

La pollution de l'atmosphère de la région parisienne par les gaz d'échappement des véhicules automobiles

L. Truffert, J. Lebbe et P. Chovin

Zusammenfassung

Die nachfolgenden Untersuchungen der Luftverunreinigung durch Auto-Auspuffgase gestatten, das Problem in den richtigen Zusammenhang zu rücken. Verschiedene Maßnahmen zur Verringerung dieser Luftverunreinigung wurden bereits ergriffen. Die einen gehen dahin, die ausgestoßenen Verunreinigungen zu vermindern, und die andern, die Verkehrsgeschwindigkeit zwecks besserer Verteilung der Abgase zu erhöhen.

Unter den erstgenannten verdienen die Verordnungen des Verkehrsministers Erwähnung. Einerseits werden dadurch die Auto-Auspuffgase reglementiert (Verordnung vom 12.11.63 und vom 15.2.65), und andererseits zielen sie darauf hinaus, die Abgase des Kurbelgehäuses (28.7.64) zu vermindern. Des weiteren konnte der Chef des Technischen Dienstes der Polizeipräfektur zeigen, daß bei Benzinmotoren durch eine relativ einfache Einstellung die ausgestoßenen Verunreinigungen und vor allem das CO wesentlich reduziert werden können. Diesbezügliche Kampagnen sind durchgeführt worden.

Die anderen Maßnahmen bestehen im wesentlichen darin, in gewissen Straßen den Einbahnverkehr einzuführen, gewisse Straßen zu verbreitern, neue Straßen zu schaffen und die Kreuzungen zu verbessern, indem eventuell verschiedene Ebenen verwendet werden. Was die unterirdischen Durchgänge betrifft, lassen sich durch deren Überwachung die Ventilationsbedürfnisse bestimmen.

Solche Untersuchungen sind unbestreitbar von großem Nutzen und werden deshalb weitergeführt.

Résumé

Les études ci-dessous de la pollution de l'atmosphère par les gaz d'échappement des véhicules automobiles ont permis de bien situer le problème. Diverses mesures ont été prises en vue de diminuer cette pollution. Les unes tendent à restreindre les émissions de polluants et les autres à augmenter la rapidité de la circulation, afin d'obtenir une meilleure dispersion.

Parmi les premières, il a y lieu de citer les arrêtés de M. le Ministre des Travaux Publics et des Transports, réglementant d'une part les fumées produites par les véhicules automobiles (12 novembre 1963 et 15 février 1965) et d'autre part, tendant à réduire les émissions de gaz de carter (28 juillet 1964). De plus, M. Thiébault, Directeur des Services Techniques de la Préfecture de Police, a montré que, par un réglage relativement simple des moteurs à essence, on arrivait à diminuer considérablement les émissions de polluants et notamment d'oxyde de carbone. Des campagnes dans ce sens ont été menées.

Les secondes consistent essentiellement à réserver certaines voies à la circulation à sens unique, à élargir certaines autres, à en créer de nouvelles et à aménager les carrefours, avec la réalisation éventuelle de passages à différents niveaux. En ce qui concerne les passages souterrains, leur surveillance permet de fixer leurs besoins de ventilation.

Il est incontestable que de telles études sont extrêmement utiles et c'est la raison pour laquelle elles sont poursuivies.

Depuis 1956, le Laboratoire Municipal de la Préfecture de Police poursuit systématiquement l'étude de la pollution de l'atmosphère de la région parisienne par les gaz d'échappement des véhicules automobiles.

Les polluants contenus dans ces gaz d'échappement sont constitués par :

- des gaz, tels que les oxydes d'azote, l'anhydride sulfureux et l'oxyde de carbone, dont la teneur est la plus élevée;
- des « imbrûlés légers », comprenant d'une part des hydrocarbures, allant du carburant non transformé à des produits de cracking de plus faible poids moléculaire et, d'autre part, des composés dus à une combustion incomplète parmi lesquels on rencontre des peroxydes, des aldéhydes et des acides organiques;
- des « imbrûlés lourds » formant des suies noires et qui peuvent renfermer des hydrocarbures polycycliques cancérogènes, tels que le benzo-3,4 pyrène;
- des produits divers provenant de la décomposition des adjuvants du carburant (antidétonants, améliorants, ou « dops », etc.) et qui peuvent contenir du plomb, du chlore, du brome, du phosphore, etc.

