

# Mesure de la concentration pondérale de polluants particulaires atmosphériques en hygiène professionnelle : Etude de quelques média filtrants

E. KAUFFER, J.C. VIGNERON et J.F. FABRIES

Institut National de Recherche et de Sécurité (I.N.R.S.), Département Environnement Chimique, Boite Postale 27, 54501 Vandœuvre.

## SUMMARY

### Mass concentration measurement of atmospheric airborne pollutants. Study of some filtration media.

The assessment of the accuracy of gravimetric measurements of airborne pollutants by using sampling methods and direct filter weighing is studied. It is shown that blank filters are required for correcting deviations due not only to variations in air relative humidity, but also to perturbations during filters and filter cassettes handling. Experimental data obtained with four filtration media: Gelman DM800, AA Millipore, 0.8 µm Nuclepore, and GF/C Whatman are analyzed. Millipore filters give a good correlation between humidity variations and weight variations; but a poor correlation is observed for Whatman and Nuclepore filters. A slight systematic weight decrease (about 50 µg) was measured for fibre filters Whatman when they are mounted in a 3-piece Millipore cassette during several weeks, which could be explained by filter damage when they are tightly pressed inside the cassette. Nuclepore filters exhibit an opposite behaviour, with a tiny weight increase (about 10 µg). Confidence intervals of measured concentrations with several

filters and concentration levels are given for some standard conditions currently encountered in occupational hygiene.

*Key-words* : Mass concentration. Measurement accuracy. Filtration media. Occupational hygiene. Airborne pollutants.

## RÉSUMÉ

Une méthode d'estimation de l'intervalle de confiance de la masse de matière particulaire collectée sur un filtre de prélèvement atmosphérique est présentée. On en déduit la précision d'une mesure de concentration. Cette méthode exploite les résultats obtenus avec des filtres témoins, dont le rôle est de prendre en compte les écarts systématiques dus aux influences extérieures : variations du taux d'humidité relative de l'air, modifications de l'intégrité du support filtrant. Les résultats de mesure correspondant à quatre séries de filtres sont analysés. Enfin la précision avec laquelle on peut mesurer une concentration pondérale pour un certain nombre de situations standards en hygiène professionnelle est indiquée.

*Mots-clés* : Concentration pondérale. Précision de mesure. Média filtrants. Hygiène professionnelle. Polluants particulaires.

## INTRODUCTION

En hygiène professionnelle, la détermination de l'exposition des salariés aux polluants particulaires, par l'intermédiaire de prélèvements atmosphériques individuels, ainsi que celle des caractéristiques physico-chimiques de la pollution ambiante d'un local de travail, font souvent appel à la collection des particules sur un média filtrant, adapté aux techniques analytiques appliquées. Quand le paramètre que l'on cherche à mesurer est simplement la concentration pondérale de matière dispersée, exprimée en masse par unité de volume d'air, l'analyse gravimétrique directe du filtre est souvent la méthode utilisée. Celle-ci peut être couplée à d'autres méthodes d'analyse plus fines, permettant de déterminer la concentration en certains éléments (métaux par exemple) ou en certaines variétés cristallographiques (cas des minéraux).

La diminution de la pollution des locaux, due pour une bonne part à l'amélioration des systèmes de captage d'air pollué près des sources, et à l'utilisation de dispositifs d'épuration (laveurs, dépoussiéreurs),

conduit habituellement à mesurer des niveaux de concentrations faibles. D'autre part, l'utilisation d'appareils de prélèvement portatifs, d'autonomie appréciable mais de faible débit, égal au plus à quelques l/min, conduit à des quantités de matière collectée très faibles, de l'ordre de quelques dizaines ou quelques centaines de microgrammes. Cette situation est encore plus accentuée dans le cas, très fréquent, de l'utilisation d'un sélecteur de taille des particules, capable de ne transmettre au support de collection que les particules susceptibles de se déposer dans une région précise de l'appareil respiratoire (fraction alvéolaire, fraction thoracique par exemple).

