



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Evaluation de l'exposition des citoyens aux particules diesel

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

O. BLANCHARD

Unité Evaluation des Risques Sanitaires

février 2001

Evaluation de l'exposition des citoyens aux particules diesel

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

février 2001

Ce document comporte 23 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	O.BLANCHARD	M.NOMINE	A.CICOLELLA
Qualité	Direction des Risques Chroniques	Direction des Risques Chroniques	Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIERES

1	RÉSUMÉ	3
2	INTRODUCTION	4
3	MATÉRIELS ET MÉTHODE	5
	3.1 choix de la population	5
	3.2 étude des budgets espace-temps (BET).....	6
	3.3 méthodes d'échantillonnage et appareillage	7
	3.4 Campagnes d'échantillonnage et procédure.....	9
	3.5 Analyses des échantillons	10
4	RÉSULTATS	11
	4.1 Evaluation de l'exposition aux particules.....	11
	4.2 Evaluation de l'exposition au CE	13
	4.3 exposition au carbone total (CT).....	15
	4.4 Comparaison été – hiver de l'exposition en CE.....	15
5	DISCUSSION	17
6	CONCLUSION	21
7	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22
8	LISTE DES ANNEXES	23

1 RESUME

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'exposition personnelle aux particules diesel dans une population urbaine. Ces travaux ont été réalisés en collaboration avec la ville d'Angers et l'association de surveillance de la qualité de l'air (Air Pays de la Loire). Nous tenons également à remercier l'IHIE (Institut de l'Hygiène Industrielle et de l'Environnement) d'Angers pour son aide logistique tout au long de la phase d'échantillonnage.

L'étude a été conduite sur une population de 40 adultes, volontaires et non-fumeurs. Ces derniers ont été répartis dans quatre groupes selon la nature de leur activité professionnelle. Chaque volontaire a été équipé d'un capteur portatif de particules. Ce capteur est composé d'une pompe portative reliée à un support filtrant. La phase d'échantillonnage a été programmée sur deux jours et divisée en deux périodes de manière à comparer l'exposition liée aux activités hors domicile et l'exposition au domicile. Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées afin de prendre en compte les variations saisonnières éventuelles. L'analyse des échantillons a porté sur deux paramètres, la masse totale de particules et la composition de la fraction carbonée : carbone élémentaire (CE) et carbone organique (CO_r).

Par ailleurs, des capteurs ont été installés dans quatre stations de surveillance afin de comparer les valeurs d'immission et celles obtenues à partir des prélèvements individuels.

Les résultats montrent que les expositions personnelles au CE varient en moyenne de 0,3 µg/m³ au domicile à 18,8 µg/m³ pour les mesures liées à l'activité (hors domicile). Il apparaît, au vu de ces résultats, que les personnes ayant une activité extérieure sont plus exposées au CE que celles ayant une activité intérieure. En outre, les concentrations observées au domicile sont assez proches de celles mesurées sur les volontaires séjournant dans les locaux durant leur activité professionnelle. On peut supposer que les personnes séjournant à l'extérieur sont exposées plus fortement au CE compte tenu de leur proximité avec les sources émettant du CE (si on considère l'impact majeur des sources de combustion mobiles sur les émissions de CE).

Enfin, les concentrations moyennes des expositions personnelles au CE sont plus élevées que celles mesurées sur les trois stations de fond. Les concentrations les plus fortes sont observées sur la station de proximité (située dans une rue du centre ville). Les valeurs mesurées sur cette station sont assez proches de celles observées sur les volontaires séjournant dans les locaux durant leur activité professionnelle, mais en deçà de celles des personnes séjournant à l'extérieur. Ces observations témoignent de la difficulté d'apprécier les différentes expositions individuelles au sein d'une population à partir des données d'immission des réseaux. Cette difficulté est due en partie aux expositions contrastées qui peuvent exister entre les différents micro-environnements fréquentés par cette population. La prise en compte de la mobilité spatio-temporelle des individus par des mesures individuelles est sans conteste un outil plus efficace dans la caractérisation des expositions et conduit donc à une meilleure évaluation du risque. Cependant, ce type d'étude est difficile à mettre en œuvre et relativement coûteuse. L'effort doit donc être porté sur des études comparatives sur l'exposition personnelle et les valeurs d'immission afin d'établir les corrélations nécessaires.

2 INTRODUCTION

De nombreux travaux expérimentaux et épidémiologiques ont permis de montrer que la pollution atmosphérique d'origine particulaire joue un rôle considérable, même à faible dose, dans l'apparition d'affections respiratoires (Aubier, 1998 ; Dockery, 1993). Dans ces études, la pollution associée au trafic automobile en milieu urbain est régulièrement désignée comme le responsable de ces effets (Dockery, 1994 ; Pope, 1995). Cette pollution résulte de la combustion des émissions spécifiques aux deux grands types de motorisation, essence ou diesel. Or les moteurs diesel génèrent plus de particules fines, environ trente fois plus que les moteurs essence (CNRS, 1998). Il est admis que la nocivité de cet aérosol particulaire est principalement due à la fraction très fine des particules qui le composent et qui pénètrent ainsi jusqu'aux alvéoles pulmonaires. La toxicité potentielle des émissions des moteurs à combustion et plus particulièrement des moteurs diesel a donné lieu à de nombreuses expertises par les organismes sanitaires publics des pays industrialisés (INERIS, 1993 ; IARC, 1989 ; HEI, 1995 ;...). A l'époque, ces travaux se sont préoccupés des effets mutagènes et cancérogènes des émanations émises par les moteurs diesel. Expérimentalement, le caractère mutagène de ces résidus de combustion a été prouvé mais certains mécanismes de mutagenèse restent encore à élucider (INERIS, 1999). Ces données ont conduit l'IARC (International Agency for Research on Cancer) à classer les émissions diesel dans les cancérigènes probables pour l'homme (groupe 2A).

Malgré les dangers que présentent de telles particules, la motorisation diesel, du fait de ses avantages techniques et économiques indéniables, occupe toujours une forte proportion du parc automobile français. Face à cette réalité économique et aux risques sanitaires associés, la volonté de quantifier leur impact sur la santé est devenue une priorité pour les pouvoirs publics français.

Le terme " aérosol diesel " désigne l'ensemble des particules produites par un moteur diesel. Toutefois, cette définition est relativement imprécise car elle recouvre un ensemble particulièrement complexe et variable. L'observation de l'aérosol diesel en microscopie électronique montre une quantité considérable de suies que l'on reconnaît facilement à leur structure en grappe : c'est un assemblage de sphérules composées de carbone-suie (**Csuie**) qui résulte de la pyrolyse incomplète des hydrocarbures du carburant. Le Csuie contient surtout du carbone, mais on y trouve également de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote et des métaux. Différents composés, soufrés, organiques,... s'adsorbent sur cette structure et forment un enrobage. Les composés organiques de l'aérosol constituent le carbone organique (**CO_r**), et on appelle carbone total la somme du Csuie et du carbone organique.

Les travaux engagés à l'INERIS sur ce sujet ont conclu qu'il était difficile de définir un marqueur de la pollution diesel qui soit à la fois spécifique et facile à doser en routine. Cependant, le CE qui est un constituant majeur des particules diesel peut être considéré comme un indicateur acceptable (INERIS, 1997). Dans la suite du document on utilisera le terme de carbone élémentaire (**CE**) mieux approprié à l'analyse.

Plusieurs essais inter-laboratoires dans le cadre des travaux du groupe européen de l'ECDSE (European Coordination on Diesel Soot Exposure), et différentes campagnes de prélèvement réalisées sur site, ont permis de définir et valider une méthode de référence pour le prélèvement et le dosage du carbone élémentaire dans l'air ambiant (Guillemin, 1997 ; INERIS, 1998).

Dans ce contexte, cette nouvelle étude avait pour objectif de quantifier l'exposition d'une population urbaine au CE au moyen d'échantillonneurs portatifs et de comparer ces mesures aux données d'immissions obtenues à partir des stations de surveillance. Cette étude a été réalisée à Angers, en collaboration avec les services de la mairie et l'association de surveillance de la qualité de l'air (Air Pays de la Loire).

Ces travaux complètent et tentent de confirmer des essais préliminaires effectués à Paris, dont les objectifs étaient d'adopter le CE comme indicateur de pollution due aux particules diesel et de souligner l'importance d'une évaluation de l'exposition individuelle, par échantillonneurs portatifs (INERIS, 1998). En effet, l'intérêt d'études "d'expologie" visant à caractériser les expositions personnelles à différents polluants, afin d'optimiser, par la suite, l'utilisation des mesures issues des réseaux de surveillance de la qualité de l'air lors d'études épidémiologiques ou d'évaluation du risque est aujourd'hui reconnu (Gonzalez, 1998 ; Jantunen, 1998).

