

**LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE DE LA
QUALITE DE L'AIR**

**ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE L'AEROSOL
ATMOSPHERIQUE**

Catherine Perrot, Tatiana Macé

Réf. LNE : C524J20

Mai 2000

RESUME

Dans le cadre de l'étude des caractéristiques de l'aérosol atmosphérique, il avait été effectué des essais préliminaires sur le site de la Porte d'AUTEUIL (cf. rapport de septembre 1999).

Cette première étude avait pour objectif la mise au point des procédures de prélèvements et d'analyses qui seraient appliqués aux futures campagnes de mesures, menées sur différents sites.

Les essais préliminaires mettaient en évidence un sérieux problème de reproductibilité de la masse des filtres « conditionnés ».

Cette seconde étude avait donc pour but de reprendre le conditionnement des filtres et de finaliser les procédures de prélèvements et d'analyses.

Les résultats montrent que le conditionnement donnant les meilleurs résultats est celui par saturation des filtres en vapeur d'eau atmosphérique.

Des résultats expérimentaux obtenus à l'extérieur du LNE, avenue A. Bartholomé, comparés et « étoffés » d'informations complémentaires fournis par le réseau de mesures AIRPARIF, il en ressort un certain nombre de renseignements sur les caractéristiques de l'aérosol atmosphérique mais surtout, beaucoup d'inconnues pour pouvoir énoncer une tendance selon les sites de prélèvements.

Quoiqu'il en soit, sur le site de fond du LNE_Paris, du 28/02/2000 au 06/04/2000, les résultats montrent que :

- le diamètre médian de la fraction respirable ($\leq 5 \mu\text{m}$) est compris entre 0,68 et 1,49 μm , soit un diamètre médian voisin du micromètre,
- la concentration en nombre des particules pour cette même fraction est comprise entre 10^4 et 10^6 particules/ m^3 ,
- les concentrations massiques des particules subissent de grandes variations dans une même journée et d'un jour sur l'autre,
- il n'existe pas de corrélation entre la concentration en nombre des particules et leur concentration en masse,
- d'une journée à l'autre, la composition chimique de l'aérosol atmosphérique peut considérablement varier,
- les concentrations des 4 éléments nickel, arsenic, cadmium et plomb ne peuvent qu'être considérées comme des informations complémentaires. En effet, les seuils limites fournis par l'OMS pour le nickel et le plomb, sont des valeurs annuelles et non journalières. Quant aux deux autres, on parle de facteur de risque ou dose maximale par an et par vie, ce qui rend impossible l'exploitation de toutes données issues de prélèvements ponctuels en cours d'année.

Il serait intéressant, maintenant que la procédure de mise en œuvre du système couplé IMP 3306 / APS 3320 est établie, de multiplier les échantillonnages sur sites de fond et sites de proximité d'AIRPARIF et de comparer ou de compléter nos résultats de mesures avec les PM_{2,5} et les PM₁₀.

SOMMAIRE

	Page
1. OBJECTIF	
1	
2. MATERIELS UTILISES	1
3. DESCRIPTIF DES MATERIELS	1
3.1. IMPACTEUR D'ENTREE TSI MODELE 3306	2
3.2. GRANULOMETRE APS MODELE 3320	4
3.3. MEMBRANES FILTRANTES	7
3. ETUDE PRELIMINAIRE SUR LE CONDITIONNEMENT DES FILTRES EN VUE DES PESEES	7
4.1. CONDITIONNEMENT DES FILTRES EN ETUVE	8
4.2. CONDITIONNEMENT DES FILTRES PAR LE VIDE	8
4.3. CONDITIONNEMENT DES FILTRES PAR SATURATION EN VAPEUR D'EAU ATMOSPHERIQUE	8
5. ESSAIS REALISES AVEC LE SYSTEME COUPLE (IMP 3306/APS 3320)	8
6. RESULTATS OBTENUS	9
6.1. FILTRES VIERGES	
9	

6.2.	ECHANTILLONNAGE EN LABORATOIRE	10	
6.3.	ECHANTILLONNAGE A L'EXTERIEUR DU LABORATOIRE	13	
6.4.	INTERPRETATION DES RESULTATS	20	
7.	CONCLUSION GENERALE	26	
8.	OBJECTIF FUTUR		27

1. OBJECTIF

Dans le cadre de l'étude des caractéristiques de l'aérosol atmosphérique, il avait été effectué des essais préliminaires sur le site de la Porte d'AUTEUIL (cf. rapport de septembre 1999).

Cette première étude avait pour objectif la mise au point des procédures de prélèvements et d'analyses qui seraient appliqués aux futures campagnes de mesures, menées sur différents sites.

Les essais préliminaires mettaient en évidence un sérieux problème de reproductibilité de la masse des filtres « conditionnés ».

Cette seconde étude a donc pour but de reprendre le conditionnement des filtres et de finaliser les procédures de prélèvements et d'analyses.

2. MATERIELS UTILISES

- Impacteur d'entrée TSI Incorporated modèle 3306.
- Granulomètre TSI Incorporated modèle APS 3320.
- Membranes filtrantes : Esters de Cellulose ; Polycarbonate ; Téflon et Fibre de Verre (toutes, de diamètre 47 mm).
- Pompe air/gaz à palettes sèches de 10m³/h – BUSCH.
- Balance METTLER AT 261 – 0,01 mg de résolution.

3. DESCRIPTIF DES MATERIELS

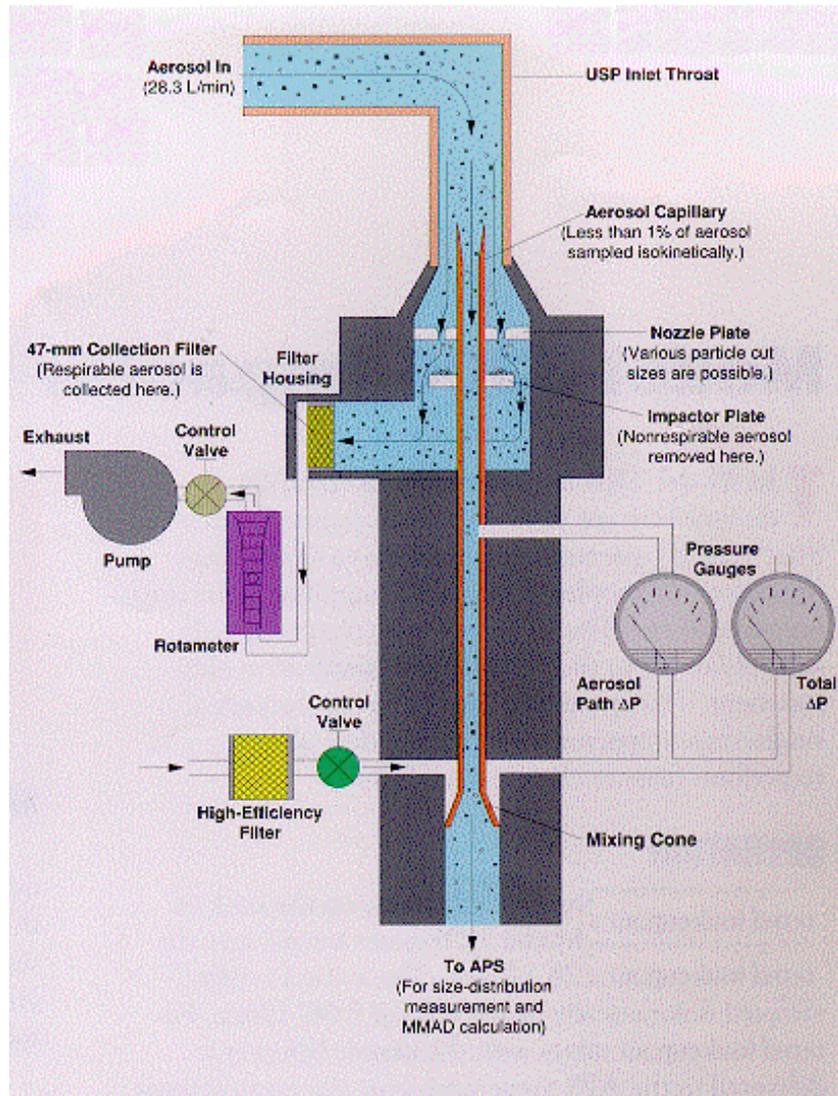
Le dispositif expérimental comprend 2 parties couplées permettant :

- L'impaction de l'aérosol atmosphérique sur la membrane filtrante.
- La classification granulométrique et le comptage particulaire.



