

Prélèvement des aérosols par le dispositif CATHIA

OBJECTIFS

Le dispositif CATHIA existe en trois versions, pour prélever au choix la fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable. Un exemple d'utilisation de la méthode est le mesurage de la concentration à des polluants particulaires, y compris fibreux, renfermant une substance pour laquelle il existe une valeur limite d'exposition en fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable.

Description et principe de fonctionnement	2
Mesurage et réglage du débit	3
Performances du dispositif CATHIA	4
Performances de prélèvement vis-à-vis de la fraction alvéolaire.....	5
Performances de prélèvement vis-à-vis de la fraction thoracique.....	6
Performances de prélèvement vis-à-vis de la fraction inhalable	8
Bibliographie	10
Auteurs	11
Historique	11

DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le dispositif CATHIA constitue une méthode de prélèvement à point fixe des fractions d'aérosol liées à la santé, telle qu'elles sont définies par les normes EN 481 [1] et IS 7708 [2]. Le dispositif CATHIA [3-5] existe en trois versions, pour prélever au choix la fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable. Un exemple d'utilisation de la méthode est le mesurage de la concentration à des polluants particulaires, y compris fibreux, renfermant une substance pour laquelle il existe une valeur limite d'exposition en fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable. Le dispositif est utilisé notamment en version thoracique pour l'échantillonnage de fibres d'amiante [5, 17].

Le dispositif à point fixe C.A.Th.I.A. (**C**apteur **A**lvéolaire, **T**horacique et **I**nhalable d'**A**érosols) permet de prélever au choix les trois fractions d'aérosol liées à la santé comme l'appareil CIP 10, mais il est équipé d'un étage de collecte constitué d'un filtre de 37 mm de diamètre. La perte de charge relativement élevée due à ce filtre nécessite l'emploi d'une pompe auxiliaire d'aspiration pour assurer le débit de prélèvement. De ce fait, l'appareil n'est plus portable et il est destiné à l'utilisation statique à point fixe. Il bénéficie des mêmes sélecteurs aérodynamiques de particules que le dispositif CIP 10 [6], et il utilise les mêmes débits :

-	Fraction alvéolaire	:	10 L.min ⁻¹
-	Fraction thoracique	:	7 L.min ⁻¹
-	Fraction inhalable	:	10 L.min ⁻¹

Un diffuseur a été inséré entre le sélecteur et la cassette porte-filtre. Celui-ci a été spécialement conçu pour stabiliser l'écoulement de l'aérosol entre la sortie du sélecteur et le filtre de collecte, assurant ainsi un dépôt homogène sur le filtre [5] sans pertes de particules sur les parois. Cette propriété est particulièrement recherchée pour améliorer les conditions d'observation ou de comptage microscopique des particules échantillonnées. Le dispositif, dans sa version thoracique, est couramment utilisé pour le mesurage d'aérosols fibreux comme l'amiante et les FMA (Fibres Minérales Artificielles). Son utilisation est citée dans la norme NF X43-050 [7].

Le dispositif complet comprend les éléments suivants :

- Echantillonneur à point fixe CATHIA (Figures 1 et 2) muni d'un sélecteur de la fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable (sur la Figure 2, l'échantillonneur est représenté avec le sélecteur thoracique ; les sélecteurs alvéolaire et inhalable sont décrits dans la fiche MétroPol metropol-prelevement-cip10.pdf [6]).
- Cassette porte-filtre pour filtres de diamètre 37 mm.
- Filtre de prélèvement (suivant l'analyse envisagée).
- Pompe de prélèvement à débit stabilisé de 7 ou 10 L.min⁻¹ ± 5 % (suivant le sélecteur).
- Tuyau flexible de liaison entre la pompe et le dispositif de prélèvement.

Le montage des sélecteurs est semblable à celui des sélecteurs de l'appareil CIP 10. La cassette porte-filtre utilisée avec CATHIA est dérivée de la cassette fermée de diamètre 37 mm décrite dans la fiche MétroPol metropol-prelevement-cassette.pdf [8]. La cassette originale est rallongée d'une deuxième pièce intermédiaire (bague) et le filtre est inséré entre ces deux bagues (Figures 1 et 2). Les parties extrêmes sont utilisées pour refermer la cassette pendant le transport ou pour le mesurage du débit (Figure 3).

Note : Lors du montage de CATHIA il est impératif d'utiliser les deux joints en-dessous et au-dessus de la cassette porte-filtre (Figure 2). Ils n'assurent pas que l'étanchéité du système mais constituent également les parties importantes d'assemblage mécanique du dispositif CATHIA. Le joint du haut en PTFE (Poly Tetra Fluoro Ethylène) peut être facilement oublié en changeant la cassette puisqu'il reste positionné dans la cassette qui est ôtée après le prélèvement.