3 MATERIELS ET METHODE

3.1 CHOIX DE LA POPULATION

Cette étude a été conduite sur une population de 40 volontaires adultes domiciliés et travaillant au sein de l'agglomération angevine. Ils ont été recrutés par appel à volontaires auprès des services de la mairie. Afin de couvrir une population suffisamment hétérogène, le choix a porté sur 40 volontaires, hommes et femmes, tous non-fumeurs, pouvant se répartir en 4 groupes de 10 personnes selon les critères spécifiques suivants :

- groupe A : personnes séjournant à l'extérieur durant leur activité professionnelle,
- groupe B : personnes séjournant dans des locaux durant leur activité professionnelle,
- groupe C : personnes séjournant dans un véhicule (bus, taxis,...) durant leur activité professionnelle,
- groupe D : personnes ayant une exposition de type professionnelle au CE.

Groupe A n = 10	Groupe B n = 10	Groupe C n = 10	Groupe D n = 10
- agents d'entretien parcs et jardins - agent de maîtrise - policier - agents d'entretien de la ville	- secrétaires - agents administratifs - médecin	- chauffeurs de bus - chauffeurs de taxi	- serrurier - mécanicien VL/PL - magasinier - carrossier

Tableau I : répartition des activités professionnelles dans les quatre groupes.

3.2 ETUDE DES BUDGETS ESPACE-TEMPS (BET)

Dans ce type d'étude, l'objectif est de pouvoir calculer le profil d'exposition d'une population en combinant le temps passé dans une activité et la concentration du ou des polluants liés à cette activité.

Pour y répondre, les mesures sont complétées par un questionnaire (annexe B). Il permet de connaître non seulement les paramètres habituels (âge, sexe, caractéristiques socioprofessionnelles...) mais aussi l'emploi du temps du participant pendant les mesures (profil temporel d'activité ou budget espace-temps). Une fiche de suivi journalier est donnée à chaque candidat. Elle recense les informations concernant les conditions d'échantillonnage pendant le prélèvement (annexe C) :

A chaque activité, on a défini un "micro-environnement" et pour chaque micro-environnement, on a recherché la concentration du ou des polluants étudiés.

Dans le cadre de cette étude, l'exposition des volontaires a été découpée d'une part par des mesures au domicile et d'autre part par des mesures "hors domicile". Ces dernières ont permis, par la composition des quatre groupes, d'intégrer différents micro-environnements comme : le bureau, le bus, le jardin public, la rue, la voiture, ...

En supposant que la concentration est constante pendant le temps de séjour de l'individu dans le micro-environnement, on peut définir son exposition E_i comme suit:

$$E_i = \sum_{j=1}^n C_j \times T_j \quad \text{en ppm-min ou ppm-heure}$$

C_j = concentration dans le micro-environnement j ,

n = nombre total de micro-environnements j occupés par la personne pendant la période considérée,

T_j = temps passé par la personne i dans le micro-environnement j .

Définir l'exposition implique donc de connaître un certain nombre de renseignements :

- les micro-environnements susceptibles d'être contaminés par le polluant,
- les micro-environnements fréquentés par la population et le temps passé dans chacun d'entre eux (budget espace-temps),
- la concentration en polluant associée au micro-environnement,
- les facteurs de variation de cette concentration.

C'est une modélisation mathématique qui permet le calcul final en combinant les données précédentes et en les adaptant à la population étudiée.

3.3 METHODES D'ECHANTILLONNAGE ET APPAREILLAGE

Deux types d'échantillonnage ont été retenus pour l'étude : des mesures individuelles (relatives à l'exposition personnelle) et des mesures d'immission à différents points fixes (mesures en stations).

3.3.1 Mesures individuelles

Les mesures individuelles consistent à placer, au niveau des voies respiratoires des individus, un capteur portatif de particules. Ce capteur est composé d'une pompe portative de type Gilian (GilAir 5) dont le débit a été fixé à 2 litres/min. Le débit de toutes les pompes a été contrôlé au moyen d'un débitmètre à bulles (type Gilibrator) avant et après chaque échantillonnage.

Chaque pompe permet d'aspirer l'air au travers d'une tête de prélèvement, constituée d'une cassette porte-filtre (millipore) équipée d'un filtre en quartz (de type Whatman, d'un diamètre de 25 mm et de porosité 0,3 μm). La méthode d'échantillonnage retenue pour nos mesures est décrite dans la norme NF X 43-257 " Air des lieux de travail – Prélèvement individuel de la fraction inspirable de la pollution particulaire ".



Figure 1 : dispositif d'échantillonnage

Les données expérimentales disponibles sur l'efficacité de captage de la tête de prélèvement utilisée, indiquent un accord qualitatif global permettant d'approcher les courbes conventionnelles relatives à la fraction inhalable de l'aérosol, jusqu'à un diamètre aérodynamique de 20 μm environ pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. En outre, d'après les données techniques généralement connues, le captage des particules de diamètre inférieur à 5 μm ne pose pas de problème vis-à-vis de l'efficacité.

En outre, une étude réalisée sur l'exposition professionnelle des employés des chemins de fer canadiens au CE, a permis de montrer qu'il n'y avait pas de différence entre les valeurs obtenues, pour les faibles concentrations, à partir de l'échantillonneur Marple (Diamètre de coupure, $D_c = 0,5 \mu\text{m}$), un échantillonneur équipé d'un cyclone ($D_c = 10 \mu\text{m}$) et un échantillonneur équipé d'une cassette millipore ouverte (poussières totales), compte tenu de la granulométrie submicronique des particules émises par les moteurs diesel (Verma, 1999).

Les capteurs portatifs ont été disposés dans un sac à dos, de manière à faciliter leur transport. La tête d'échantillonnage était, quant à elle, fixée sur la bretelle du sac, positionnée au plus près des voies respiratoires. Cette démarche présente l'intérêt de suivre au mieux l'exposition de chaque personne. Chaque volontaire devait porter en permanence le dispositif d'échantillonnage. En cas d'impossibilité, il était demandé de le disposer à proximité de son aire d'activité (ex : sur une chaise au bureau, sur la place du passager en voiture, dans une pièce du domicile...).



Figure 2 : volontaire équipé du dispositif d'échantillonnage portatif

3.3.2 Mesures en points fixes

Les mesures en points fixes ont été réalisées en collaboration avec l'association de surveillance de la qualité de l'air (Air pays de la Loire). Dans les quatre stations du réseau, le même dispositif décrit précédemment a été installé de manière à ne pas introduire de biais entre les différentes mesures (individuelles et en stations).

<i>N°</i>	<i>Désignation</i>	<i>Caractéristiques</i>
<i>1</i>	Station du " jardin des beaux-arts "	Site urbain de fond
<i>2</i>	Station de " Monplaisir "	Site urbain de fond
<i>3</i>	Station " Allard "	Site urbain de fond
<i>4</i>	Station " La Roé "	Site urbain de proximité

3.4 CAMPAGNES D'ÉCHANTILLONNAGE ET PROCEDURE

Deux campagnes d'échantillonnage ont été programmées afin de prendre en compte les variations saisonnières éventuelles, l'une en été (du 26 juin au 7 juillet 2000) l'autre en automne (du 23 octobre au 3 novembre 2000).

Pour chaque campagne, les mesures se sont déroulées sur deux semaines (20 volontaires par semaine, dont 5 dans chaque groupe). Compte tenu du temps nécessaire (16 heures) pour la recharge des batteries des pompes, nous avons réalisé une mesure tous les deux jours (au total deux jours d'échantillonnage pour chaque volontaire).

Chaque journée de prélèvement a été découpée en deux périodes de manière à comparer l'exposition liée aux activités quotidiennes : déplacements, transport, bureau, ... et l'exposition au domicile. Les périodes d'échantillonnage peuvent se décomposer ainsi : de 18 heures à 8 heures au domicile et de 8 heures à 18 heures à l'extérieur du domicile. Pour chaque campagne, on dispose ainsi d'un minimum de quatre périodes d'échantillonnage par individu.

Exemple de la première campagne (**été : phase 1**):

premier jour d'échantillonnage du mardi au mercredi:

- de 8 H à 20 H, filtre 1,
- de 20 H à 8 H, filtre 2,

deuxième jour d'échantillonnage du jeudi au vendredi :

- de 8 H à 20 H, filtre 3,
- de 20 H à 8 H, filtre 4,

Concernant la deuxième campagne (**automne : phase 2**), seulement 2 filtres ont été utilisés. Cette solution a été retenue en raison de la faible quantité de particules observée lors de la campagne d'été. Le filtre 1 correspond au cumul des deux périodes d'activité et le filtre 2 au cumul des deux périodes de séjour au domicile.

Exemple de la deuxième campagne :

premier jour d'échantillonnage du mardi au mercredi:

- de 8 H à 20 H, filtre 1,
- de 20 H à 8 H, filtre 2 ,

deuxième jour d'échantillonnage du jeudi au vendredi :

- de 8 H à 20 H, filtre 1,
- de 20 H à 8 H, filtre 2 ,

3.5 ANALYSES DES ECHANTILLONS

L'analyse des échantillons a porté sur deux paramètres :

- la masse totale des particules,
- la composition de la fraction carbonée (CE et CO_r).