Il ne pouvait être question de doser toutes ces substances dans l'atmosphère. Le benzo-3,4 pyrène paraissait particulièrement dangereux, mais il a été constaté que dans la pollution générale par ce composé, la part revenant aux gaz d'échappement était relativement faible par rapport à celle des fumées des foyers domestiques et industriels. Par contre, la teneur en plomb de l'atmosphère dépend beaucoup plus de l'importance des émissions de gaz d'échappement, mais à condition qu'on ne se trouve pas au voisinage d'une usine traitant des composés plombifères.

On a donc choisi l'oxyde de carbone comme *substance-test* de la pollution par les véhicules à moteur car c'est un constituant des gaz d'échappement représentatif de tous les autres, puisqu'il est relativement abondant et les accompagne constamment. De plus, il est toxique par lui-même et peut être dosé facilement avec précision.

La meilleure façon d'étudier la pollution par les gaz d'échappement consiste à enregistrer les variations de la teneur en oxyde de carbone de l'atmosphère des voies où circulent les véhicules. Pour calculer la teneur moyenne, il est possible d'intégrer la courbe obtenue, tous les quarts d'heure, par exemple. Le Laboratoire Municipal dispose d'un Camion-Laboratoire spécialement équipé à cet effet et qui a été utilisé pour effectuer de telles déterminations en différents points, notamment : place Valhubert, place de l'Opéra, carrefour Richelieu-Drouot, porte d'Orléans, avenue Gabriel, pont de St-Cloud, place du Marché St-Honoré, etc.

Il est ainsi possible d'étudier avec précision les variations de la pollution aux différentes heures de la journée, mais la comparaison des résultats obtenus en divers points est parfois difficile du fait que les conditions météorologiques sont rarement les mêmes.

En vue de tracer une carte de la pollution par les gaz d'échappement des véhicules automobiles, il était donc logique de chercher à effectuer un grand nombre de déterminations sur des échantillons d'air prélevés en des points judicieusement choisis en raison de l'intensité de la circulation.

Il y a lieu de tenir compte du fait que dans ce cas, c'est le risque maximal de pollution qui est recherché et que le chiffre trouvé en un point spécialement choisi parce qu'il y passe un grand nombre de véhicules, ne saurait représenter la situation moyenne de tout le quartier environnant. De plus, cette méthode, en raison même de la façon dont sont effectués les prélèvements, donne toujours des chiffres supérieurs à ceux qu'aurait donné un enregistrement au même point.

Afin de situer les niveaux de pollution, il était indispensable d'adopter une terminologie précise.

Compte tenu des travaux effectués par les spécialistes de la pollution atmosphérique de l'Etat de Californie aux U.S.A., l'échelle suivante a été adoptée :

Tableau I *Echelle des niveaux de pollution en prenant l'oxyde de carbone comme substance-test*

Niveau de pollution	Teneur moyenne de l'air en oxyde de carbone (ppm)	Teneur du sang en carboxy-hémoglobine à l'équilibre (%)	Teneur du sang en oxyde de carbone (en ml pour 100 ml de sang)	Niveau d'imprégnation oxy-carbonée
négligeable	de 0 à 5	0 à 0,8	0 à 0,2	modéré notable sérieux assez élevé élevé très sérieux
faible	5 à 10	0,8 à 1,6	0,2 à 0,4	
modéré	10 à 20	1,6 à 3,2	0,4 à 0,8	
notable	20 à 30	3,2 à 4,8 ¹	0,8 à 1,2	
sérieux	30 à 40	4,8 à 6,4	1,2 à 1,6	
assez élevé	40 à 50	6,4 à 8,0	1,6 à 2,0	
élevé	50 à 60	8,0 à 9,6 ¹	2,0 à 2,4	
très sérieux	supérieur à 60	supérieur à 9,6	supérieur à 2,4	
¹ Les teneurs de 4,8 et 9,6‰ peuvent être arrondies respectivement à 5 et 10‰				

