type F) et, d'autre part, la mesure de la pollution urbaine de proximité (stations de type P).

A Paris, « la production de proximité » étant essentiellement d'origine automobile, les capteurs sont situés en bordure de voies de circulation (entre 1,6 et 3,5 m de hauteur et entre 0,5 m et 3 m en distance horizontale des voies de circulation).

A titre d'exemple : aux Champs-Élysées (Paris 8^e), station de type P, le point de prélèvement est situé Rond Point des Champs-Élysées à 1,7 m de haut et à 1,6 m des voies de circulation alors qu'à la Tour Saint Jacques (Paris 1^{er}), la station de type F, le point de prélèvement

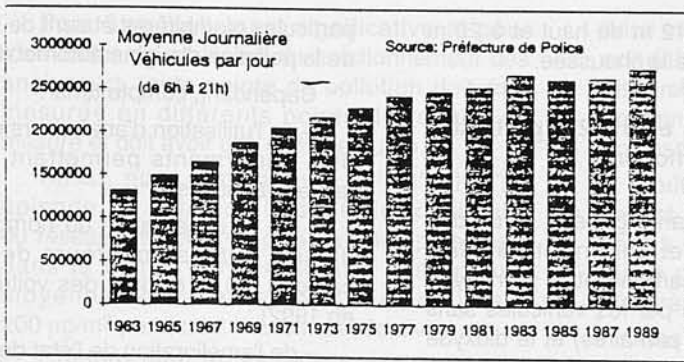


Figure 2a.
Trafic automobile aux portes de Paris.
Annual trend of cars getting in and getting out Paris.

Figure 2b.
Évolution de la circulation dans Paris.
Annual trend of traffic in Paris..

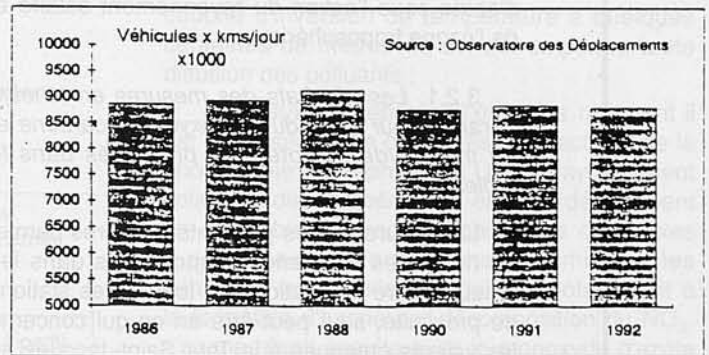
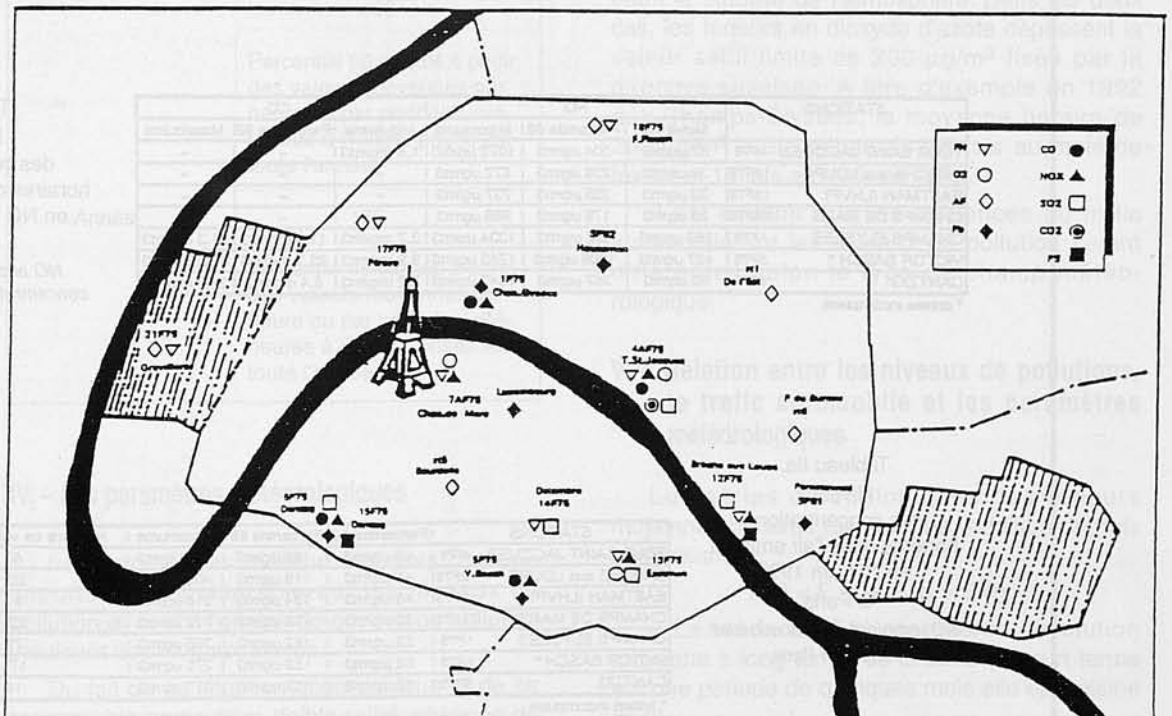


Figure 3.
Implantation des stations de mesure à Paris.
Air pollution monitoring in Paris.



est situé rue de Rivoli à 12 m de haut et à 20 m en distance horizontale de la chaussée.