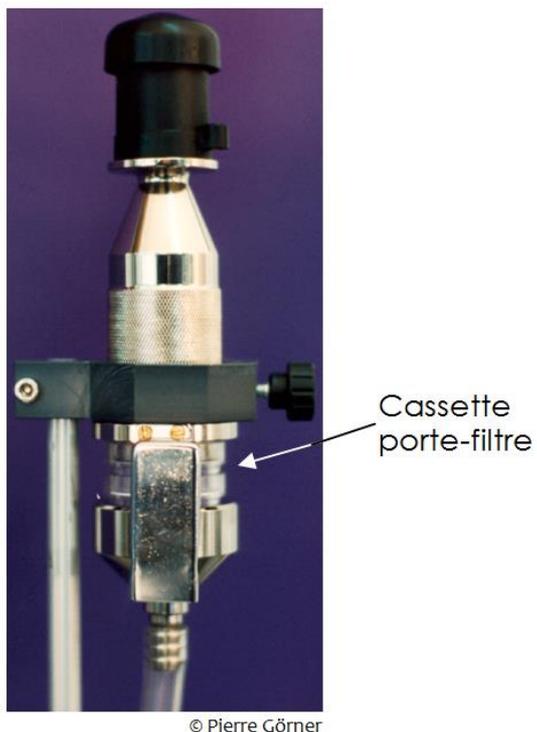


Figure 1 : Vue générale du dispositif CATHIA

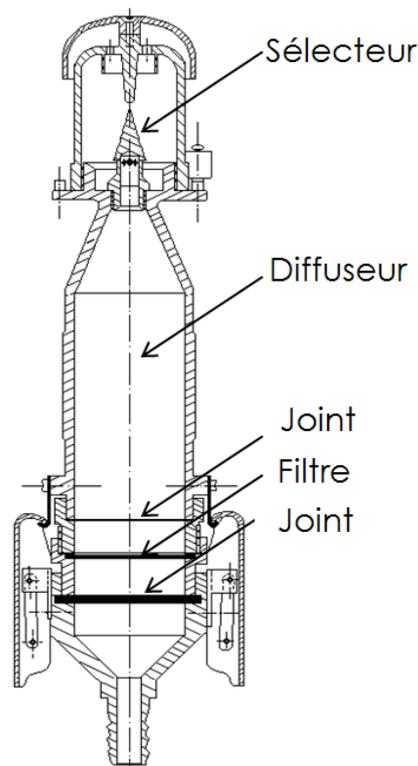


Figure 2 : Schéma de la version CATHIA thoracique (débit de 7 L.min⁻¹)

MESURAGE ET REGLAGE DU DEBIT

La vérification du débit du dispositif peut s'effectuer à l'aide d'un débitmètre connecté à l'entrée de la cassette (Figure 3a). Il est indispensable d'utiliser un débitmètre à perte de charge nettement plus faible que celle engendrée par le filtre. Un compteur à gaz, un débitmètre à lame de savon ou un débitmètre massique thermique peuvent être utilisés, par exemple.

En toute rigueur le dispositif complet (cassette + sélecteur) devrait être introduit dans le circuit de mesure du débit, comme indiqué sur la Figure 3b. En pratique, le positionnement d'un débitmètre à l'entrée du sélecteur nécessite une pièce d'adaptation. En l'absence d'une telle pièce d'adaptation et comme la perte de charge due au filtre monté dans la cassette est généralement largement supérieure à celle due au sélecteur, le débit peut tout de même être mesuré suivant le schéma indiqué sur la Figure 3a.

Le débit doit être réglé à $\pm 5\%$ et noté avant (Q_1) et après le prélèvement (Q_2). Une surveillance des incidents pendant la durée du prélèvement est souhaitable : état des tubes flexibles, position du rotamètre de la pompe (si elle en est équipée), etc. La différence des débits Q_1 et Q_2 ne doit pas dépasser la tolérance de $\pm 5\%$ du débit nominal. Si cette condition est satisfaite le volume d'air échantillonné est calculé sur la base du débit moyen :