3.1. IMPACTEUR D'ENTREE TSI MODELE 3306

2.1.1. Schéma de fonctionnement



3.1.2. Spécifications

- Diamètre de coupure (D_{50}) : 4,7 μm (diamètre aérodynamique).
- Diamètre du filtre de collection : 47 mm
- Débits :
 - aérosol d'entrée : 28,3 l/min.
 - débit à travers le filtre de collection : 28,24 l/min.
 - débit de l'aérosol entrant dans APS : 0,062 l/min.
 - débit complétant APS : 4,94 l/min.

3.1.3 Principe

a) En mode simple

La membrane filtrante de diamètre 47 mm, est déposée dans la chambre de prélèvement. Le manomètre, situé à gauche de la face avant de l'impacteur (cf. photo ci-dessus), est réglé à 30 l/min. de façon à prélever un débit de 28,3 l/min. L'aérosol atmosphérique ainsi pompé, et plus spécifiquement la fraction respirable, vient s'impacter sur la membrane filtrante.

La masse de particules collectées sera égale à :

Masse finale (filtre + particules collectées) - masse initiale (filtre seul)

Connaissant le débit et le temps de filtration, on en déduira la concentration particulaire respirable, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air.

Le support filtrant pourra ensuite être utilisé pour l'analyse chimique des composés non volatils recherchés tels que le Nickel (Ni), le Cadmium (Cd), l'Arsenic (As) et le Plomb (Pb) par ICP/MS (Inductive Coupled Plasma/Mass Spectrometry).

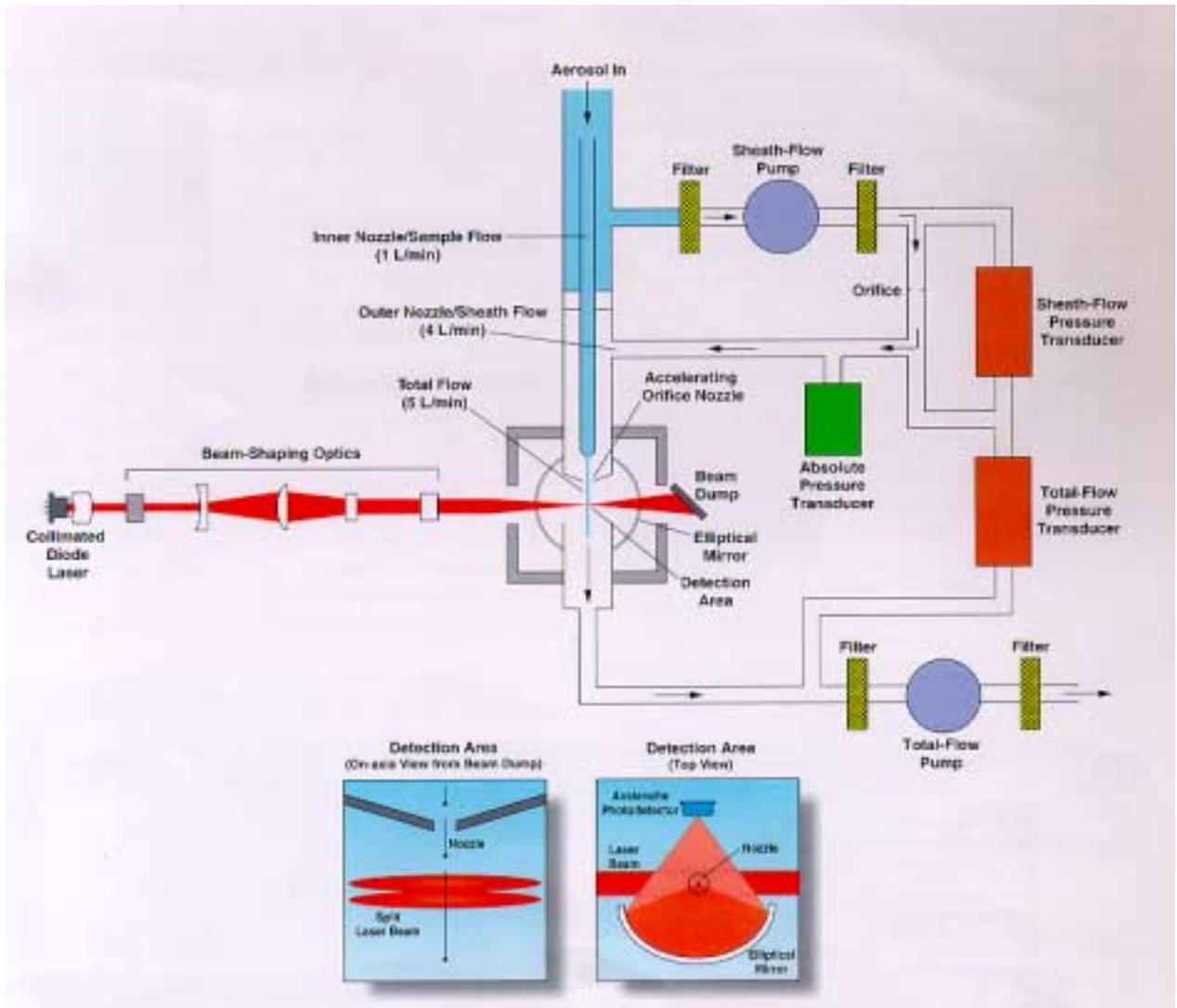
b) En mode combiné avec l'APS 3320

- Impaction sur membrane filtrante inchangée. Seul le débit de filtration est modifié. De 28,3 l/min., il passe à 28,24 l/min. En effet, une infime fraction (0,062 l/min.) va être dirigée vers le granulomètre APS 3320.
- Ces 0,062 l/min. vont traverser l'impacteur via un capillaire isocinétique et être aspirés par l'APS 3320. Ce débit sera régulé au moyen de 2 jauges dont les pertes de charges sont fixées respectivement à 0,350 cm d'H₂O pour le débit d'aérosol et de 0,900 cm d'H₂O pour le débit total d'air. Le réglage est effectué au moyen d'une seule vanne, située à droite de la face avant de l'impacteur modèle 3306 (cf. photo ci-dessus).

N.B. : La tranche granulométrique mesurée est située entre 0,3 et 20 μm de diamètre.