3.2. Résultats obtenus en 1992 à partir des teneurs moyennes horaires

Les principaux polluants gazeux issus des véhicules automobiles et qui ont été étudiés sont : le monoxyde de carbone et le monoxyde d'azote directement émis par les véhicules sans transformation (polluants primaires) et le dioxyde d'azote considéré comme polluant secondaire (5 à 10 % des oxydes d'azote totaux rejetés par les gaz d'échappement des véhicules sont toutefois constitués de dioxyde d'azote). Le NO₂ provient en grande partie de réactions photochimiques atmosphériques sur le monoxyde d'azote sous l'action du rayonnement solaire et de l'ozone troposphérique.

3.2.1. Les résultats des mesures en teneurs horaires pour 1992 du monoxyde de carbone et du monoxyde d'azote sont présentés dans le tableau I.

La mesure de ces polluants primaires permet de noter des différences importantes dans les teneurs entre les stations de fond et les stations de proximité, sauf peut être en ce qui concerne les valeurs obtenues à la Tour Saint-Jacques au centre de Paris.

A noter également que les teneurs moyennes en monoxyde de carbone sont faibles sauf Place Victor Basch où le capteur est situé au centre d'un carrefour.

Jusqu'à la fin des années 1980, on considérait que le monoxyde de carbone et les

particules plombifères étaient de bons indicateurs de la pollution d'origine automobile.

Cependant, compte tenu :

- de l'utilisation d'analyseurs d'oxydes d'azote plus performants permettant d'apprécier de faibles variations ;

- de l'augmentation du nombre de véhicules diesels faibles émetteurs de monoxyde de carbone (20 % environ des voitures particulières en 1992) ;

- de l'amélioration de l'état des véhicules ;

- de la baisse de la teneur en plomb des essences,

le monoxyde d'azote peut être considéré actuellement comme un meilleur indicateur de la pollution automobile.

L'étude des niveaux obtenus confirme cette évolution.

3.2.2. Résultats des mesures de dioxyde d'azote

Les résultats des mesures en teneurs horaires pour 1992 sont présentés dans le tableau IIa.

Les niveaux moyens obtenus sont relativement proches quel que soit le type de station et ne peuvent être reliés aux niveaux obtenus en monoxyde d'azote. Ils montrent au premier abord que les paramètres locaux du trafic automobile ont une influence réduite et qu'il s'agit d'une pollution à l'échelle urbaine.

Il y a lieu d'indiquer que les valeurs maximales sont obtenues lors de conditions météorologiques défavorables qui conduisent à l'apparition d'épisodes de forte pollution.

STATIONS	NO			CO		
	Moyenne	Percentile 98	Maximums	Moyenne	Percentile 98	Maximums
TOUR SAINT JACQUES 4F75	57 µg/m ³	304 µg/m ³	1072 µg/m ³	1.6 mg/m ³	-	-
BRECHE aux LOUPS 12F75	34 µg/m ³	238 µg/m ³	872 µg/m ³	-	-	-
EASTMAN (LHVP) 13F75	33 µg/m ³	235 µg/m ³	737 µg/m ³	-	-	-
CHAMPS DE MARS 7AF75	36 µg/m ³	179 µg/m ³	956 µg/m ³	-	-	-
CHAMPS ELYSEES 1P75	162 µg/m ³	528 µg/m ³	1334 µg/m ³	3.7 mg/m ³	11.9 mg/m ³	21.3 mg/m ³
VICTOR BASCH * 5P75	427 µg/m ³	1006 µg/m ³	1743 µg/m ³	9.9 mg/m ³	22.7 mg/m ³	41.5 mg/m ³
DANTZIG 6P75	90 µg/m ³	357 µg/m ³	1043 µg/m ³	2.2 mg/m ³	8.4 mg/m ³	21.0 mg/m ³

* année incomplète

Tableau I.
Niveaux
des concentrations
horaires dans l'air ambiant
en NO et CO en 1992
à Paris.

NO and CO ambient air
concentration ranges in Paris.

Tableau IIa.
Niveaux
des concentrations
horaires dans l'air ambiant
en NO₂ en 1992
à Paris.
NO₂ ambient air concentration
ranges in Paris.

STATIONS	Percentile 50	Percentile 98	Maximums	Nombre de valeurs > à 200 µg/m ³
TOUR SAINT JACQUES 4F75	66 µg/m ³	165 µg/m ³	400 µg/m ³	63 (0.8%)
BRECHE aux LOUPS 12F75	41 µg/m ³	119 µg/m ³	402 µg/m ³	20 (0.25%)
EASTMAN (LHVP) 13F75	46 µg/m ³	124 µg/m ³	316 µg/m ³	9 (0.12%)
CHAMPS DE MARS 7AF75	50 µg/m ³	138 µg/m ³	312 µg/m ³	22 (0.28%)
CHAMPS ELYSEES 1P75	52 µg/m ³	162 µg/m ³	360 µg/m ³	72 (0.9%)
VICTOR BASCH * 5P75	62 µg/m ³	159 µg/m ³	275 µg/m ³	17 (0.50%)
DANTZIG 6P75	52 µg/m ³	139 µg/m ³	317 µg/m ³	18 (0.3%)

* année incomplète

Pour être réellement significative et pour s'affranchir du problème du fonctionnement des analyseurs toute pointe de pollution doit être mesurée en différents points du réseau de mesure et doit avoir une certaine durée.

