Pollution atmosphérique : Plombémie et trafic routier à Beyrouth

Atmospheric Pollution : Blood Lead levels and car traffic pollution in Beirut

Harés SLEIMAN*

Résumé

Notre étude sur la pollution atmosphérique cherche à définir une stratégie de mesures pour contrôler la pollution provoquée par le trafic routier au Liban et surtout dans la capitale, Beyrouth.

Le trafic routier est la source principale, presque exclusive, de la pollution atmosphérique en plomb à Beyrouth. Les conditions climatiques et saisonnières choisies pour réaliser la campagne de mesures sont favorables à la stagnation des polluants dans les zones urbanisées à outrance.

La plombémie moyenne des policiers de circulation, à Beyrouth, est de l'ordre de 92,47 ± 27,90 µg/l, avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 83,05 et 101,85 µg/l.

La moyenne mesurée du plomb urinaire est 44,12 ± 16,37 µg/l, avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 38,62 et 49,62 µg/l.

Le taux d'excrétion du plomb dans l'urine pour une même concentration de plomb dans le sang (Pbu/Pbs) est fonction de l'âge du sujet et de son degré d'exposition ([Pb] sang, et temps d'exposition) : pour un sujet soumis à une exposition élevée à la pollution plombée ([Pb] sang > 100 µg/l) pendant des périodes de temps continues (lieux de travail et domicile pollués), la capacité d'élimination du plomb dans l'urine (Pb u/s) s'affaiblirait d'année en année en fonction de l'histoire de l'imprégnation saturnine.

Abstract

Our study on atmospheric pollution aims to define a sampling strategy in order to control the pollution caused by car traffic in Lebanon, and especially in the capital Beirut.

The car traffic is the main source, nearly exclusive, of the Beirut's atmospheric pollution by lead. The sampling campaign is made under chosen climatic and seasonal conditions favorable to the stagnation of the pollutants in the over-urbanized areas.

The mean level of blood Lead in all examined policemen in Beirut was 92.47 ± 27.90 µg/l, with a confidence interval (95 % CI) of 83.05 to 101.85 µg/l.

The mean level of urine Lead was 44.12 ± 16.37 µg/l, with a confidence interval (95 % IC) of 38.62-49.62 µg/l).

The rate of excretion of lead in urine for the same concentration of lead in blood (Pbu/Pbs) is a function of the age of the policeman and of his degree of exposure ([Pb] Blood, and time of exposure) : for a policeman subject to a high level of exposure to lead pollution ([Pb] blood] > 100 µg/l) during continuous periods of time (both workplace and polluted living place), the capacity of lead elimination in urine (Pb u/s) would decrease from year to year as a function of the history of saturnine impregnation.

* *Université libanaise, Beyrouth. Faculté des Sciences 1. Département de Chimie et de Biochimie-Hadath. Rue Verdun – Centre ASSAF.*
E-mail : sleimanh@ul.edu.lb

Introduction

La pollution atmosphérique au Liban revêt une importance de plus en plus grande en raison de l'existence de différents facteurs :

– l'élargissement du champ d'action des carrières et des travaux publics ;

– les gaz émis des grandes usines (production d'électricité, cimenteries...) non soumis à un traitement écologique ;

– les différentes réactions de combustion des combustibles pour la production d'énergie.

Dans la capitale, Beyrouth, située sur la côte Est de la Méditerranée à une latitude nord de 33° 53′ et une longitude est de 35° 33′, l'excessive centralisation administrative et économique a concentré la moitié de la population libanaise et 70 % des activités du pays.

Il en résulte un flux de circulation de voitures et de moyens de transport très dense, aggravé par :

– l'habitude des Libanais à n'utiliser que leurs propres voitures ;

– le manque d'extension du réseau de transports en commun ;

– les moteurs de voiture qui, très usés au Liban, donnent naissance à des combustions défectueuses et incomplètes ;

– le rétrécissement des espaces verts.

Les polluants atmosphériques émis par ces véhicules sont constitués d'hydrocarbures, d'oxydes de carbone, d'oxydes d'azote, et de composés particulaires parmi lesquels on compte les éléments minéraux et notamment le plomb provenant de l'additif antidétonant de l'essence.

L'utilisation d'une essence à teneur en plomb très élevée (0,5 g/l) et la non-exigibilité par les autorités du pot catalytique accroissent les conséquences nocives de la circulation routière sur la santé publique.

Le plomb

De tous les polluants atmosphériques, aérosols, dérivés de soufre, CO, CO_2, NO_x, le plomb (Pb) constitue le plus dangereux pour l'homme, car la durée de son séjour dans l'atmosphère, après son émission, peut atteindre les trois semaines, alors qu'il n'en est pas de même pour les autres polluants qui peuvent subir des assimilations chlorophylliennes par la verdure des montagnes côtières (cas du CO_2) ou être transformés par réaction chimique ou lessivés par dilution dans l'eau (cas des SO_x et des NO_x).

Le plomb est un élément non biodégradable ; il pénètre dans l'organisme à partir de l'air, de l'eau et de l'alimentation.

Le Center for Disease Control (CDC) aux États-Unis, a signalé, dans un rapport publié en 1991, que d'après des études, les effets nocifs du plomb commençaient à se faire sentir lorsque sa concentration dans le sang atteignait 100 µg/l. Le CDC soulignait dans son rapport que le plomb est un poison qui affecte presque tous les systèmes organiques du corps.

L'intoxication, aiguë ou chronique, constitue le **saturnisme** ; les organes cibles du plomb sont le système nerveux, le sang, le système cardiovasculaire, le système reproductif, et les reins [1-4].

Le plomb minéral, non biodégradable, pénètre dans l'organisme vivant essentiellement par voie respiratoire ; il est véhiculé par le sang et distribué à raison de 94 % dans les os (période de l'ordre de 30 ans) et de 6 % dans les autres tissus (cheveux, urine...) dont 4 % dans le sang (période de l'ordre d'un mois) [5].

Une atmosphère contenant 15 à 25 µg/m³ de plomb est toxique pour l'homme. La directive européenne du 3 décembre 1982 a fixé une valeur limite pour le plomb contenu dans l'atmosphère par 2 µg/m³ en moyenne arithmétique annuelle [6], tandis que la valeur recommandée par l'OMS est 0,5 à 1 µg/m³.

Pour toutes ces raisons, les problèmes posés par le plomb ont constitué une préoccupation légitime des hygiénistes et des toxicologues.

Dosage du plomb dans l'environnement

Durant une trentaine d'années, les travaux publiés dans ce domaine, ont été très nombreux et diversifiés. Outre l'étude des répercussions sur la santé humaine [5-9] et du mode d'action biochimique [2, 10-12], les traces de plomb ont été l'objet de différents tests de mesures dans le sol [13, 14], les couches glacières de régions polaires (Murozumi, Patterson, 1969, 1971), l'air [15, 17-20], ainsi que dans des bio-accumulateurs végétaux [21-26], dans différents pays du monde. La contamination des tissus du corps humain par le métal a été relevée par des dosages dans le sang [1, 3, 27], l'urine [3], les cheveux, les ongles, et les dents de lait des enfants (Marecek, 1983).

Plomb atmosphérique et trafic routier

Le trafic routier est souvent la source d'émission de plomb la plus importante à laquelle l'homme est exposé. Elle représente plus de 90 % de toutes les émissions de plomb atmosphérique dans de nombreuses zones urbaines [4].

En 1978, les émissions dans l'air ambiant de plomb d'origine automobile au Canada [28] auraient compté pour 63 % des émissions totales de plomb dans l'environnement, 80 % au Québec.

Sur une base générale, on devrait s'attendre à une bonne corrélation entre la concentration de plomb dans l'air et la consommation d'essence au plomb. La diminution des teneurs en plomb dans les carburants – de 0,4 à 0,15 g/l – a certainement contribué à une amélioration de la qualité de l'air et à une diminution des concentrations atmosphériques

en plomb dans différentes villes de par le monde ; à Genève (– 58 % au niveau de la rue) [18], Yokohama (– 82 %), dans le New Jersey (– 46 %), et à Berlin (– 68 %).

De même en France, la pénétration massive des pots catalytiques sur les véhicules neufs au début des années 90 et la consommation croissante de carburant sans plomb ont diminué la teneur atmosphérique en plomb dans différentes villes (Strasbourg : 20,5 % ; Paris : 30,1 % ; Lille : 31,4 % ; Lyon : 38,2 % ; Le Havre : 38,6 % ; Montpellier : 43,5 %) [19].

Plomb hématique et trafic routier

La teneur en plomb atmosphérique influence le taux sanguin et ce dernier est proportionnel au log (Pb atmosphérique) ; dans la ville de Patras en Grèce [1] la moyenne des taux sanguins des enfants de 10 à12 ans était de 140,4 µg/l au centre de la ville où le plomb atmosphérique était de 0,278 µg/m^3, et de 120 µg/l à la périphérie où le plomb atmosphérique était de 0,136 µg/m^3.

Des études effectuées, entre 1984 et 1990, sur la population des centres-ville urbains italiens [27] (Imperia, Vintimille et San Remo), ont montré qu'une diminution de la moyenne des niveaux de plomb hématiques, chez 213 personnes examinées, est provoquée par une baisse de la teneur en plomb dans l'essence des voitures. L'influence sur la plombémie du trafic routier à proximité du domicile et du lieu de travail, ainsi que des variables individuelles (tabagisme, âge, sexe) ont été également étudiées.