3.2. GRANULOMETRE APS MODELE 3320

3.2.1. Schéma de fonctionnement



3.2.2. Spécifications

- Tranche granulométrique : 0,52 à 20 μm pour le diamètre aérodynamique
0,37 à 20 μm pour le diamètre optique
- Résolution sur la tranche granulométrique : 0,02 μm à 1,0 μm de diamètre et
0,03 μm à 10 μm de diamètre
- Précision sur la concentration : 10% de la lecture + variation des statistiques de comptage
- Concentration minimale de comptage : 0,001 particule/ cm^3

- Concentration maximale de comptage recommandée : 1000 particules/cm³
- Temps d'échantillonnage : programmable et répétable de 1 seconde à 18 heures par échantillon
- Débit d'aérosol : 1,0 l/min. ± 0,1 l/min.
Débit d'air : 4,0 l/min. ± 0,1 l/min.
Débit total : 5,0 l/min. ± 0,2 l/min.
- Correction de la pression atmosphérique automatique entre 400 et 1030 mbar
- Températures d'utilisation : de 10 à 40°C
- Humidité relative : de 10 à 90%

3.2.3. Principe

L'échantillon entrant, est accéléré à travers un orifice de très faible diamètre. Le diamètre aérodynamique de la particule est fonction de son accélération ; plus les particules sont grosses, plus l'accélération est faible à cause de leur inertie.

A la sortie de l'orifice, les particules traversent 2 faisceaux laser se chevauchant partiellement dans la zone de détection. La lumière est diffusée à chaque fois qu'une particule passe à travers les faisceaux.

Un miroir elliptique placé à 90° de l'axe du faisceau laser collecte la lumière et la renvoie sur un photodétecteur à avalanche (APD) qui convertit les signaux lumineux en signaux électriques.

Quatre événements peuvent alors se produire :

- l'évènement 1 mesure les particules inférieures à 0,523 µm,
- l'évènement 2 mesure les particules dites valides où le temps de vol mesuré répond aux critères du système,
- l'évènement 3 mesure les effets de coïncidence, soit la probabilité que 2, 3 particules ou plus, s'agglomèrent et viennent à traverser les 2 faisceaux laser,
- l'évènement 4 mesure les particules supérieures à 20 µm.

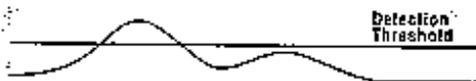
Les résultats de mesures sont donnés en tenant compte des 2 premiers événements. La représentation graphique ci-après, en donne une bonne approche.

Time-of-Flight Measurement Results

Every particle signal is processed in real time as one of four distinct events. The Model 3320 logs the occurrence of all events, but only Events 1 and 2 are included in size distribution results. Light-scattering intensity is recorded for Event 2 only.

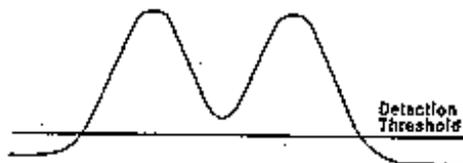
Event 1

This event occurs when the signal for a small particle cannot stay above the threshold and only one crest is detected. The measurement is aborted, and the time-of-flight of the particle is not recorded. However, the event is logged for concentration calculations and displayed in the <0.523- μm size channel in uncorrelated mode.



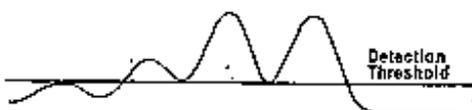
Event 2

This is a valid particle measurement. The signal stays above the threshold and two crests are detected. The time-of-flight between the two crests is recorded and the events are included in the concentration calculations.



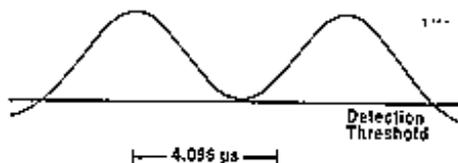
Event 3

This event is caused by coincidence. Although the signal stays above the threshold, three or more crests are detected. Events of this type are logged but not recorded for concentration or time-of-flight.



Event 4

This event is outside the maximum range of the timer. The signal remains above the threshold until it moves outside the timer range, and only one crest is detected. A type 4 event is normally caused by large or reticulating particles. Again, the event is logged, but no time-of-flight is recorded.



Le logiciel fourni avec l'APS 3320 (Aérosol Instrument Manager) permet de visualiser :

- le spectre des diamètres aérodynamiques,
- le spectre des diamètres optiques,
- les 4 évènements – signe de bon fonctionnement,
- les concentrations en nombre, surface et masse,
- les données corrélées en 3D : concentration (Nombre/surface/masse) / diamètre aérodynamique / diamètre optique,
- les paramètres d'échantillonnage.

3.3. MEMBRANES FILTRANTES

Quatre types de membranes filtrantes ont été testés :

- Fibre de verre ⇒ Gros problèmes rencontrés lors de la minéralisation
Fort pourcentage de pertes
ABANDONNE
- Fibre Téflon ⇒ Mêmes constatations que précédemment
ABANDONNE
- Fibre en Esters de Cellulose ⇒ Pas de problème rencontré
CONSERVE
- Fibre en Polycarbonate ⇒ Très électrostatique
Précaution à la minéralisation
CONSERVE

Les essais seront donc effectués avec les filtres en Esters de Cellulose et ceux en Polycarbonate.

4. ETUDE PRELIMINAIRE SUR LE CONDITIONNEMENT DES FILTRES EN VUE DES PESEES

Avant de lancer tout essai, il fallait reconsidérer la procédure de conditionnement des filtres en vue des pesées. En effet, lors des essais effectués sur le site de la Porte d'AUTEUIL en juin et juillet 1999, nous avons rencontré de gros problèmes lors des pesées des membranes filtrantes (masse finale inférieure à la masse initiale).

Ces problèmes étaient vraisemblablement dus au changement d'hygrométrie ambiante.

4.1. CONDITIONNEMENT DES FILTRES EN ETUVE

Une série de chaque type de filtre, placé chacun dans leur support (boîte de Pétri de 55 cm de diamètre), est déposée dans une étuve maintenue à 70-80°C pendant 12 heures. Une pesée initiale est faite avant l'étuvage, puis une autre après.

Cette opération est répétée sur plusieurs jours.

Devant les difficultés de reproductibilité de cette procédure, le conditionnement en étuve tel que décrit précédemment a du être abandonné.

4.2. CONDITIONNEMENT DES FILTRES PAR LE VIDE

Une série de chaque type de filtre, placé chacun dans leur support, est déposée dans un dessiccateur, lui-même relié à une trompe à eau. Le vide est alors fait dans le dessiccateur.

Les mêmes difficultés de reproductibilité que précédemment ayant été constatées, cette procédure a du également être abandonnée.

4.3. CONDITIONNEMENT DES FILTRES PAR SATURATION EN VAPEUR D'EAU ATMOSPHERIQUE

Devant les difficultés rencontrées pour sécher les filtres, le problème a été repris à la base. A savoir que puisqu'il nous était impossible d'éliminer complètement le facteur « hygrométrie ambiante », il a été décidé de ne pas essayer de l'éliminer, mais au contraire, de s'en servir pour mieux le soustraire.

Une série de chaque type de filtre, placé chacun dans leur support, est placée dans une boîte, à l'abri des poussières environnementales dans la salle de pesée, près de la balance qui servira à déterminer la masse de chacun des filtres.

Cette boîte est laissée toute une nuit, de façon à saturer les filtres en eau (hygrométrie ambiante). Une pesée initiale des filtres et de leur support est effectuée le lendemain matin, juste avant l'échantillonnage. Ce dernier, une fois terminé, les filtres sont replacés dans leur support respectif, et le tout dans la boîte positionnée près de la balance. La masse finale est déterminée le lendemain matin.