Dans ce contexte, il est essentiel de maîtriser la technique de pesée des filtres, de rechercher les causes d'erreurs systématiques et d'estimer la précision des mesures de concentration. Pour certains filtres, il est nécessaire de corriger l'erreur gravimétrique apportée par l'absorption de l'humidité atmosphérique. De nombreuses méthodes permettent d'atteindre cet objectif. Elles préconisent l'utilisation de filtres témoins [1] ou de membranes de masses appariées [2], le conditionnement des filtres dans une chambre à atmosphère contrôlée [3] ou dans des dessiccateurs [4], ou bien encore l'utilisation d'un modèle théorique pour calculer

Manuscrit reçu le 9 mai 1988; manuscrit modifié reçu le 5 août 1988; accepté le 6 août 1988.

la correction à apporter [5]. D'autres auteurs [6] démontrent au contraire l'inefficacité de la dessiccation avant pesée vis-à-vis du problème de l'humidité atmosphérique.

L'objet de cet article est de faire part de l'expérience que nous avons des pesées de quelques média filtrants, et de montrer que l'utilisation de filtres témoins est essentielle, car elle permet de corriger des variations de masse liées aux variations de l'humidité atmosphérique mais aussi, dans certains cas, de prendre en compte les perturbations apportées par la manipulation des filtres lors de leur conditionnement dans des cassettes de prélèvement. Nous mettrons également l'accent sur l'estimation de la précision des mesures.

## 1. — CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Les pesées sont réalisées dans une salle de 28 m<sup>3</sup> maintenue en légère surpression par un apport d'air filtré. Le taux de renouvellement d'air dans la pièce est de 10 fois. Ce taux important est nécessaire pour limiter au maximum, pendant la durée de pesée d'une série de filtres, l'influence sur le degré hygrométrique de l'air de la personne réalisant les pesées dans la salle. Ceci est indispensable pour assurer que tous les filtres d'une même série, qui comprend généralement 5 filtres destinés au prélèvement et trois filtres témoins, sont pesés dans les mêmes conditions. La figure 1 montre l'effet de ce dispositif.

Les média filtrants étudiés sont :

- les membranes filtrantes DM800 de Gelman (copolymère acrylique de PVC, diamètre moyen de pores 0,8 µm, diamètre 25 mm),
- les membranes filtrantes AAW PO37.00 type M.F. de Millipore (mélange d'esters de cellulose, diamètre moyen des pores 0,8 µm, diamètre 37 mm),
- les membranes filtrantes 110609 de Nucléopore (polycarbonate, diamètre moyen de pores 0,8 µm, diamètre 25 mm),
- les filtres en profondeur GF/C de Whatman (micro fibres de verre, diamètre 37 mm).

Ces quatre supports filtrants sont utilisés avec des cassettes Millipore de diamètre 37 ou 25 mm.

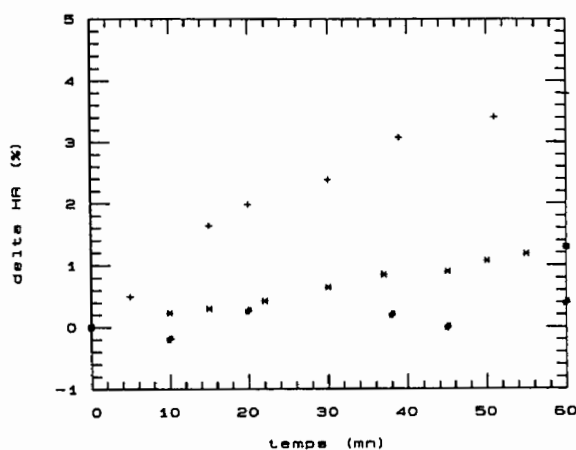


FIG. 1. — Variation de l'humidité relative dans la salle de pesée en fonction du temps :

- \* ventilation en marche, salle vide
- \* ventilation en marche, une personne dans la salle
- + ventilation arrêtée, une personne dans la salle.

FIG. 1. — Variation of relative humidity in the weighing room as a function of time:

- \* room ventilation on, nobody in the room
- \* room ventilation on, one person in the room
- + room ventilation stopped, one person in the room

Avant d'être pesés, les filtres séjournent 12 heures dans la salle de pesée. Pour les supports Whatman GF/C et Millipore M.F., deux filtres sont tarés en même temps. En effet pour éviter des pertes de matière après le prélèvement durant le transfert des filtres [7], le filtre « prélevé » est recouvert d'un filtre « couvercle ». Si les quantités de matière prélevée sont faibles, l'utilisation d'un filtre couvercle n'est pas nécessaire. Les filtres sont pesés sur une balance Mettler M3 de sensibilité 1 µg, après être passés devant une source radioactive de <sup>210</sup>Po permettant la neutralisation des charges électriques de surface; ceci est particulièrement recommandé pour les membranes Nucléopore [8].