Émission du plomb à Beyrouth

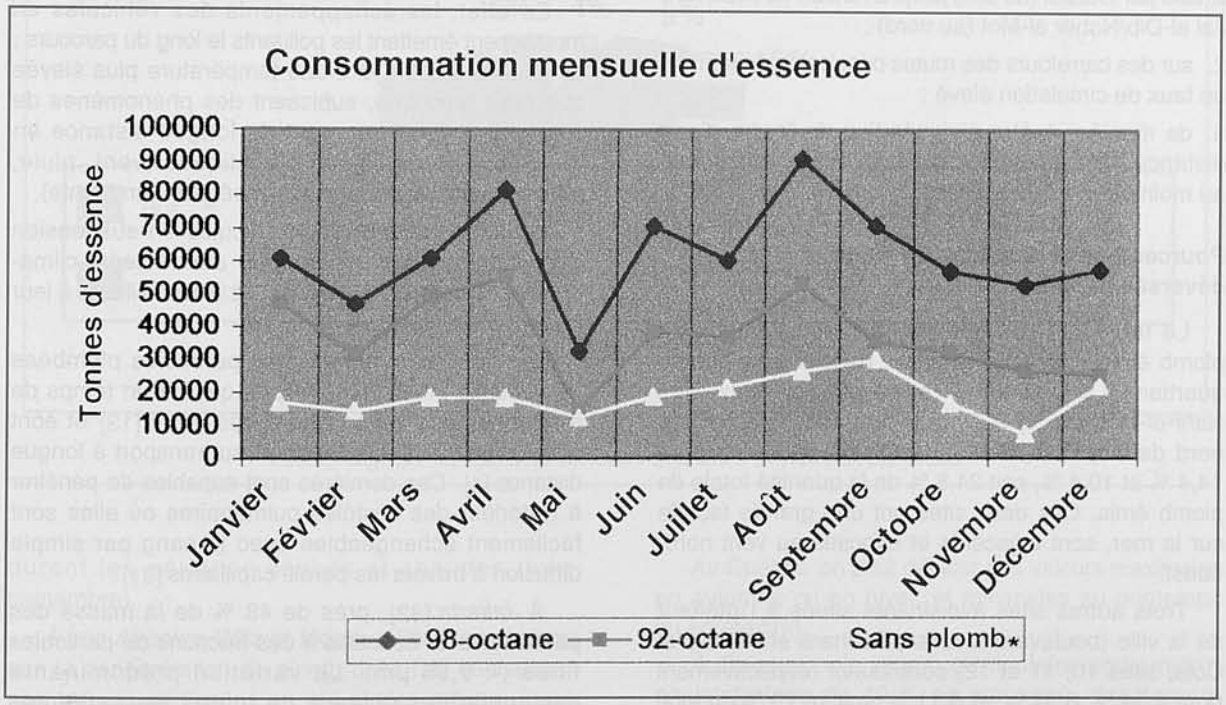
L'agglomération de la capitale Beyrouth, qui fait l'objet de notre étude, possède peu d'industries et de ce fait le plomb atmosphérique résulte presque exclusivement de la combustion de l'essence des véhicules dans la ville.

Un dosage du plomb dans les feuilles vertes de trois types d'arbres (laurier-rose, ficus, eucalyptus) a été réalisé à l'Université libanaise [26]. Les arbres choisis sont situés soit dans des régions littorales et résidentielles, qui présentent une circulation active de véhicules, soit le plus loin possible des véhicules dans les régions montagneuses.

À l'exception de l'eucalyptus qui n'accumule pas le plomb, les auteurs mettent en évidence que la teneur en plomb dans les feuilles des deux autres types d'arbres est fonction de l'exposition aux gaz d'échappement des véhicules utilisant de l'essence plombée.

Au Liban, la consommation d'essence a régulièrement augmenté durant les dernières années. Néanmoins, l'utilisation d'essence sans plomb est très limitée et ne dépasse pas 16 % de la consommation totale d'essence à l'échelle nationale et 20 % à Beyrouth.

Le bilan mensuel (1998) de livraison d'essence par les compagnies pétrolières aux stations de distribution – suivant les relevés du ministère de l'Industrie et du Pétrole libanais – est représenté dans la figure 1. Il présente une variation mensuelle très appréciable, avec surtout une forte élévation aux mois d'avril, juin,



* Octane unleaded.

Figure 1.
Distribution mensuelle de la consommation d'essence en 1998.
Monthly distribution of gasoline consumption in 1998.

août et septembre. Cette variation mensuelle au niveau national s'applique de même à Beyrouth à l'exception du mois d'août au cours duquel l'augmentation notable de consommation d'essence est due à des activités estivales dans les régions montagneuses.

Estimation des quantités de plomb émises à Beyrouth par le trafic routier

Dans un premier temps, nous avons essayé d'apprécier l'émission de plomb à Beyrouth à partir de la combustion d'essence des véhicules dans la capitale.

Nous nous sommes basés sur une étude [29, 30], faite au printemps 1994, qui révèle le nombre de véhicules en circulation dans différents points de Beyrouth et la variation de ce nombre suivant les jours de la semaine et les heures de pointe.

Nous avons établi une méthode de calcul mathématique [16], (*voir* Annexe ci-contre) capable de déterminer l'émission du plomb dans les différents quartiers de Beyrouth et ses banlieues.

Sites choisis à Beyrouth

Nous avons choisi 23 points repartis sur environ 25 km^2 de surface et classés suivant cinq régions à Beyrouth (*voir* Figure 3, p. 288).

Le choix est fait :

1. de manière que les sites soient repartis approximativement sur toute la surface du grand Beyrouth limitée par Ouzaeï (au sud) jusqu'à l'entrée du boulevard Jal al-Dib/Naher al-Mot (au nord) ;
2. sur des carrefours des routes principales présentant un taux de circulation élevé ;
3. de manière à être éloignés l'un de l'autre d'une distance suffisante pour qu'une voiture consomme au moins 200 ml d'essence.

Pourcentage et quantités de plomb déversés par site

Le tableau 1, p. 289, montre les quantités de plomb émises, chaque semaine, dans chaque site ou quartier de la capitale. Il révèle que les deux sites Nahr-el-Mot (site 1) et Dora (site 2), situés à l'entrée nord de Beyrouth, contribuent respectivement pour 14,4 % et 10,4 %, soit 24,8 % de la quantité totale de plomb émis. Ces deux sites ont une grande façade sur la mer, sont adjacents et exposés au vent nord-ouest.

Trois autres sites avoisinants situés à l'intérieur de la ville (boulevard Mazraa, Béchara el Khoury et Cola, sites 10, 11 et 12) contribuent respectivement pour 4,34 %, 6,34 %, et 6,11 %, soit 16,79 % du total du plomb émis. Cette région possède une forte densité de population et un entassement d'immeubles élevés.

D'une façon générale, tous les sites présentent un taux de circulation élevé en début de semaine (lundi et mardi) mais, alors que les sites aux entrées de la ville voient ce taux augmenter en fin de semaine (samedi et dimanche), les autres sites présentent une diminution du taux de circulation pour ces deux mêmes jours.

En 1994, la quantité moyenne calculée du métal déversé dans la capitale était de l'ordre de 560 ± 100 kg par semaine, à laquelle s'ajoutaient les quantités de plomb émises pendant les heures d'embouteillage (20 %) et celles émises par la circulation sur les routes secondaires et internes des quartiers (10 %). Si nous ajoutons à ces deux facteurs, l'augmentation de 16 % de la consommation d'essence depuis 1994, nous estimons la quantité minimale émise à Beyrouth en 1998 de l'ordre de 850 kg par semaine (*voir* Tableau 1, p. 289).

Le bilan quotidien, en 1994, de la quantité de plomb émise dans toute la ville est représenté dans la figure 4, p. 290 ; cette quantité présente un maximum de 83 ± 15 kg le mardi, et un minimum de 75,5 ± 13,6 kg le dimanche ; la variation quotidienne relative maximale en quantité de plomb déversée est de l'ordre de 10 %.

Influences climatiques et topographiques

Il est évident que les valeurs calculées du plomb émis pour chaque site dans notre modèle mathématique ne sont pas déversées ponctuellement, et la relation recherchée entre ces valeurs et les concentrations de plomb dans l'atmosphère n'est pas spontanée.

En effet, les échappements des véhicules en mouvement émettent les polluants le long du parcours ; de plus, ces gaz ayant une température plus élevée que celle ambiante, subissent des phénomènes de dispersion et de transport de longue distance en fonction des conditions climatiques (vent, pluie, pression, atmosphérique et température ambiante).

Le comportement des particules en suspension dans l'atmosphère, par rapport aux facteurs climatiques et météorologiques, est lié à leur taille et à leur forme aérodynamique.

Les voitures émettent des particules plombées très petites, inférieures à 1 µm, qui ont un temps de résidence dans l'atmosphère très élevé [13] et sont susceptibles à la dispersion et au transport à longue distance [4]. Ces dernières sont capables de pénétrer à l'intérieur des alvéoles pulmonaires où elles sont facilement échangeables avec le sang par simple diffusion à travers les parois capillaires [31].

À Jakarta [32], près de 48 % de la masse des particules sont associés à des fractions de particules fines (< 0,95 µm). La variation prédominante mensuelle des niveaux de toutes les particules matérielles en suspension dans l'atmosphère est associée à la variation mensuelle des pluies. Des niveaux élevés de ces particules ont été observés

Annexe.
Méthode de calcul mathématique.