Les résultats obtenus étant reproductibles, cette procédure est adoptée pour la suite des essais.

5. ESSAIS REALISES AVEC LE SYSTEME COUPLE (IMP 3306 / APS 3320)

Les essais ont été réalisés en 2 étapes :

- Echantillonnages effectués en laboratoire, les semaines 5, 6 et 7, en alternant les prélèvements journaliers entre filtres en Esters de Cellulose et ceux en Polycarbonate.
Durée de prélèvement : 7 à 8 heures.

- Echantillonnages effectués sur le site du LNE/PARIS, en tirant une ligne à l'extérieur, (équivalent d'un site de fond), les semaines 9, 10, 11, 12, 13 et 14, en alternant les prélèvements sur filtres en Esters de Cellulose et ceux en Polycarbonate par semaine.
Durée de prélèvement : 7 à 8 heures.

N.B. : Lors de la première étape, des essais de filtres vierges ont été réalisés en parallèle de façon à déterminer la quantité des éléments recherchés, présents initialement dans les filtres utilisés, qui sera ensuite soustraite des résultats obtenus lors des échantillonnages.

6. RESULTATS OBTENUS

Dans tout ce qui suit, « ND » signifie « Non détecté ».

6.1. FILTRES VIERGES

6.1.1. Filtres en Esters de Cellulose

Cinq filtres ont été prélevés aléatoirement dans 3 boîtes, puis analysés par ICP/MS par le groupe « analyse élémentaire » de notre division.

Les résultats expérimentaux sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Résultats obtenus sur les filtres de la boîte n°1 :

Filtre	[Ni] (ng)	[As] (ng)	[Cd] (ng)	[Pb] (ng)
EC ₀ 1/1	35	ND	ND	25
EC ₀ 2/1	45	ND	ND	23
EC ₀ 3/1	30	ND	ND	10
EC ₀ 4/1	30	ND	ND	13
EC ₀ 5/1	37	ND	ND	15

Résultats obtenus sur les filtres de la boîte n°2 :

EC ₀ 1/2	32	ND	ND	25
EC ₀ 2/2	30	ND	ND	20
EC ₀ 3/2	30	ND	ND	25
EC ₀ 4/2	25	ND	ND	18
EC ₀ 5/2	25	ND	ND	18

Résultats obtenus sur les filtres de la boîte n°3 :

EC ₀ 1/3	37	ND	ND	37
EC ₀ 2/3	37	ND	ND	30
EC ₀ 3/3	18	ND	ND	18
EC ₀ 4/3	30	ND	ND	20

Moyenne	32	/	/	21
Ecart-type	7	/	/	7

Tableau 1 : Résultats expérimentaux obtenus sur les filtres vierges en Esters de Cellulose.

Les problèmes rencontrés lors de la minéralisation du filtre EC₀ 5/3, nous ont conduits à l'éliminer.

6.1.2. Filtres en Polycarbonate

Huit filtres ont été prélevés aléatoirement dans la première boîte et cinq dans la seconde, puis analysés par ICP/MS.

Les résultats expérimentaux sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Résultats obtenus sur les filtres de la boîte n°1 :

Filtre	[Ni] (ng)	[As] (ng)	[Cd] (ng)	[Pb] (ng)
PC ₀ 2/1	25	ND	ND	5
PC ₀ 3/1	25	ND	ND	5
PC ₀ 4/1	30	ND	ND	5
PC ₀ 5/1	45	ND	ND	13
PC ₀ 6/1	35	ND	ND	13
PC ₀ 7/1	30	ND	ND	13
PC ₀ 8/1	30	ND	ND	13

Résultats obtenus sur les filtres de la boîte n°2 :

PC ₀ 1/2	30	ND	ND	5
PC ₀ 2/2	25	ND	ND	8
PC ₀ 3/2	32	ND	ND	13
PC ₀ 4/2	200*	ND	ND	13
PC ₀ 5/2	100*	ND	ND	15

Moyenne	31	/	/	9
Ecart-type	6	/	/	4

Tableau 2 : Résultats expérimentaux obtenus sur les filtres vierges en Polycarbonate.

Les problèmes rencontrés lors de la minéralisation du filtre PC₀ 1/1, nous ont conduits à l'éliminer ; les filtres PC₀ 4/2 et PC₀ 5/2 quant à eux, ont vraisemblablement été souillés, les résultats expérimentaux ont donc été écartés.

6.1.3. Conclusion

Les masses moyennes obtenues pour chaque élément (Ni, As, Cd et Pb) sur les filtres vierges en Esters de Cellulose et en Polycarbonate devront être soustraites des masses mesurées lors des échantillonnages.

6.2. ECHANTILLONNAGE EN LABORATOIRE

Deux tableaux de résultats sont présentés successivement pour chaque type de filtres étudiés.

Le premier tableau regroupe les résultats expérimentaux sur la masse et la concentration des particules prélevées (fraction respirable) (cf. tableaux 3 et 5).

Le deuxième tableau regroupe les résultats de l'analyse chimique effectuée par ICP/MS (cf. tableaux 4 et 6).

6.2.1. Filtres en Esters de Cellulose

	Durée de	Volume	Masse de	Conc. De
--	----------	--------	----------	----------

Date	prélèvement (h)	total prélevé (m ³)	particules (mg)	particules (µg/m ³)
01/02/2000	7h00	11,886	0,22	18,51
08/02/2000	8h05	13,726	0,25	18,21
10/02/2000	8h05	13,726	0,84	61,20
11/02/2000	7h50	13,301	1,14	85,71

Tableau 3 : Masse et concentration des particules obtenues avec les filtres en Esters de Cellulose – en laboratoire.

Date	[Ni] (ng/m ³)	[As] (ng/m ³)	[Cd] (ng/m ³)	[Pb] (ng/m ³)
01/02/2000	4,0	ND	ND	11,9
08/02/2000	6,8	ND	ND	3,9
10/02/2000	6,8	ND	ND	11,2
11/02/2000	11,3	ND	ND	30,4

Tableau 4 : Résultats expérimentaux de l'analyse chimique effectuée sur les filtres en Esters de Cellulose – en laboratoire.

6.2.2. Filtres en Polycarbonate

Date	Durée de prélèvement (h)	Volume total prélevé (m ³)	Masse de particules (mg)	Conc. De particules (µg/m ³)
------	--------------------------	--	--------------------------	--

31/01/2000	7h00	11,886	0,36	30,29
14/02/2000	8h00	13,584	0,68	50,06
15/02/2000	8h00	13,584	0,36	26,50
16/02/2000	7h45	13,160	0,47	35,71

Tableau 5 : Masse et concentration de particules obtenues avec les filtres en Polycarbonate –en laboratoire.

Date	[Ni] (ng/m³)	[As] (ng/m³)	[Cd] (ng/m³)	[Pb] (ng/m³)
31/01/2000	4,5	ND	ND	9,3
14/02/2000	6,9	ND	ND	8,5
15/02/2000	10,6	ND	ND	14,1
16/02/2000	8,1	ND	ND	8,8

Tableau 6 : Résultats expérimentaux de l'analyse chimique effectués sur les filtres en Polycarbonate – en laboratoire.