Aussi, nous considérons qu'il s'agit d'un épisode de pollution lorsque deux stations du réseau distantes de plus de 1 km présentent dans la même tranche horaire des teneurs moyennes horaires en NO₂ supérieures à 200 µg/m³ pendant 2 heures consécutives.

Compte tenu de son effet toxique sur les voies respiratoires, le dioxyde d'azote est un polluant « réglementé » par le décret du 25 octobre 1991 qui fixe notamment une valeur limite et des valeurs guides (voir tableau IIb). Ceci impose de réduire l'importance de ces épisodes en niveau et en durée.

Tableau IIb.
Valeurs recommandées par la directive européenne en NO₂ et le décret du 25/10/1991.
EEC limit and guide values.

Période de référence	Valeur limite pour le dioxyde d'azote
	200
Année	Percentile 98 calculé à partir des valeurs moyennes par heure ou par périodes inférieures à l'heure, prises sur toute l'année.

Période de référence	Valeur guide pour le dioxyde d'azote
	50
	Percentile 50 calculé à partir des valeurs moyennes par heure ou par périodes inférieures à l'heure, prises sur toute l'année.
Année	135
	Percentile 98 calculé à partir des valeurs moyennes par heure ou par périodes inférieures à l'heure, prises sur toute l'année.

IV. – Les paramètres météorologiques

Les paramètres météorologiques ont une importance considérable sur les niveaux de pollution et sont à l'origine de pointes de pollution induisant des niveaux élevés.

Du fait de sa situation géographique et de sa topographie particulière (faible relief, absence de

brise marine), Paris bénéficie dans l'ensemble de conditions météorologiques favorables à la dispersion des polluants et qui sont caractérisées notamment par des vents d'ouest dominants et un ensoleillement relativement faible.

Toutefois, certaines situations qui se manifestent dix à quinze fois par an environ conduisent à des épisodes aigus de pollution dont la durée peut atteindre au maximum une dizaine d'heures.

Ces situations bien connues sont dues à deux mécanismes distincts :

- le premier concerne la dynamique de l'atmosphère et apparaît l'hiver durant quelques heures. Il est caractérisé par une forte stabilité de l'atmosphère (absence de vent, pression atmosphérique élevée) et par la présence d'une couche d'inversion de température à quelques centaines de mètres du sol qui empêche toute diffusion des polluants ;

- le deuxième apparaît l'été, plus rarement il est la conséquence d'une très forte activité de la photochimie atmosphérique. Un fort rayonnement solaire et des températures élevées déclenchent un ensemble de réactions chimiques complexes à partir des polluants primaires émis par les véhicules automobiles conduisant notamment à la formation d'ozone par décomposition du NO₂. L'ozone réagit ensuite avec le monoxyde d'azote pour former à nouveau du dioxyde d'azote. Cependant, en milieu urbain « pollué » l'équilibre est déplacé, la réaction de formation de NO₂ est prépondérante.

En réalité, ces deux mécanismes distincts agissent simultanément avec plus ou moins d'intensité selon la saison, le paramètre commun étant la stabilité de l'atmosphère. Dans les deux cas, les teneurs en dioxyde d'azote dépassent la valeur seuil limite de 200 µg/m³ fixée par la directive susvisée. A titre d'exemple en 1992 aux Champs-Élysées, la moyenne horaire de 200 µg/m³ a été dépassée 28 fois au mois de février et 15 fois au mois de juillet.

Il est évident que les influences du trafic automobile sur les niveaux de pollution seront différentes selon le type de champ météorologique.

V. – Relation entre les niveaux de pollutions, le trafic automobile et les paramètres météorologiques

Les séries chronologiques des teneurs moyennes horaires résultent de l'addition de trois composantes :

$$Y(t) = F(t) + S(t) + E(t)$$

- La tendance F(t) représente l'évolution moyenne à long terme de la série (à court terme sur une période de quelques mois elle est voisine de 0).

– La composante « saisonnière » ou cyclique $S(t)$ s'explique par l'influence périodique des conditions naturelles (influence des saisons) ou anthropiques (activité économique). Cette composante est caractérisée par les cycles journaliers et hebdomadaires.

– La composante résiduelle ou aléatoire $E(t)$ traduit les effets des autres facteurs extérieurs non pris en compte par les précédentes composantes (par exemple à Paris : champ météorologique particulier entraînant une pointe de pollution, circulation congestionnée à la suite d'une manifestation sur la voie publique, considérés comme « aléas »).

Ce paragraphe a pour objet la détermination de l'influence du trafic automobile sur les composantes cycliques et aléatoires.

5.1. Paramètres météorologiques favorables à la dispersion des polluants

Une étude a été effectuée à partir des résultats obtenus en monoxyde d'azote, monoxyde de carbone et dioxyde d'azote à la station « Champs Élysées » du 15 novembre 1992 au 31 décembre 1992. Au cours de cette étude, il a été procédé à un comptage des véhicules sur l'ensemble des voies. Pendant cette période, les paramètres météorologiques étaient favorables, sauf le 12 décembre 1992.

L'impact de ce jour sur la série moyenne est négligeable.

Les figures 4 montrent les teneurs moyennes horaires en oxydes d'azote, et monoxyde de carbone et le trafic moyen en véhicules/heure (moyenne des deux sens de circulation) pour un jour moyen ouvrable et les teneurs moyennes horaires pour un jour moyen du week-end. Ils mettent en évidence ces deux types de cycle journalier en réduisant l'effet des aléas de la circulation automobile.