Paramètres pour calculer la masse du Pb émis par les échappements des voitures à Beyrouth

Nous avons adopté les données suivantes :

1. L'estimation de la distance moyenne parcourue par une voiture consommant 20 litres d'essence à Beyrouth est de 120 km. Cette valeur sera à peu près de 80 km aux heures d'embouteillage.

La distance parcourue = 120 km/20 litres d'essence → 6 km/l d'essence.

La quantité de plomb émise durant les heures de pointe sera multipliée par 1,5 = (120/80).

Le volume minimal d'essence consommé lors d'un passage par un site sera de 200 ml. (Le parcours moyen par site est de 1,2 km).

2. La concentration en additif du Pb dans l'essence est ≡ 0,5 g/l d'essence [4].

3. Selon les statistiques, 84 % des voitures au Liban utilisent l'essence au plomb et 16 % l'essence sans plomb ; selon une enquête faite par notre groupe dans les stations de distribution d'essence de la capitale, 20 % des voitures utilisent de l'essence sans plomb.

4. Cinq pour-cent des véhicules sont des camions qui utilisent le mazout comme source d'énergie.

5. La moyenne du plomb émis par l'échappement des voitures représente 75 % de la masse d'additif de plomb utilisé dans l'essence.

6. Dans chaque région où une station a été mise en place, le minimum de consommation d'essence est de 200 ml (dans chaque station).

Méthode de calcul [16]

Ve = % de voitures à essence = 95 % ;

Vt = nombre de voitures total passant par un site ;

R_{Pb} = rapport de consommation d'essence avec plomb = 0,8 = 80 % ;

C_{Pb} = concentration d'essence en additif au plomb = 0,5 g/l ;

V_M = volume moyen d'essence consommé en un site/passage = 200 ml ;

% Qt = % du plomb émis par l'échappement/additif en plomb dans l'essence = 75 %.

Quantité du Pb émis en g dans l'atmosphère/jour

$$=. Vt. Ve. C_{Pb.} R_{Pb.} V_{M.} \% Qt.$$

Calcul d'incertitude $\Delta m/m = 0,18$ ou 18 %.

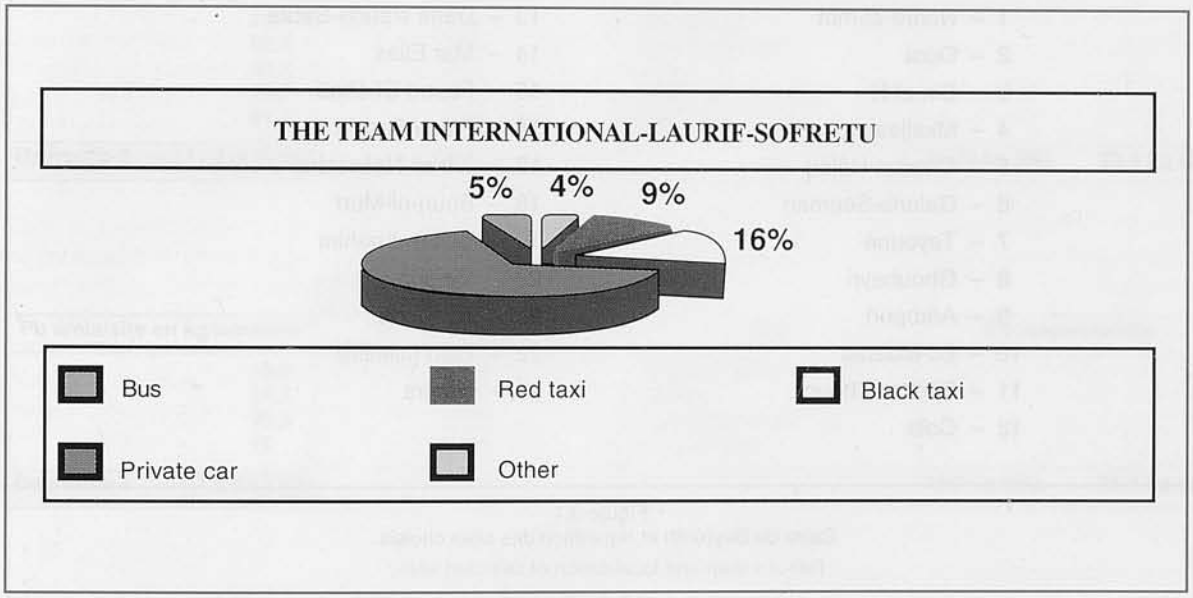


Figure 2.
Pourcentage par catégorie de véhicules circulant à Beyrouth et banlieues.

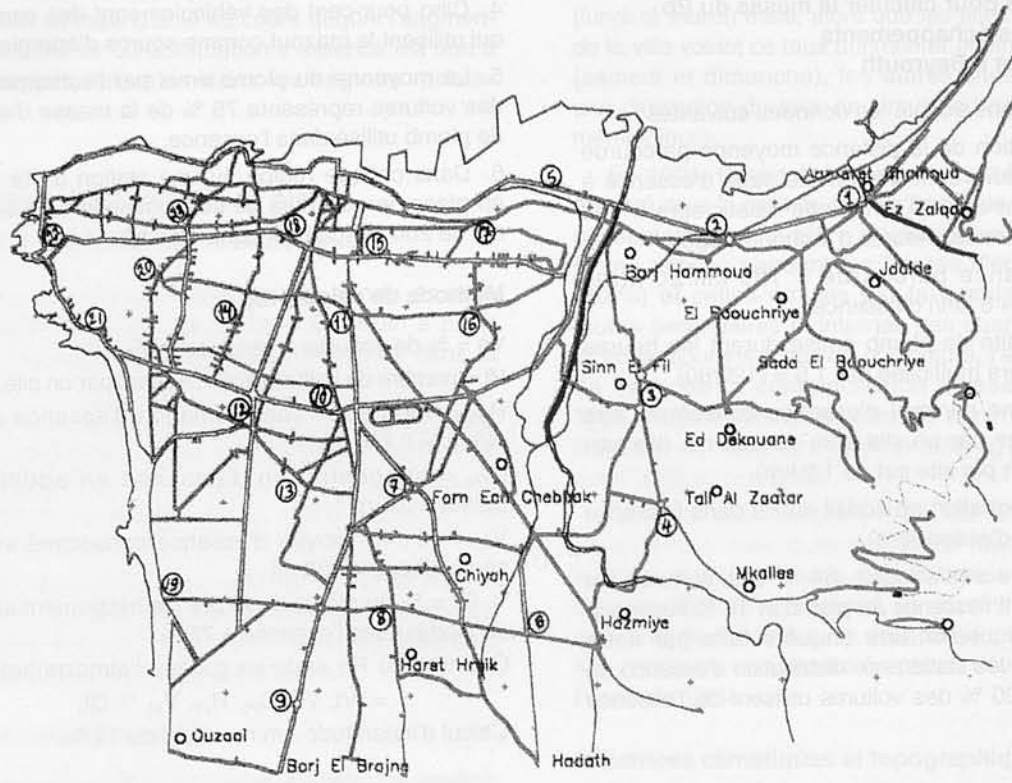
durant les périodes sèches et chaudes (juin-septembre).

À Los Angeles, Witz et Moore (1981) ont observé que la concentration de plomb dans l'air connaissait des valeurs minimales en été et des valeurs maximales en hiver ; ce cycle était attribué à une fréquence d'inversions de température et de vents calmes plus grande en hiver qu'en été.

Au Québec, on peut déceler des valeurs maximales en automne ou en hiver, et minimales au printemps ou en été [28].

À Genève, « le plomb particulaire sous-micronique diminue de 49 % en moyenne, directement après une chute de pluie ou de neige » [18].

Une étude faite pour surveiller le plomb particulaire dans des sites urbains *en France* [19] révèle « qu'en



1 – Nahre-el-mot
2 – Dora
3 – Sin-el-fil
4 – Mkalless
5 – Charles Hélou
6 – Galerie-Seeman
7 – Tayouné
8 – Ghoubeyri
9 – Aéroport
10 – Bd-Mazraa
11 – Béchar-Khoury
12 – Cola
13 – Dana station-Sabra
14 – Mar Elias
15 – Fouad Chéhab
16 – Place Sassin
17 – Alfred-Nakcache
18 – Bourj-el-Murr
19 – Sultan-Ibrahim
20 – Verdun
21 – Raouché
22 – Bain militaire
23 – Hamra

Figure 3.
Carte de Beyrouth et répartition des sites choisis.
Beirut's map and localization of selected sites.

période hivernale d'anticyclone (basse température, haute pression, vent faible) les mauvaises conditions de dispersion atmosphérique se traduisent par une augmentation des concentrations de tous les polluants, y compris du plomb, et que des taux d'hygrométrie élevée sont associés à des faibles concentrations de polluants ».

Beyrouth connaît deux saisons principales : l'une humide et pluvieuse qui s'étend de mi-novembre à mi-avril, durant laquelle la capitale subit généralement l'influence des vents du nord-ouest ; l'autre, sèche, qui va de mi-avril jusqu'à mi-novembre, au cours de laquelle la ville subit, pendant la deuxième moitié du printemps, l'influence des vents de « mousson » du sud-ouest, légers et modérés.

La topographie de la région polluée exerce une influence directe sur la diffusion des polluants :

- la dispersion augmente dans les espaces ouverts (mer, forêt...) ;

Tableau 1.
Estimation de l'émission de plomb dans les différents sites et zones de Beyrouth.
Assessment of lead emissions in different Beirut's sites and areas.