3.5.1 Analyse gravimétrique

L'analyse gravimétrique des échantillons a été réalisée par pesée des filtres avant et après échantillonnage des particules. La procédure est décrite en annexe D. La masse des poussières ainsi mesurée a été rapportée au volume d'air prélevé. Les concentrations sont indiquées en mg/m³.

Cependant, compte tenu des faibles niveaux d'empoussiérement rencontrés, des périodes d'échantillonnage relativement courtes (8 heures pour la phase 1) et de la nature des filtres utilisés (les filtres en quartz se sont avérés fragiles et friables), de nombreuses mesures, notamment lors de la phase 1, présentent une incertitude importante (<0,10 mg).

3.5.2 Analyse de la fraction carbonée (CE et CO_r)

Les échantillons ont ensuite été analysés pour la recherche du CE et du CO_r. La méthode est basée sur l'analyse thermique et l'oxydation du carbone particulaire.

Avant le prélèvement, les filtres en fibres de quartz sont chauffés à 600 °C pour éliminer toute trace de carbone (cette étape conditionne la nature des filtres utilisés pour l'échantillonnage).

Après échantillonnage, l'analyse consiste en une phase de pyrolyse sous azote afin d'éliminer le CO_r puis en une phase de combustion sous oxygène pour obtenir le CE selon les conditions suivantes :

- balayage sous azote (500 ml/min), avec palier à 40°C pendant 30secondes,
- montée à vitesse maximale à 500°C, avec palier à 500°C pendant 1 minute,
- montée à vitesse maximale à 825°C et commutation sous oxygène (500 ml/min), avec palier à 825°C pendant 2 minutes,
- analyse du CO₂ par analyse infrarouge.

Le four programmable est à chauffage par rayonnement infrarouge, d'où des possibilités de vitesse de chauffe de plusieurs centaines de °C / seconde.

L'analyseur de CO₂ est un analyseur par spectrométrie infrarouge non dispersif, modèle Leybold Heraeus type Binos, gamme 0-10%, relié à un système de saisie de données et un micro-ordinateur équipé d'un logiciel d'intégration de pics. Les gaz utilisés sont, en phase pyrolyse, de l'azote N₅₀ et, en phase combustion, de l'oxygène pur.

Le CO₂ ainsi mesuré est rapporté au CO_r et au CE en fonction du dégagement des deux composés. Les concentrations sont indiquées en µg/m³.

4 RESULTATS

L'ensemble des résultats est donné en annexe A.

4.1 EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX PARTICULES

Les tableaux II et III donnent les statistiques descriptives des expositions aux particules pour les phases 1 et 2 de l'étude. Pour la phase 1, nous avons pris la moyenne des deux concentrations obtenues à partir des filtres 1 et 3 pour la période " activité " et des filtres 2 et 4 pour la période " domicile ".

Les figures 2 et 3 illustrent ces résultats en donnant les histogrammes des expositions pour chaque groupe de volontaires et selon les deux périodes d'échantillonnage (activité et domicile) des phases 1 et 2 de l'étude.

Groupe	lieu	moyenne	médiane	minimum	maximum	Ecart-type	effectif
A	activité	0,19	0,17	< 0,06	0,48	0,13	10
	domicile	0,07	0,07	< 0,06	0,09	0,01	10
B	activité	0,08	0,07	< 0,06	0,09	0,01	10
	domicile	0,07	0,07	< 0,06	0,08	0,01	10
C	activité	0,07	0,07	< 0,06	0,11	0,01	10
	domicile	0,07	0,07	< 0,06	0,09	0,01	10
D	activité	0,17	0,16	< 0,06	0,34	0,11	10
	domicile	0,07	0,07	< 0,06	0,07	0,01	10

Tableau II : Expositions personnelles aux particules (mg/m³) - phase 1 (été) -

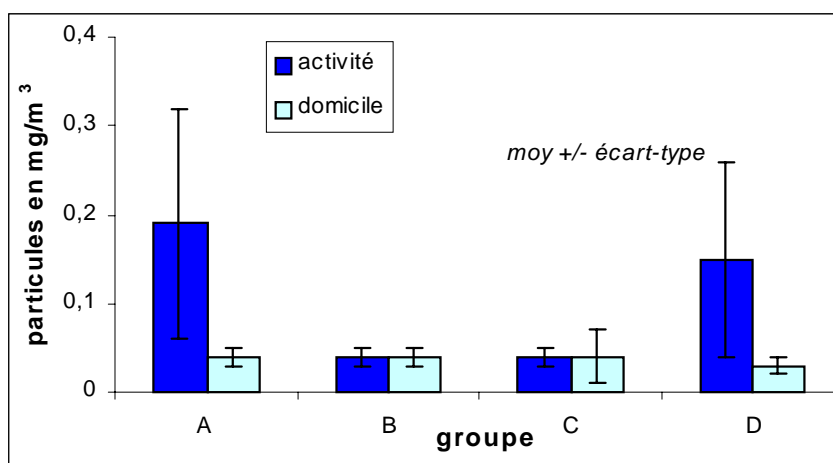


Figure 2 : Expositions aux particules par groupe - phase 1 (été) -

Groupe	lieu	moyenne	médiane	minimum	Maximum	Ecart-type	effectif
A	activité	0,18	0,17	0,05	0,36	0,10	8
	domicile	0,03	0,03	< 0,01	< 0,07	0,02	7
B	activité	0,04	0,04	< 0,03	0,07	0,01	9
	domicile	0,04	0,03	< 0,02	0,07	0,01	9
C	activité	0,07	0,06	< 0,03	0,11	0,03	8
	domicile	0,04	0,03	< 0,03	0,07	0,01	8
D	activité	0,23	0,16	< 0,04	0,70	0,20	10
	domicile	0,04	0,03	< 0,03	< 0,08	0,02	9

Tableau III : Expositions personnelles aux particules (mg/m³) - phase 2 -

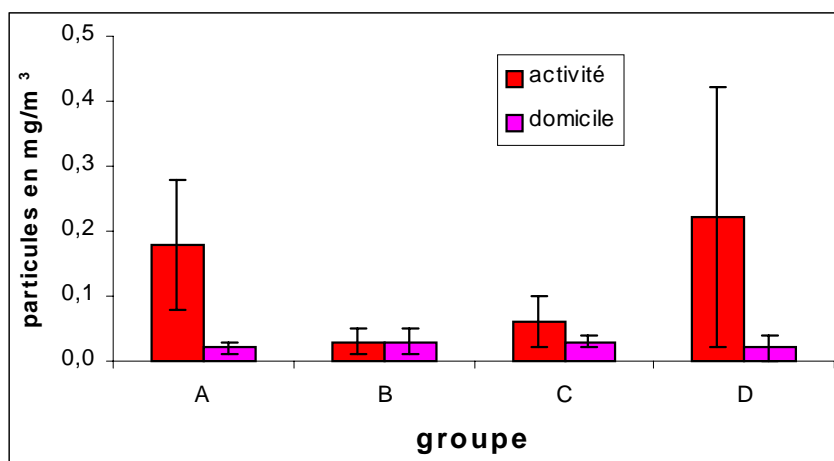


Figure 3: Exposition aux particules par groupe - phase 2 -

Au cours des deux phases d'échantillonnage, les concentrations les plus fortes sont observées sur les groupes A et D, avec des concentrations moyennes, pour les deux groupes, équivalentes à 0,20 mg/m³ durant la période d'activité. Pour les groupes B et C, les concentrations observées sont beaucoup plus faibles (moyennes <0,06 mg/m³). En outre, ces dernières sont équivalentes à celles mesurées au domicile des quatre groupes.

Ces premiers résultats témoignent de la variabilité de l'exposition personnelle aux particules entre les différents groupes de volontaires mais également des différences qui peuvent exister selon le lieu d'échantillonnage (activité et domicile).

4.2 EVALUATION DE L'EXPOSITION AU CE

Les tableaux IV et V donnent les statistiques descriptives des expositions aux CE pour les phases 1 et 2 de l'étude.

Les figures 4 et 5 illustrent ces résultats en comparant les niveaux et les dispersions des expositions au CE pour chaque groupe de volontaires et selon les deux périodes d'échantillonnage (activité et domicile) des phases 1 et 2 de l'étude.