Résultats des analyses de prélèvements instantanés

Les examens effectués dans la banlieue parisienne, notamment dans la « Boucle de la Seine » comprenant Nanterre, Colombes, Gennevilliers et Villeneuve-la-Garenne, ont montré que la pollution par les gaz d'échappement des véhicules automobiles n'y était guère sensible et, pratiquement négligeable. C'est ainsi qu'en 1959, il a été constaté dans cette « Boucle de la Seine » que, dans 81,7% des cas, la teneur en oxyde de carbone des échantillons d'air prélevés sur la voie publique était inférieure à 5 ppm et que la moyenne de tous les prélèvements s'établissait à 2,8 ppm.

Dans ces conditions, il a été décidé d'abandonner cette étude en 1960, afin de reporter tous les efforts sur Paris. La carte de la capitale a été quadrillée afin de la diviser en 317 petits rectangles. Dans chacun de ceux-ci, un point de prélèvement a été choisi à un endroit où la circulation paraissait être particulièrement abondante. Les résultats des prélèvements effectués en ces points ont été exploités statistiquement depuis 1960.

Les tableaux suivants résument les travaux effectués durant ces cinq dernières années :

Tableau II *Teneurs moyennes annuelles*

Année	Nombre de prélèvements	Oxyde de carbone en ppm
1960	15 120	22,4
1961	14 971	19,9
1962	15 170	21,0
1963	14 989	31,5
1964	15 108	23,9

Tableau III *Répartition statistique, en fonction de leurs teneurs en oxyde de carbone, des prélèvements effectués chaque année*

Teneur en oxyde de carbone (ppm)	Pourcentages des prélèvements en l'année				
	1960	1961	1962	1963	1964
0 à 5	13,9	16,5	14,5	7,0	8,4
5 à 10	24,7	23,0	23,9	14,4	17,8
10 à 20	27,9	31,2	30,6	30,1	32,6
20 à 30	12,4	12,7	13,0	16,8	17,5
30 à 40	6,9	6,3	6,2	9,6	9,3
40 à 50	3,9	4,0	3,5	6,2	5,2
50 à 60	2,8	1,1	2,3	4,1	3,2
> 60	7,4	5,2	6,0	11,8	6,0

Tableau IV *Répartition des points de prélèvement par ordre de pollution croissante*

Niveau de pollution	Teneur moyenne en oxyde de carbone (ppm)	Pourcentage des années				
		1960	1961	1962	1963	1964
négligeable	0 à 5	0	0	0	0	0
faible	5 à 10	1,0	4,4	4,7	0	0,3
modéré	10 à 20	40,5	51,1	47,3	12,3	34,1
notable	20 à 30	43,9	34,7	33,1	40,7	46,0
sérieux	30 à 40	13,2	8,9	11,7	26,8	15,5
assez élevé	40 à 50	1,2	0,9	3,2	13,3	3,8
élevé	50 à 60	0,3	0	0	6,3	0,3
très sérieux	> 60	0	0	0	0,6	0

Tableau V Comparaison entre les niveaux de pollution des différents arrondissements de Paris