	JDAYDé		
Pb émis/site en kg/semaine	**% de Pb émis/site**	**Site**	**Pb moyenne/site**
80,5	14,4	Nahr-el-Mot	
58,3	10,4	Dora	
23,3	4,16	Sin-el-fil	
29	5,2	Mkalless	
25,7	4,6	Charles Hélou	
JDAYDé 217 ± 39 kg	**39,3 %**		**43,4 kg (1994) 65 kg (1998)**

	BAABDA		
Pb émis/site en kg/semaine	**% de Pb émis/site**	**Site**	**Pb moyenne/site**
14,6	2,61	Galerie-Seeman	
24,2	4,33	Tayouné	
15,7	2,80	Ghoubeyri	
19,9	3,56	Aéroport	
BAABDA 74,4 ± 13,4 kg	**13,3 %**		**18,6 kg (94) 27 kg (98)**

	Beyrouth-2		
Pb émis/site en kg/semaine	**% de Pb émis/site**	**Site**	**Pb moyenne/site**
24,3	4,34	Bd-Mazraa	
35,5	6,34	Béchara-Khoury	
34,2	6,11	Cola	
79,7	1,42	Dana station-Sabra	
91,7	1,64	Mar-Elias	
Beyrouth-2 111,2 ± 20 kg	**19,8 %**		**22,25 kg (94) 33,4 kg (98)**

	Beyrouth-3		
Pb émis/site en kg/semaine	**% de Pb émis/site**	**Site**	**Pb moyenne/site**
18,3	3,30	Fouad Chéhab	
24,3	4,33	Sassin	
90,5	1,60	Alfred-Nakcache	
16	2,90	Bourj-El-Murr	
Beyrouth-3 67,7 ± 12,2 kg	**12,1 %**		**16,9 kg (94) 25,4 kg (98)**

	Beyrouth-1		
Pb émis/site en kg/semaine	**% de Pb émis/site**	**Site**	**Pb moyenne/site**
19,2	3,43	Sultan-Ibrahim	
12,5	2,2	Verdun	
23,7	4,23	Raouché	
23,3	4,15	Bain militaire	
11	1,97	Hamra	
Beyrouth-1 89,7 ± 16 kg	**16 %**		**17,9 kg (94) 26,9 kg (98)**

Total : (1994) 560 ± 100 kg/semaine	**100,02**	**Total (1998) 850 ± 153 kg/semaine**

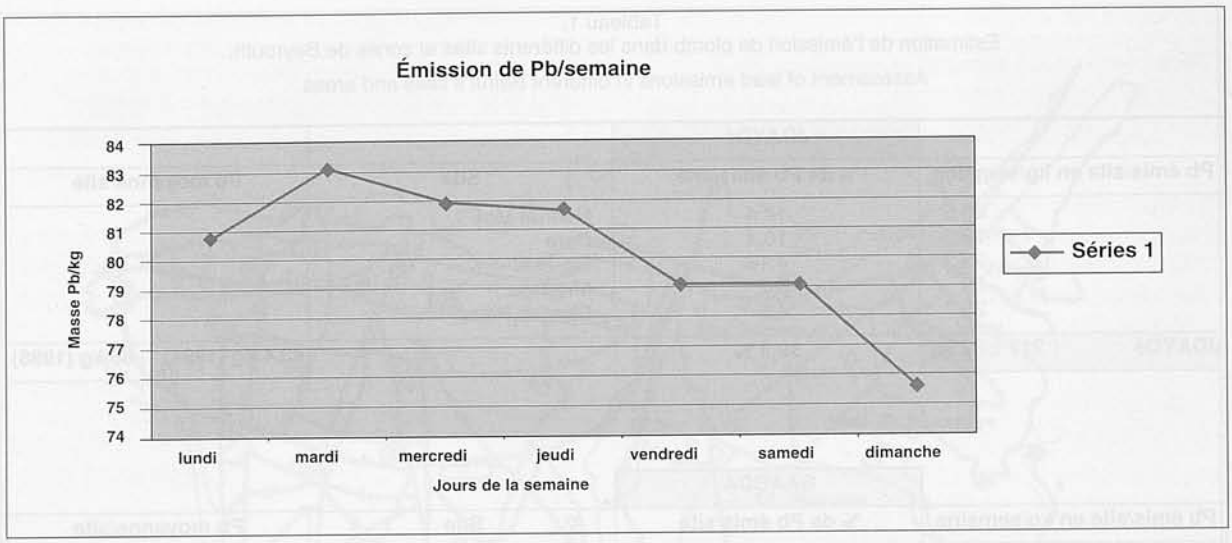


Figure 4.
Variation quotidienne de plomb total émis à Beyrouth (1994).
Daily variation of total lead released in Beirut (1994).

• l'accumulation ou la stagnation augmente dans les régions urbanisées à outrance, dans les rues « canyon » [20] ou dans les vallées...

• un obstacle naturel tel qu'une colline peut limiter l'échange air-polluant entre deux zones avoisinantes ;

• de même le gradient vertical de la température peut favoriser ou non une dispersion. La présence en altitude d'une couche chaude constituant un véritable couvercle peut empêcher les polluants émis de s'élever (inversion de température) [31].

Nous avons regroupé les sites du tableau 1, p. 289, en cinq grandes zones :

Jdaydé, Baabda, Beyrouth-1, Beyrouth-2, et Beyrouth-3.

Dotée d'une façade maritime, la zone Jdaydé s'étend au pied du versant du Mont-Liban et longe la rive nord du fleuve de Beyrouth. Son rythme d'urbanisation est modéré.

Beyrouth-3, urbanisée à outrance, constitue une colline qui surplombe, à l'est, le fleuve de Beyrouth et descend à l'ouest en pente douce vers la mer.

Beyrouth-1, souffre d'une urbanisation élevée et constitue de même une colline qui descend graduellement vers la mer à l'ouest et finit en falaise rocheuse abrupte au sud.

Entre les deux zones Beyrouth-1 et Beyrouth-3 s'étend le couloir de Beyrouth-2, zone centrale de Beyrouth qui s'avance, à l'ouest, vers la mer et aboutit, à l'est, à la zone plane de Baabda située au sud des autres zones.

Ces zones correspondent approximativement aux zones administratives des champs d'action de chaque régiment de la police du trafic routier du grand Beyrouth (capitale et banlieues).

Pourcentage d'émission de plomb par zone

Le tableau 1, p. 289, regroupe les sites géographiquement avoisinants, suivant des grandes zones, en montrant le pourcentage et la quantité de plomb (en kg par semaine) émis dans chaque zone.

La figure 5 ci-contre, montre la variation hebdomadaire des quantités de plomb déversées dans chaque zone. À l'exception de Baabda qui présente un léger maximum le dimanche, toutes les autres zones présentent des maximums le mardi ; les minimums sont observés le vendredi à Jdaydé, le lundi ou le dimanche à Beyrouth-2, et le dimanche à Beyrouth-1 et Beyrouth-3.

Les deux zones Baabda et Beyrouth-3 présentent des quantités quotidiennes de plomb émises strictement égales et plus faibles que les trois autres zones, où les quantités de plomb émises croissent dans l'ordre Beyrouth-1, Beyrouth-2 et Jdaydé.

Mesures du plomb dans le sang et dans l'urine des policiers de la circulation à Beyrouth

Fixation du plomb dans l'organisme

La demi-vie sanguine du plomb est de 19 jours environ, de 21 jours dans les tissus mous et de 20 ans dans le squelette (TGMT 1976). La plombémie reflète la quantité de plomb absorbée la plus récente [33]. C'est un bon indicateur pour évaluer l'intoxication si l'exposition est stable, car le plomb sanguin reflète l'équilibre instantané entre le plomb reçu par l'individu et celui absorbé par les tissus où il se dépose (os, rein, foie) [34].

Dans le sang, 95 % du plomb est fixé sur les globules rouges en raison de son affinité avec les groupements thiols (SH) qui font partie des constituants