Groupe	lieu	Moyenne	médiane	minimum	maximum	Ecart-type	effectif
A	activité	18,8	18,1	5,5	37,4	10,2	10
	domicile	2,1	1,2	< 0,3	6,5	2,1	10
B	activité	5,3	5,0	< 0,4	17,0	5,4	9
	domicile	2,6	0,4	< 0,3	14,0	4,5	9
C	activité	9,0	7,6	0,8	21,8	6,3	10
	domicile	2,7	1,2	< 0,3	5,9	2,4	10
D	activité	13,9	12,0	< 0,4	43,7	12,9	10
	domicile	2,3	0,7	< 0,3	11,4	3,5	10

Tableau IV. : Expositions personnelles au CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - phase 1 (été) -

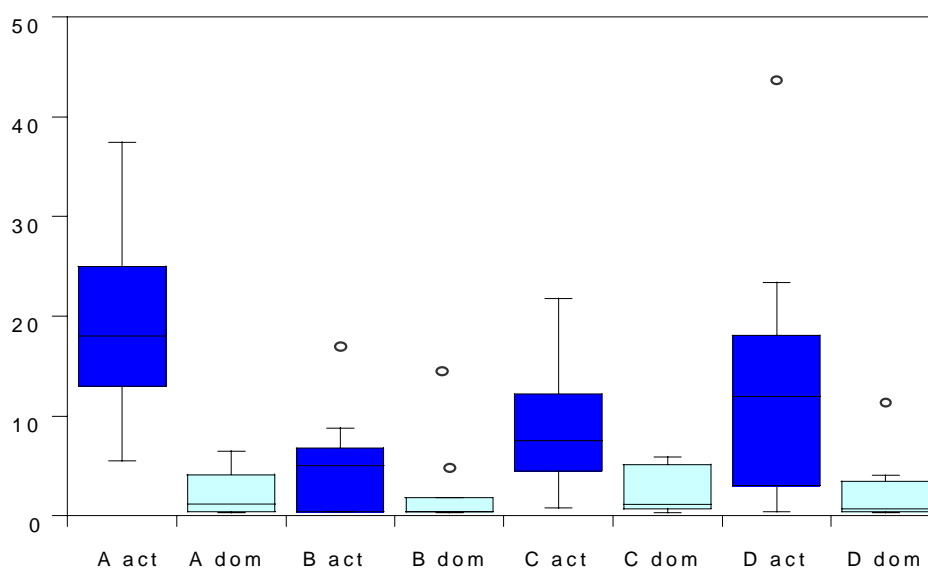


figure 4 : comparaison des niveaux (médiane, 25^e et 75^e percentiles) et des dispersions des expositions personnelles au CE pour chaque groupe selon activité/domicile - phase 1 -

Groupe	lieu	moyenne	médiane	minimum	Maximum	Ecart-type	effectif
A	activité	16,7	15,4	4,0	40,5	11,5	8
	domicile	4,2	4,8	< 0,4	8,4	3,3	6
B	activité	7,3	9,3	< 0,6	16,6	6,7	9
	domicile	4,1	2,3	< 0,5	10,8	4,2	8
C	activité	8,9	10,1	< 0,4	20,5	7,9	8
	domicile	5,0	4,2	< 0,5	11,3	4,9	8
D	activité	15,3	13,1	3,8	38,5	10,8	10
	domicile	1,8	0,5	< 0,5	11,7	3,7	9

Tableau V: Expositions personnelles au CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - phase 2 -

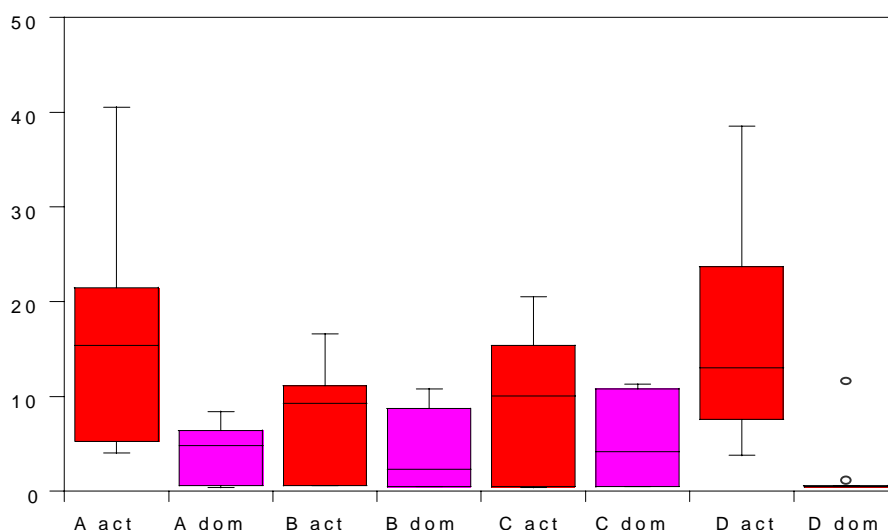


figure 5 : comparaison des niveaux (médiane, 25^e et 75^e percentiles) et des dispersions des expositions personnelles au CE pour chaque groupe selon activité/domicile - phase 2 -

L'analyse du CE sur les échantillons indique également des niveaux d'exposition différents entre les quatre groupes de volontaires et selon le site d'échantillonnage (activité et domicile). Comme constaté précédemment pour l'exposition personnelle aux particules, les groupes A et D présentent les concentrations les plus fortes. Ces dernières sont observées au cours de la période d'échantillonnage correspondant aux heures passées en dehors du domicile. Les concentrations observées sur les groupes B et C sont plus faibles mais supérieures à celles mesurées au domicile. En outre, ces dernières sont similaires pour les quatre groupes.

L'analyse statistique montre clairement que l'exposition au CE est plus importante lors des périodes d'échantillonnage hors domicile (test de Wilcoxon $p < 0,0001$ pour la phase 1 et $p = 0,0002$ pour la phase 2). Par ailleurs, l'analyse de variance (test de Kruskal-Wallis $p = 0,0067$ pour la phase 1) témoigne qu'il existe une différence significative entre les quatre groupes sur l'exposition personnelle au CE. Cette différence est moins significative pour la phase 2 ($p = 0,13$).

4.3 EXPOSITION AU CARBONE TOTAL (CT)

groupe	lieu	Carbone total (CT = CE + CO _r)			CE/CT en %
		moyenne	minimum	maximum	
A	activité	38,1	8,7	81,0	40,0
	domicile	10,1	1,5	21,5	50,8
B	activité	13,1	2,3	27,3	54,6
	domicile	7,3	1,8	20,7	56,7
C	activité	17,4	1,7	35,6	52,2
	domicile	11,3	2,0	26,0	46,2
D	activité	37,7	5,6	84,9	43,1
	domicile	5,9	1,9	24,3	35,0

Tableau VI : Expositions personnelles au CT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - phase 2 –

En raison de problèmes analytiques, le dosage du CO_r n'a été réalisé que sur les échantillons prélevés au cours de la phase 2.

Comme pour l'exposition au CE, on constate que les groupes A et D sont les plus exposés. Cependant, de nombreuses sources non spécifiques aux émissions diesel contribuent à émettre du CO_r. Le CT ne peut donc pas être utilisé comme un indicateur des émissions diesel. Cependant il est intéressant d'observer le rapport CE/CT. Ce dernier peut varier de 80 % à 30% selon la nature des mesures. Il a été constaté, lorsque ce rapport CE/CT est faible, la présence de sources non-diesel émettant du CO_r. Dans le cas de nos différentes observations la moyenne de ces différents rapports par groupes se situe vers 50 %. Ceci indique que les prélèvements ont été très peu influencés par des sources non-diesel.

4.4 COMPARAISON ETE – HIVER DE L'EXPOSITION EN CE

Les figures 6 et 7 permettent d'observer l'influence saisonnière sur les niveaux et les dispersions des expositions au CE pour chaque groupe de volontaires en fonction des différentes périodes d'échantillonnage (activité et domicile).

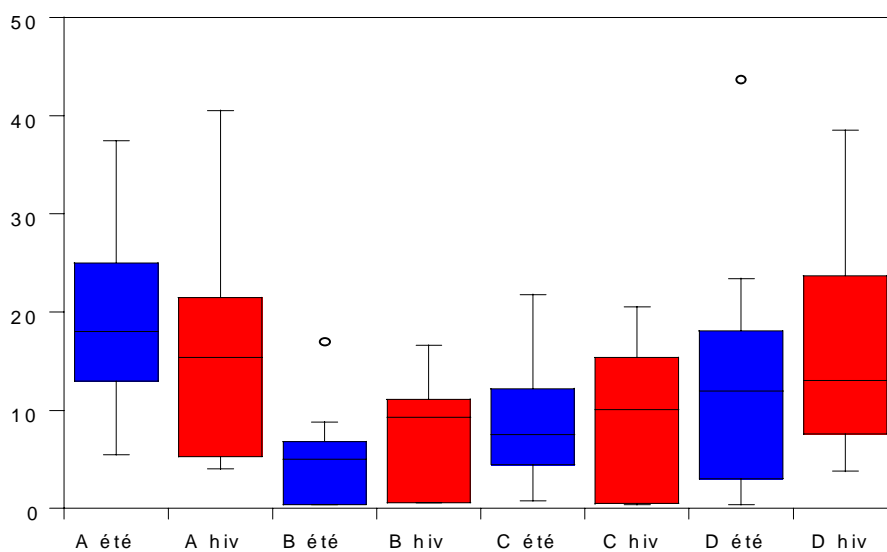


figure 6 : comparaison des niveaux (médiane, 25^e et 75^e percentiles) et des dispersions des expositions personnelles au CE pour chaque groupe selon l'activité
- phase 1 / phase 2 -