## 2. — DÉTERMINATION DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE LA MASSE DE MATIÈRE COLLECTÉE ET DE LA CONCENTRATION PONDÉRALE

### 2.1 Masse de matière collectée

La masse de matière collectée  $M_j$  sur un filtre  $f_j$  peut être déduite de la différence de poids du filtre mesuré avant, puis après prélèvement, corrigée par la variation moyenne du poids de filtres témoins  $t_i$  :

$$M_j = \delta m(f_j) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta m(t_i)$$

$\delta m(f_j)$  est la mesure d'une variable aléatoire X définie comme étant la différence de poids d'un filtre réellement utilisé qu'on appellera encore « filtre actif ». Les causes de fluctuation de X peuvent être, d'une part, la balance elle-même, d'autre part, une série d'influences extérieures telles que l'humidité atmosphérique, le dépôt ou au contraire l'enlèvement de matière sur le filtre pendant les manipulations, ou les charges électrostatiques de surfaces. Les erreurs dues à la balance sont indépendantes des erreurs dues aux influences extérieures; ceci permet de décomposer la variance de X en deux termes :

$$\sigma^2(X) = \sigma_b^2 + \sigma_e^2(X)$$

$\delta m(t_i)$  représente de manière analogue la mesure d'une variable aléatoire Y définie comme étant la différence de poids d'un filtre témoin. La variance de Y peut également se décomposer en deux termes :

$$\sigma^2(Y) = \sigma_b^2 + \sigma_e^2(Y)$$

La variance  $\sigma_b^2$  correspond à l'erreur aléatoire commise sur la différence de poids d'un objet insensible aux influences extérieures. On peut écrire :

$$\sigma_b^2 = 2\sigma^2$$

où  $\sigma^2$  désigne la variance liée à la mesure du poids du même objet. En pratique, on pourra déterminer  $\sigma^2$  à partir de tests de répétabilité, portant sur un objet sensiblement de même poids que celui des filtres utilisés, mais inerte vis-à-vis des influences extérieures (objet en métal inoxydable par exemple).

On peut calculer la variance associée à la masse de matière collectée  $M_j$  :

$$\sigma^2(M) = \sigma^2(X) + \sigma^2(Z) - 2r\sigma(X)\sigma(Z)$$

où Z désigne la variable aléatoire correspondant aux mesures :

$$Z_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta m(t_i)$$

et  $r$  le coefficient de corrélation des variables  $X$  et  $Z$ . Cette relation suppose que les coefficients de variation de  $X$  et  $Z$  sont faibles (inférieurs à 10 %) et que leur distribution est normale [9].

Les fluctuations de  $X$  et  $Y$  (donc de  $Z$ ) sont pratiquement dues pour une bonne part à des influences extérieures non maîtrisées; il est donc raisonnable de faire l'hypothèse que les fluctuations observées sur  $X$  et sur  $Y$  sont indépendantes pour la plupart des média filtrants, c'est-à-dire de supposer  $r$  égal à zéro. Cependant, si les fluctuations sont dues essentiellement aux variations d'humidité relative de l'air, ce qui est le cas comme on le verra plus loin de certains filtres, le coefficient  $r$  devient alors plus proche de l'unité, et ne pas tenir compte de  $r$  revient à majorer l'estimateur de  $\sigma^2(M)$ .

La variance  $\sigma^2(Z)$  peut se déduire de  $\sigma^2(Y)$  :

$$\sigma^2(Z) = \frac{1}{n} \sigma^2(Y)$$

Si l'on fait l'hypothèse que l'action des influences extérieures sur le dépôt de matière collectée est négligeable devant celle des influences extérieures sur les filtres eux-mêmes, on peut écrire :

$$\sigma_x^2(X) = \sigma_x^2(Y) = \sigma_x^2$$

Dans ces conditions, la variance de  $M$  s'écrit :

$$\sigma^2(M) = 2 \left( 1 + \frac{1}{n} - \frac{2r}{\sqrt{n}} \right) \sigma^2 + \left( 1 + \frac{1}{n} - \frac{2r}{\sqrt{n}} \right) \sigma_x^2$$