Soient C_h la concentration d'un polluant à l'heure h et C_{h-1} la concentration de ce même polluant à l'heure $h-1$, la variation en % des teneurs peut être notée $100 \times (C_{h-1} - C_h)/C_{h-1}$. Pour les mêmes tranches horaires, on peut également calculer la variation du trafic en % soit $100 \times (T_{h-1} - T_h)/T_{h-1}$. A partir de ces valeurs, il a été établi les figures 5 représentant la variation horaire des teneurs en oxydes d'azote et monoxyde de carbone en fonction de la variation horaire du trafic.

La comparaison des figures 5a et 5b, 5c et 5d montre une plus grande dispersion des résultats le week-end. Cette plus grande dispersion des résultats peut avoir plusieurs causes :

– le nombre de valeurs ayant permis de tracer la série week-end est plus faible ;

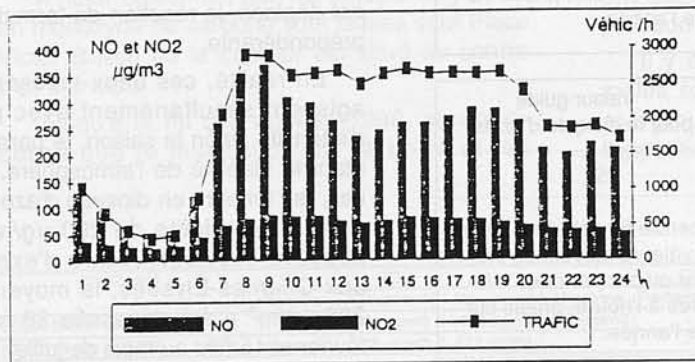
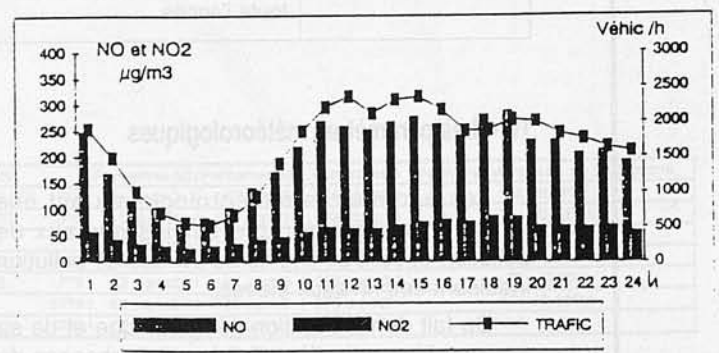


Figure 4a.
Évolution journalière des moyennes horaires en NO, NO₂ et du trafic les jours ouvrables.
Daily evolution of hourly levels of NO, NO₂ and traffic for working days.

Figure 4b.
Évolution journalière des moyennes horaires en NO, NO₂ et du trafic les week-end.
Daily evolution of hourly levels of NO, NO₂ and traffic for week-end days.



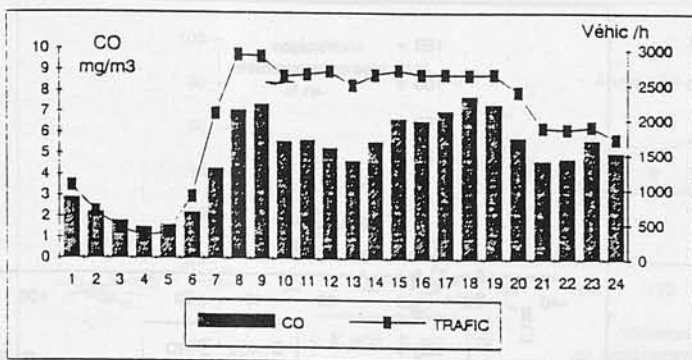
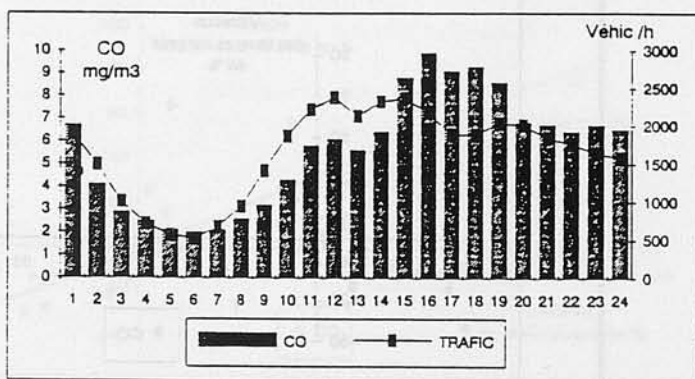


Figure 4c.
Évolution journalière
des moyennes horaires
en CO et du trafic les jours ouvrables.
*Daily evolution of hourly levels
of CO and traffic for working days.*

Figure 4d.
Évolution journalière
des moyennes horaires
en CO et du trafic les week-end.
*Daily evolution of hourly levels
of CO and traffic for week-end days*



– des différences importantes affectent la structure du trafic automobile entre le week-end et la semaine notamment la nuit et en fin d'après-midi. Il est probable que le week-end, le trafic automobile bien que plus réduit soit moins fluide et que le simple comptage des véhicules soit insuffisant pour rendre compte des émissions. Ce phénomène est visible sur les courbes des moyennes horaires en monoxyde de carbone des figures 4c et 4d, où en fin d'après-midi le week-end les teneurs élevées sont significatives d'une circulation ralentie entraînant un accroissement des émissions de ce polluant. Comme on peut le penser, le comportement des conducteurs le

week-end sur les Champs-Élysées est totalement différent du comportement des conducteurs pendant la semaine. La circulation automobile les jours ouvrables est un trafic proche du « transit » alors que le week-end il s'agit d'un trafic de type « tourisme ».

