

EVALUATION DE L'EXPOSITION DES CITADINS AUX POLLUANTS D'ORIGINE AUTOMOBILE AU COURS DE LEURS DEPLACEMENTS DANS L'AGGLOMERATION PARISIENNE

Annie COURSIMAULT, Claudie DELAUNAY, Ghislaine GOUPIL
Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCP)^{*}
contact : ghislaine.goupil@interieur.gouv.fr

Anne-Marie LAURENT, Yvon LE MOULLEC, Alain PERSON
Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP)^{**}
contact : lhvp1_ylm@club-internet.fr

Cette étude a été réalisée de janvier 1996 à février 1998, en partenariat entre le LCP^{*} et le LHVP^{**}, dans le cadre du programme Primequal-Predit. Elle s'inscrit dans le thème de recherche "Mesure des aérocontaminants et évaluation de l'exposition des populations".

En région parisienne, le citoyen passe souvent plus d'une heure par jour dans les moyens de transport, à titre personnel ou professionnel. De ce fait, dans une démarche d'évaluation de l'exposition atmosphérique quotidienne, la contribution des déplacements doit être prise en considération.

Les objectifs de l'étude étaient d'établir une classification des modes de transport selon les niveaux d'exposition, d'analyser les facteurs d'influence, de comparer les résultats obtenus aux données du réseau de surveillance de la qualité de l'air, aux valeurs de référence nationales ou internationales et aux données publiées.

Aspect méthodologique

Cinq modes de déplacement, représentatifs de ceux utilisés en région parisienne, ont été considérés : véhicules particuliers, transports en commun (bus, métro, RER), marche et bicyclette. Tous modes confondus, 19 trajets de typologies différentes ont été retenus : 12 dans Paris (intra-muros, boulevard circulaire et boulevard périphérique), 6 en proche banlieue et 1 en banlieue éloignée. Pour les trajets automobiles, les véhicules utilisés étaient trois voitures de service, deux équipées d'un moteur à essence et une à motorisation diesel. Les mesures ont été effectuées aux heures de forte affluence du matin (7h-9h30) et de fin d'après-midi (17h-19h). Les prélèvements individuels d'air ont été réalisés par du personnel volontaire non fumeur des deux laboratoires. Leur durée a été fixée à environ 1 heure, ce qui correspond au temps moyen de déplacement du citoyen en région parisienne pour se rendre de son domicile à son lieu de travail et réciproquement. Pour chaque situation, les mesures réparties en hiver et en été, ont été répétées 40 à 50 fois ce qui conduit globalement à près de 900 déterminations par polluant. Les indicateurs suivis sont les contaminants majeurs des émissions automobiles : monoxyde de carbone (CO), monoxyde et dioxyde d'azote (NO, NO₂), hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) et particules appréciées par l'indice de fumée noire (FN). L'analyseur de CO et les dispositifs d'échantillonnage ont été placés dans un sac à dos, les capteurs étant positionnés au niveau des voies respiratoires des participants.

Niveaux d'exposition selon les modes de déplacement

Le tableau ci-après présente les valeurs médianes mesurées pour les 19 situations étudiées.

Teneurs médianes mesurées pour les 19 situations étudiées

		CO (mg.m ⁻³)	FN (µg.m ⁻³)	NO (µg.m ⁻³)	NO2 (µg.m ⁻³)	benzène (µg.m ⁻³)	toluène (µg.m ⁻³)
voiture	Paris intra-muros	10,0	167	409	77	65	288
voiture	boulevard circulaire	9,2	313	565	119	62	211
voiture	boulevard périphérique	14,0	357	834	160	75	263
voiture	banlieue	9,0	114	350	63	67	271
voiture	autoroute	3,7	156	420	62	29	124
bus	Paris intra-muros	3,0	143	311	86	28	94
bus	boulevard circulaire	5,7	182	332	69	28	106
bus	banlieue	2,3	108	189	34	10	67
vélo	Paris intra-muros	3,2	140	167	71	35	127
vélo	boulevard circulaire	5,7	138	277	74	40	148
vélo	banlieue	2,6	99	175	69	25	93
piéton	Paris intra-muros	2,9	91	144	57	27	92
piéton	boulevard circulaire	2,3	117	220	52	24	79
piéton	banlieue	1,9	64	130	45	22	80
piéton	Paris zone piétonne	<1	44	39	46	10	43
métro	ligne 1	2,4	132	173	41	27	109
métro	ligne 6	1,5	103	103	45	18	72
métro	RER A	1,0	236	60	25	12	90
métro	RER B	<1	82	56	32	10	50