Arrondissements	Rang de classement par pollution croissante (de 1 à 20)					Teneur moyenne en oxyde de carbone (ppm)				
	1960	1961	1962	1963	1964	1960	1961	1962	1963	1964
1er	15	18	18	15	14	25,5	28,3	28,0	36,4	26,7
2e	16	20	20	20	19	26,3	32,6	28,6	47,3	35,0
3e	18	19	14	10	20	28,9	29,6	25,7	32,3	39,7
4e	12	12	13	13	13	22,4	21,7	24,8	35,0	26,5
5e	6	8	11	11	17	21,4	19,1	23,5	33,2	30,7
6e	14	17	16	16	12	25,0	26,8	26,6	37,8	26,3
7e	9	13	15	14	11	21,7	22,1	26,1	35,5	26,1
8e	20	14	17	18	18	30,7	24,9	26,7	40,0	31,8
9e	19	16	12	19	15	30,6	26,4	24,5	43,0	28,7
10e	17	15	19	17	16	28,8	25,7	28,3	39,2	30,6
11e	8	11	7	7	5	21,6	20,3	18,7	29,4	21,9
12e	3	4	4	2	4	19,6	15,7	16,9	26,3	20,8
13e	4	1	2	1	2	19,7	14,0	15,9	23,3	18,7
14e	2	7	8	12	6	19,5	18,8	20,7	33,3	22,1
15e	4	9	10	8	3	19,7	19,5	22,1	29,7	20,0
16e	7	5	9	5	7	21,5	17,6	21,3	28,3	22,4
17e	13	10	5	9	9	22,9	20,0	17,1	30,6	24,5
18e	11	6	6	6	10	22,1	18,2	17,3	29,1	25,3
19e	10	2	3	4	8	22,0	15,6	16,6	27,1	22,9
20ème	1	2	1	3	1	16,2	15,6	15,6	26,4	18,2

L'examen du tableau V montre que si les 12ème, 13ème et surtout 20ème arrondissements sont toujours les moins pollués, le maximum de pollution se trouve constamment dans le centre de Paris, c'est-à-dire les 1er, 2ème et 3ème auxquels on peut ajouter les 8ème, 9ème et 10ème arrondissements.

Cas des passages souterrains

Des examens ont été effectués de la même façon dans 13 des principaux passages souterrains situés soit à la périphérie de Paris, soit en bordure de la Seine et leurs résultats sont résumés dans le tableau VI.

Il y a lieu de remarquer que la pollution des passages souterrains a été régulièrement croissante jusqu'en 1963 où elle atteint le niveau «notable» et s'y est stabilisée en 1964.

On constate également que la pollution moyenne est sensiblement proportionnelle à la longueur du tunnel, mais il y a parfois des valeurs anormalement élevées. Celles-ci peuvent s'expliquer par des circonstances particulières: blocage ou ralentissement de la circulation, dus notamment à des travaux de réfection.

Tableau VI *Teneurs moyennes en oxyde de carbone des échantillons d'atmosphère prélevés dans les passages souterrains de Paris*

Lieu des prélèvements	Longueur du passage (m)	Teneurs moyennes en oxyde de carbone (ppm) pour					Teneurs moyennes pour les 5 années
		1960	1961	1962	1963	1964	
Porte d'Italie	41	8,8	8,0	7,4	11,4	11,5	9,4
Porte de Choisy	74	14,1	14,0	12,6	16,0	19,1	15,2
Porte de Clignancourt	75	16,9	19,7	19,1	21,9	23,5	20,2
Pont du Carrousel	76	16,8	19,1	29,0	50,3	38,5	30,7
Porte de St-Ouen	82	18,9	31,4	21,2	32,1	25,8	25,9
Porte d'Asnières	100	22,6	15,4	15,6	22,6	25,1	20,3
Porte de la Chapelle	101	16,0	18,0	20,6	20,2	21,5	19,3
Av. de New-York	140	17,9	19,3	17,3	25,0	26,8	21,3
Pont de l'Alma	142	15,3	18,1	25,1	32,2	44,0	26,9
Porte Dauphine	254	17,7	22,0	20,1	28,2	29,7	23,5
Porte de la Villette	287	17,1	27,1	32,1	63,0	32,6	34,4
Porte Maillot	328	24,0	28,5	26,6	47,7	56,3	36,6
Porte de Champerret	490	32,4	42,7	40,0	53,2	60,9	45,8
Moyenne générale		18,3	21,8	22,1	32,6	30,6	25,1

Autres facteurs influençant le niveau de pollution

L'importance du parc automobile joue évidemment un rôle primordial. Nous avons essayé d'avoir une idée de l'intensité de la circulation par le comptage des voitures sur le quai des Tuileries, qui a donné les indications suivantes :