Les figures 6 représentent pour le NO, NO₂ et le CO les variations horaires des teneurs en fonction de la variation horaire du trafic sans différenciation week-end, jour ouvrable, avec tracé des droites de régression.

Pour les oxydes d'azote, les calculs statistiques montrent :

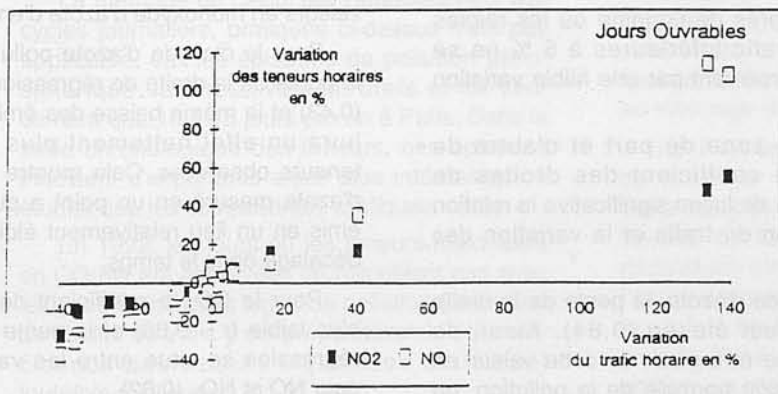


Figure 5a.
Variation des teneurs
horaires en NO et NO₂
en fonction de la
variation du trafic
les jours ouvrables.
*Scatterplot of NO and NO₂
hourly levels variations
versus traffic variation
working days.*

Figure 5b.
Variation des teneurs horaires en NO et NO₂ en fonction de la variation du trafic les week-end.
Scatterplot of NO and NO₂ hourly levels variations versus traffic variation week-end days.

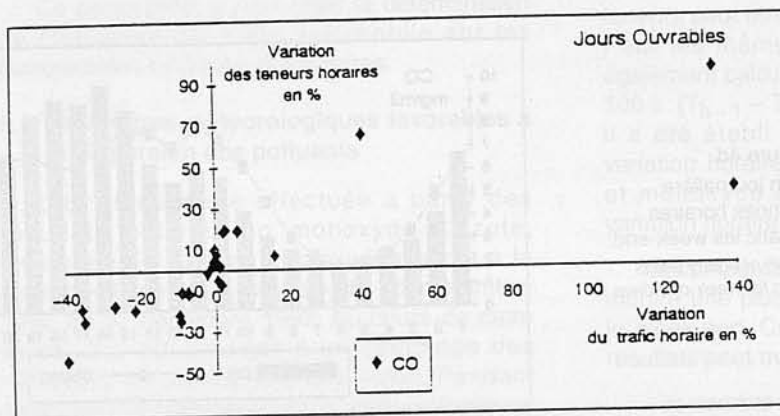
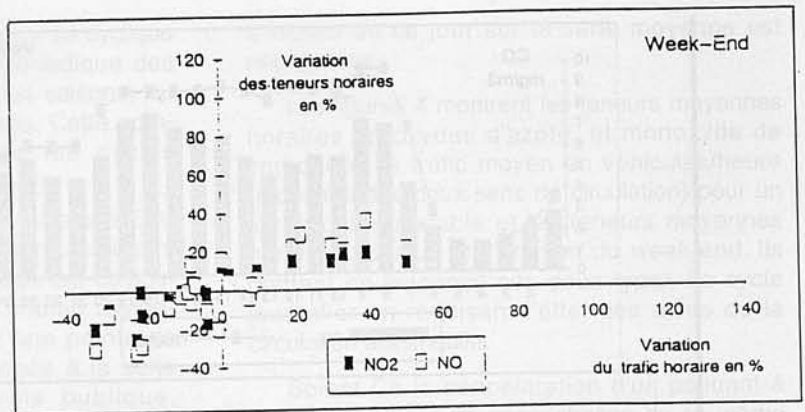
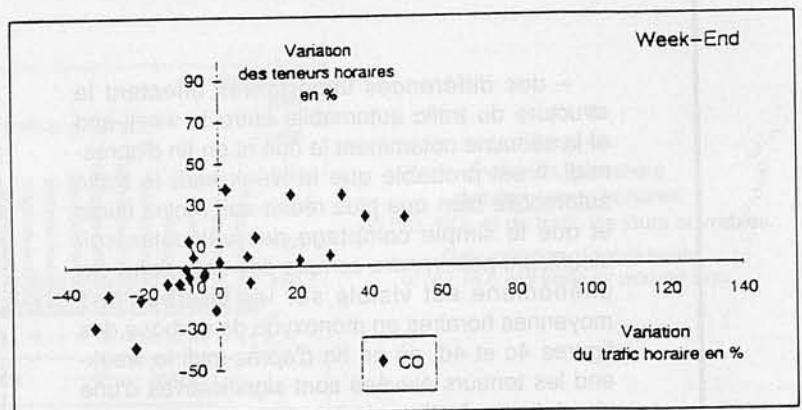


Figure 5c.
Variation des teneurs horaires en CO en fonction de la variation du trafic les jours ouvrables.
Scatterplot of CO hourly levels variations versus traffic variation working days.