soit avec l'hypothèse pessimiste  $r = 0$

$$\sigma^2(M) = \left( 1 + \frac{1}{n} \right) (2\sigma^2 + \sigma_x^2)$$

La variance de la variable  $Y$  peut être estimée à partir des valeurs  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  obtenues pour chaque filtre témoin. Le nombre de filtres témoins étant en général relativement petit ( $n \leq 5$ ), l'estimateur  $s^2$  de la variance  $\sigma^2(Y)$  sera estimé de préférence par la méthode de l'étendue [10]

$$s = \frac{Y \max - Y \min}{m_q} \quad (1)$$

où  $Y \min$ ,  $Y \max$  désignent respectivement les valeurs minimale et maximale mesurées de  $Y$ , et  $m_q$  une fonction discrète de  $n$ . Le tableau I donne à titre indicatif quelques valeurs de  $m_q$ .

On peut donc écrire :

$$s^2 = \text{estim. } \sigma^2(Y) \approx 2\sigma^2 + \sigma_x^2$$

d'où finalement :

$$\sigma^2(M) \approx \left( 1 + \frac{1}{n} \right) s^2$$

Il est important de remarquer que le calcul de  $s$  par la méthode de l'étendue n'a de sens que si :

$$s^2 \geq 2\sigma^2$$

soit encore :

$$\left[ \frac{Y \max - Y \min}{m_q} \right]^2 \geq 2\sigma^2$$

Si cette condition n'est pas réalisée,  $s^2$  devra être

TABLEAU I. — Valeurs du coefficient  $m_q$  en fonction du nombre de témoin ( $n$ ).

TABLE I. — Numerical values of coefficient  $m_q$  as a function of the number of blank filters ( $n$ ).

$n$	$m_q$
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326

estimé par défaut à la valeur  $2\sigma^2$ , ce qui revient à prendre au moins en compte les fluctuations liées à la balance.

La variation  $\sigma^2(M)$  a été estimée à partir de  $s^2$ , qui est lui-même un estimateur obtenu à partir des  $n$  mesures de filtres témoins; le nombre de degré de liberté ( $\nu$ ) correspondant est :

$$\nu = n - 1$$

L'intervalle de confiance de la masse de matière collectée  $M$  pour une seule détermination au niveau de probabilité  $(1 - \alpha)$  est donné par [9] :

$$M \pm t_{1-\alpha/2} \sigma(M) \quad (2)$$

expression dans laquelle  $t_{1-\alpha/2}$  est la valeur de la variable de Student à  $\nu$  degrés de liberté, et telle que  $\text{Prob} [|t| > t_{1-\alpha/2}] = \alpha$

## 2.2 Concentration pondérale

La concentration pondérale  $C$  de matière particulière dispersée dans l'air, exprimée en masse de matière par unité de volume d'air, s'obtient à l'aide de la relation suivante :

$$C = \frac{M}{V}$$

où  $V$  désigne le volume d'air prélevé.

$M$  et  $V$  étant des variables indépendantes, la variance de  $C$  s'obtient directement, en utilisant les règles classiques de propagation des erreurs :

$$\sigma^2(C) = \frac{1}{V^2} \left[ \sigma^2(M) + C^2 \sigma^2(V) \right]$$

Cette relation n'est valable que dans les mêmes conditions que celles qui ont permis de calculer  $\sigma^2(M)$ , c'est-à-dire pour une loi normale de fluctuations de  $V$  et un coefficient de variation  $\sigma(V)/V$  inférieur à 10%. Dans le cas d'un prélèvement individuel réalisé avec une pompe portative autonome à débit régulé, on a admis un coefficient de variation  $\sigma(V)/V$  de l'ordre de 1,5%. Ce coefficient de variation serait naturellement plus élevé pour des pompes plus anciennes à débit non régulé.

L'intervalle de confiance de  $C$  au niveau de probabilité  $(1 - \alpha)$  est donné par :

$$C \pm \sigma(C) t_{1-\alpha/2}$$

en admettant par défaut un nombre de degrés de liberté de la loi de Student identique à celui relatif à  $M$ , soit  $(n - 1)$ .

TABLEAU II. — Moyenne et écart-type des différences de pesée des trois témoins et intervalle de confiance de la masse de matière collectée pour les différents média filtrants étudiés.