- Moyenne journalière en 1960: 50 957 véhicules
- Moyenne journalière en 1961: 55 891 véhicules
- Moyenne journalière en 1962: 55 758 véhicules
- Moyenne journalière en 1963: 51 138 véhicules
- Moyenne journalière en 1964: 53 892 véhicules

Toutefois, ces moyennes journalières concernant un point de Paris ne reflètent qu'imparfaitement les variations de la circulation générale et, d'autre part, comme de nombreux autres facteurs varient simultanément, on ne saurait s'attendre à une relation entre ces chiffres et les teneurs moyennes en oxyde de carbone. En effet, les courbes montrant les variations corrélatives du niveau moyen mensuel de la pollution et de l'intensité du trafic automobile au quai des Tuileries ne présentent qu'un très mauvais parallélisme, avec souvent des inversions.

De même, si l'influence saisonnière est certaine, elle est difficile à chiffrer, car notamment, les conditions météorologiques n'y sont pas semblables d'une année à l'autre.

On constate à l'examen du tableau VII que, si l'été est en général le moins pollué, ce qui paraît normal en raison de l'intense réduction de la circulation en

août, tandis que l'automne connaît, en moyenne, le maximum de pollution, explicable notamment par l'afflux de voitures au moment du Salon de l'Automobile, les différences sont cependant assez peu marquées et ce classement n'est pas constant chaque année.

Tableau VII *Influence saisonnière sur la teneur moyenne en oxyde de carbone des échantillons d'air prélevés dans Paris*

Saisons	Teneurs moyennes en oxyde de carbone (ppm)					
	1960	1961	1962	1963	1964	moyenne
Printemps	23,2	16,1	18,5	35,8	22,5	23,02
Eté	20,6	20,4	20,0	31,2	20,1	22,46
Automne	20,3	21,8	26,9	34,2	27,8	26,20
Hiver	26,0	20,7	18,4	24,8	25,0	22,98

La vitesse du vent a une action importante sur la pollution mais là encore trop de facteurs varient simultanément. C'est ainsi que, par exemple une période de vent faible se produit souvent au mois d'août alors que la circulation est très réduite. Le tableau VIII montre cependant que la pollution diminue lorsque la vitesse du vent augmente.

Tableau VIII *Influence de la vitesse du vent sur la teneur en oxyde de carbone des échantillons d'air prélevés dans Paris*

Vitesse du vent en nœuds	Teneurs moyennes en oxyde de carbone (ppm)					
	1960	1961	1962	1963	1964	moyenne
< 1	25,5	21,0	22,7	35,8	25,3	26,06
1 à 2	26,1	21,3	21,4	34,9	30,2	26,68
2 à 5	23,1	19,2	23,6	33,3	24,9	24,82
5 à 10	19,8	21,2	20,0	28,7	—	22,42
10 à 15	20,0	15,4	14,5	23,7	23,1	19,40
15 à 20	10,0	15,1	14,5	26,7	16,5	16,56
20 à 25	9,6	23,5	10,8	11,3	17,2	14,58
25 à 30	—	—	12,5	—	—	—

Résultats des enregistrements continus

De nombreux enregistrements de la teneur en oxyde de carbone de l'atmosphère ont été effectués en différents points de Paris, en même temps que d'autres déterminations dont il sera question plus loin. On peut citer particulièrement les lieux suivants :

Place Valhubert	du 6 au 10 mai 1963
Place de l'Opéra	du 13 au 17 mai 1963
Carrefour Richelieu-Drouot	du 10 au 14 juin 1963

Porte d'Orléans	du 24 au 28 juin 1963
Avenue Gabriel	du 1er au 5 juillet 1963
Pont de Saint-Cloud	du 8 au 12 juillet 1963

Variations de la teneur en oxyde de carbone

Les intégrations effectuées toutes les 15 minutes ont permis de déterminer les teneurs moyennes en oxyde de carbone pendant que l'on procédait au comptage des véhicules, ce qui a mis en évidence l'influence de l'intensité de la circulation, les courbes exprimant les variations de ces deux facteurs montrant un excellent parallélisme. Le tableau IX résume les résultats de ces déterminations.