Conclusion : Si l'on tient compte des jours de prélèvements, on s'aperçoit qu'il y a une augmentation non négligeable de la concentration particulaire à partir du 10/02/2000, pour revenir à des concentrations acceptables dès le 15/02/2000. De plus, le dépôt de particules collectées présentait une couleur rouge. Après renseignement, il s'est avéré que pendant cette période de prélèvement, des travaux étaient effectués à l'étage où se déroulaient les prélèvements et notamment des travaux de perçage (murs constitués de briques rouges).

6.3. ECHANTILLONNAGE A L'EXTERIEUR DU LABORATOIRE

Trois tableaux de résultats sont présentés successivement pour chaque type de filtres étudiés.

- Le premier tableau regroupe les résultats expérimentaux des masses et des concentrations massiques de particules prélevées (fraction respirable, diamètre $\leq 5 \mu\text{m}$), obtenus avec l'impacteur modèle 3306 (cf. tableaux 7 et 10).

- Le deuxième tableau regroupe les résultats de l'analyse chimique effectuée par ICP/MS (cf. tableaux 8 et 11).
- Le troisième tableau regroupe les diamètres médians moyens et les concentrations en nombre de particules prélevées (fraction respirable, diamètre $\leq 5 \mu\text{m}$), obtenus avec l'APS 3320 (cf. tableaux 9 et 12).
On appelle diamètre médian, le diamètre tel que 50 % des particules ont des dimensions qui lui sont supérieures, tandis que 50 % ont des dimensions plus petites.

6.3.1. Filtres en Esters de Cellulose

Date	Durée de prélèvement (h)	Volume prélevé (m^3)	Masse de particules prélevées (mg) (IMP 3306) ($\text{Dp} \leq 5 \mu\text{m}$)	Concentration massique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (IMP 3306) ($\text{Dp} \leq 5 \mu\text{m}$)
28/02/2000	8h00	13,555	0,36	26,56
29/02/2000	8h00	13,555	0,44	32,46
01/03/2000	8h00	13,555	0,14	10,33
02/03/2000	8h00	13,555	0,67	49,43

13/03/2000	8h00	13,555	1,49	109,92
14/03/2000	8h00	13,555	0,43	31,72
15/03/2000	8h00	13,555	0,28	20,66
16/03/2000	8h00	13,555	1,21	89,27
17/03/2000	7h00	11,861	0,74	62,39

Tableau 7 : Masse et concentration massique des particules obtenues avec les filtres en Esters de Cellulose – en extérieur.

Date	Durée de prélèvement (h)	Volume prélevé (m^3)	Masse de particules prélevées (mg) (IMP 3306) ($\text{Dp} \leq 5 \mu\text{m}$)	Concentration massique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (IMP 3306) ($\text{Dp} \leq 5 \mu\text{m}$)

27/03/2000	8h00	13,555	0,44	32,46
28/03/2000	8h00	13,555	0,58	42,79
29/03/2000	8h00	13,555	1,08	79,68
30/03/2000	8h00	13,555	0,77	56,81
31/03/2000	7h00	11,861	0,77	64,92

Tableau 7 (suite) : Masse et concentration massique des particules obtenues avec les filtres en Esters de Cellulose – en extérieur.

Date	[Ni] ng/m ³	[As] ng/m ³	[Cd] ng/m ³	[Pb] ng/m ³
28/02/2000	1,3	ND	ND	5,8
29/02/2000	0,0	ND	ND	4,0
01/03/2000	ND	ND	ND	8,6
02/03/2000	45,6	ND	ND	25,2

Tableau 8 : Résultats expérimentaux de l'analyse chimique effectués sur les filtres en Esters de Cellulose – en extérieur.

Date	[Ni] ng/m ³	[As] ng/m ³	[Cd] ng/m ³	[Pb] ng/m ³
13/03/2000	6,4	ND	ND	48,2
14/03/2000	29,0	2,4	3,7	642,1

15/03/2000	5,0	ND	ND	15,05
16/03/2000	6,9	ND	ND	46,4
17/03/2000	6,6	ND	ND	57,3

27/03/2000	5,8	ND	ND	39,0
28/03/2000	6,4	ND	ND	40,9
29/03/2000	7,2	ND	ND	39,0
30/03/2000	5,4	ND	1,8	57,5
31/03/2000	19,0	ND	ND	72,0

Tableau 8 (suite) : Résultats expérimentaux de l'analyse chimique effectués sur les filtres en Esters de Cellulose – en extérieur.

Date	Diamètre médian moyen (µm)	Bornes (µm)	Concentration en nombre (Nbre/m ³) (Dp≤5 µm)
28/02/2000	1,03 s=0,23	[0,76-1,51]	5,63.10 ⁵
29/02/2000	1,42 s=0,09	[1,28-1,52]	9,2.10 ⁴
01/03/2000	1,49 s=0,43	[1,07-3,69]	6,3.10 ⁴

02/03/2000	1,45 s=0,07	[1,31-1,53]	8,2.10 ⁴
13/03/2000	0,68 s=0,01	[0,67-0,69]	3,42.10 ⁵
14/03/2000	1,28 s=0,28	[0,79-1,71]	6,6.10 ⁴
15/03/2000	1,15 s=0,14	[0,87-1,31]	2,47.10 ⁵
16/03/2000	0,74 s=0,08	[0,69-1,03]	2,18.10 ⁵
17/03/2000	0,74 s=0,03	[0,69-0,77]	1,92.10 ⁵
27/03/2000	0,73 s=0,10	[0,69-1,02]	1,32.10 ⁵
28/03/2000	0,71 s=0,02	[0,69-0,75]	7,39.10 ⁵
29/03/2000	0,76 s=0,01	[0,75-0,77]	4,48.10 ⁵
30/03/2000	0,73 s=0,02	[0,70-0,76]	4,82.10 ⁵
31/03/2000	0,77 s=0,06	[0,70-1,02]	5,8.10 ⁴

Tableau 9 : Résultats expérimentaux obtenus à partir de

l'APS 3320

sur les filtres en Esters de Cellulose – en extérieur.

6.3.2. Filtres en polycarbonate

Date	Durée de prélèvement (h)	Volume prélevé (m ³)	Masse de particules prélevées (mg) (IMP 3306) (Dp≤5 μm)	Concentration massique (μg/m ³) (IMP 3306) (Dp≤5 μm)
06/03/2000	8h00	13,555	0,63	46,48

07/03/2000	9h35	16,238	0,54	33,26
08/03/2000	8h00	13,555	0,60	44,26
09/03/2000	8h00	13,555	0,59	43,53
10/03/2000	7h00	11,861	0,03	2,53

21/03/2000	8h00	13,555	1,06	78,20
24/03/2000	8h00	13,555	0,11	9,27

03/04/2000	8h00	13,555	0,46	33,94
04/04/2000	8h00	13,555	0,03	2,21
05/04/2000	8h00	13,555	0,12	8,85
06/04/2000	8h00	13,555	0,33	24,35

Tableau 10 : Masse et concentration massique des particules obtenues avec les filtres en Polycarbonate – en extérieur.

Date	[Ni] ng/m ³	[As] ng/m ³	[Cd] ng/m ³	[Pb] ng/m ³
06/03/2000	14,3	1,8	1,8	272,3
07/03/2000	2,7	ND	ND	34,9

08/03/2000	3,3	2,4	3,0	119,2
09/03/2000	2,3	ND	2,0	25,2
10/03/2000	4,7	ND	ND	16,1
21/03/2000	5,5	ND	ND	28,9
24/03/2000	0,0	ND	ND	10,8
03/04/2000	6,0	2,2	ND	25,2
04/04/2000	1,9	ND	ND	41,8
05/04/2000	1,4	ND	ND	14,6
06/04/2000	4,4	ND	ND	13,5

Tableau 11 : Résultats expérimentaux de l'analyse chimique effectués sur les filtres en Polycarbonate – en extérieur.