TABLE II. — Mean value and standard deviation of weight differences for three blank filters, and confidence interval of the collected mass for various filtration media.

		MILLIPORE M.F.	WHATMAN GF/C	GELMAN DM 800	NUCLEPORE POLYCARBONATE
Moyenne des différences de pesées des trois témoins (mg)	Valeurs extrêmes	-0,696 0,782	-0,151 0,079	-0,092 0,026	-0,003 0,030
Écart-type des différences pesées des trois témoins (mg)	Valeurs extrêmes	0,010 0,200	0,001 0,099	0,001 0,029	0,001 0,011
	Valeur médiane	0,034	0,022	0,008	0,004
Demi-intervalle de confiance de la masse de matière collectée (mg)	Valeurs extrêmes	0,050 0,992	0,007 0,490	0,007 0,144	0,007 0,056
	Valeur médiane	0,167	0,112	0,038	0,018
Nombre de mesures		35	109	62	44

### 3. — RÉSULTATS

Le tableau II rassemble les données obtenues sur les variations de poids des filtres témoins. Pour chaque type de filtre on a reporté :

- l'étendue de la moyenne des différences de pesée des trois filtres témoins,
- la valeur médiane et l'étendue de l'écart-type des différences de pesée des trois témoins calculé à l'aide de la relation (1),
- la valeur médiane et l'étendue de l'intervalle de confiance de la masse de matière collectée déterminée par la relation (2).

Pour chaque série, 5 % des valeurs extrêmes ont été supprimées afin de s'affranchir de possibles erreurs de lecture de pesée.

Les figures 2 à 5 représentent les variations de la moyenne des différences de poids des trois filtres témoins en fonction de la variation du degré hygrométrique de l'air entre la pesée et la pré-pesée pour les différents filtres étudiés. On constate ainsi que :

- Les filtres Millipore montrent une bonne corrélation entre les variations du degré hygrométrique de l'air et du poids.
- Pour les filtres Whatman GF/C et Nucléopore, la

corrélation est très mauvaise. Les filtres en fibres de verre ont tendance à perdre du poids (de l'ordre de 50 µg), ce qui est probablement dû à un arrachement des fibres du filtre par la cassette ou à une évaporation partielle du solvant utilisé lors de la fabrication de ces filtres, alors que les filtres en polycarbonate ont tendance à augmenter leur poids (de l'ordre de 10 µg).

— Les filtres Gelman présentent une situation intermédiaire. Il semble qu'il y ait une corrélation entre les variations du degré hygrométrique de l'air et le poids, associée à une perte moyenne de 30 µg.

— L'écart-type correspondant aux variations de poids des filtres témoins d'une même série varie dans une large mesure pour un même type de filtre. Les différences de masse que l'on peut constater d'un filtre à l'autre ne sont pas suffisantes pour expliquer cette dispersion. Pour les membranes hydrophiles, il pourrait s'agir d'une capacité d'adsorption de l'humidité de l'air différente d'une membrane à l'autre, qui ne serait donc pas uniquement reliée au type de membrane et à la masse de la membrane sèche. Pour les autres supports, cela pourrait être dû à des différences dans le serrage des filtres dans les cassettes, d'autant plus que cette opération est actuellement effectuée manuellement. Des dispositifs de serrage automatique des cassettes [10] pourraient permettre d'améliorer la situation.

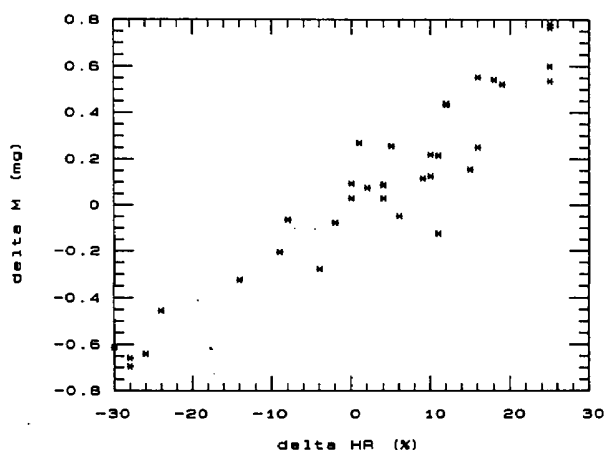


FIG. 2. — Variation de la différence de masse moyenne de trois témoins en fonction de la variation de l'humidité relative : Filtre Millipore M.F.  
FIG. 2. — Variation of the mean value of weight differences for three blank filters as a function of relative humidity: Millipore M.F. filter.