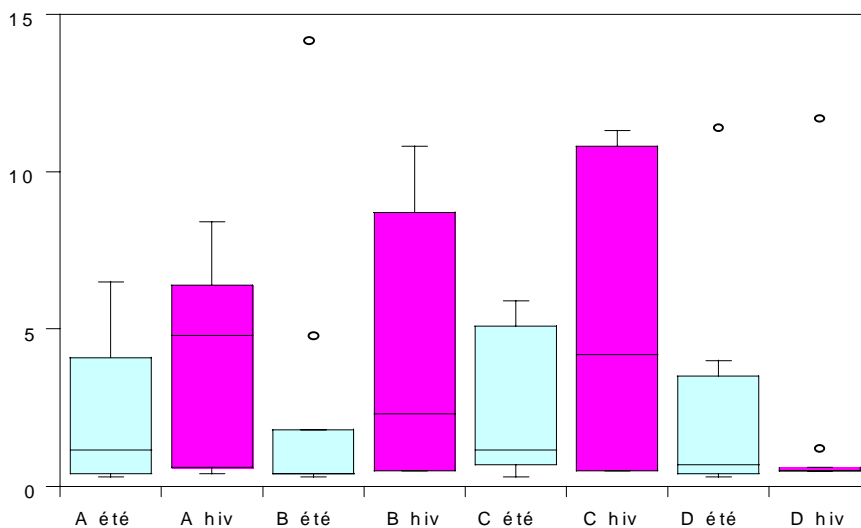


figure 7 : comparaison des niveaux (médiane, 25^e et 75^e percentiles) et des dispersions des expositions personnelles au CE pour chaque groupe au domicile
- phase 1 / phase 2 -

Les concentrations moyennes observées au cours des phases 1 et 2 sont sensiblement équivalentes pour chaque groupe sur la période d'échantillonnage liée à l'activité. On peut noter cependant, une légère augmentation des concentrations pour les groupes B, C et D au cours de la phase 2. A l'inverse, au cours de cette même phase, on observe une diminution pour le groupe A.

Pour le domicile, les concentrations moyennes mesurées au cours des deux phases sont relativement différentes. En effet, celles mesurées au cours de la phase 2 sont supérieures. Cependant, les concentrations moyennes restent faibles ($<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5 DISCUSSION

Les observations précédentes mettent en évidence des niveaux d'exposition personnelle aux particules et CE, qui peuvent être différents selon l'appartenance des volontaires à l'un ou l'autre des quatre groupes. Par ailleurs, elles montrent également une forte influence du type d'échantillonnage (activité ou domicile) sur ces mêmes concentrations. Cependant, compte tenu des problèmes rencontrés lors de l'analyse gravimétrique des échantillons (voir paragraphe 3.5.1) il est préférable de porter la discussion sur les mesures réalisées à partir des analyses du CE. L'utilisation des filtres en fibres de quartz pour l'analyse gravimétrique a montré certaines limites mais également le manque de corrélation avec l'analyse du CE (Verma, 1999).

Il apparaît donc clairement que l'exposition au CE est plus importante lors des périodes d'échantillonnage hors domicile (paragraphe 4.2). Cette différence s'explique par la nature des sources pouvant émettre du CE. En effet, le CE est un bon indicateur des sources de combustion fixes et mobiles, il est donc prévisible de rencontrer, en l'absence de sources propres au domicile (fumée de cigarettes, cheminée, barbecue...) des concentrations dans l'air extérieur supérieures à celles de l'air intérieur.

Par ailleurs, nous avons observé que les groupes A et D se différencient des groupes B et C par des expositions personnelles au CE plus importantes (paragraphe 4.2). Ceci est du en partie aux concentrations contrastées qui peuvent exister dans les divers micro-environnements fréquentés par les différents groupes.

Le groupe A est constitué exclusivement de volontaires ayant une activité professionnelle se déroulant à l'extérieur, dans les parcs et jardins (agents d'entretien) ou dans la rue (policier, agents de la ville). Leur exposition au CE est supérieure à celle des autres groupes, avec une médiane à $18,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 1 et à $15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 2. On peut supposer que cette population peut être exposée plus fortement au CE compte tenu de la proximité de ces agents avec les sources de pollution du CE (si on considère l'impact majeur des sources de combustion mobiles sur les émissions de CE). L'étude réalisée en région parisienne avait montré, pour une population se déplaçant à pied dans les rues ou les parcs et jardins, une concentration moyenne en CE de $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (min = $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et max = $66,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), (INERIS, 1999).

Les concentrations les plus faibles sont observées chez le groupe B, composé principalement de volontaires séjournant dans des bureaux, la médiane est égale à $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 1 (valeur proche de celles observées au domicile pour les quatre groupes) et à $9,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 2. Cette observation confirme une nouvelle fois l'impact du temps passé à l'extérieur sur les concentrations en CE.

Pour le groupe C, les concentrations observées sont plutôt inattendues. En effet, en raison de son activité professionnelle (chauffeurs de bus, taxis,...), nous aurions pu penser que cette population pouvait être plus exposée au CE. Par exemple, les premières mesures réalisées en région parisienne à bord des véhicules avaient permis de montrer une très forte exposition au CE lorsque ceux ci se trouvaient dans le trafic avec des concentrations pouvant dépasser $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (INERIS, 1999). Ce n'est pas le cas ici puisque les concentrations observées sont voisines de celles du groupe B, la médiane est égale à $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 1 et à $10,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 2.

Le groupe D est le reflet d'une exposition témoin au CE sur les lieux de travail (entretien véhicules). Les concentrations observées pour ce groupe sont légèrement plus faibles que celles du groupe A. La médiane est égale à $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 1 et à $13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la phase 2. L'exposition du groupe est directement liée à l'activité professionnelle et aux émissions de CE qui peuvent être générées par les échappements des véhicules lors de leur entretien.

En France, il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle pour le CE. Cependant, à titre de comparaison, nous pouvons retenir la valeur proposée par l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) qui fixe une TLV (Threshold Limit Value) à $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CT (ACGIH, 1995). Bien entendu, cette valeur ne peut être utilisée dans le cadre d'une évaluation du risque, elle s'applique uniquement dans le cadre d'une exposition professionnelle (exemple du groupe D). Nous constatons que les mesures du groupe D se situent toutes en dessous de cette valeur (tableau VI). Les résultats observés au cours de cette étude sont d'ailleurs comparables à ceux de l'étude canadienne réalisée sur les employés des chemins de fer (Verma, 1999). Les concentrations moyennes en CT étaient également inférieures à la TLV. Pour les machinistes, les électriciens et les agents d'entretien la moyenne en CE était égale à $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (min = $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et max = $21,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pour le personnel se trouvant à bord des locomotives elle était de $17,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (min = $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et max = $60,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Une autre étude réalisée sur les employés exposés aux émissions diesel dans l'industrie électrique aux Etats-Unis a montré également des concentrations inférieures à la TLV (Whittaker, 1999). Dans cette étude, les concentrations en CE étaient relativement faibles et généralement comprises entre 3 et $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figure suivante illustre, pour les quatre groupes, le temps passé dans les différents micro-environnements, uniquement lors de la période d'échantillonnage liée à l'activité.

La comparaison des BET, des quatre groupes, vient confirmer l'impact de la nature et de la durée de l'activité sur l'exposition des individus aux CE. Le groupe A, le plus exposé au CE, se distingue des autres groupes par un temps passé à l'extérieur équivalent à 60 %.