Tableau IX *Teneurs moyennes en oxyde de carbone et circulation automobile*

Lieux d'enregistrement	de 8 h à 13 h		de 13 h à 18 h		de 18 h à 23 h	
	Teneur moyenne en oxyde de carbone (ppm)	Nb de voitures pendant 15 min.	Teneur moyenne en oxyde de carbone (ppm)	Nb de voitures pendant 15 min.	Teneur moyenne en oxyde de carbone (ppm)	Nb de voitures pendant 15 min.
Pl. Valhubert	11,4	531	11,6	514	13,5	444
Pl. Opéra	11,3	319	13,7	304	10,7	227
Cr Richelieu-Drouot	12,4	384	10,7	350	8,9	266
Pte d'Orléans	11,3	222	8,9	226	10,8	266
Pt de St-Cloud	7,8	118	7,0	118	10,1	137
Av. Gabriel	5,1	—	4,8	—	4,2	—

Répercussion sur l'imprégnation oxycarbonée des sujets exposés

Afin de rechercher les effets d'une exposition aux gaz d'échappement déversés sur la voie publique, il a été fait appel à 331 volontaires qui ont été séparés en deux groupes : fumeurs et non-fumeurs.

Chez les non-fumeurs, après 5 heures d'exposition, l'oxycarbonémie moyenne est passée de 0,28 à 0,39 ml d'oxyde de carbone pour 100 ml de sang, ce qui correspond à une augmentation de 39,5 pour 100.

Mais il est à noter que cette oxycarbonémie est très inférieure à celle du groupe des fumeurs dont la moyenne atteignait 0,87 ml pour 100 ml avant l'exposition. Fait paradoxal, il a été constaté une légère diminution de cette oxycarbonémie après cette exposition (0,81 ml de CO pour 100 ml de sang) car les sujets avaient cessé de fumer durant cette période.

Il était intéressant de comparer ces résultats à ceux obtenus en examinant le sang de conducteurs d'automobiles ayant fait l'objet d'un prélèvement en vue de la recherche de l'alcool conformément aux dispositions du décret du 18 juin

1955 relatif à la lutte contre l'alcoolisme. Il ressort de l'examen des courbes de la figure 1, que les conducteurs de véhicules automobiles sont statistiquement beaucoup plus exposés à l'oxyde de carbone que les personnes séjournant sur la voie publique. Ceci paraît dû au fait que la ventilation de beaucoup de voitures automobiles est assurée d'une façon tellement défectueuse qu'elle consiste à capter les gaz d'échappement de la voiture qui la précède.