Date	Diamètre médian moyen (μm)	Bornes (μm)	Concentration en nombre (Nbre/m^3) ($\text{Dp} \leq 5 \mu\text{m}$)
06/03/2000	1,18 s=0,31	[0,69-1,54]	$1,11 \cdot 10^5$
07/03/2000	1,39 s=0,17	[1,03-1,71]	$9,8 \cdot 10^4$

08/03/2000	1,37 s=0,17	[1,04-1,52]	1,01.10 ⁵
09/03/2000	0,98 s=0,20	[0,69-1,44]	1,48.10 ⁵
10/03/2000	0,70 s=0,02	[0,68-0,73]	3,91.10 ⁵
21/03/2000	0,68 s=0,01	[0,68-0,69]	1,73.10 ⁵
24/03/2000	0,72 s=0,07	[0,68-1,01]	1,36.10 ⁵
03/04/2000	0,88 s=0,19	[0,69-1,26]	1,07.10 ⁵
04/04/2000	1,20 s=0,18	[1,00-1,71]	6,5.10 ⁴
05/04/2000	1,08 s=0,10	[0,89-1,30]	2,08.10 ⁵
06/04/2000	0,79 s=0,18	[0,69-1,31]	2,34.10 ⁵

Tableau 12 : Résultats expérimentaux obtenus avec l'APS 3320 sur les filtres en Polycarbonate – en extérieur.

6.4. INTERPRETATION DES RESULTATS

6.4.1. Par rapport à la concentration particulaire

Date	Conc. massique (µg/m ³) (Dp≤5µm) site de fond	Conc. en Nombre (Nbre/m ³) (Dp≤5µm)	Indice ATMO	Conc. massique TEOM/AIRPARIF/ISSY MOULINEAUX (PM 10) (µg/m ³) site de fond	Conc. massique TEOM/AIRPARIF/Porte d'AUTEUIL (PM 10) (µg/m ³) site de proximité	Information Climatique
28/02/2000	26,56	5,63.10 ⁵	5	19,61 s=15,94	61,68 s=13,35	Pluie
29/02/2000	32,46	9,20.10 ⁴	4	14,60 s=8,18	23,70 s=6,02	Pluie
01/03/2000	10,33	6,30.10 ⁴	5	15,05 s=5,17	48,28 s=12,13	Pluie/Beau temps
02/03/2000	49,43	8,20.10 ⁴	4	21,48 s=7,03	84,57 s=21,74	Beau temps
06/03/2000	46,48	1,11.10 ⁵	4	24,90 s=10,96	51,88 s=13,96	Beau temps

07/03/2000	33,26	9,80.10 ⁴	4	37,95 s=12,19	68,12 s=14,29	Beau temps
08/03/2000	44,26	1,01.10 ⁵	3	31,04 s=3,36	62,32 s=8,56	Beau temps
09/03/2000	43,53	1,48.10 ⁵	4	27,49 s=6,54	61,93 s=7,79	Nuages/Soleil
10/03/2000	2,53	3,91.10 ⁵	4	36,52 s=5,03	71,25 s=6,83	Temps mitigé
13/03/2000	109,92	3,42.10 ⁵	4	52,12 s=11,50	59,56 s=5,27	Beau temps
14/03/2000	31,72	6,60.10 ⁴	5	52,88 s=13,79	77,43 s=16,89	Nuages/Soleil
15/03/2000	20,66	2,47.10 ⁵	5	36,83 s=3,71	57,75 s=10,82	Nuages/Soleil
16/03/2000	89,27	2,18.10 ⁵	4	41,34 s=11,59	75,34 s=18,03	Temps couvert
17/03/2000	62,39	1,92.10 ⁵	4	42,43 s=8,42	70,32 s=9,37	Nuages/Soleil
21/03/2000	78,20	1,73.10 ⁵	8	42,81 s=20,82	64,40 s=14,05	Beau temps
24/03/2000	9,27	1,36.10 ⁵	4	26,59 s=6,90	67,74 s=13,06	Pluie/Nuages
27/03/2000	32,46	1,32.10 ⁵	4	22,42 s=7,57	52,69 s=10,32	Beau temps
28/03/2000	42,79	7,39.10 ⁵	4	33,46 s=7,40	68,91 s=17,85	Pluie
29/03/2000	79,68	4,48.10 ⁵	4	27,64 s=3,31	68,28 s=10,82	Pluie/Nuages
30/03/2000	56,81	4,82.10 ⁵	5	30,97 s=6,28	78,85 s=14,39	Pluie/Nuages
31/03/2000	64,92	5,80.10 ⁴	5	19,37 s=13,82	60,64 s=15,10	Pluie/Soleil

Tableau 13 : Regroupement des résultats expérimentaux, complétés des résultats fournis par AIRPARIF.

Date	Conc. massique (µg/m ³) (Dp≤5µm) site de fond	Conc. en Nombre (Nbre/m ³) (Dp≤5µm)	Indice ATMO	Conc. massique TEOM/AIRPARIF/ISSY MOULINEAUX (PM 10) (µg/m ³) site de fond	Conc. massique TEOM/AIRPARIF/Porte d'AUTEUIL (PM 10) (µg/m ³) site de proximité	Information Climatique
03/04/2000	33,94	1,07.10 ⁵	4	39,07 s=12,99	56,90 s=7,96	Temps couvert
04/04/2000	2,21	6,5.10 ⁴	5	22,43 s=9,62	58,60 s=12,17	Beau temps
05/04/2000	8,85	2,08.10 ⁵	5	36,18 s=8,55	65,53 s=10,64	Pluie
06/04/2000	24,35	2,34.10 ⁵	5	22,30 s=9,76	51,80 s=7,28	Temps mitigé

Tableau 13 (suite) : Regroupement des résultats expérimentaux, complétés des résultats fournis par AIRPARIF.

Il a semblé intéressant d'illustrer ces résultats par 2 figures.

La figure 1 représente la concentration en nombre des particules en fonction de la concentration massique des particules, de la fraction respirable, obtenues sur le site du LNE_Paris, avenue A. Bartholomé, pendant la période du 28/02/2000 au 06/04/2000.

La figure 2 représente un comparatif des résultats de mesures entre les 3 sites sus-nommés, pendant cette même période.