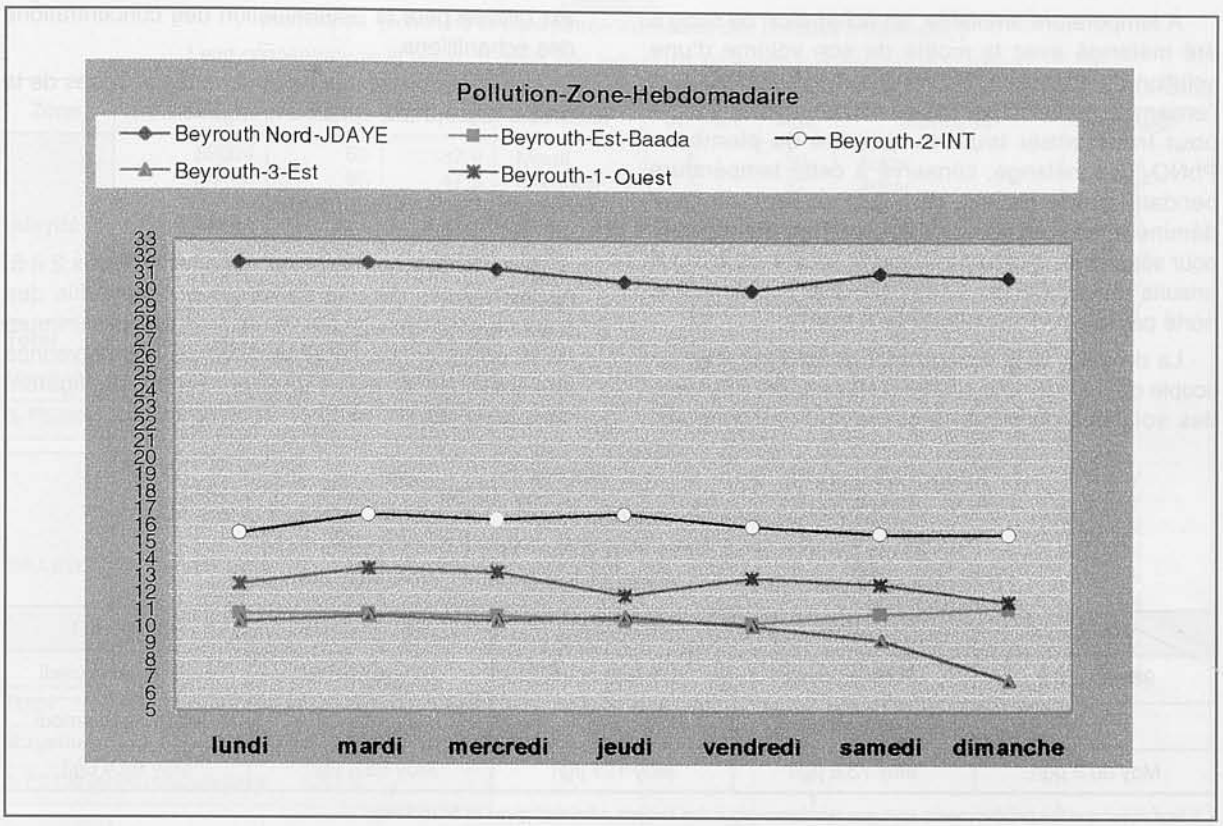


Figure 5.
Variation quotidienne du plomb déversé dans chaque zone de Beyrouth (1994).
Daily variation of lead released in each area of Beirut (1994).

protéiques membranaires des hématies ; les 5 % restants s'attachent aux protéines plasmatiques [2, 35].

La voie d'excrétion principale du plomb étant le rein, la concentration urinaire est proportionnelle au plomb plasmatique qui dépend ainsi de la plombémie (le plomb dans le plasma est fonction de l'exposition et de la quantité fixée par les hématies). La plomburie reflète la quantité de plomb non absorbée filtrée par les reins, et elle varie notamment avec les paramètres interindividuels.

Méthodes et matériels

Une corrélation entre la quantité émise de plomb par la circulation routière et le taux sanguin de plomb chez une personne travaillant à proximité de la route, n'est pas évidente et dépend d'un grand nombre de paramètres qui doivent être pris en considération pour choisir des conditions de mesures adéquates.

Période d'étude

Le choix de la fin du printemps, qui est à Beyrouth une saison sèche, à température modérée et vent calme, du mois de juin qui correspond à un maximum de consommation d'essence (l'augmentation de la consommation en août étant liée aux activités estivales dans les régions montagneuses), et le choix des jours de prélèvement sont faits en fonction des données précitées.

Durant la première semaine de juin 1999, les concentrations de plomb dans le sang et l'urine des 37 hommes policiers, dont l'âge était compris entre 22 et 51 ans, ont été évaluées ; les prélèvements ont été effectués en fin de service journalier.

Sélection des policiers et paramètres individuels

Un policier, préposé à un rond-point (site) pendant huit heures de travail durant la journée et quotidiennement muté à différents sites situés dans la même zone, a été choisi comme sujet type pour subir les prélèvements de sang et d'urine.

Pour chaque policier, un questionnaire spécial a été rédigé, contenant des informations de base (âge, nombre d'années de service, lieux de travail et de résidence), des données d'intérêt statistique concernant les habitudes individuelles (tabac, alcool, lait) et d'autres relatives à des maladies ou troubles nécessitant l'administration de médicaments contenant des métaux (Ca, Mg) qui favorisent l'élimination du plomb.

Méthode de dosage

La spectrométrie de masse couplée à une émission plasma (ICP/MS), qui est une technique bien adaptée au dosage des traces de métaux en solution, a été utilisée.

À température ambiante, un échantillon de sang a été mélangé avec la moitié de son volume d'une solution de scandium, Sc, (500 µg/l + 5 % HNO_3), et l'ensemble est traité par l'acide nitrique très concentré pour transformer toute la quantité de plomb en $PbNO_3$. Le mélange, conservé à cette température pendant quatre heures, dilué par addition de l'eau déminéralisée, est centrifugé pendant 30 minutes pour séparer les globules rouges ; le liquide est introduit ensuite dans l'ICP où il sera nébulisé en aérosol et porté par le flux d'une décharge d'argon.

La détection et le dosage sont réalisés par spectroscopie de masse ; une courbe d'étalonnage, faite avec des solutions de plomb à concentrations connues, est utilisée pour la détermination des concentrations des échantillons.

Les échantillons d'urine sont traités et dosés de la même façon, mais sans centrifugation.

Résultats et interprétation

Les résultats sont exposés dans les tableaux 2 à 5, et représentés dans la figure 6. La plombémie des policiers examinés en service varie entre un minimum de 46 µg/l et un maximum de 152 µg/l. Les moyennes mesurées, le même jour dans la même zone, figurent dans le tableau 2.

Tableau 2.
Plombémie moyenne des policiers dans chaque zone mesurée le même jour*.
Mean lead blood concentration of policemen in each area measured the same day.

Jdaydé	Baabda	Beyrouth-2	Beyrouth-3	Beyrouth-1
98 µg/l-jeudi	74,5 µg/l-jeudi	123 µg/l-mardi	97 µg/l-mardi	70,5 µg/l-mercredi
	73 µg/l-vendredi			116,25 µg/l-samedi
Moy 90,3 µg/l	Moy 73,8 µg/l	Moy 123 µg/l	Moy 83,4 µg/l	Moy 93,4 µg/l

* Il faut noter que les prélèvements sont peu nombreux pour des raisons administratives et financières.

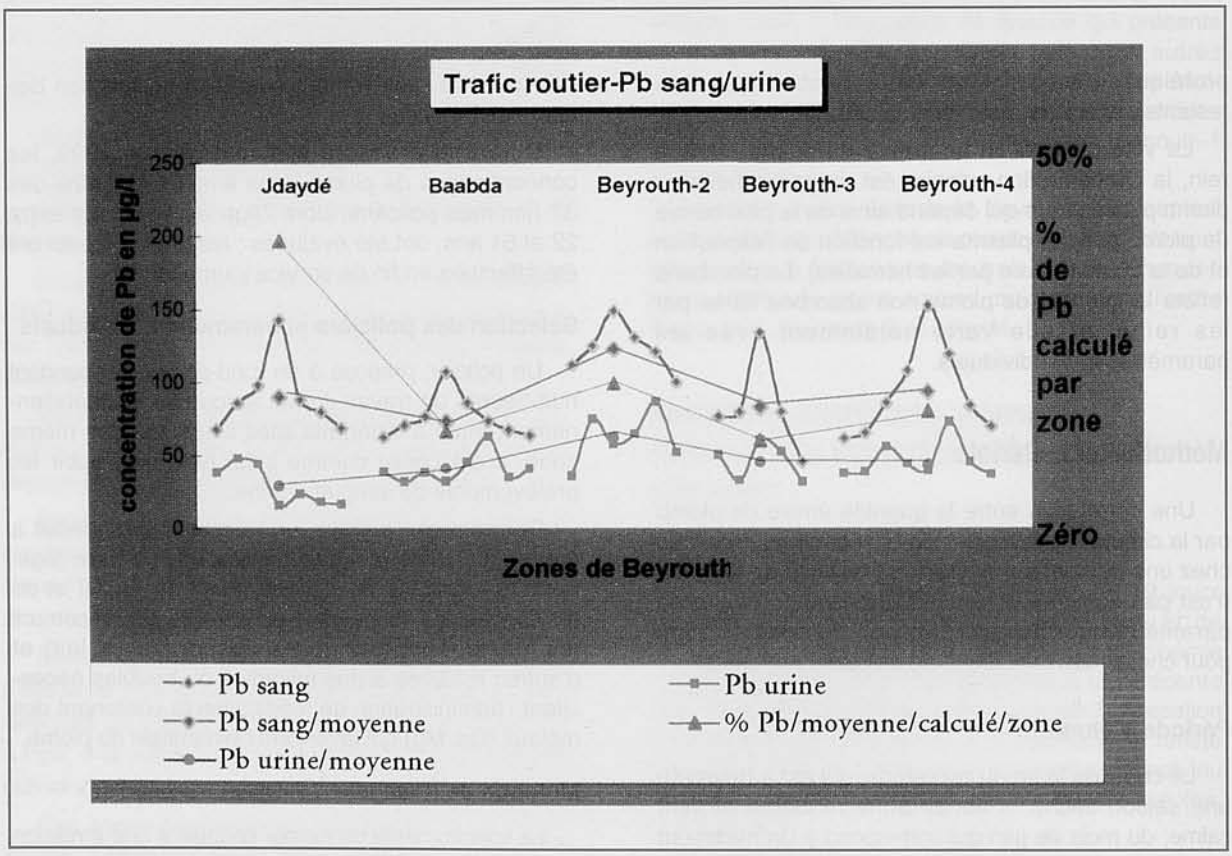


Figure 6.
Taux de plomb dans le sang, l'urine et celui du trafic routier à Beyrouth.
Lead concentrations in blood, in urine, and level of car traffic in Beirut.

Tableau 3.
Plombémie, plomburie et paramètres individuels des policiers à Beyrouth.
Lead concentrations in blood, in urine, and individuals parameters of policemen in Beirut.