$$Q = (Q_1 + Q_2)/2$$

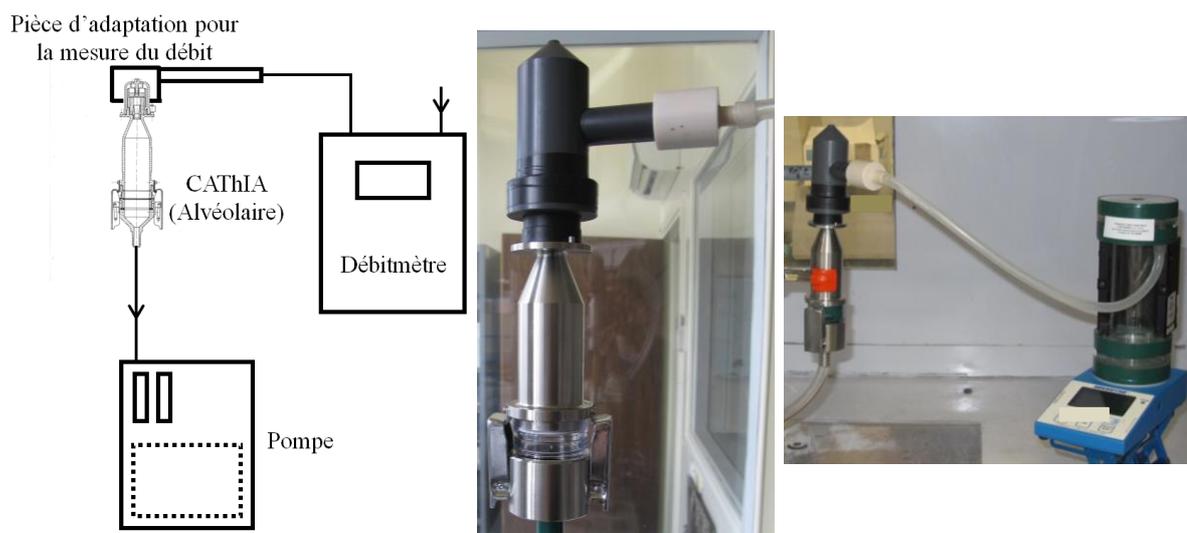
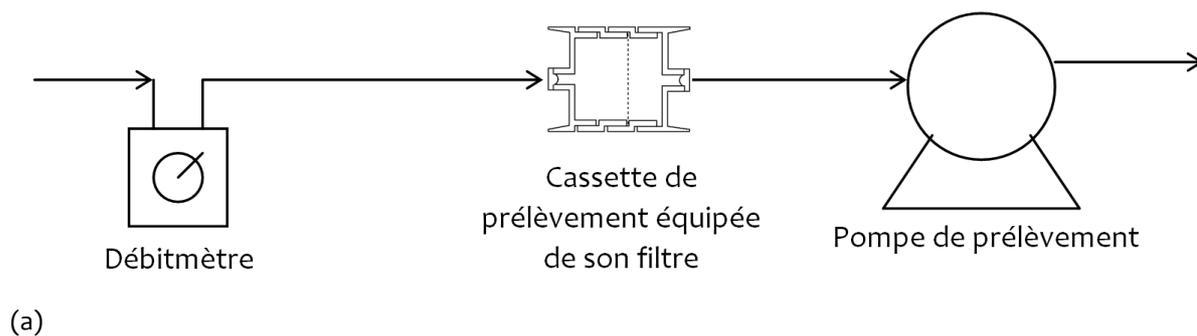


Figure 3 : Schémas de connexion pour le mesurage du débit de prélèvement
 (a) Mesure du débit avec la cassette seule
 (b) Mesure du débit avec le dispositif CATHIA complet

PERFORMANCES DU DISPOSITIF CATHIA

L'efficacité d'échantillonnage a été mesurée au laboratoire en fonction du diamètre aérodynamique des particules et comparée aux courbes conventionnelles (EN 481 [1] et ISO 7708 [2]). Elle est proche de l'efficacité du dispositif CIP 10, étant donné que les deux appareils utilisent des sélecteurs identiques. La seule différence se situe au niveau des particules fines pour lesquelles l'efficacité du dispositif CATHIA est supérieure à celle du CIP 10. Ceci est dû à l'utilisation d'un filtre plus efficace que le filtre rotatif en mousse de polyuréthane. Les performances du dispositif ont été évaluées et exprimées sous forme de cartes de biais suivant la norme européenne EN 13205 [9]. Du fait que le dispositif permet de prélever l'une des trois fractions conventionnelles en fonction du sélecteur, il convient d'évaluer ses performances fraction par fraction.

PERFORMANCES DE PRELEVEMENT VIS-A-VIS DE LA FRACTION ALVEOLAIRE

Pour prélever la fraction alvéolaire d'un aérosol, le dispositif est utilisé en version CATHIA-R avec le sélecteur approprié, identique au sélecteur de l'échantillonneur CIP 10-R [6], au débit de 10 L.min⁻¹. Les mesures d'efficacité ont été conduites dans un tunnel aérodynamique dans des conditions proches de celles dites de l'air calme en utilisant un aérosol polydispersé. Les résultats relatifs à l'efficacité d'échantillonnage sont représentés sur la Figure 4 en fonction du diamètre aérodynamique des particules [4]. La courbe conventionnelle alvéolaire est également représentée.