Pour la majorité des polluants, les situations peuvent être classées en trois groupes selon le niveau d'exposition :

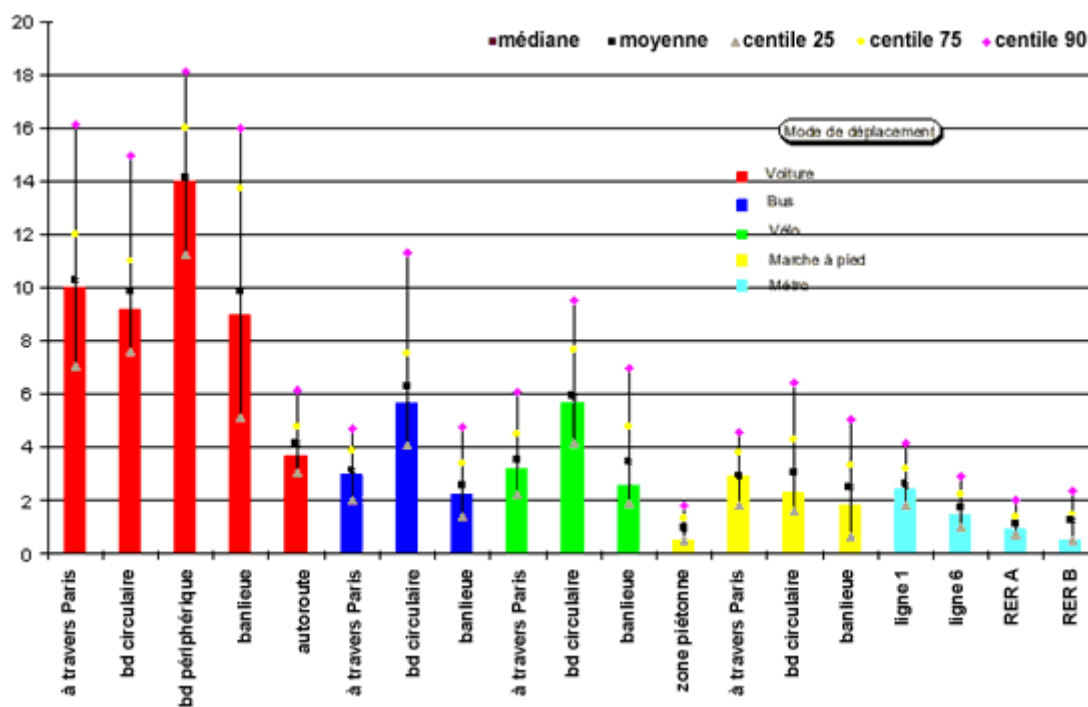
- les teneurs dans l'habitacle des véhicules automobiles sont supérieures à celles qui concernent les autres modes de déplacement. Les niveaux les plus élevés sont atteints sur le boulevard périphérique et les plus faibles sur le trajet autoroutier.

- par opposition, les trajets à pied ou en métro conduisent aux expositions les plus faibles pour la majorité des polluants. Le piéton marchant dans le quartier piétonnier subit l'exposition la plus faible de toutes les situations étudiées. Les niveaux mesurés dans les rames de RER sont plus faibles que dans le métro, exception faite de l'indice de fumée noire dans le RER A.