Zone	Références	Pb Sang[a]	Pb Urine[a]	Journée	Serv/an	Âge	Domicile	Fumeur
Jdaydé	88004	68	37,9	Mardi	5	30	Ackar	N
	88138	86	47,5	Mercredi	5	27	Ackar	Y
	88120	98	43,8	Mercredi	5	27	Ackar	Y
	97234	143	15,6	Jeudi	0,5	39	Jdaydé	N
	97238	88	23,6	Jeudi	5	30	Jdaydé	Y
	97237	80	17,7	Jeudi	0,5	30	Jdaydé	Y
	97230	69	16,5	Jeudi	5	42	Jdaydé	Y
Total		632	202					
Moyenne		90,29	28,85					
% Pb/moyenne calculé/zone		39,3 %						
BAABDA	88611*	43*	32,1*	Vendredi	5	27	Banlieue nord	Y
	88411	63	39	Jeudi	5	29	Bekaa	Y
	88409	71	32	Jeudi	5	29	Bekaa	N
	88410	77	38,3	Jeudi	5	26	Bekaa	N
	88426	86	45,5	Jeudi	4	26	Banlieue sud	N
	88538	107	32,2	Vendredi	4	32	Banlieue nord	N
	88497	74	63,1	Vendredi	5	31	Nabatié	Y
	88582	68	35,1	Vendredi	4	28	Chouf	Y
	88408	64	41	Jeudi	4	31	Bekaa	N
Total		610	362,2					
Moyenne		76,25	40,77					
% Pb/moyenne calculé/zone		13,3 %						
Beyrouth-2	89402**	100**	39,2**	Jeudi	6	51	Banlieue nord	N
	88029	112	36	Mardi	4	30	Banlieue sud	Y
	88034	125	74,8	Mardi		29	Chouf	Y
	88027	149	57,8	Mardi	11	35	Banlieue sud	N
	88020	131	64,8	Mardi	5	32	Banlieue sud	Y
	88028	121	86,7	Mardi	4	27	Bekaa	N
	88033	100	52	Mardi	4	28	Banlieue sud	N
Total		738	372,2					
Moyenne		123	62,3					
% Pb/moyenne calculé/zone		19,8 %						
Beyrouth-3	90071	77	50,4	Mardi	7	33	Banlieue nord	N
	90360	80	32,5	Jeudi	5	23	Chouf	N
	90067	134	60,9	Mardi	5	27	Bekaa	N
	90070	80	52,5	Mardi	5	33	Banlieue sud	N
	90672	46	31,8	Samedi	5	27	Banlieue sud	N
Total		417	228,1					
Moyenne		83,4	45,62					
% Pb/moyenne calculé/zone		12,1 %						
Beyrouth-1	90176	62	37,6	Mercredi	5	32	Banlieue sud	Y
	90178	66	38,8	Mercredi	5	32	Banlieue sud	Y
	89616	86	55,8	Samedi	3	22	Banlieue sud	N
	89607	108	44	Samedi	4	29	Beyrouth	Y
	89608	152	39,9	Samedi	5	29	Banlieue sud	N
	89604	119	73	Samedi	5	29	Banlieue sud	Y
	89628*	105*	30,9*	Samedi	4	27	Banlieue sud	Y
	90177	84	45,7	Mercredi	4	28	Nabatié	N
	90190	70	36,4	Mercredi	6	39	Banlieue sud	N
Total		747	370,6					
Moyenne		93,37	46,32					
% Pb/moyenne calculé/zone		16 %						

* Le policier n'était pas en service le jour des prélèvements.
** Service administratif essentiellement.
[a] Les concentrations de plomb dans le sang et l'urine sont exprimées en µl/l.
Y : fumeur ; N : non-fumeur.

Tableau 4.
Effet du domicile sur le taux d'excrétion du plomb dans l'urine Pb(u/s).
Effect of living place on the lead excretion rate in urine.

	Pb sang N total	Pb sang-domicile		Pb urine N total	Pb (u/s)-domicile	
		Beyrouth	Hors Beyrouth		Beyrouth	Hors Beyrouth
Nombre	34	20	14	34	20	14
Moyenne	92,5	96,6	86,6	44,1	45,2 %	56,1 %
DS	27,9	30,4	23,8	16,4	17,7	12
IC à 95 % inf	83	82,2	74,2	38,6	37,4 %	49,8 %
IC à 95 % sup	101,9	109,9	99,2	49,6	53%	62,4 %
Minimum	46	46	63	15,6	10,9 %	40,6 %
Maximum	152	152	134	86,7	69,1 %	85,3 %
		P > 0 05			P < 0 05	

Les concentrations sont exprimées en microgrammes de plomb par litre de sang ou d'urine (µg/l).

Les moyennes des taux de plomb hématique mesurées pendant deux jours de la même semaine sont les mêmes à Baabda jeudi et vendredi, alors qu'elles présentent une différence appréciable entre mercredi et samedi dans la zone Beyrouth-1.

Les concentrations de plomb dans l'urine ont été également déterminées. Elles varient entre 15,6 µg/l et 86,7 µg/l. Leurs variations ne sont comparables à celles du sang, ni par individu, ni par valeurs moyennes ; en effet les taux de plomb dans le sang et dans l'urine sont liés, et de la même façon, à la concentration du plomb particulaire atmosphérique et au temps d'exposition à la pollution, mais le volume de la sécrétion urinaire et la quantité de plomb qui y existe dépendent en outre de plusieurs facteurs individuels (maladies, médicaments, boissons, alimentation) et du temps de prélèvement.

Nous avons représenté dans la figure 6, p. 292, les différentes mesures faites dans le sang (points bleus) et l'urine (points roses) des policiers examinés, arrangées suivant les différentes zones, en calculant pour chaque zone un taux moyen de plombémie (ligne rouge) et un autre pour le plomb urinaire (ligne noire).

De plus nous avons rapporté sur cette figure le taux du plomb émis dans chaque zone (ligne verte) et calculé à partir du flux de circulation du trafic routier.

À l'exception de Jdaydé, on remarque généralement une corrélation assez claire, dans chaque zone, entre le taux moyen de plomb hématique et le taux de plomb émis par le trafic routier ; cette corrélation nous conduit à plusieurs déductions :

- le trafic routier est la source principale, presque exclusive, de la pollution atmosphérique en plomb à Beyrouth ;
- les conditions climatiques et saisonnières choisies, pour réaliser la campagne de mesures, sont favorables à la stagnation des polluants dans les zones urbanisées à outrance ;
- à Jdaydé, zone longeant la côte maritime, exposée, au printemps, au vent sud-ouest, et d'urbanisation moyenne, les polluants subissent une forte dispersion ;
- dans d'autres conditions favorables à la stagnation à Jdaydé, doit-on s'attendre à une moyenne de plombémie de l'ordre de 200 µg/l ?

Effets du domicile et de l'âge

Pour l'analyse statistique de l'échantillon, on a utilisé les essais suivants : test de Student (t-test) et intervalles de confiance pour la différence entre les deux moyennes.

Le taux moyen du plomb hématique des policiers examinés est de 92,5 ± 27,9 µg/l (IC à 95 % 83-101,9 µg/l), celui du plomb dans l'urine est de 44,1 ± 16,4 µg/l (IC à 95 % 38,6-49,6 µg/l).

Pour les policiers résidant dans la capitale, le taux moyen du plomb hématique est de 96,6 ± 30,4 µg/l, (IC à 95 % 82,2-109,9 µg/l), celui des résidents des régions éloignées est de 86,6 ± 23,8 µg/l (IC à 95 % 74,2-99,2 µg/l) ; cette différence n'est pas statistiquement significative (p > 0,05).

La relation Pb urine-domicile n'est pas statistiquement significative ; en revanche, la relation entre le pourcentage de plomb urinaire par rapport au plomb hématique et le domicile (Pb urine/Pb sang-domicile), c'est-à-dire le taux d'excrétion du plomb dans l'urine pour une même concentration de plomb dans le sang Pb(u/s) révèle l'existence de deux moyennes statistiquement significatives (p = 0,04) :

– l'une, la plus faible, pour les policiers résidant à Beyrouth, est de (45,2 ± 17,7) % ;

– l'autre plus élevée est de (56,1 ± 12) % pour les sujets qui habitent dans les régions éloignées.

Ce taux d'excrétion du plomb dans l'urine est fonction de l'âge du sujet et de son degré d'exposition ([Pb] sang, temps d'exposition) ; en effet nous avons subdivisé l'échantillon des policiers en quatre groupes selon leur domicile et leur degré d'exposition (Tableau 5) :

Tableau 5.
Effet de l'âge sur le taux d'excrétion du plomb dans l'urine Pb (u/s).
Age effect on the lead excretion rate in urine.

	Nombre d'échantillons	Corrélation Pb (u/s)-Âge
Domicile à Beyrouth Pb sang > 100 µg/l	8	– 0,58
Domicile à Beyrouth Pb sang ≤ 100 µg/l	12	– 0,36
Domicile hors Beyrouth Pb sang > 100 µg/l	3	0,06
Domicile hors Beyrouth Pb sang ≤ 100 µg/l	11	0,73

Le taux d'excrétion du plomb dans l'urine Pb (u/s) pour le groupe 1 est en corrélation négative avec l'âge des sujets examinés (r = – 0,58). Cela signifie que pour un sujet soumis à une exposition élevée à la pollution plombée ([Pb sang] > 100 µg/l), pendant des périodes de temps continues (lieux de travail et domicile pollués), la capacité d'élimination du plomb dans l'urine (Pb u/s) s'affaiblirait d'année en année en fonction de l'histoire de l'imprégnation saturnine.