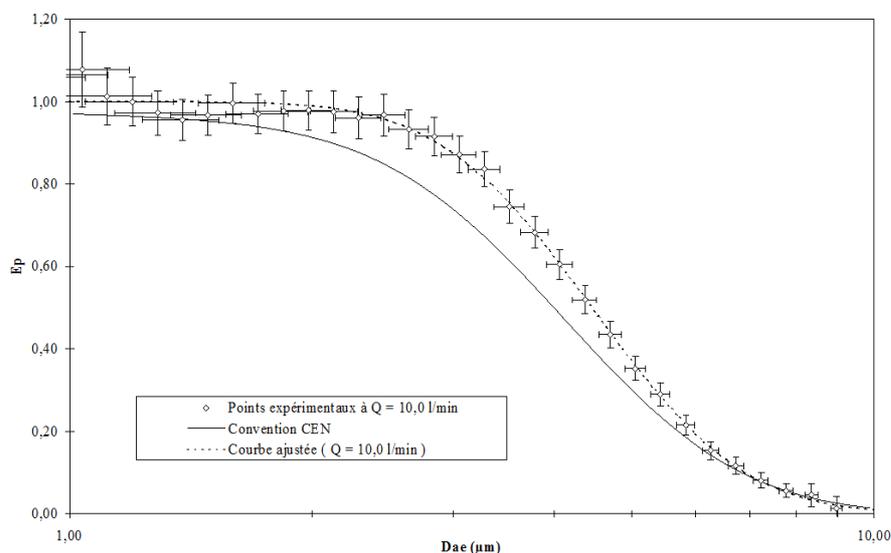


Figure 4 : Efficacité d'échantillonnage de la fraction alvéolaire du dispositif CATHIA-R en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de 10 L.min⁻¹

La carte de biais correspondant à l'efficacité mesurée est représentée sur la Figure 5 pour une série de distributions granulométriques d'un aérosol de type log-normal. Les paramètres de distribution constituent les coordonnées de la carte : MMAD – Mass Median Aerodynamic Diameter (diamètre aérodynamique médian en masse) et GSD - Geometric Standard Deviation (écart-type géométrique). On peut rappeler que la carte de biais représente les écarts relatifs entre la concentration qui serait mesurée par le dispositif de prélèvement étudié et la concentration qui correspondrait exactement à la convention alvéolaire pour le même aérosol.

La norme européenne EN 13205 [9] prévoit que le biais ne doit pas dépasser $\pm 10\%$ à l'intérieur du domaine granulométrique correspondant à la fraction spécifiée. L'indice BPC sur la carte (Figure 5) indique le pourcentage de points satisfaisant les critères correspondants. Les aérosols quasi monodispersés étant peu fréquents dans l'industrie, seules les distributions avec un écart-type géométrique $GSD \geq 2$ sont prises en compte pour le calcul de l'indice de performance BPC.

On peut constater que le critère du biais de mesure de la concentration alvéolaire est satisfait pour 12 % des points. En effet, les valeurs expérimentales de l'efficacité d'échantillonnage sont légèrement décalées à droite de la courbe conventionnelle. Ceci se traduit par une surestimation de l'ordre de 10 à 20 % par rapport à la fraction alvéolaire pour la majorité des distributions granulométriques dans la carte de biais. Le dispositif CATHIA est bien indiqué pour l'échantillonnage d'aérosols fins, comme les fumées par exemple, grâce à son filtre de collecte des particules plus efficace que le filtre rotatif à mousse de polyuréthane utilisé dans le CIP 10. Ceci est bien traduit dans la carte par des valeurs de biais positives comprises entre 0 et +10 % pour les plus fines particules.

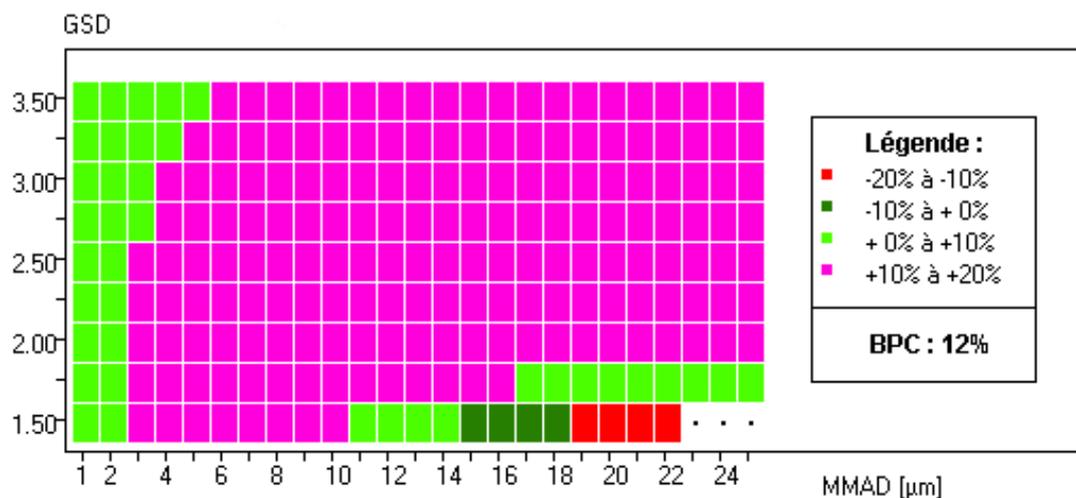


Figure 5 : Carte de biais du dispositif CATHIA - R, débit 10 L.min⁻¹, par rapport à la fraction conventionnelle alvéolaire.
BPC - Bias Performance Criterium (Indice de performance sur le biais)

PERFORMANCES DE PRELEVEMENT VIS-A-VIS DE LA FRACTION THORACIQUE

Pour prélever la fraction thoracique d'un aérosol, l'appareil est utilisé dans sa version CATHIA-T avec le sélecteur approprié, identique au sélecteur de l'échantillonneur CIP 10-T [6], au débit de 7 L.min⁻¹.