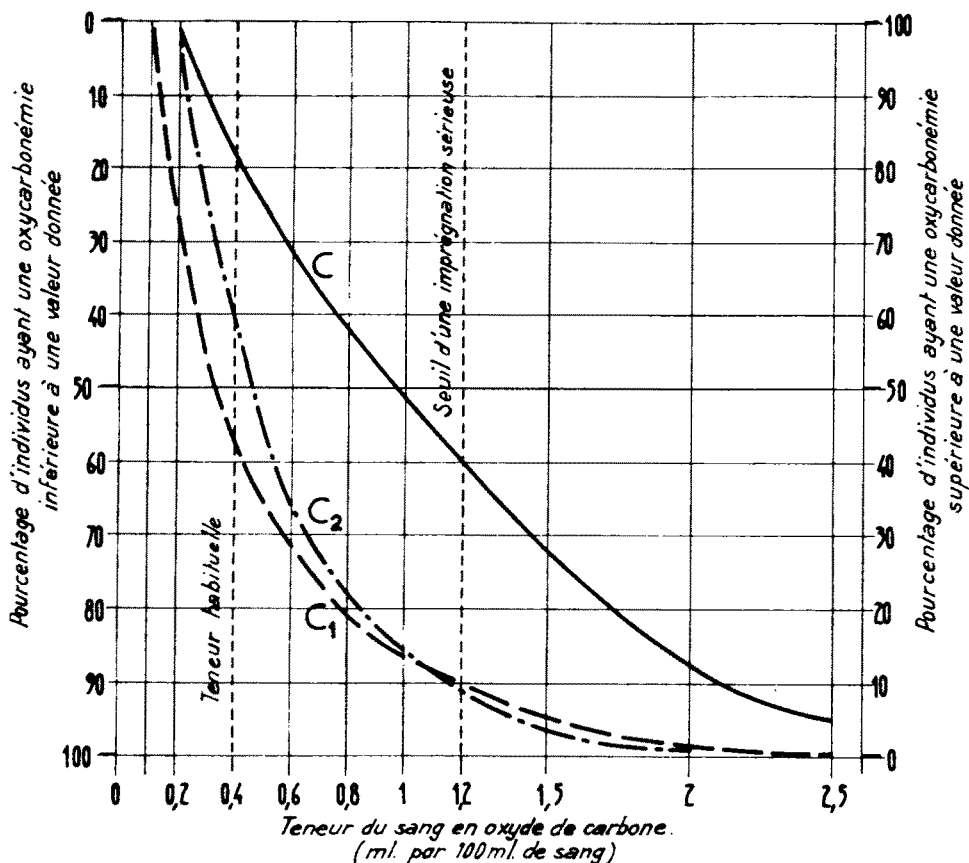


Fig. 1 Teneurs statistiques comparées en oxyde de carbone du sang
 C = des conducteurs automobiles (597 cas)
 C₁ = des gardiens de la paix avant la prise de service (331 cas)
 C₂ = des gardiens de la paix après la prise de service (331 cas)

Variation de la teneur en autres polluants

Parmi les autres polluants, le plomb et le benzo-3,4 pyrène ont été étudiés en même temps que l'on enregistrait la teneur en oxyde de carbone et l'intensité de la circulation.

Le rapport entre la teneur moyenne en plomb de l'atmosphère (comprise entre 3,25 et 9,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et le nombre moyen de véhicules passant en 15 minutes est remarquable et a été trouvé voisin de 2. Il était de 1,8, place de l'Opéra, de 1,9, place Valhubert, de 2,2 au carrefour Richelieu-Drouot, de 2,5 à la porte d'Orléans et, chiffre aberrant, de 6,0 au pont de St-Cloud, mais celui-ci peut s'expliquer par le voisinage d'industries travaillant le plomb.

Au contraire, dans le cas du benzo-3,4 pyrène, les teneurs ont varié considérablement, entre moins de 0,0009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 0,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sans aucun rapport avec l'intensité de la circulation.

Ces chiffres sont à comparer à ceux obtenus sur les bords de l'autoroute du sud, au voisinage de Barbizon.

		en microgrammes par mètre-cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Plomb	Benzo-3,4 pyrène
Autoroute du sud			
(côté Paris-Province)	Jour (6 jours)	0,9	0,006
	Jour (8 jours)	1,6	0,004
	Nuit (7 nuits)	1,7	0,010
Autoroute du sud			
(côté Province-Paris)	Jour (4 jours)	2,4	0,003
	Nuit (4 nuits)	1,2	0,006
Paris,			
rue de Dantzig	Matinée (22 jours)	3,3	0,500
	Après-midi		
	(10 jours)	3,3	0,400
	Nuit (16 nuits)	1,6	0,300

Contribution des véhicules à la pollution par le benzo-3,4 pyrène

Les très basses teneurs en benzo-3,4 pyrène (comparées à celles du plomb) trouvées sur les bords de l'autoroute du sud, en pleine campagne, montrent que la part des gaz d'échappement des véhicules automobiles, dans la pollution par cette substance, est relativement faible par rapport à celle des fumées des foyers domestiques et industriels. Nos expériences ont permis de la chiffrer à 10-20% au plus de la pollution générale par cette substance.

Adresse des auteurs: *L. Truffert, J. Lebbe, P. Chovin*, Laboratoire Municipal, 39 bis, rue de Dantzig, Paris XVe.