Un tel phénomène est décrit dans la littérature dans des études faites chez des enfants et des adultes [34, 36] et illustre l'aspect cumulatif de l'absorption du métal par le corps humain.

En revanche, pour le groupe 4, ce taux Pb (u/s) est en corrélation positive avec l'âge des sujets examinés (r = + 0,73) ; pour un faible degré d'exposition ([Pb] sang faible et temps d'exposition court), un sujet plus âgé semble avoir une concentration de plomb dans l'urine relativement plus grande qu'un autre plus jeune.

Ce fait pourrait être attribué à une proportion assez élevée d'atteinte rénale, liée à la qualité de l'eau dans les régions éloignées de Beyrouth ou à une déminéralisation osseuse, deux phénomènes qui s'accentueraient avec l'âge. Le plomb se substituerait au calcium dans ce cas et sa concentration augmenterait.

Conclusion

Les effets biochimiques du plomb commencent à apparaître à des concentrations de Pb de 100 µg/l. À partir de cette concentration les premiers signes biochimiques de l'intoxication saturnine ont été décelés : une inhibition de la déshydratase de l'acide Δ-amino-lévulinique.

Au-delà de 200 µg/l : une élévation de la protoporphyrine érythrocytaire [1] ; en effet le plomb altère la synthèse de l'hème et donc la formation de l'hémoglobine dans le globule rouge. L'anémie n'apparaît que pour des niveaux d'exposition élevés (500 à 800 µg/l) mais les enzymes impliquées dans la synthèse de l'hème sont, au contraire, affectées par des concentrations en plomb du sang aussi faibles que 100 µg/l... [2], et se traduisent par l'altération du système enzymatique assurant la formation du sang.

Les taux moyens observés dans notre échantillon montrent que nous sommes juste au seuil de cette étape, surtout dans les deux zones Jdaydé (68 à 143 µg/l) et Beyrouth-2 Cola (100 à 149 µg/l).

Cette situation nécessite l'installation, à Beyrouth, d'un système de surveillance permanente des polluants atmosphériques et en particulier du plomb particulaire.

Deux études ont adopté la plombémie comme indicateur de la pollution atmosphérique due au trafic routier :

– la première en Italie [27] a évalué, en 1990, la plombémie dans des centres urbains italiens situés près de la frontière italo-française. La valeur moyenne globale trouvée était égale à 7,87 ± 8,3 µg/100 ml, soit 78,7 ± 83 µg/l ;

– la seconde en Grèce [1], a été menée chez des habitants de la ville de Patras. La moyenne du taux sanguin d'un échantillon mesuré dans deux quartiers, l'un central et l'autre périphérique, était de 140,4 µg/l au centre – où le Pb atmosphérique était de

Tableau 6.
Comparaison des plombémies dans différentes villes du monde.

Ville	Liban Beyrouth	Italie Imperia, Vintimille et San Remo	Grèce Patras	France # villes
Moyenne	92,47 µg/l	78,7 µg/l	centre : 78,7 µg/l périphérie : 120 µg/l	120 à 170 µg/l
DS	27,9 µg/l	83 µg/l		

278,6 ng/m^3, et de 120 µg/l à la périphérie où le Pb atmosphérique était de 136 ng/m^3 ;

On constate que le taux moyen de la plombémie dans les sites urbains à Beyrouth est supérieur à celui des sites urbains en Italie, mais inférieur à celui mesuré en France [2] et dans les zones rurales et résidentielles à Patras.

Aujourd'hui, les mesures de réduction des métaux lourds, notamment du plomb, portent leurs fruits. Elles améliorent la qualité de l'air dans le monde.

Une diminution du taux du plomb dans les carburants améliorerait énormément la qualité de l'air.

De plus, il serait indispensable d'imposer le pot catalytique afin d'augmenter la consommation des carburants sans plomb et de réduire l'émission des polluants d'origine véhiculaire (hydrocarbures, NO_x, SO_x, benzopyrène...).

Cette étude a montré l'importance de la façade maritime qui limite les effets de l'accumulation des polluants, en assurant leur dispersion. Une urbanisation à outrance au nord de la capitale surtout dans les zones Jdaydé, Dora rend l'aération de ces zones très difficile et favorise la stagnation des polluants ; il en est de même de la percée des autoroutes au cœur des quartiers résidentiels urbanisés à outrance (centre-ville, aéroport).

Mots clés

Pollution atmosphérique. Trafic routier. Plomb. Plombémie. Beyrouth. Sciences de l'environnement. Spectrométrie de masse couplée à une émission plasma (ICP/MS).

Keywords

Atmospheric Pollution. Car traffic. Lead. Blood lead levels. Beirut. Environmental sciences. Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry (ICP/MS).

Références

1. Kondakis XG, Athanassoulis TL. Impact du plomb particulaire atmosphérique à faible concentration sur le plomb sanguin. Pollution Atmosphérique 1985 ; Avril-Juin : 103-6.
2. Dally S, Fournier PE. Le Plomb atmosphérique – Aspects médicaux, Pollution Atmosphérique Juillet-Septembre 1984 : 195-8.
3. Lide DR. Spectrum Lead. Handbook of chemistry and physics, 78th Edition 1997-1998 : 7439-92.
4. Lovie M. Removal of Lead from Gasoline Pollution – Prevention and Abatement Handbook, World Bank 1997 : 1-16.
5. Viala A, Gouezo F. Action sur la santé humaine des métaux lourds (Pb, Cd, Hg, V) en suspension aérienne aux faibles concentrations. Pollution Atmosphérique Octobre-Décembre 1988 : 389-94.
6. Alary R, Donati J. Influence de la baisse de la teneur en plomb des carburants sur la teneur en particules plombifères de l'atmosphère en région parisienne. Pollution atmosphérique 1990 ; 128 : 449-52.
7. Burgher F, Blomet J, Mathieu L. Le risque chimique et la santé au travail (Essai de toxicologie réflexive). Éditions Prevor Moulin de Verville – 95760 Valmonda, France, 1ère édition 1996.
8. Conso F. Intoxication par le plomb : Physiopathologie, épidémiologie, diagnostic. Rev Prat 1991 ; 41 : (16).
9. Risque pour la santé du fait de l'environnement, par 100 spécialistes de 15 pays. Organisation Mondiale de la Santé, Genève 1972.
10. Lauwerys R. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 3e édition. Masson Éd, Paris 1992.
11. Chorin R, Poussel A. Physico-chimie et physiopathologie des polluants atmosphériques. Masson Éd, Paris 1973.
12. Dumont D, Letienne F. Intoxication par le plomb : Physiopathologie, épidémiologie, traitement. Rev Prat 1994 ; 44 : 557-63.
13. Steinnes E, Allen RO, Petersen M, Rambeak JP. Evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway, from long-rang atmospheric transport. Sci Total Environ, Elsevier Science 1997 ; 205 : 255-66.
14. Piron-Frenet M, Bureau F, Pineau A. Accumulation de plomb dans le sol à proximité d'une route de campagne. Relation avec la circulation automobile. Pollution atmosphérique 1992 ; 134 : 101-7.
15. Monna F, Lancelot J, Groudace IW, Cundy W, Andrew B, Lewis JT. Pb isotopic composition of airborne particulate material from France and the Southern United Kingdom : Implication for Pb pollution sources in urban areas. Université de Montpellier 2, France. Environmental Science and Technology 1997 ; 31 (8) : 2277-86.