Figure 5d.
Variation des teneurs horaires en CO en fonction de la variation du trafic les week-end.
Scatterplot of CO hourly levels variations versus traffic variation week-end days.



– une très bonne corrélation entre la variation du trafic et la variation des teneurs ($r = 0,98$ pour le NO, $r = 0,93$ pour le NO₂) ;

– une zone près de l'origine où les faibles variations de trafic inférieures à 5 % ne se traduisent pas forcément par une faible variation des teneurs ;

– une autre zone de part et d'autre de l'origine, où le coefficient des droites de régression traduit de façon significative la relation entre la variation du trafic et la variation des teneurs.

Pour le dioxyde d'azote, la pente de la droite de régression est élevée (0,84). Ainsi, de manière théorique et à partir de cette valeur en période de diffusion normale de la pollution, on

peut estimer à titre d'exemple, que toute baisse de 20 % au niveau local des émissions dues au trafic automobile entraînera une baisse des valeurs en monoxyde d'azote d'environ 17 %.

Pour le dioxyde d'azote polluant secondaire, la pente de la droite de régression est plus faible (0,43) et la même baisse des émissions de 20 % aura un effet nettement plus réduit sur les teneurs observées. Cela montre que le dioxyde d'azote mesuré en un point a pu être formé ou émis en un lieu relativement éloigné et avec un décalage dans le temps.

Pour le CO, le coefficient de corrélation est plus faible ($r = 0,86$) et la pente de la droite de régression se situe entre les valeurs obtenues pour NO et NO₂ (0,62).

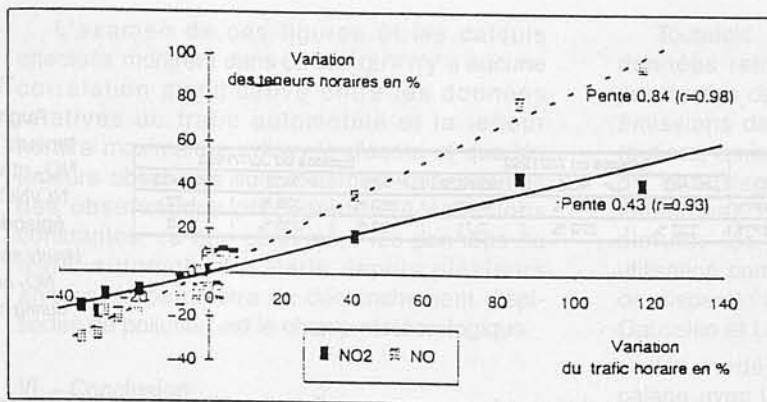
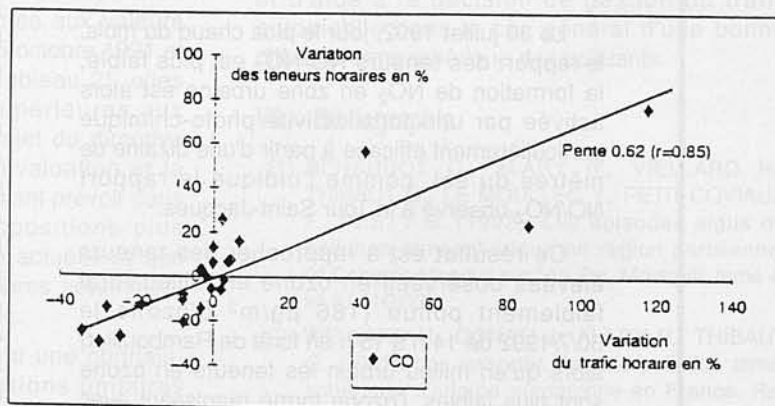


Figure 6a.
Droite de régression
de la variation
du NO et NO₂
en fonction
de la variation du trafic.
*Régression of NO and NO₂
hourly levels variation
versus traffic variation.*

Figure 6b.
Droite de régression
de la variation
du CO en fonction
de la variation du trafic.
*Régression of CO
hourly levels variation
versus traffic variation.*



Ces calculs statistiques confirment que le NO est un très bon indicateur du trafic automobile car il tient compte du parc des véhicules diesels alors que le CO est plus sensible à la congestion du trafic.

En conclusion, même lorsque les conditions météorologiques sont favorables, toute réduction locale sur les émissions par diminution du trafic automobile aura un effet notable sur les teneurs en NO (et CO) et par contre une influence plus faible sur celles de NO₂.

5.2. Cas des épisodes de pollution atmosphérique

La complexité des phénomènes à l'origine de ces épisodes rend leur étude plus délicate.

La méthode de calcul par l'établissement des cycles journaliers, pratiquée ci-dessus n'est pas applicable, car les épisodes de pollution atmosphérique sont relativement brefs et ne concernent que 10 à 15 jours par an à Paris. Dans la série chronologique des teneurs, ces épisodes induisent d'importants aléas plus intéressants à étudier que les composantes cycliques.

En 1992, les jours où les teneurs maximales en CO ont été observées ne coïncident pas avec les jours à épisodes aigus de pollution (l'absence de fluidité du trafic y est prépondérante) ; la coïncidence des valeurs maximales de NO est toutefois meilleure.

Le tableau 3 montre l'augmentation relative en pourcentage (arrondie à la dizaine de pourcentage) des teneurs en oxydes d'azote au Champs-Élysées et à la Tour Saint-Jacques et la variation du rapport NO/NO₂ lors de l'épisode d'été du 30/7/1992 et de l'épisode d'hiver du 7/2/1992. Cette augmentation est calculée selon la formule suivante : $100 \times (C_M - C_m) / C_m$.