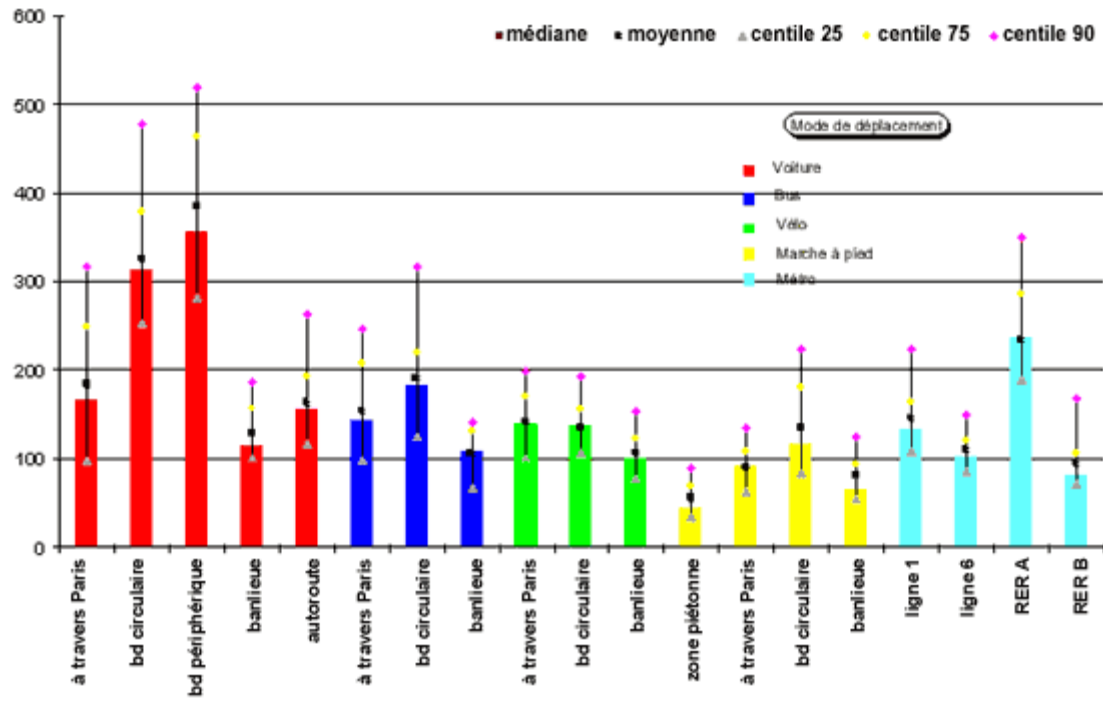
- les déplacements en vélo ou en bus confèrent des expositions comparables et intermédiaires à celles résultant des autres modes de transport. L'exposition du passager du bus et du cycliste sur le boulevard circulaire est plus importante que lors des 2 autres trajets étudiés (Paris intra-muros et banlieue), tous polluants confondus.

Les trois graphes illustrent, pour les cinq modes de déplacement, la distribution des teneurs mesurées pour trois indicateurs : monoxyde de carbone, indice de fumée noire et benzène.

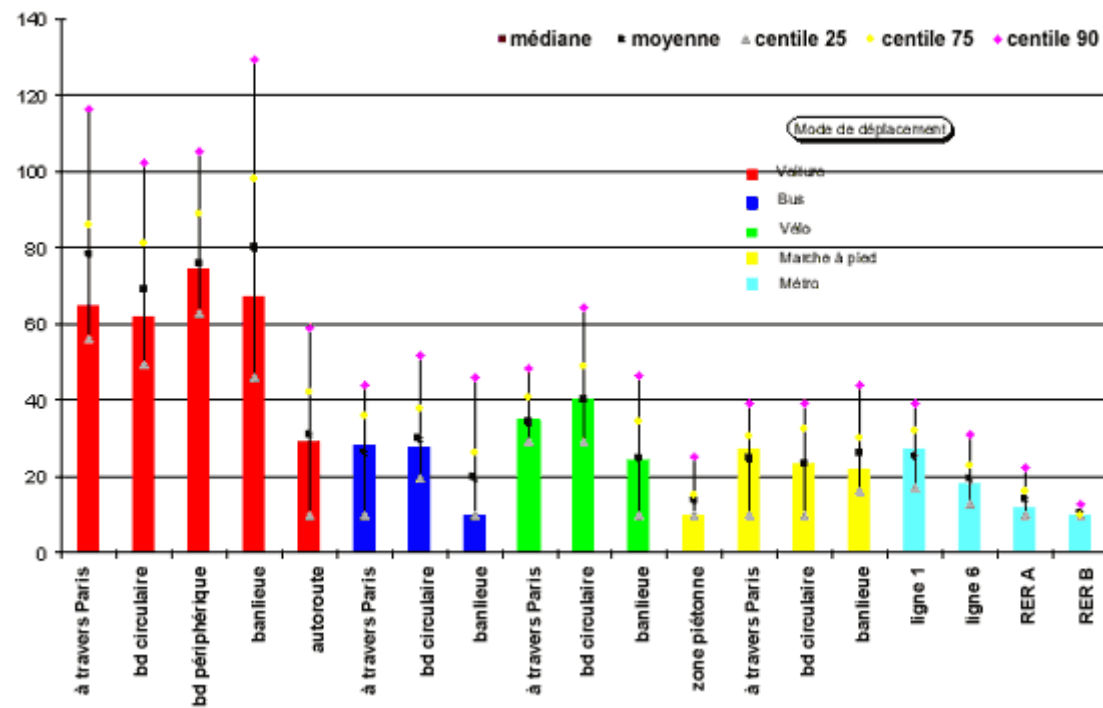
Monoxyde de carbone (mg.m-3)



