

# Prélèvement des aérosols par cassette fermée

## Contexte

*Le dispositif de prélèvement dit « cassette fermée » est largement utilisé pour mesurer l'exposition des travailleurs aux aérosols par inhalation. Le plus souvent, il est employé pour évaluer la fraction inhalable, qui est l'une des trois fractions d'aérosols à laquelle se rapportent de nombreuses valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP). Comme tous les dispositifs de prélèvement, la cassette fermée présente des avantages et des limites qu'il convient de connaître en tant qu'utilisateur direct ou indirect. Cette fiche présente de manière détaillée la cassette fermée, détaille ses performances de prélèvement et rappelle les bonnes pratiques et les préconisations de mise en œuvre.*

## Sommaire

<b>Présentation et domaine d'application</b> .....	<b>2</b>
<b>Description de la cassette fermée</b> .....	<b>3</b>
<b>Préparation et assemblage des cassettes</b> .....	<b>5</b>
<b>Réalisation du prélèvement</b> .....	<b>8</b>
<b>Transport et conservation des échantillons</b> .....	<b>10</b>
<b>Dépôts de particules captées sur les parois internes</b> .....	<b>10</b>
<b>Préconisations pour la prise en compte des dépôts</b> .....	<b>12</b>
<b>Calcul de la concentration en particules dans l'air</b> .....	<b>13</b>
<b>Performance physique de prélèvement</b> .....	<b>14</b>
<b>Ce qu'il faut retenir</b> .....	<b>16</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>17</b>
<b>Auteurs</b> .....	<b>19</b>
<b>Historique</b> .....	<b>19</b>

## PRESENTATION ET DOMAINE D'APPLICATION

En France, le dispositif de prélèvement dit « cassette fermée » (CF) est largement utilisé pour mesurer l'exposition des travailleurs aux aérosols par inhalation. Plus particulièrement, il est employé pour évaluer la fraction inhalable [1], qui est l'une des trois fractions d'aérosols à laquelle se rapportent de nombreuses valeurs limites d'exposition professionnelle.

La CF est un porte-filtre muni d'un orifice de captage de diamètre nominal égal à 4 mm, qui est utilisé pour le prélèvement individuel des aérosols. La description de cette méthode de prélèvement est également disponible dans la norme NF X 43-257 [2]. Des éléments complémentaires, comme par exemple l'historique de son apparition, sont également présentés dans la note technique NT78 de la revue HST [3].

De manière la plus courante, les particules captées dans la CF, sur le filtre et sur les parois internes de la cassette constituent l'échantillon qui sera ensuite analysé en vue de déterminer la concentration moyenne

en polluant dans l'air par la méthode gravimétrique ou par une autre méthode d'analyse physique, chimique ou biologique. Dans certains cas particuliers comme les poussières de bois par exemple, l'échantillon peut n'être constitué que des seules particules collectées sur le filtre (cf. méthode MétroPol M-275 pour plus d'explications); les particules déposées sur les parois internes de la cassette ne sont alors pas prises en compte lors de l'analyse.

La méthode convient dans tous les cas où les particules prélevées sont stables vis-à-vis de la grandeur à mesurer dans les conditions de prélèvement, de transport et de conservation avant l'analyse de l'échantillon. La méthode est donc inapplicable si tout ou partie de la matière particulaire à analyser peut-être perdue ou la caractéristique à mesurer modifiée au cours du prélèvement, du transport ou de la conservation de l'échantillon par suite de phénomènes tels que sublimation, évaporation, hydrolyse ou oxydation par exemple. Dans ces cas précis, il est nécessaire de se référer à la fiche MétroPol décrivant le protocole de mesure spécifique à la substance visée.

Cette fiche présente des éléments d'information sur le prélèvement par cassette fermée qu'il convient de connaître en tant qu'utilisateur direct (préleveur, analyste) ou indirect (préventeur, utilisateur de base de données d'exposition, épidémiologiste, etc.).

Les polluants particuliers pouvant être prélevés par cassette fermée sont diversifiés (métaux, métalloïdes, acides, bases, HAP, microorganismes, endotoxines, etc.); il est donc nécessaire de se référer à la méthode MétroPol de la substance visée pour vérifier l'ensemble du protocole de mesure et réaliser le calcul de la concentration dans l'air.

## DESCRIPTION DE LA CASSETTE FERMEE

La détermination des concentrations en polluant dans les atmosphères de travail est réalisée par prélèvement de l'aérosol à l'aide d'une CF.