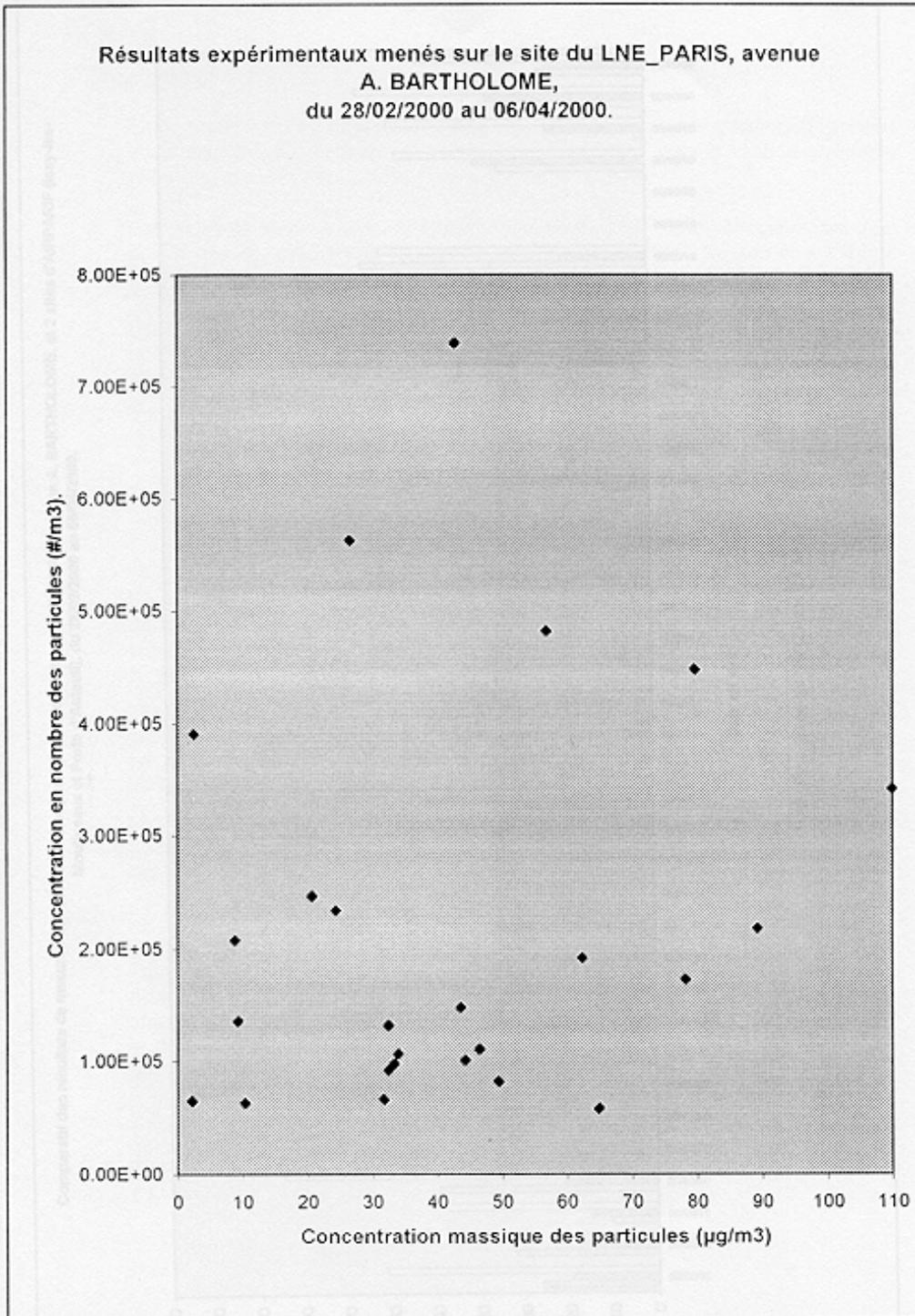


Figure A: Résultats expérimentaux menés sur le site du LNE Paris, avenue A. Bartholomé, du 28/02/00 au 06/04/00.

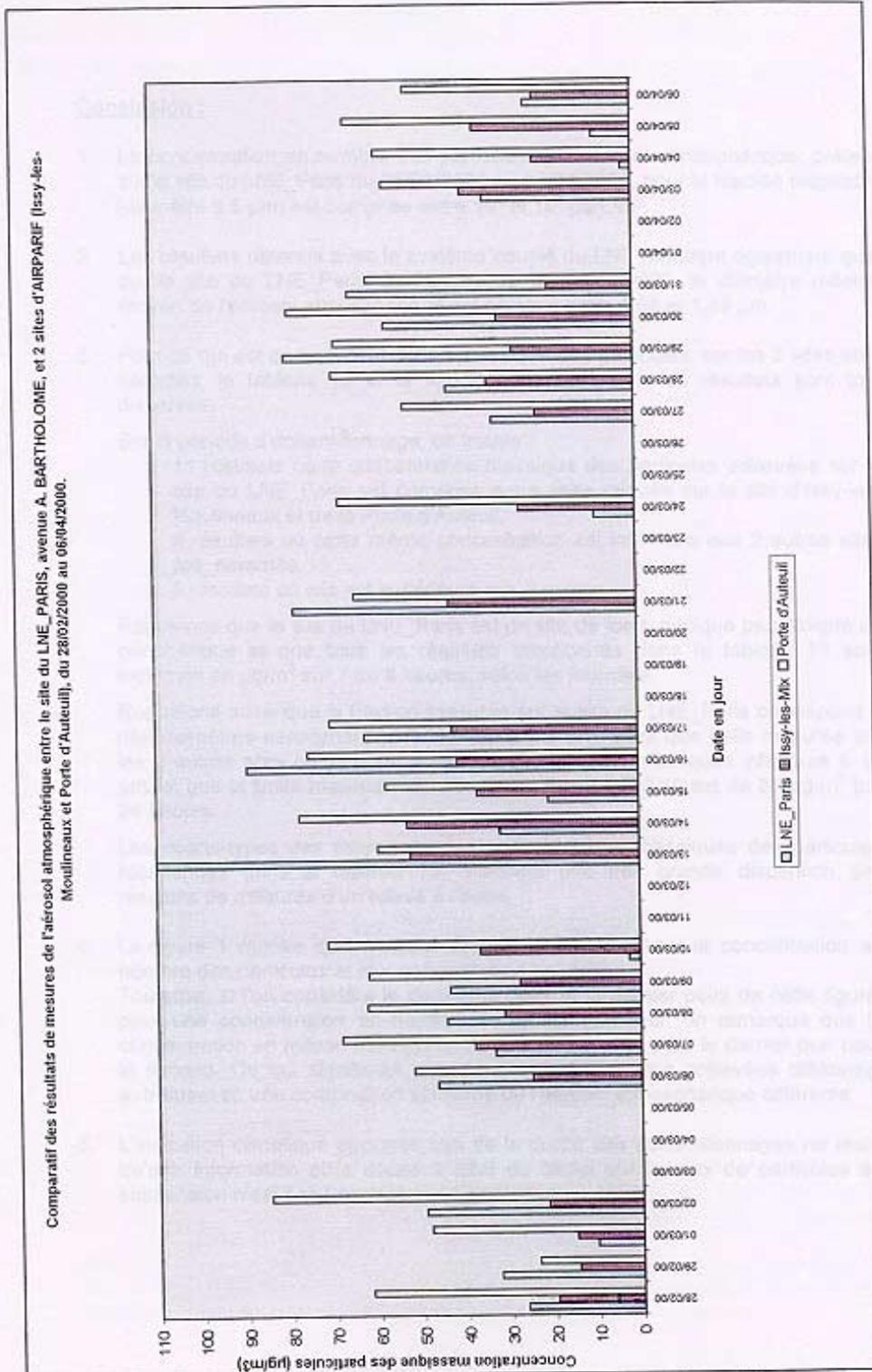


Figure 2 : Comparatif des résultats de mesures de l'aérosol atmosphérique entre les 3 sites.

Conclusion :

1. La concentration en nombre des particules de l'aérosol atmosphérique, prélevé sur le site du LNE_Paris du 28/02/2000 au 06/04/2000, pour la fraction respirable (diamètre $\leq 5 \mu\text{m}$) est comprise entre 10^4 et 10^6 part./m³.
2. Les résultats obtenus avec le système couplé du LNE montrent également que, sur le site du LNE_Paris du 28/02/2000 au 06/04/2000, le diamètre médian moyen de l'aérosol atmosphérique est compris entre 0,68 et 1,49 μm .
3. Pour ce qui est de la concentration massique des particules, sur les 3 sites sus-nommés, le tableau 13 et la figure 2 montrent que les résultats sont très dispersés.