16. Kanj HS. Pollution atmosphérique, Intoxication par le plomb. Maîtrise de chimie. Université libanaise, Faculté des Sciences, juin 1998.
17. Cercasov V, Pantelica A, Salagean M, Scheiber H. Comparative evaluation of some polluants in the airborne particulate matter in Eastern and Western Europe : Two-city study, Bucharest - Stuttgart. University of Hohenheim, Institute of Physics, Germany. Environmental pollution, Elsevier 17 March 1998.
18. Boesch P, Haerdi W. Mesures du plomb et du brome contenus dans les particules de l'air de Genève (1981-1983). Pollution atmosphérique Avril-Juin-1984 : 90-101.
19. Olier JP, Vidal JP, Stroebel R. Surveillance du plomb particulaire atmosphérique en sites urbains. Pollution atmosphérique Janvier-Mars 1990 ; 129 : 31-7.
20. Donati J, Person A. Exposition à la pollution automobile en milieu urbain. Pollution atmosphérique Janvier-Mars 1989 ; 9-17.
21. Santa Maria JM, Martin A. Influence of air pollution on the nutritional status of Navarras forests, Spain. Department of chemistry and soil science, University of Navarra. Pergamon, 1 February 1997.
22. Grunhage L, Dammgen U, Hanel HD. Response of a grassland ecosystem to air polluants. 4 The chemical climate : Concentrations and potentiel flux densities of relevant criteria polluants. Institute for plant ecology, University of Giessen, Germany. Environmental pollution, Elsevier.
23. Herpin U, Markert B. Retrospective analysis of heavy Metal concentrations at selected localisation in Federal Republic of Germany. Using moss material from a herbarium. Sci Total Environ 1998 ; 1977 (27) : 12.
24. Mackenzie AB, Logan EM, Cook GT, Pullford ID. Distributions, inventories and isotopic composition of lead in ^{210}Pb-Dated peat cores from contrasting bio-geo-chemical environments : Implication for lead mobility. Sci Total Environ, Elsevier Science 1998 ; 223 : 25-35.
25. Brighina L, Ravanelli M, Minelli A, Ercoli L. The use an epiphyte Tillandsia (Caput-medusae morren) as bioindicator of air pollution in Costa Rica. Sci Total Environ, Elsevier Science ; 198 : 175-80.
26. Karam AF, Maamari A, Rizkallah CH. Dosage du plomb dans les feuilles vertes des arbres. Maîtrise de chimie, Université libanaise, Faculté des Sciences juin 1995.
27. Perdelli F, Di Bello F, Cristina ML, Perdelli L, Sartini M. Niveaux du plomb hématique et trafic des véhicules, comparaison entre 1990 et 1984. Pollution atmosphérique. Juillet-Septembre 1994 : 110-6.
28. Leduc R. Le plomb dans l'air ambiant au Québec. Pollution atmosphérique Octobre-Décembre 1985 ; 292-8.
29. Plan de circulation routière au grand Beyrouth CDR مجلس الانماء والإعمار .خطة النقل لبيروت الكبرى
TEAM international LAURIF SOFRETU Oct. 1995. تشرين الاول ١٩٩٥ تيم انترناسيونالـــ يوريف سفرتو
30. Plan de circulation routière au grand Beyrouth مجلس الانماء والإعمار خطة النقل لمنطقة بيروت الكبرى
CDR TEAM international LAURIF SOFRETU, Nov. 1994. .جمع المعلومات التقرير رقم٤ تشرين الثاني ١٩٩٤. تيم انترناسيونال يوريف سفرتو
31. Guesin G, Thomazean. Environnement. Tome 3. Paris 1979 : 461-8.
32. Linda Y, Hooper MA. Size-resolved airborne particles and their morphology in central Jakarta. Gippsland centre for environmental science, MONASH University, Churchil-Victoria 3842, Australia. Pergamon 30 September 1996.
33. Juillard G, Pelle-Duporte D. Exposition au plomb, le rôle du médecin du travail dans la stratégie de prévention. Arch Mal Prof et Médecine du travail 1997 ; 1-2.
34. Duc M, Kaminsky P, Klein M. Intoxication par le plomb et ses sels. Encyclopédie de chimie et de biochimie, Paris, France 1994.
35. Duc M, Klein M. Métaux (4e partie) : Plomb, Thallium, Vanadium, Zinc. Encyclopédie de chimie et de biochimie 1991 ; 8 (17902T-9).
36. Smith J. Inorganic Lead. USA. Édition 1998 California 1998 : 113.

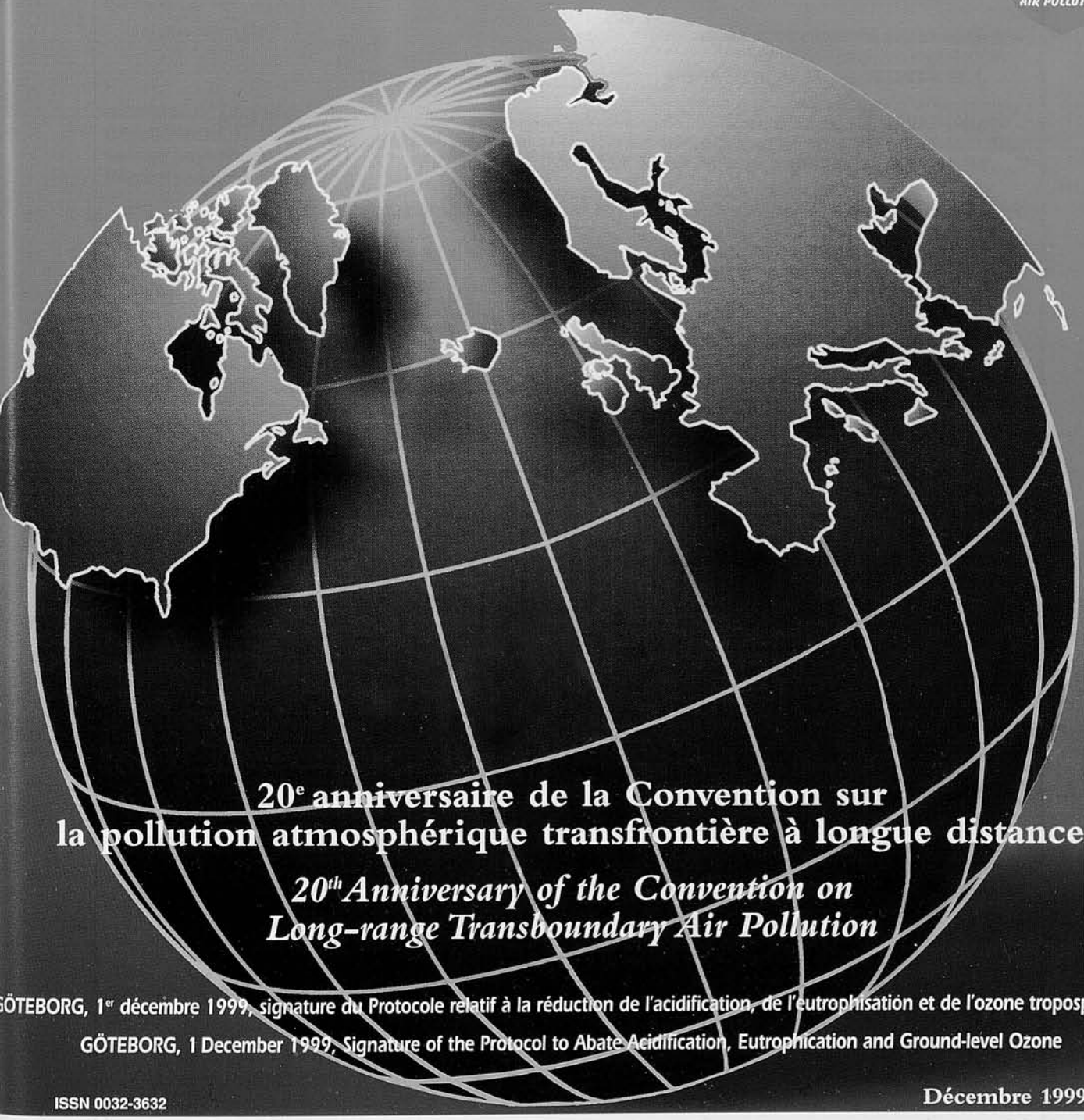
Numéro spécial 20e anniversaire

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies

United Nations, Economic Commission for Europe

HERALDING 20 YEARS OF INTERNATIONAL COOPERATION TO REDUCE AIR POLLUTION



20e anniversaire de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance

20th Anniversary of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution

GÖTEBORG, 1er décembre 1999, signature du Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique

GÖTEBORG, 1 December 1999, Signature of the Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone

ISSN 0032-3632

Décembre 1999

Publié avec le concours du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, et de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

NUMÉRO SPÉCIAL 20e ANNIVERSAIRE DE LA CONVENTION SUR LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE À LONGUE DISTANCE

- Éditorial

  Développement de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance sous les auspices de la CEE-ONU
  Convention on Long-range Transboundary Air Pollution under the auspices of UN/ECE
  L. NORDBERG

- Déclaration ministérielle de Göteborg - 1er décembre 1999
  Gothenburg ministerial declaration - 1 December 1999

- Historique de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance
  The history of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
  A. JAGUSIEWICZ

- EMEP
  Dr M. WILLIAMS

- Inventaires des émissions de polluants
  Air pollutant emission inventories
  J.-P. FONTELLE, R. BOUSCAREN

- Modèle RAINS, un outil d'évaluation des stratégies régionales de contrôle des émissions en Europe
  The RAINS model : a tool for assessing regional emission control strategies in Europe
  M. AMANN, J. COFALA, C. HEYES, Z. KLIMONT, W. SCHÖPP

- Questions posées par l'emploi du modèle RAINS pour l'étude des stratégies de réduction de la pollution atmosphérique transfrontière
  Questions concerning the use of the RAINS model for the study of strategies for the reduction of transboundary atmospheric pollution
  G. LANDRIEU

- Effets des polluants sur l'environnement et activités de recherches de la Convention de Genève sur la pollution de l'air à longue distance
  Effects of pollutants of the environment and research activities conducted by the Geneva Convention on Long-range air pollution
  C. ELICHEGARAY

- CEE-ONU et ADEME : une longue et fructueuse coopération dans le domaine de l'industrie
  UN/ECE and ADEME : A long lasting and fruitful cooperation in the industrial field
  A. MILHAU

- Aspects économiques des travaux engagés dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance
  Economic aspects of the work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
  Dr H. WUESTER

- Analyse technico-économique des techniques de réduction des émissions de polluants atmosphériques
  Technico-economic assessment of abatement techniques for air pollutants
  O. RENTZ, S. NUNGE, T. HOLTMANN, M. LAFORSCH, T. ZUNDEL

- Forum Pollution Transfrontière
  Transboundary Pollution Forum
  R. BOUSCAREN

- Une coopération innovante, mais est-ce efficace ?
  Innovative co-operation, but is it effective?
  C. ÅGREN

- 1999 : Nouvelle phase – nouveaux objectifs
  1999: New phase – new objectives
  V.-G. SOKOLOVSKY

- Perspectives des États-Unis sur le Protocole visant à réduire l'acidification, l'eutrophisation et l'ozone troposphérique
  Perspective of United States on Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone
  J. CLARK, W. HARNETT, K. SCAVO

Prix de ce numéro spécial : France 209 F TTC - 31,86 €
Étranger 209 F - 31,86 €