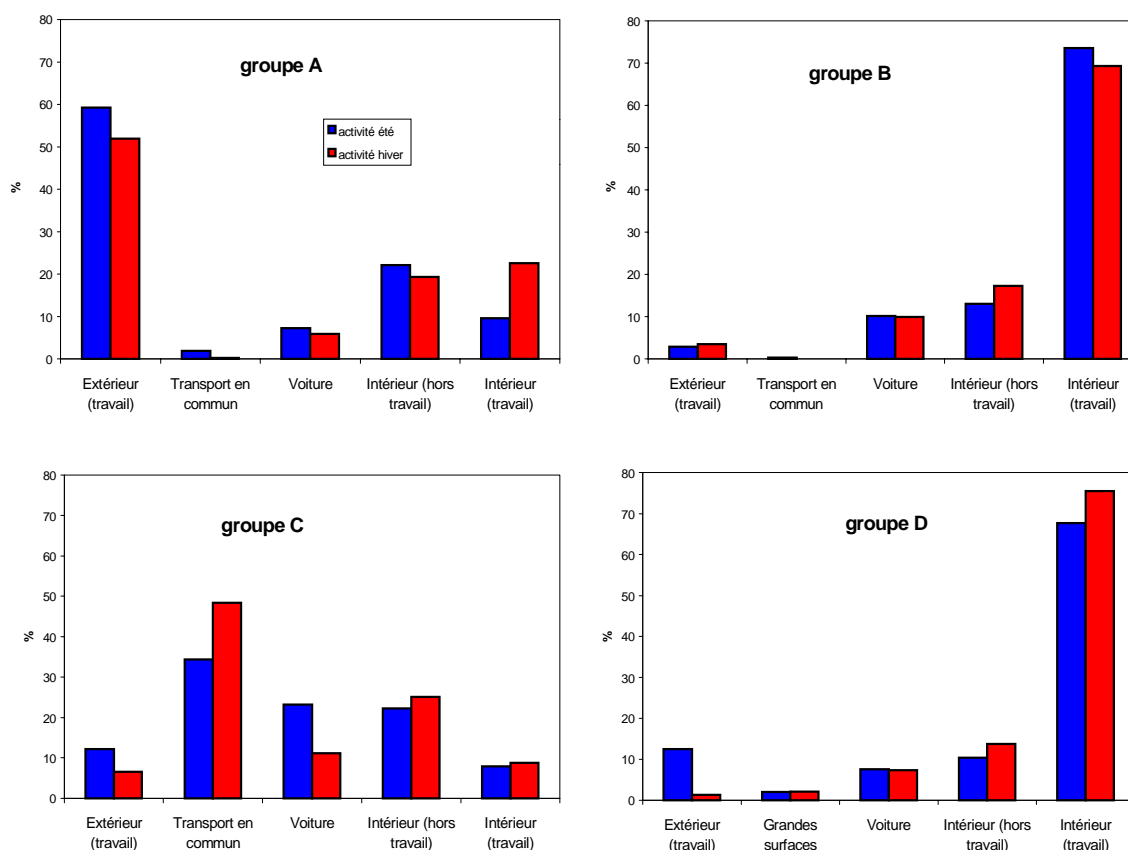


Figure 8 : temps en % passé quotidiennement dans chaque micro-environnement sur la période d'échantillonnage (activité).

- phase 1 et phase 2 -

nota : les heures "intérieur (hors travail)" correspondent généralement au temps passé dans les lieux publics (grande surface, restaurant, cinéma, hôpital...) et au domicile pour le déjeuner.

En ce qui concerne l'influence saisonnière sur les niveaux d'exposition, elle semble peu sensible sur les mesures réalisées au cours de la période d'échantillonnage liée à l'activité (figure 6). Les concentrations moyennes observées au cours des phases 1 et 2 sont sensiblement équivalentes pour chaque groupe sur la période d'échantillonnage liée à l'activité. Généralement, les différences des expositions entre été et hiver sont expliquées principalement par des facteurs "sources" et des facteurs météorologiques (QUARG, 1996).

En été, le trafic urbain et les combustions industrielles constituent les principales sources d'émission de CE. En hiver, d'autres sources interviennent, particulièrement le chauffage urbain ce qui peut expliquer, lorsque l'hiver est sec, des concentrations plus importantes en hiver qu'en été (Boudet, 2000). Au cours de notre étude, la phase 1 a été relativement ensoleillée alors que la phase 2 a connu plusieurs épisodes pluvieux. Enfin, les mesures de la phase 2 n'ont pas été réalisées complètement au cours d'une période hivernale. Ces éléments expliquent en partie le faible écart constaté entre les valeurs de la phase 1 et de la phase 2. Pour le domicile, on constate des valeurs plus contrastées entre les deux phases. Cependant, les concentrations moyennes restent faibles (<5 µg/m³).

Le tableau suivant donne une comparaison entre les expositions personnelles cumulées et les immissions mesurées sur les quatre stations du réseau. Les expositions cumulées ont été calculées sur 24 heures en tenant compte du temps d'échantillonnage des deux périodes (activité et domicile) pour chaque volontaire. Les mesures en station ont été programmées sur 24 heures ou quatre jours durant la période d'échantillonnage des volontaires.

Globalement, les concentrations moyennes des expositions personnelles au CE sont plus élevées que celles mesurées sur les trois stations de fond (stations 1, 2 et 3). Les concentrations les plus fortes sont observées sur la station 4 qui est une station de proximité (située dans une rue du centre ville). Les valeurs mesurées sur cette station sont assez proches de celles observées sur les volontaires des groupes B et C mais en deçà de celles des groupes A et D.

	<i>Exposition personnelle cumulée</i>				<i>Immissions réseau</i>			
	<i>Groupes</i>				<i>Stations</i>			
	A	B	C	D	1	2	3	4
<i>Phase 1</i>	9,9	3,9	5,8	8,0	< 0,3	0,4	< 0,3	3,5
<i>Phase 2</i>	10,7	6,0	7,3	8,1	< 1	4,2	2,5	5,6

Tableau VII : comparaison des expositions personnelles moyennes cumulées et des valeurs d'immission observées sur quatre stations pour le CE (µg/m³).

Ces observations témoignent de la difficulté d'apprécier les différentes expositions individuelles au sein d'une population à partir des données d'immission des réseaux. Cette difficulté est due en partie aux expositions contrastées qui peuvent exister entre les différents micro-environnements fréquentés par cette population. La prise en compte de la mobilité spatio-temporelle des individus par des mesures individuelles est sans conteste un outil plus efficace dans la caractérisation des expositions et conduit donc à une meilleure évaluation du risque.

6 CONCLUSION

Les expositions personnelles au CE mesurées au cours de cette étude ont permis de mettre en évidence des différences de concentration au sein d'une population. Elles ont montré que le temps passé à l'extérieur est le facteur prépondérant vis à vis de l'exposition au CE. Les personnes les plus exposées étant celles appartenant au groupe A et dont les séjours à l'extérieur, au cours de leur période d'activité (hors domicile), sont équivalents à 60 %. A l'inverse les concentrations les plus faibles ont été observées sur le groupe B, composé principalement de personnes séjournant, au cours de leur période d'activité (hors domicile), plus de 70 % de leur temps à l'intérieur de locaux. En outre, les concentrations mesurées au domicile chez les 40 volontaires sont proches de celles du groupe B.

La méthode pour l'analyse du CE a montré qu'elle pouvait être utilisée dans le cadre d'études d'expologie pour l'évaluation d'une exposition aux émissions diesel. En effet, la méthode présente une bonne limite de détection et le CE peut être considéré comme un bon indicateur de ces émissions. Cependant, l'utilisation de filtres en fibres de quartz ne permet pas d'associer à cette détection les résultats de l'analyse gravimétrique compte tenu de la fragilité et la friabilité des filtres et des faibles niveaux d'empoussiérement rencontrés dans l'environnement.

Enfin, les mesures d'immissions obtenues à partir des quatre stations ont également montré la nécessité de compléter ce type de surveillance par des études d'expologie. Cependant, ce type d'étude est difficile à mettre en œuvre et relativement coûteuse. L'effort doit donc être porté sur des études comparatives sur l'exposition personnelle et les valeurs d'immission afin d'établir les corrélations nécessaires.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aubier M., 2000. Allergie respiratoire et pollution atmosphérique. Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique, Vol. 38, p. 499-503.

Dockery W., Pope C.A., Xu X. et al., 1993. "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities". New Engl. J. Med., 329, 24, p. 1753-1759.

Dockery W., Pope C.A., 1994. "Acute respiratory effects of particulate air pollution. Annual revue Public health", Vol 15, p. 107-132.

Pope C.A, Thun M, Dockery D.W, Ewans J.S, Speizer F.E, Heath C.W. "Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S adults", Am.J.Crit.Care Med, 1995,151,669-674.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1998 Expertise collective : diesel et santé. CNRS, Paris, 245 pages.

Lafon, D. "Toxicité des émissions des moteurs diesel et des moteurs essence". Rapport INERIS 1993.

International Agency for Research on Cancer (IARC) : diesel and gasoline Exhausts and Some Nitroarenes, IARC Monograph on the Evaluation of carcinogenic Risks to humans, Vol 46, International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, France, World Health Organization, 1989.

Health effects Institute (HEI) : Diesel Exhaust : "A critical analysis of emissions, exposure and health effects", Health Effects Institute, Cambridge, MA, 1995.

Tissot, S. "Toxicité des particules émises par la circulation automobile : suivi et synthèse bibliographique". Rapport INERIS 1999.

Blanchard, O. "Etude d'un marqueur de particules diesel". Rapport INERIS 1997.

Guillemin, M, Cachier H, Chini C, Dabil D, Dahmann D, Diebold F, Fisher A, Fricke H.H, Groves J.A, Hebesch R, Houpillart M, Israel G, Mattenkloft M, Moldenhauer W, Sandino J.P, Schlums C, Sutter E, Tucek E - "International round tests on the measurement of carbon on diesel exhaust particulates" - Int Arch Occp Environ Health, vol 70, pp 161-172, 1997.

Blanchard, O. "Mesure de l'exposition aux particules diesel". Rapport INERIS 1998.