Sur la période d'échantillonnage, on trouve :

- 11 résultats où la concentration massique des particules prélevées sur le site du LNE_Paris est comprise entre celle relevée sur le site d'Issy-les-Moulineaux et de la Porte d'Auteuil,
- 8 résultats où cette même concentration est inférieure aux 2 autres sites pré-nommés,
- 5 résultats où elle est supérieure aux 2 autres.

Rappelons que le site du LNE_Paris est un site de fond, quoique peu éloigné du périphérique et que tous les résultats mentionnés dans le tableau 13 sont exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 7 ou 8 heures, selon les journées.

Rappelons aussi que la fraction mesurée sur le site du LNE_Paris correspond à des diamètres aérodynamiques inférieurs à 5 μm , alors que celle mesurée sur les 2 autres sites correspond à des diamètres aérodynamiques inférieurs à 10 μm , et que la limite maximale concernant la fraction PM 10 est de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par 24 heures.

Les écarts-types des moyennes des concentrations massiques des particules mentionnés dans le tableau 13, montrent une très grande dispersion des résultats de mesures d'un relevé à l'autre.

4. La figure 1 montre qu'il n'existe aucune tendance reliant la concentration en nombre des particules et leur concentration en masse. Toutefois, si l'on considère le deuxième point et le dernier point de cette figure, pour une concentration en nombre de même grandeur, on remarque que la concentration en masse est environ 50 fois plus élevée pour le dernier que pour le second. Ce qui signifierait une densité des particules prélevées différente, autrement dit une composition chimique de l'aérosol atmosphérique différente.
5. L'indication climatique apportée lors de la durée des échantillonnages ne reste qu'une information et la cause à effet du climat sur le taux de particules en suspension n'est pas franchement significative.

6.4.2. Par rapport à la concentration des 4 éléments recherchés (Ni, As, Cd et Pb)

Date	Conc. massique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($D_p \leq 5 \mu\text{m}$)	[Ni] ng/m^3	[As] ng/m^3	[Cd] ng/m^3	[Pb] ng/m^3
28/02/2000	26,56	1,3	ND	ND	5,8
29/02/2000	32,46	0,0	ND	ND	4,0
01/03/2000	10,33	ND	ND	ND	8,6
02/03/2000	49,43	45,6	ND	ND	25,2
06/03/2000	46,48	14,3	1,8	1,8	272,3
07/03/2000	33,26	2,7	ND	ND	34,9
08/03/2000	44,26	3,3	2,4	3,0	119,2
09/03/2000	43,53	2,3	ND	2,0	25,2
10/03/2000	2,53	4,7	ND	ND	16,1
13/03/2000	109,92	6,4	ND	ND	48,2
14/03/2000	31,72	29,0	2,4	3,7	642,1
15/03/2000	20,66	5,0	ND	ND	15,05
16/03/2000	89,27	6,9	ND	ND	46,4
17/03/2000	62,39	6,6	ND	ND	57,3
21/03/2000	78,20	5,5	ND	ND	28,9
24/03/2000	9,27	0,0	ND	ND	10,8
27/03/2000	32,46	5,8	ND	ND	39,0
28/03/2000	42,79	6,4	ND	ND	40,9
29/03/2000	79,68	7,2	ND	ND	39,0
30/03/2000	56,81	5,4	ND	1,8	57,5
31/03/2000	64,92	19,0	ND	ND	72,0
03/04/2000	33,94	6,0	2,2	ND	25,2
04/04/2000	2,21	1,9	ND	ND	41,8
05/04/2000	8,85	1,4	ND	ND	14,6
06/04/2000	24,35	4,4	ND	ND	13,5

Tableau 14 : Regroupement des résultats expérimentaux, concentration massique des particules – concentration massique des 4 éléments recherchés.

Conclusion :

Le fait qu'il y ait plus ou moins de nickel, arsenic, cadmium ou plomb n'entraîne pas automatiquement une augmentation de la concentration massique de la fraction respirable.

Par exemple :

- Journées du 17/03 et du 31/03, alors que les concentrations massiques sont sensiblement équivalentes, celles du nickel sont respectivement de 7 ng/m^3 pour la journée du 17/03 et 19 ng/m^3 pour celle du 31/03 ; et celles du plomb, de 57 ng/m^3 contre 72 ng/m^3 ,
- Journées du 13/03 et du 28/03, alors que les concentrations massiques sont fortement différentes, environ 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la journée du 13/03 et 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour celle du 28/03, celles du nickel et du plomb sont identiques ou très voisines.

Par contre, on constate par trois fois, que dès que la concentration massique en plomb augmente fortement, il y a présence simultanée d'arsenic et de cadmium, éléments généralement pas ou peu détectés par la méthode à l'ICP/MS.

7. CONCLUSION GENERALE

Conditionnement et choix des membranes filtrantes :

Comme il a été vu au paragraphe 5.3., le conditionnement donnant les meilleurs résultats est celui par saturation des filtres en vapeur d'eau atmosphérique.

Les filtres en Esters de Cellulose répondent aux exigences tant par leur utilisation aisée lors des pesées et des déposes sur support, que par leur minéralisation dans la méthode à l'ICP/MS.

Echantillonnage :

On retiendra surtout l'échantillonnage mené à l'extérieur du LNE, avenue A. Bartholomé bien que celui effectué à l'intérieur du laboratoire soit intéressant .

Des résultats expérimentaux menés par nos soins, comparés et « étoffés » d'informations complémentaires fournis par le réseau de mesures AIRPARIF, il en ressort un certain nombre de renseignements sur les caractéristiques de l'aérosol atmosphérique mais SURTOUT, beaucoup d'inconnues pour pouvoir énoncer une tendance selon les sites de prélèvements.

Quoiqu'il en soit, sur la période de prélèvement qui s'est déroulée rappelons-le du 28/02/2000 au 06/04/2000, sur le site de fond du LNE_Paris, les résultats montrent que :

- le diamètre médian de la fraction respirable ($\leq 5 \mu\text{m}$) est compris entre 0,68 et 1,49 μm , soit un diamètre médian voisin du micromètre,
- la concentration en nombre des particules pour cette même fraction est comprise entre 10^4 et 10^6 particules/ m^3 ,
- les concentrations massiques des particules subissent de grandes variations dans une même journée et d'un jour sur l'autre,
- il n'existe pas de corrélation entre la concentration en nombre des particules et leur concentration en masse,
- d'une journée à l'autre, la composition chimique de l'aérosol atmosphérique peut considérablement varier,
- les concentrations des 4 éléments nickel, arsenic, cadmium et plomb ne peuvent qu'être considérées comme des informations complémentaires. En effet, les seuils limites fournis par l'OMS pour le nickel et le plomb, sont des valeurs annuelles et non journalières. Quant aux deux autres, on parle de facteur de risque ou dose maximale par an et par vie, ce qui rend impossible l'exploitation de toutes données issues de prélèvements ponctuels en cours d'année.

8. OBJECTIF FUTUR

Il serait intéressant, maintenant que la procédure de mise en œuvre du système couplé IMP 3306 / APS 3320 est établie, de multiplier les échantillonnages sur sites de fond et sites de proximité d'AIRPARIF et de comparer ou de compléter nos résultats de mesures avec les PM 2,5 et les PM 10.