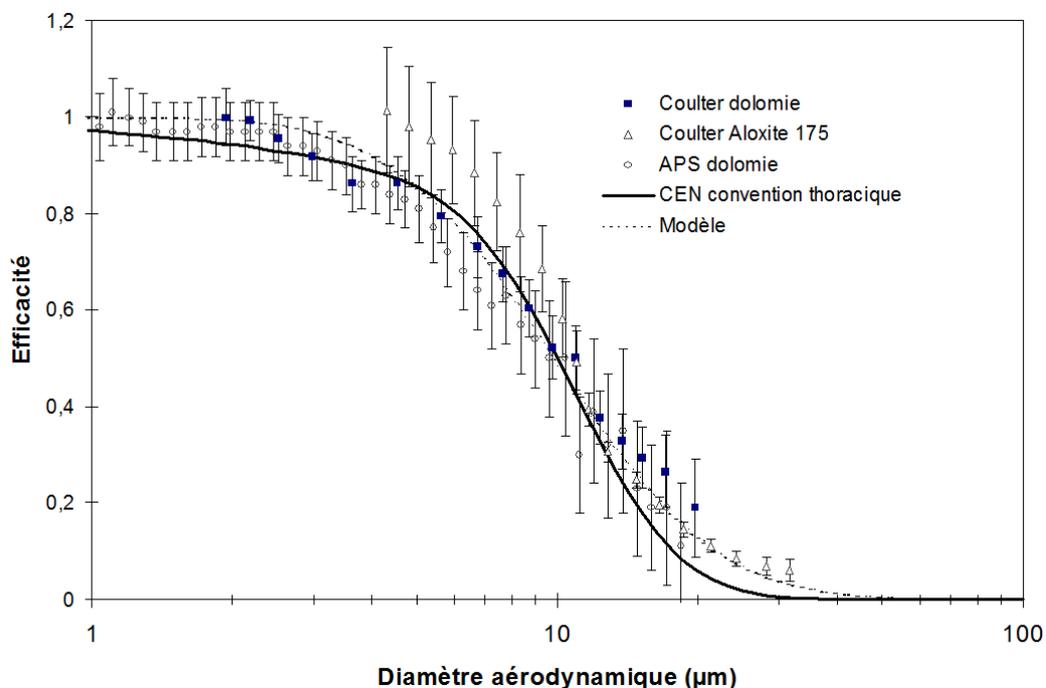


Figure 6 : Efficacité d'échantillonnage de la fraction thoracique du dispositif CATHIA - T en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de 7 L.min⁻¹

Les mesures d'efficacité ont été menées dans un tunnel aéraulique dans des conditions proches de l'air

calme en utilisant un aérosol polydispersé. Les résultats relatifs à l'efficacité d'échantillonnage sont représentés sur la Figure 6 en fonction du diamètre aérodynamique des particules [3]. La courbe conventionnelle thoracique est également représentée.

La carte de biais correspondant à l'efficacité mesurée est représentée sur la Figure 7. Les exigences normatives [9] sur le biais d'échantillonnage de la fraction thoracique sont les mêmes que pour la fraction alvéolaire.

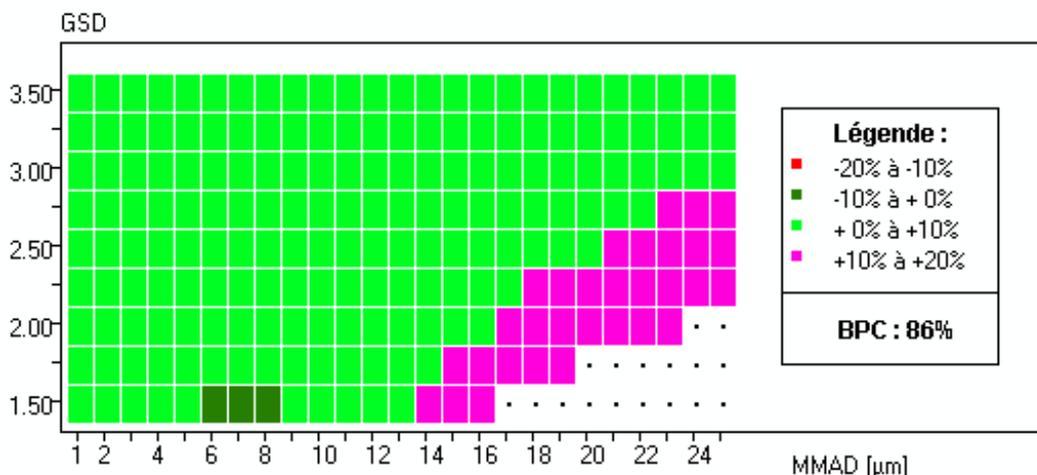


Figure 7 : Carte de biais du dispositif CATHIA - T, débit 7 L.min⁻¹, par rapport à la fraction conventionnelle thoracique.
 BPC - Bias Performance Criterium (Indice de performance sur le biais)

On peut constater que le critère sur le biais (BPC) est satisfait pour 86 % des points avec la condition $GSD \geq 2$ (Figure 7). Cette performance peut être considérée comme très satisfaisante pour une grande partie du domaine de granulométrie des aérosols rencontrés sur les lieux de travail.