Gonzalez-Flesca, N, Bates, M, Delmas, V, Cocheo, V "Benzène Exposure Assessment at Indoor, Outdoor and Personal Levels. The French Contribution to the Life Macbeth Programme". *Environmental Monitoring and Assessment Journal* 65 : 56-67, 2000.

Jantunen, M.J, Hänninen, O, Katsouyanni, K, Knöppel, H, Kuenzli, N, Lebet, E, Maroni, M, Saarela, K, Sram, R, Zmirou, D "Air pollution exposure in european cities : the EXPOLIS study", journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol 8, N°4, pp 495-518, 1998.

Verma, DK ; Shaw, L ; Julian,J ; Smolyneec, K, Wood, C ; Shaw, D "A comparison of sampling and analytical methods for assessing occupational exposure to diesel exhaust in a railroad work environment". Applied Occupational and Environmental hygiene, vol 14(10) : 701-714, 1999.

The Quality of Urban Air Review Group (QUARG) “ Airborne Particulate matter in the United Kingdom ”. Third Report of The Quality of Urban Air Review Group, Department of the Environment, London, 176 pages, 1996.

Boudet, C ; Zmirou, D ; Déchenaux, J “ Exposition personnelle aux particules fines (PM2.5) de la population grenobloise : l’étude européenne EXPOLIS ”. Rev. Epidém. Santé Publ, 48, 341-350, 2000.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : Notice of Intended Change-Diesel Particulate. Draft Documentation of the Proposed TLV for Diesel Exhaust (1995).

Whittaker, LS ; MacIntosh, DL ; Williams,PL “ Employee Exposure to Diesel Exhaust in the Electric Utility Industry ”. Am Ind Hyg Assoc J, 60 : 635-640 (1999).

8 LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb/N° pages
A	Résultats des différentes campagnes d’échantillonnage	9
B	Questionnaire d’introduction	2
C	Fiche de suivi journalier	2
D	Procédure de pesée des filtres	2

ANNEXE A

Résultats des différentes campagnes d'échantillonnage

Résultats de la campagne d'été groupe A

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
A1	1	< 0,10	< 0,07	11,3	7,6
	2	< 0,10	< 0,08	2,6	2,0
	3	< 0,10	< 0,06	5,8	3,3
	4	< 0,10	< 0,08	1,6	1,2
A2	1	0,66	0,43	39,3	25,5
	2	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	3	0,86	0,53	28,6	17,5
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
A3	1	0,64	0,39	47,5	28,5
	2	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	3	0,31	0,22	11,8	8,5
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
A4	1	< 0,10	< 0,09	17,6	16,7
	2	< 0,10	< 0,05	< 1,0	< 0,5
	3	0,48	0,45	9,8	9,3
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
A5	1	< 0,10	< 0,07	15,0	11,1
	2	< 0,10	< 0,09	9,1	8,0
	3	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	4	< 0,10	< 0,09	< 1,0	< 0,9
A6	1	< 0,10	< 0,09	37,0	34,3
	2	< 0,10	< 0,06	9,5	5,8
	3	0,36	0,34	42,7	40,5
	4	< 0,10	< 0,06	12,6	7,2
A7	1	0,20	0,17	42,2	35,8
	2	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
	3	< 0,10	< 0,08	29,7	24,4
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
A8	1	0,35	0,21	38,3	23,8
	2	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	3	0,36	0,24	38,4	26,3
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
A9	1	0,19	0,13	17,2	11,2
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	0,19	0,16	19,3	16,3
	4	< 0,10	< 0,06	5,7	3,3
A10	1	< 0,10	< 0,07	29,7	19,7
	2	< 0,10	< 0,06	12,3	7,9
	3	0,20	0,14	22,7	15,4
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7

Résultats de la campagne d'été groupe B

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
B1	1	< 0,10	< 0,08	13,6	10,9
	2	< 0,10	< 0,06	7,8	4,8
	3	< 0,10	< 0,09	7,8	6,7
	4	0,13	0,08		
B2	1	< 0,10	< 0,08		
	2	< 0,10	< 0,07		
	3	< 0,10	< 0,09		
	4	< 0,10	< 0,06		
B3	1	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
B4	1	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
	4	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
B5	1	< 0,10	< 0,11	< 1,0	< 1,1
	2	< 0,10	< 0,09	< 1,0	< 0,9
	3	< 0,10	< 0,07	19,0	12,7
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
B6	1	< 0,10	< 0,07	8,4	6,1
	2	< 0,10	< 0,07	1,8	1,2
	3	< 0,10	< 0,07	5,2	3,9
	4	< 0,10	< 0,07	1,5	1,0
B7	1	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	2	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
	3	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
B8	1	< 0,10	< 0,06	22,8	14,1
	2	< 0,10	< 0,07	36,6	27,2
	3	< 0,10	< 0,05	37,7	19,9
	4	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
B9	1	< 0,10	< 0,07		
	2	< 0,10	< 0,07	3,9	2,6
	3	< 0,10	< 0,07	4,0	3,0
	4	< 0,10	< 0,07	1,3	1,0
B10	1	< 0,10	< 0,07	16,7	12,0
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7

Résultats de la campagne d'été groupe C

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
C1	1	< 0,10	< 0,07	20,1	15,1
	2	< 0,10	< 0,06	9,8	6,3
	3	< 0,10	< 0,07	12,7	9,3
	4	< 0,10	< 0,07	7,8	5,5
C2	1	< 0,10	< 0,07	14,6	9,8
	2	< 0,10	< 0,06	6,3	3,8
	3	< 0,10	< 0,06	8,4	4,9
	4	< 0,10	< 0,11	7,1	7,9
C3	1	< 0,10	< 0,07	8,3	5,7
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	< 0,05	5,0	2,4
	4	< 0,10	< 0,12	1,3	1,5
C4	1	< 0,10	< 0,06	10,8	6,7
	2	< 0,10	< 0,08	2,5	2,0
	3	< 0,10	< 0,06	14,4	8,8
	4	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
C5	1	< 0,10	< 0,08	25,7	21,1
	2	< 0,10	< 0,05	7,9	4,3
	3	< 0,10	< 0,08	27,4	22,5
	4	< 0,10	< 0,06	9,5	5,8
C6	1	0,10	0,08	5,8	4,3
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	0,07	18,8	12,3
	4	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
C7	1	< 0,10	< 0,07	6,3	4,4
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	< 0,15	3,1	4,6
	4	< 0,10	< 0,04	< 1,0	< 0,4
C8	1	< 0,10	< 0,07	1,8	1,2
	2	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	3	< 0,10	< 0,09	< 1,0	< 0,9
	4	< 0,10	< 0,07	1,4	1,0
C9	1	< 0,10	< 0,07	25,0	16,8
	2	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
	3	< 0,10	< 0,07	23,0	16,5
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
C10	1	< 0,10	< 0,08	4,3	3,4
	2	< 0,10	< 0,04	8,9	3,5
	3	< 0,10	< 0,06	13,8	8,7
	4	< 0,10	< 0,11	5,5	6,2

Résultats de la campagne d'été groupe D

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
D 1	1	< 0,10	< 0,08	23,3	18,1
	2	< 0,10	< 0,06	37,2	22,5
	3	< 0,10	< 0,08	17,4	13,5
	4	< 0,10	< 0,05	< 1,0	< 0,5
D2	1	< 0,10	< 0,07	17,0	12,0
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	< 0,10	< 0,07	12,3	8,3
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
D 3	1	0,31	0,23	< 1,0	< 0,7
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	0,14	0,09	< 1,0	< 0,7
	4	< 0,10	< 0,07	2,3	1,7
D 4	1	< 0,10	< 0,08	1,2	1,0
	2	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
	3	< 0,10	< 0,08	2,3	1,9
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
D 5	1	0,23	0,15	14,3	9,6
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	0,56	0,37	27,1	18,1
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
D 6	1	0,12	0,09	6,8	4,7
	2	< 0,10	< 0,07	0,6	0,4
	3	0,79	0,54	61,3	42,0
	4	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
D 7	1	0,20	0,13	24,9	16,2
	2	< 0,10	< 0,07	4,6	3,1
	3	0,40	0,23	35,1	20,0
	4	< 0,10	< 0,08	4,8	3,8
D 8	1	< 0,10	< 0,06	8,5	5,5
	2	< 0,10	< 0,08	< 1,0	< 0,8
	3	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	4	< 0,10	< 0,06	< 1,0	< 0,6
D 9	1	0,14	0,09	11,1	7,1
	2	< 0,10	< 0,07	< 1,0	< 0,7
	3	0,27	0,22	14,8	12,1
	4	< 0,10	< 0,06	4,7	2,6
D 10	1	< 0,10	< 0,08	63,1	51,0
	2	< 0,10	< 0,06	5,3	3,2
	3	0,76	0,59	46,5	36,4
	4	< 0,10	< 0,06	7,7	4,8