Indice de Fumée Noire ($\mu\text{g.m}^{-3}$)



Benzène ($\mu\text{g.m}^{-3}$)



La variation des concentrations atmosphériques selon les modes et les trajets n'a pas la même amplitude pour tous les indicateurs. Pour les polluants gazeux primaires (CO, NO, HAM), l'étendue des valeurs est plus importante que celle qui se rapporte à l'indice de fumée noire et à NO₂.

Facteurs qui influencent les niveaux d'exposition

On a tenté de dégager le rôle respectif des principaux facteurs susceptibles d'influencer les niveaux d'exposition.

Les caractéristiques du trafic (vitesse des véhicules, pourcentage de poids lourds,...) et la proximité du flux de véhicules sont évidemment deux paramètres essentiels qui régissent les niveaux d'exposition. Par ailleurs, la contribution d'autres sources que le trafic s'exprime pour certains polluants (HAM, FN). Ce fait intéresse les environnements " intérieurs " (automobiles, bus, métro, RER) pour diverses raisons :

- dans certains véhicules équipés de moteur à essence, une fraction des HAM est imputable à des émissions dues à l'évaporation du carburant du véhicule,

- dans le réseau souterrain du métro et du RER , des émissions de particules liées au matériel roulant, aux infrastructures et à la remise en suspension se surajoutent aux apports induits par la circulation automobile.

Pour les facteurs climatiques, la dispersion atmosphérique joue un rôle primordial pour tous les polluants. Le phénomène est surtout marqué pour le piéton qui se déplace à l'écart du trafic. Il est aussi observé, dans une moindre mesure, au sein même de la circulation automobile, ainsi que dans des environnements spécifiques que sont le métro et le RER.

Tous ces paramètres sont impliqués dans les évolutions temporelles étudiées à l'échelle de la journée et de la saison.

Le matin, l'usager des différents modes de transport est plus exposé qu'en fin d'après midi. De même, les expositions sont supérieures l'hiver à celles de la période estivale. Ces observations valent aussi bien pour les déplacements à "l'air libre " , (piéton, vélo) que pour ceux effectués dans les habitacles des véhicules (automobiles, bus) et dans les rames de métro et du RER.

Les variations matin-soir et hiver-été, sont de l'ordre de quelques dizaines de pourcents, selon les polluants et les situations étudiées. L'amplitude de ces variations est plus importante pour le piéton qui se déplace à l'écart du flux de circulation que pour l'automobiliste.

Relation avec les mesures réalisées dans les stations fixes du réseau de surveillance de la qualité de l'air

Un des objectifs du programme était de juger de la représentativité des stations fixes du réseau de surveillance de la qualité de l'air à traduire l'exposition des Franciliens pendant leurs déplacements. Ce réseau comporte des stations urbaines à l'écart de la circulation et des stations plus ou moins proches du trafic automobile.

Pour chaque situation, les teneurs mesurées sur plusieurs stations fixes ont été extraites les mêmes jours de mesurage et pendant les mêmes tranches horaires.

La structure du réseau actuel permet, par une sélection adéquate des stations, une estimation satisfaisante de l'exposition moyenne annuelle subie par le citoyen au cours des déplacements :

- Les stations de mesure à l'écart du trafic rendent compte de l'exposition subie par le piéton et l'usager du métro et du RER (excepté pour la contamination particulaire dans certains cas).
- Les données des stations de moyenne proximité à la circulation sont voisines des niveaux d'exposition des passagers du bus, du cycliste et parfois du piéton.
- Les valeurs enregistrées sur les sites de forte proximité au trafic sont proches mais plutôt inférieures aux niveaux d'exposition subis par l'automobiliste.

A l'échelle horaire, la corrélation entre l'exposition du citoyen lors des déplacements étudiés et une station fixe du réseau est en général peu satisfaisante ; elle est meilleure lorsque l'on s'éloigne de la source automobile.