Le dispositif CATHIA thoracique est utilisé notamment pour le mesurage de la concentration en fibres d'amiante et d'autres fibres. Leur mesurage en fraction thoracique a été recommandé au niveau international [10]. Grâce à l'efficacité d'échantillonnage satisfaisante pour cette fraction [3, 11-13] et grâce au dépôt homogène des particules sur toute la surface du filtre [5], l'utilisation du dispositif CATHIA-T pour l'échantillonnage de fibres d'amiante dispersées dans l'air s'est largement développée. Son utilisation à cet effet est citée dans une norme AFNOR [7].

Le dispositif CATHIA-T peut être utilisé pour prélever des aérosols dans l'industrie textile où il a pu remplacer avantageusement l'éluutriateur vertical [14]. Ses performances par rapport à l'éluutriateur ont été vérifiées à la fois en laboratoire et in situ [15]. Dans ce type d'industrie, l'aérosol présent sur les lieux de travail peut contenir des fibres textiles d'assez grandes dimensions, souvent agglomérées en amas, qui peuvent obstruer le sélecteur thoracique du dispositif CATHIA-T et empêcher ainsi son bon fonctionnement. Il est alors possible d'utiliser une grille extérieure protégeant la fente d'aspiration (Figure 8). Son utilisation ne modifie ni le débit ni les performances de l'appareil [16].

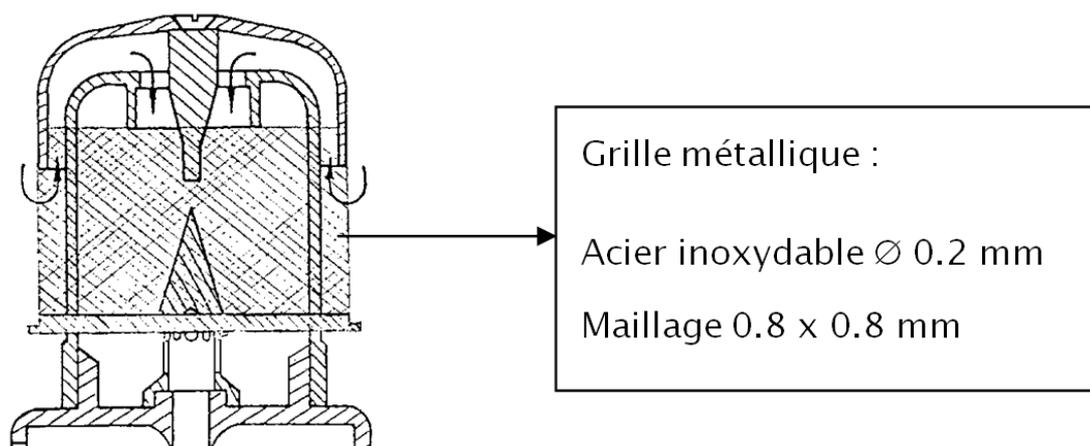


Figure 8 : Sélecteur de la fraction thoracique équipé d'une grille extérieure optionnelle

PERFORMANCES DE PRELEVEMENT VIS-A-VIS DE LA FRACTION INHALABLE

Le dispositif CATHIA est utilisé également pour prélever la fraction conventionnelle inhalable en utilisant le sélecteur inhalable de l'appareil CIP 10-1 au débit de $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ [6]. Il est à noter qu'il convient d'utiliser la dernière version du sélecteur inhalable, développé à l'INRS dans les années 90 [17]. Il est actuellement vendu par la société TECORA sous l'appellation « haute efficacité ». L'ancien sélecteur (à conduit intérieur conique) dont l'efficacité a été jugée insuffisante [18] par rapport à la définition conventionnelle de la fraction inhalable [1, 2] n'est plus commercialisé.

L'actuel sélecteur (Figure 2c dans [6]) a été testé dans des tunnels aérauliques à génération d'aérosol. Sa performance est nettement supérieure à l'efficacité de l'ancienne version [17, 19]. Les résultats expérimentaux sont reportés dans la Figure 9 où ils sont accompagnés de la courbe conventionnelle inhalable. Ils montrent une efficacité globale d'échantillonnage satisfaisante pour toutes les tailles de particules [19]. Cette efficacité a été mesurée dans les conditions aérauliques correspondant à une vitesse de vent $W = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La carte de biais correspondant à l'efficacité mesurée est représentée sur la Figure 10. Les exigences normatives [9] sur le biais d'échantillonnage de la fraction inhalable sont les mêmes que pour la fraction alvéolaire et la fraction thoracique.

On peut constater que le critère sur le biais (BPC) est satisfait pour 81% des aérosols dans la carte (Figure 10). Cette performance peut être considérée comme très satisfaisante.