C_M : Valeur maximale horaire le jour de l'épisode ;

C_m : Valeur maximale horaire du jour moyen (ouvrable ou week-end selon le jour de la pointe) de la même tranche horaire.

Lors de ces deux épisodes, l'augmentation relative des teneurs en dioxyde d'azote est pratiquement identique au centre de Paris sur le poste de pollution de proximité (Champs-Élysées) et sur le poste de pollution de fond (Tour Saint-Jacques). Pour ce polluant, l'influence des émissions dues au trafic automobile au voisinage du site de mesure est moindre.

Le 7 février 1992, l'augmentation de 740 % de la teneur en monoxyde d'azote à la Tour Saint-Jacques (point de prélèvement placé à une hauteur de 12 mètres au-dessus des voies de circulation) s'explique par la prépondérance de l'effet de couvercle consécutif à une forte inversion de température. Les polluants sont piégés dans les basses couches de l'atmosphère. Le rapport NO/NO₂ montre que l'accu-

Tableau III.

Augmentation des teneurs horaires en NO₂ et valeur du rapport NO/NO₂ pendant deux épisodes de pollution.

STATIONS	Episode du 7/2/1992			Episode du 30/7/1992		
	NO	NC2	NO/NC2	NO	NC2	NO/NC2
TOUR SAINT JACQUES 4F75	740 %	340 %	4.12	250 %	300 %	1.72
CHAMPS ELYSEES 5F75	320 %	370 %	3.71	180 %	300 %	3.42

Hourly levels variation of NO₂ and ratio NO/NO₂ during pollution episodes.

mulation des polluants est bien visible au niveau de la Tour Saint-Jacques.

Le 30 juillet 1992, jour le plus chaud du mois, le rapport des teneurs NO/NO₂ est plus faible, la formation de NO₂ en zone urbaine est alors activée par une forte activité photo-chimique particulièrement efficace à partir d'une dizaine de mètres du sol, comme l'indique le rapport NO/NO₂ observé à la Tour Saint-Jacques.

Ce résultat est à rapprocher des teneurs élevées observées en ozone en milieu rural faiblement pollué (186 µg/m³ d'ozone le 30/7/1992 de 14 h à 15 h en forêt de Rambouillet) alors qu'en milieu urbain les teneurs en ozone sont plus faibles, l'ozone formé réagissant avec les polluants automobiles notamment le NO.

Sur les figures 7 sont présentées les moyennes horaires des teneurs en NO₂ à la Tour Saint-Jacques, aux Champs-Élysées et l'évolution du trafic automobile dans la « zone centrale régulée » à Paris du 28 juillet au 2 août 1992. « La zone centrale régulée » recouvrant une superficie importante au centre de Paris rassemble un ensemble de capteurs qui fournissent des données sur la vitesse moyenne des véhicules et le temps d'occupation de la voirie, nécessaires à la gestion informatique des feux de signalisation par les services de la Mairie de Paris. A partir de ces données, on peut calculer un trafic en unité arbitraire exprimée en véhicules par heure représentatif du trafic automobile global au centre de Paris.

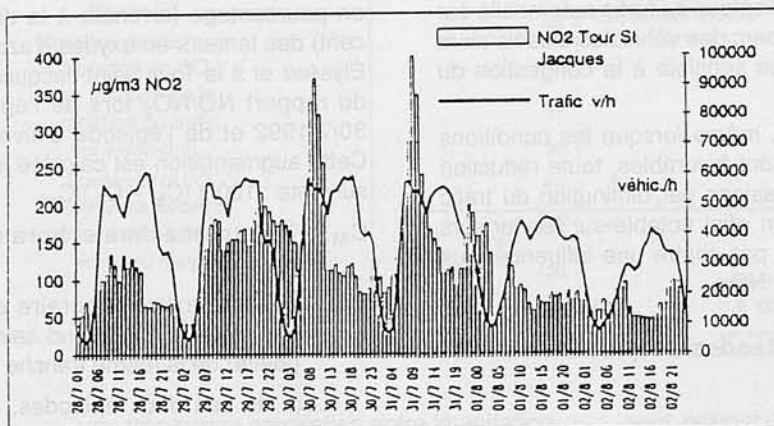
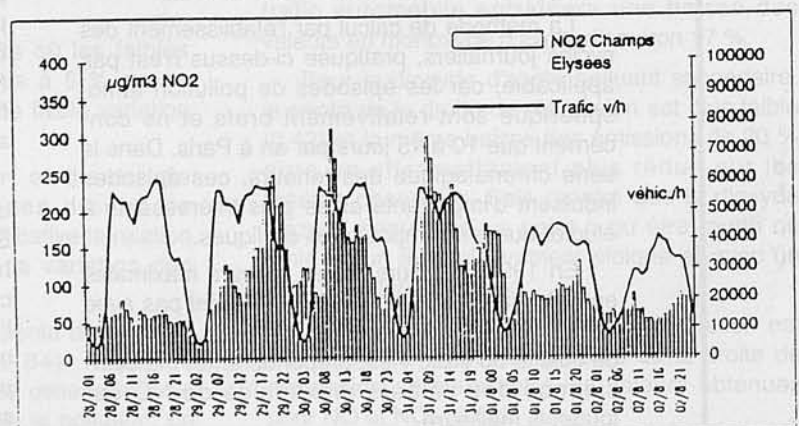


Figure 7a.
Évolution des moyennes horaires à la Tour Saint-Jacques et du trafic.
Hourly levels of NO₂ in Tour Saint-Jacques and traffic.