Résultats de la campagne d'hiver groupe A

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de Corganique (µg)	Concentration Corganique (µg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
A2	1	0,36	0,11	96	28,9	46,0	13,9
	2			18			
A3	1	0,69	0,22	14	4,6	16,3	5,3
	2	< 0,10	< 0,07	14	9,8	18,3	6,4
A5	1	0,16	0,05	32	10,4	37,0	12,0
	2	< 0,10	< 0,04	< 3	< 1,2	< 3,0	< 1,2
A6	1	0,59	0,26	138	59,6	49,7	21,5
	2	< 0,10	< 0,03				
A7	1	0,77	0,36	74	34,1	88,0	40,5
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 0,8	< 3,0	< 0,8
A8	1	0,36	0,15	33	13,6	48,0	19,7
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 0,9	12,0	3,7
A9	1	0,56	0,19	14	4,7	12,0	4,0
	2	< 0,10	< 0,03	18	6,0	24,9	8,4
A10	1	0,27	0,10	45	16,1	47,0	16,9
	2	< 0,10	< 0,01	24	15,6	18,0	5,9

Résultats de la campagne d'hiver groupe B

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de Corganique (µg)	Concentration Corganique (µg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
B1	1	0,14	0,05	28	9,5	31,0	10,5
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 1,0	11,8	4,0
B2	1	< 0,10	< 0,04	< 3	< 1,2	< 3,0	< 1,2
	2	0,10	0,03	< 3	< 0,9	< 3,0	< 0,9
B4	1	< 0,10	< 0,05	< 3	1,6	< 3,0	< 1,6
	2	0,11	0,07	< 3	< 2,1	12,7	8,7
B5	1	0,11	0,05	< 3	< 1,2	< 3,0	< 1,2
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 1,0	< 3,0	< 1,0
B6	1	< 0,10	< 0,03	27	8,8	48,0	15,6
	2	< 0,10	< 0,04	< 3	< 1,1	< 3,0	< 1,1
B7	1	< 0,10	< 0,04	21	8,2	24,0	9,3
	2	< 0,10	< 0,03	16	4,9	23,0	7,1
B8	1	< 0,10	< 0,03	23	7,1	36,0	11,1
	2	< 0,10	< 0,02	< 3	< 2,6	< 3,0	< 1,2
B9	1	< 0,10	< 0,04	< 3	< 1,2	< 3,0	< 1,2
	2	< 0,10	< 0,03				
B10	1	0,20	0,07	29	10,7	45,0	16,6
	2	< 0,10	< 0,03	29	9,8	32,0	10,8

Résultats de la campagne d'hiver groupe C

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de Corganique (µg)	Concentration Corganique (µg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
C1	1	0,22	0,08	< 3	< 1,1	< 3,0	< 1,1
	2	0,10	0,03	< 3	< 1,0	< 3,0	< 1,0
C2	1	0,19	0,06	37	12,9	44,2	15,4
	2	< 0,10	< 0,04	18	6,8	21,6	8,1
C5	1	0,09	0,06	21	15,1	28,6	20,5
	2	< 0,10	< 0,07	22	15,1	15,7	10,8
C6	1	0,41	0,11	15	4,1	24,3	6,7
	2	0,11	0,04	< 3	< 1,1	< 3,0	< 1,1
C7	1	0,15	0,05	37	12,1	41,0	13,4
	2	0,10	0,04	27	10,4	20,2	7,8
C9	1	< 0,10	< 0,03	< 3	< 0,8	< 3,0	< 0,8
	2	< 0,10	< 0,03	24	7,0	38,7	11,3
C10	1	0,28	0,11	48	19,0	34,1	13,5
	2	< 0,10	< 0,04	13	5,2	< 3,0	< 1,2
C11	1	< 0,10	< 0,04	< 3	< 1,1	< 3,0	< 1,1
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 1,0	< 3,0	< 1,0

Résultats de la campagne d'hiver groupe D

Participant	filtres	Masse de poussières (mg)	Concentration de poussières (mg/m ³)	Masse de Corganique (µg)	Concentration Corganique (µg/m ³)	Masse de CE (µg)	Concentration CE (µg/m ³)
D1	1	< 0,10	0,05	26	13,5	31,0	16,1
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 0,9	< 3,0	< 0,9
D2	1	0,24	0,11	12	11,0	11,8	5,3
	2	< 0,10	< 0,08	< 3	< 4,8	< 3,0	< 2,4
D3	1	0,93	0,70	21	15,9	16,4	12,4
	2						
D4	1	0,54	0,22	57	23,3	58,0	23,7
	2	< 0,10	< 0,03	14	4,0	< 3,0	< 0,9
D5	1	0,52	0,17	49	33,2	42,0	13,7
	2	< 0,10	< 0,03	18	12,6	34,9	11,7
D6	1	1,20	0,42	16	11,3	22,3	7,9
	2	< 0,10	< 0,04	< 3	< 2,1	< 3,0	< 1,1
D7	1	0,83	0,30	76	54,2	67,4	24,0
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 1,8	< 3,0	< 0,9
D8	1	0,30	0,09	< 3	< 1,8	12,7	3,8
	2	< 0,10	< 0,04	< 3	< 2,5	< 3,0	< 1,2
D9	1	0,37	0,16	54	46,4	90,0	38,5
	2	0,19	0,06	< 3	< 1,8	< 3,0	< 0,9
D10	1	< 0,10	< 0,04	16	13,1	19,3	7,6
	2	< 0,10	< 0,03	< 3	< 1,8	< 3,0	< 0,9

ANNEXE B

Questionnaire d'introduction

Nom du du Candidat(e)

Date :

Adresse :

Tel :

Age :

Sexe :

Questions	Oui	Non	Autres réponses et commentaires
Quel emploi occupez-vous?			
Quel type de travail faites-vous? (quel est en fait l'environnement dans lequel vous travaillez? rues, bureaux...)			
Quel moyen de transport utilisez-vous pour vous rendre sur votre lieu de travail?			
Si c'est une voiture, roule-t-elle au Diesel			
Est ce que des membres de votre entourage fument?			
Vous rendez vous régulièrement dans des endroits enfumés?			
Résidez-vous dans un appartement?			
Si oui, à quel étage?			
Résidez-vous dans une maison particulière?			
Utilisez-vous un poêle à bois dans votre maison?			
Vous chauffez-vous au fuel?			
Votre cuisine est-elle équipée d'une gazinière?			
Votre cuisine est-elle équipée d'une hotte? (Y a-t-il une conduite qui évacue l'air vers l'extérieur?)			
Votre garage communique-t-il avec votre maison?			
Votre maison est-elle située près d'un carrefour			
Votre maison est-elle située près d'une route où le trafic est dense?			

ANNEXE C

Fiche de suivi journalier

NOM DU CANDIDAT :

DATE DU SUIVI :

Numéro d'échantillon	Période d'échantillonnage	Lieu d'échantillonnage	Type d'activité durant l'échantillonnage

ANNEXE D

Procédure de pesée des filtres

Procédure de pesée des filtres

- préparer chaque filtre dans une boîte de pétri référencée en vérifiant leur état (pas de trous, présence de débris...)
- placer les boîtes de pétri garnies de leur filtre, boîtes ouvertes, durant quarante huit heures dans la chambre de pesée contrôlée en température (20 ± 1)°C et en humidité relative (50 ± 3)%.
- lors de la pesée, mettre en marche la micro-balance METTLER MT5 et faire le zéro. Vérifier avec une masse étalon le bon fonctionnement de la micro-balance,
- avec une paire de pinces, saisir délicatement le filtre par sa bordure, ouvrir la balance, placer le filtre au centre du plateau, fermer la balance et attendre la stabilisation, noter la masse indiquée,
- ouvrir la balance, retirer le filtre du plateau et fermer la balance, attendre la remise à zéro de la balance, si une déviation est constatée, refaire le zéro,
- pour chaque série de vingt filtres pesés, deux filtres témoins sont pesés dans les mêmes conditions afin de prendre en compte l'influence des facteurs environnementaux, une dérive éventuelle de la microbalance ou de l'opérateur. Les filtres témoins sont conservés durant toute la durée de la campagne d'échantillonnage dans la chambre de pesée.

Pour la pesée des filtres échantillonnées la procédure est identique.

Calcul de la masse de matière particulaire collectée sur un filtre.

Soient $Ti1$ et $Ti2$ les masses initiales des témoins avant l'échantillonnage et $Tf1$ et $Tf2$ les masses finales des témoins après l'échantillonnage, la moyenne des variations de masse des témoins est équivalent à :

$$\Delta T = 1/2[(Tf1 - Ti1) + (Tf2 - Ti2)]$$

Soient Mi la masse initiale du filtre avant l'échantillonnage (moyenne des trois pesées successives) et Mf la masse du filtre après l'échantillonnage (moyenne des trois pesées successives), la masse M de matière particulaire collectée est égale à :

$M = (Mf - Mi) - \Delta T$