L'efficacité d'échantillonnage de la fraction inhalable d'aérosol est sensible aux conditions aérauliques sur le lieu de prélèvement. En effet l'aspiration de particules de grande taille (quelques dizaines de μm) est dépendante de la vitesse du vent au voisinage de l'échantillonneur. Ceci est dû à la grande inertie de ces particules. Une étude récente a confirmé les résultats présentés sur la figure 9 pour le vent de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et élargie le domaine de performance de l'appareil CIP 10-1 aux conditions d'air calme [20].

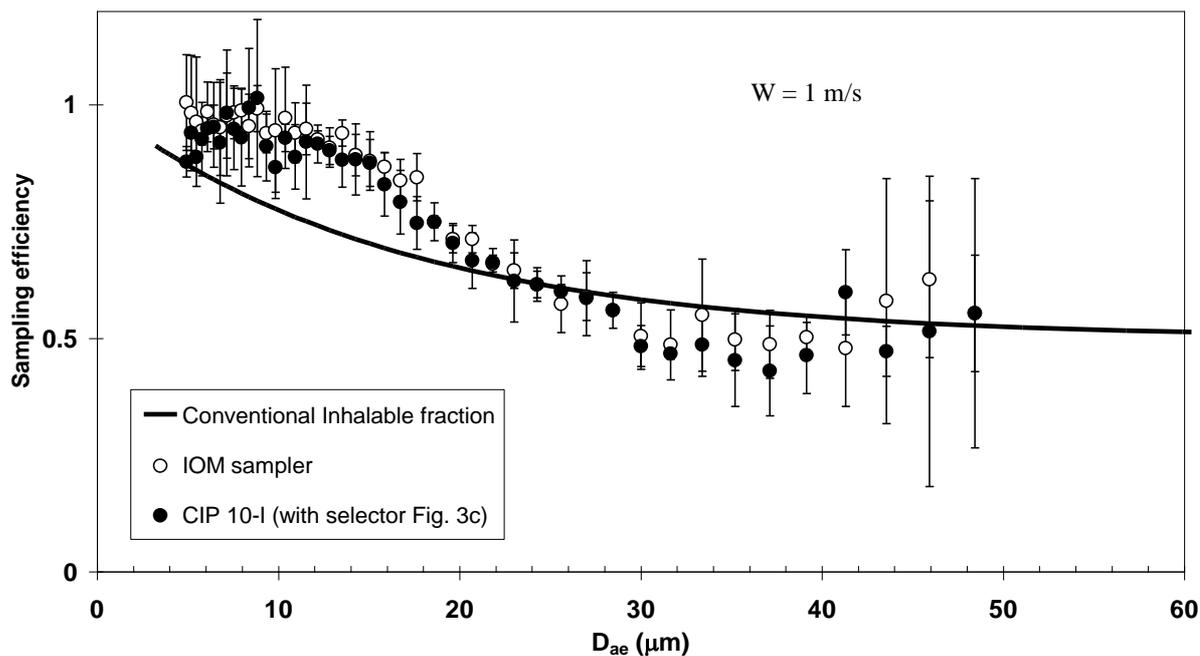


Figure 9 : Efficacité d'échantillonnage de la fraction inhalable du dispositif CATHIA-I en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de 10 L.min⁻¹. (Pour comparaison, l'efficacité de l'IOM sampler (UK) est également reportée)