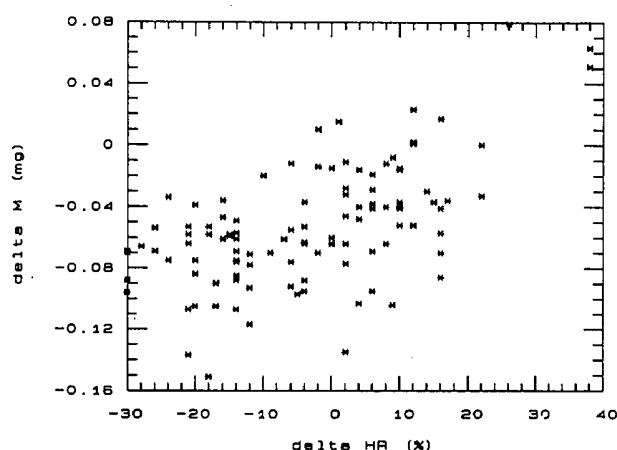


FIG. 3. — Variation de la différence de masse moyenne de trois témoins en fonction de la variation de l'humidité relative : Filtre Whatman GF/C.  
FIG. 3. — Variation of the mean value of weight differences for three blank filters as a function of relative humidity: Whatman GF/C filter.

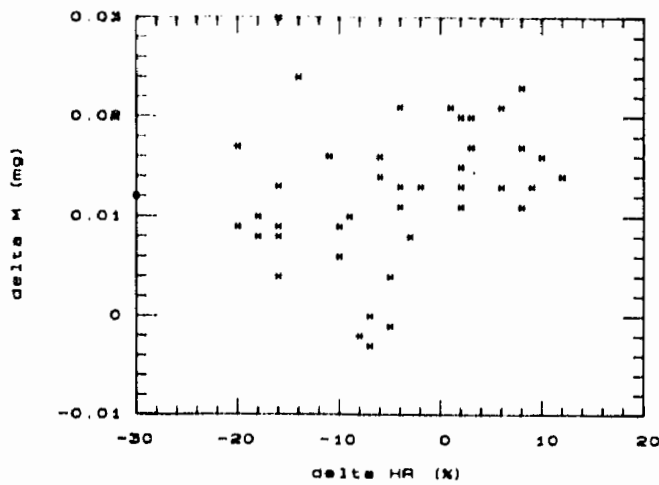


FIG. 4. — Variation de la différence de masse moyenne de trois témoins en fonction de la variation de l'humidité relative : Filtre Nucléopore Polycarbonate.

FIG. 4. — Variation of the mean value of weight differences for three blank filters as a function of relative humidity: Polycarbonate Nuclepore filter.

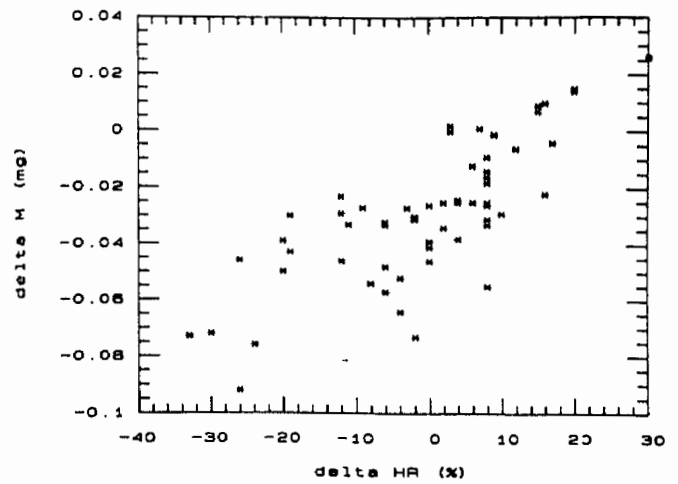


FIG. 5. — Variation de la différence de masse moyenne de trois témoins en fonction de la variation de l'humidité relative : Filtre Gelman DM800.

FIG. 5. — Variation of the mean value of weight differences for three blank filters as a function of relative humidity: Gelman DM800 filter.