Comparaison à des teneurs de référence et des données publiées

Comment s'inscrivent les résultats par rapport, soit aux valeurs de référence actuelles (réglementaires ou recommandées) établies par les autorités sanitaires, nationales ou internationales, soit aux données de travaux antérieurs réalisés dans d'autres sites urbains. C'est l'objet de la dernière partie de cette étude.

- Pour **CO**, la valeur recommandée par l'OMS sur 1 heure (30 mg.m^{-3}) n'est jamais atteinte, quel que soit le type de trajet effectué.
- Pour **NO₂**, la nouvelle valeur guide adoptée en 1997 par l'OMS ($200 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 1 heure) peut être atteinte ou dépassée (boulevard circulaire, percentile 90 de $196 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$; boulevard périphérique, percentile 90 de $266 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$).
- Pour le **benzène**, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (1997) recommande de ne pas dépasser la valeur limite quotidienne de $25 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$. Les réglementations européennes en préparation viseront probablement des expositions intégrées sur des périodes beaucoup plus longues. Dans l'habitacle des voitures circulant à Paris et en banlieue, les valeurs moyennes horaires sont de l'ordre de $60 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$. Il faut craindre que les déplacements en voiture dans un trafic dense apportent une contribution non négligeable à l'exposition totale journalière.
- Pour le **toluène**, dans l'habitacle des voitures roulant dans Paris intra-muros et en banlieue, les maxima atteignent respectivement $2317 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ et $1297 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 1 heure. Ils dépassent la valeur de $1000 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 30 minutes préconisée par l'OMS comme seuil olfactif.
- Les niveaux d'**indice de fumée noire** mesurés sur 1 heure ne peuvent être comparés à la valeur guide journalière recommandée par l'OMS qui est de $125 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$.

Les résultats ont été comparés avec des données obtenues dans d'autres grandes villes. Il apparaît que cette étude est beaucoup plus complète, par le nombre et la diversité des situations choisies, par les indicateurs considérés ainsi que par le nombre de trajets réalisés.

- Les niveaux obtenus en CO sont très cohérents avec ceux mesurés dans d'autres grandes villes et la hiérarchie des expositions dans les différents modes de déplacement est comparable. La tendance serait à une diminution sensible de l'exposition des citoyens au monoxyde de carbone au cours de leurs déplacements.
- S'agissant de l'exposition au benzène, les teneurs mesurées sont parmi les plus élevées de celles citées dans les études antérieures.
- Les quelques mesures d'oxydes d'azote mentionnées dans d'autres publications donnent des résultats équivalents.

Perspectives

A l'échelle de l'agglomération parisienne, les parcours étudiés couvrent, avec une bonne représentativité, les situations de déplacement rencontrées par l'utilisateur au coeur de Paris ou en proche banlieue. Par contre, il n'est pas sûr que ce soit aussi le cas de la zone péri-urbaine qui concerne nombre de Franciliens se déplaçant de banlieue à banlieue. On se gardera également d'extrapoler les résultats parisiens à d'autres agglomérations dont les conditions générales de circulation peuvent être très éloignées du cas de la capitale. Néanmoins, les résultats obtenus peuvent être considérés comme un préambule à des travaux de portée plus large avec deux objectifs principaux :

- estimer la contribution du transport à l'exposition atmosphérique quotidienne du citoyen. Dans ce contexte, il manque des données relatives au budget espace-temps des Franciliens ainsi qu'à l'exposition cumulée en tenant compte de tous les environnements, et de l'environnement intérieur en particulier. En outre, il y aurait lieu de connaître dans l'organisme la dose interne de chaque contaminant qui résulte de l'exposition atmosphérique. Cette imprégnation est difficile à appréhender car elle dépend de nombreux paramètres dont les propriétés du polluant, l'organe cible et les processus pharmacocinétiques et de l'activité physique des personnes. Ainsi, malgré une exposition plus faible qu'en voiture, le déplacement en bicyclette peut éventuellement conduire à une imprégnation en polluants similaire à celle de l'automobiliste, si l'on tient compte du fait que l'activité physique augmente la ventilation pulmonaire.

- contribuer au développement d'un modèle d'exposition à partir des mesures réalisées sur les sites fixes du réseau de surveillance de la qualité de l'air. L'étude montre qu'il faut s'attendre à des relations complexes pour prédire les variations d'exposition d'un jour à l'autre. En effet, les coefficients de corrélation, calculés entre niveaux d'exposition au cours des déplacements et teneurs observées sur les sites fixes, sont généralement peu élevés.