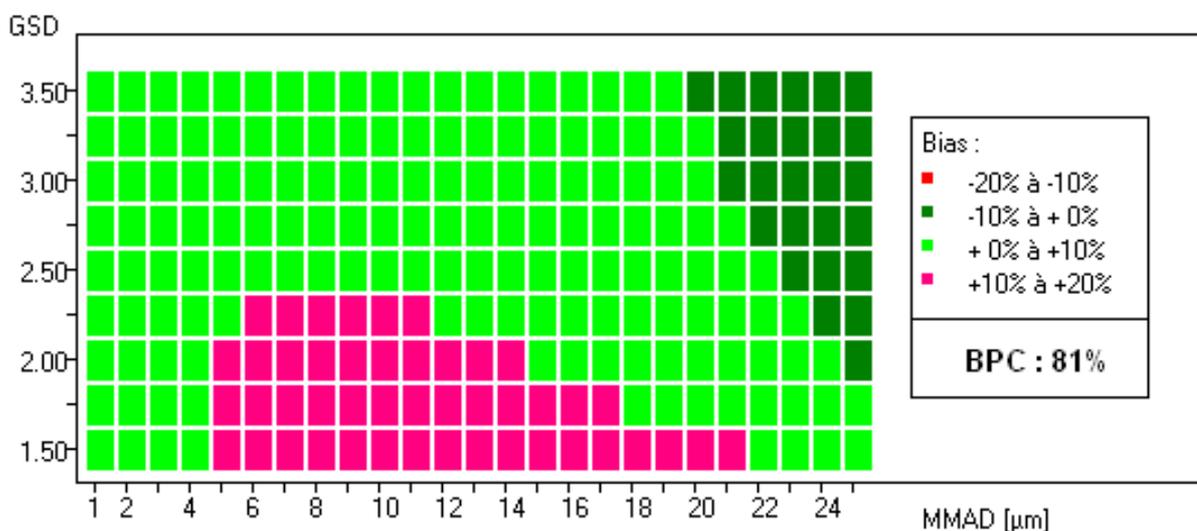


Figure 10 : Cartes de biais du dispositif CATHIA-I, débit 10 L.min⁻¹, par rapport à la fraction conventionnelle inhalable BPC - Bias Performance Criterium (Indice de performance sur le biais)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] NF EN 481 (X43-276). Novembre 1993. Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. Paris La Défense. AFNOR, 1993, 11 p.
- [2] NF ISO 7708 (X 43-100). Mai 1996. Qualité de l'air - Définitions des fractions de taille des particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé. Paris La Défense. AFNOR, 1996, 14 p.
- [3] FABRIÈS, J.F., GÖRNER, P., KAUFFER, E., WROBEL, R., VIGNERON, J.C. Personal Thoracic CIP10-T sampler and its static version CATHIA-T. *Annals of Occupational Hygiene*, 1998, 42, pp. 453-465.
- [4] GÖRNER, P., WROBEL, R., MICKA, V., SKODA, V., DENIS, J., FABRIÈS, J.F. Study of fifteen respirable aerosol samplers used in occupational hygiene. *Annals of Occupational Hygiene*, 2001, 45, pp. 43-54.
- [5] KAUFFER, E., VIGNERON, J.C., FABRIÈS, J.F., BILLON-GALLAND, M.A., BROCHARD, P. The use of a new static device based on the collection of the thoracic fraction for the assessment of the airborne concentration of asbestos fibres by transmission electron microscopy. *Annals of Occupational Hygiene*, 1996, 40, pp. 311-319.
- [6] Prélèvement des aérosols par le dispositif CIP 10. INRS, fiche MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cip10.pdf>).
- [7] NF X43-050. Janvier 1996. Air des lieux de travail – Détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission. Paris La Défense. AFNOR, 1996, 44 p.
- [8] Prélèvement des aérosols par cassette fermée. INRS, fiche MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cassette.pdf>).
- [9] NF EN 13205. (X 43-283) Août 2014. Exposition sur les lieux de travail – Evaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air. La Plaine Saint-Denis, AFNOR, 2014, Partie 1 à Partie 6.
- [10] DEMENT, J.M. Overview : Workshop on fiber toxicology research needs. *Environmental Health Perspectives*, 1990, 88, pp. 261-268.
- [11] MAYNARD, A.D. Measurement of aerosol penetration through six personal thoracic samplers under calm air conditions. *Journal of Aerosol Science*, 1999, 30, pp. 1227-1242.
- [12] JONES, A.D., AITKEN, R., MAYNARD, A., RIEDIGER, G., SAHLE, W., LIDEN, G. Thoracic sampling of fibres. *Journal of Aerosol Science*, 2000, 31, pp. S128-S129.
- [13] MAYNARD, A.D. Thoracic size-selection of fibres: Dependence of penetration on fibre length for five thoracic sampler types. *Annals of occupational Hygiene*, 2002, 46, pp. 511-522.
- [14] LYNCH, J.R. Air sampling for cotton dust. In *Trans. Nat. Conf on Cotton Dust and Health*, School of Public Health, Chapel Hill, N.C., 1970, pp. 33-43.
- [15] GÖRNER, P., FABRIÈS, J.F., WROBEL, R. Thoracic fraction measurement of cotton dust. *Journal of Aerosol Science*, 1994, 25, pp. S487-S488.
- [16] GÖRNER, P., FABRIÈS, J.F. Health-related size fractions of aerosols and long fibrous particles. In *Abstracts of 4th International aerosol conference*, Los Angeles, August 29 – September 2, 1994, pp. 736-737.
- [17] GÖRNER, P., WROBEL, R., ROGER, F., FABRIÈS, J.F. Inhalable aerosol selector for the CIP 10 personal aerosol sampler. *Journal of Aerosol Science*, 1999, 30, pp. S893-S894.
- [18] KENNY, L.C. AITKEN, R., CHALMERS, C., FABRIÈS, J.F., GONZALES-FERNANDEZ, E., KROMHOUT, A., LIDEN, G., MARK, D., RIEDIGER, D., PRODI, V. A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. *Annals of Occupational Hygiene*, 1997, 41, pp. 135-153.
- [19] GÖRNER, P., WROBEL, R., SIMON, X. High efficiency CIP 10-I personal inhalable aerosol sampler. *Journal of Physics*, 2009: Conference Series 151, 012061
- [20] GÖRNER, P., SIMON, X., WROBEL, R., KAUFFER, E., WITSCHGER, O. Laboratory study of selected

personal inhalable aerosol samplers. *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, 54, pp. 165-187.

AUTEURS

P. Görner, X. Simon et O. Witschger

INRS, Métrologie des polluants (metropol@inrs.fr)

HISTORIQUE

Version	Date	Modifications
1	Octobre 2015	Création de la fiche