TABLEAU III. — Intervalle de confiance de la concentration, calculé pour différentes valeurs de la concentration de l'aérosol ambiant en fonction du type d'appareil et du média filtrant utilisés. Le temps de prélèvement est de 5 heures et l'intervalle de confiance qui est attaché à ces observations est l'intervalle médian que nous avons observé.

TABLE III. — Confidence interval of the mass concentration calculated for various concentration values, air sampling instruments and filtration media. Sampling duration is 5 hours. The indicated confidence interval is the median interval observed.

FRACTION ALVEOLAIRE mg/m <sup>3</sup>		FRACTION INSPIRABLE mg/m <sup>3</sup>	
Pompe individuelle + Cyclone Bendix BDX99 Débit 1,7 l/mn		Pompe individuelle Débit 1 l/mn	
Filtre GELMAN DM 800	Filtre NUCLEPORE Polycarbonate	Filtre WHATMAN GF/C	Filtre MILLIPORE M.F.
2,00 ± 0,15	2,00 ± 0,13	10,0 ± 0,74	10,0 ± 0,85
1,00 ± 0,10	1,00 ± 0,07	5,00 ± 0,49	5,00 ± 0,64
0,20 ± 0,08	0,20 ± 0,04	1,00 ± 0,38	1,00 ± 0,56
0,10 ± 0,08	0,10 ± 0,04	0,50 ± 0,37	<1,06

## CONCLUSION

L'expérience acquise depuis plusieurs années montre que la masse d'un filtre conditionné dans une cassette de prélèvement peut varier de manière significative. Les causes sont multiples :

- variation du degré hygrométrique de l'air en fonction du temps,
- fibres du filtre adhérant aux éléments de la cassette lui servant de support,
- possible évaporation au cours du temps du solvant utilisé lors de la fabrication des filtres.

Ces variations de masse, qui peuvent atteindre plusieurs centaines de microgrammes ne sont pas négligeables, la plupart du temps, devant la masse de matière collectée durant un prélèvement. Il est ainsi nécessaire d'utiliser des témoins lors de la pesée d'une série de filtres pour tenir compte des variations de masse induites par des fluctuations extérieures ou par la manipulation des filtres.

L'utilisation de filtres témoins permet également d'apprécier l'incertitude de la mesure. A titre indicatif, nous avons présenté dans le *tableau III* des exemples de concentrations mesurées avec différents appareils de prélèvements et différents média filtrants. Ils correspondent à des prélèvements de cinq heures et à des concentrations types de 10, 5, 1 et 0,5 mg/m<sup>3</sup> en poussières inspirables et de 2, 1, 0,2, et 0,1 mg/m<sup>3</sup> en poussières alvéolaires. L'intervalle de confiance qui est

attaché à ces observations et qui est reporté dans le *tableau III* est l'intervalle médian observé. On peut ainsi constater que l'incertitude relative est grande dans le cas des faibles empoussièrtements. Ceci doit inciter à observer des pratiques de laboratoire rigoureuses lors du traitement des filtres.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). — *Manual of Analytical methods*, Cincinnati, Ohio 45226, U.S.A., 1977, 2nd Ed, Vol. 3, n° S349.
- [2] Matched-Weight Aerosol Monitor — *Millipore Corporation*, Laboratory Products Division, Bedford, Massachusetts, April 1978.
- [3] WILLIAMS (C.L.), HAWLEY (R.E.). — *Amer. Lab.*, 1975, 7, 17.
- [4] DUVAL (P.M.), BOURKE (R.C.). — *Environ. Sci Techn.*, 1974, 8, 765.
- [5] BEAULIEU (P.), PERRAULT (G.), ROY (C.). — *Analisis*, 1986, 14, 74.
- [6] CHARELL (P.R.), HAWLEY (R.E.). — *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1981, 42, 353.
- [7] DZUBAY (T.G.), BARBOUR (R.K.). — *J. Air Pol. Contr. Assoc.*, 1983, 33, 692.
- [8] ENGELBRECHT (D.R.), CAHILL (T.A.), FEENEY (P.J.). — *J. Air Pol. Contr. Assoc.*, 1980, 30, 391.
- [9] Statistique appliquée à l'exploitation des mesures — Tome 1, C.E.A., Masson, Paris, 1978.
- [10] FRAZEE (P.R.), TIRONI (G.). — *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1987, 48, 176.