Figure 7b.
Évolution des moyennes horaires aux Champs-Élysées et du trafic.
Hourly levels of NO₂ in Champs-Élysées and traffic.



L'examen de ces figures et les calculs effectués montrent dans ce cas qu'il n'y a aucune corrélation significative entre les données relatives au trafic automobile et la teneur horaire maximale en dioxyde d'azote et que les teneurs observées sont fortement dépendantes des observations précédentes. A émissions constantes, ce que confirment les données du trafic automobile à Paris depuis plusieurs années, le paramètre de déclenchement d'épisodes de pollution est le champ météorologique.

VI. – Conclusion

Si actuellement les teneurs moyennes obtenues en NO_2 sont inférieures aux valeurs limites fixées par le Décret du 25 octobre 1991 et la directive européenne (voir tableau 2), elles restent dans certains cas supérieures aux valeurs guides. En outre, le projet de directive cadre relative à la mesure, l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant prévoit dans ses articles 8-9-10, des dispositions plus contraignantes que la directive actuelle et que devront adopter les états membres notamment en matière d'information du public.

Ces dispositions nécessitent une connaissance approfondie des émissions unitaires (partielle actuellement), une connaissance des données saisonnières du trafic automobile (débit, fluidité) et une prévision fiable des paramètres météorologiques susceptibles d'entraîner des pointes de pollution.

Il est vraisemblable que la réduction des émissions unitaires des véhicules par la mise en œuvre des pots catalytiques et que la réduction et l'amélioration du trafic automobile global se traduiront à long terme par une légère baisse des niveaux moyens notamment pour le monoxyde d'azote et le monoxyde de carbone.

La prédominance du champ météorologique sur le trafic automobile rend difficile à court terme la réduction des pointes de pollution.

On pourrait penser que toute action d'envergne sur le trafic automobile prise au niveau de la cité quelques heures avant l'apparition présumée de l'épisode de pollution, aurait un résultat positif sur les niveaux obtenus en dioxyde d'azote. Dans l'état actuel des connaissances, en fait, aucun élément ne permet de préciser dans quelle proportion il faudrait réduire le trafic automobile pour avoir une baisse significative des niveaux, d'autant plus qu'un effet de seuil n'est pas à exclure.

En annexe, cette étude permet de s'interroger sur la validité de certains modèles de diffusion de la pollution utilisés en matière de prévision notamment pour l'information du public. Ces modèles de diffusion devraient prendre en compte les faibles vitesses de vent (< 2 m/s) et la photochimie atmosphérique.

Toutefois, à partir de modèles contenant des données relatives aux émissions (émissions ponctuelles des grosses installations thermiques, émissions des véhicules sur les grands axes routiers, émissions surfaciques des installations de chauffage domestique et diffuses des véhicules), il s'avère intéressant de pouvoir simuler les immissions des polluants par utilisation combinée de modèles mathématiques de dispersion (modèle de rue Canyon, modèle Gaussien et Lagrangien).

Un modèle de ce type apporterait après calage avec les résultats obtenus sur le réseau de mesure d'AIRPARIF, un élément de réponse et d'aide à la décision de gestion du trafic automobile dans le cas général d'une bonne diffusion atmosphérique des polluants.

VII. – Bibliographie

- (1) RENAUDOT C., ALARY R., VIELLARD H., THIBAUT G., LE MOULLEC Y., PETIT-COVIAUX F., FESTY B. (1992). Les épisodes aigus de pollution atmosphérique en région parisienne. 9^e Congrès Mondial sur l'Air Pur, Montréal, tome 4, n° IU-11CO3.
- (2) VIELLARD H., DONATI J., ALARY R., THIBAUT G. (1991). Les épisodes de forte pollution atmosphérique d'origine automobile en France. *Recherche Transports et Sécurité*, n° 32, p. 81 à 86.
- (3) ALARY R., DONATI J. (1990, 1991 et 1992). Pollution atmosphérique et nuisances. Rapport du Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris.
- (4) STROEBEL R. (1993). La qualité de l'air en zones urbaines industrielles et rurales françaises en 1991. *Pollution atmosphérique* n° 138, p. 55 à 97.
- (5) DEGOBERT P. Automobile et Pollution, Éd. Technip, 1992.
- (6) Observatoire des déplacements à Paris, 1992. Bilan des déplacements en 1992.
- (7) Direction de l'Équipement de l'Ile de France 1991-1992. Recensement de la circulation en Ile de France.
- (8) Directive NO_2 n° 85/203/CEE du 7/03/1985 et décret du 25/10/1991.
- (9) STROEBEL R. (1992). Impact des anomalies climatiques de 1989 et 1990 sur la pollution atmosphérique. 9^e Congrès Mondial sur l'Air Pur, Montréal, tome 4, n° IU-11DO3.
- (10) AIRPARIF (1993). L'atmosphère capitale.
- (11) BAVAY R. ROUSSEL I. Conditions atmosphériques et pollution photooxydante en Europe du Nord-Est : l'exemple de l'été 1989. *Pollution atmosphérique* n° 135, p. 36 à 49.

Mots-clés :

Episodes de pollution – Trafic de véhicules – Paramètres météorologiques – NO_x – Réduction du trafic routier.

Pollution episodes – Motor vehicle traffic – Meteorological parameters – NO_x – Reduction in road traffic.