**Dispositif de prélèvement :** Cassette fermée avec un filtre ou une membrane ou une capsule dont la nature est à choisir en fonction de la compatibilité avec l'analyse envisagée. En fonction de la nature et de l'épaisseur du filtre ou de la membrane, un tampon support en fibres de cellulose ou en polypropylène par exemple pourra être utilisé.

**Conditions d'utilisation :** Débit de 2,0 L/min. Durée de prélèvement adaptée à l'objectif de mesure : exposition lors d'une tâche spécifique, d'une succession d'activités, d'une journée complète de travail, etc.

**Matériel de prélèvement :**

- Cassette porte-filtre de 2 ou 3 pièces, en polystyrène (ou autre matériau), de 25 ou 37 mm de diamètre, munie d'un orifice d'entrée de diamètre nominal de 4 mm (Figures 1 et 2).
- Filtre ou membrane ou capsule de 25 ou 37 mm de diamètre. Le choix du filtre ou de la membrane dépend le plus souvent du type d'analyse envisagée. Les caractéristiques et propriétés doivent être compatibles avec la méthode analytique envisagée, notamment ne pas libérer d'interférents, d'inhibiteurs, etc. Parmi les supports les plus couramment utilisés, on trouve par exemple : membrane en acétate ou en mélange d'esters de cellulose, membrane en PVC, en PTFE ou en polycarbonate (PC), filtre en microfibres de verre ou de quartz, capsule Accu-Cap™ ou Gravi-Sert™ ou Solu-Sert™, etc.
- Tampon en fibres de cellulose ou en polypropylène de 25 ou 37 mm de diamètre, servant éventuellement de support au filtre ou à la membrane de collecte ou à la capsule.
- Dispositif porte-cassette pour réaliser un prélèvement individuel (Figure 3). Son usage reste optionnel : il peut faciliter la fixation de la cassette sur le vêtement et dans la zone respiratoire du travailleur et permettre de maintenir l'axe de captage vers l'avant et aussi horizontal que possible pendant toute la durée du prélèvement.
- Pompe de prélèvement à un débit de 2,0 L/min ( $\pm 5\%$ ) et satisfaisant les exigences de la norme NF EN ISO 13137 [4].

- Tube flexible pour effectuer la liaison de la pompe à la cassette fermée.
- Débitmètre.
- Presse pneumatique (idéalement) pour assembler les cassettes et améliorer l'étanchéité interne de la CF.

A noter qu'il existe dans le commerce des cassettes vendues préassemblées, équipées d'un média filtrant (dont la nature peut être choisie par l'utilisateur), directement prêtes pour le prélèvement.

Des prélèvements à 1 L/min peuvent être envisagés dans le cas d'un fort empoussièremement ou de l'emploi en série avec la cassette d'un tube de support adsorbant, par exemple. Cet abaissement de la valeur du débit devra être justifié par l'impossibilité de recourir à un prélèvement classique de 2 L/min du fait d'une perte de charge trop élevée et/ou d'une saturation du support trop rapide, par exemple.

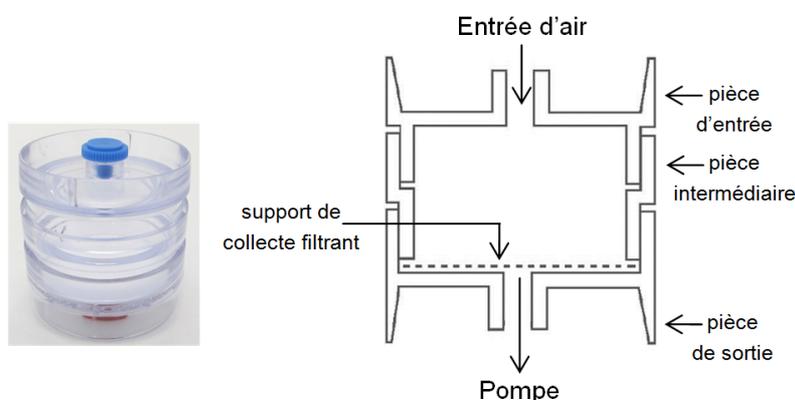


Figure 1 : Cassette fermée de diamètre 37 mm.

Figure 2 : Schéma d'une cassette fermée de diamètre 37 mm (3 pièces).



Figure 3 : Exemple de dispositif porte-cassette.

Il est important de noter que le terme « cassette fermée » est uniquement associé à la configuration suivante : un porte-filtre de 25 ou 37 mm de diamètre, constitué de 2 ou 3 pièces (la pièce intermédiaire peut être facultative), muni d'un orifice d'entrée de diamètre nominal de 4 mm, dont l'axe de captage est maintenu horizontalement tout au long d'un prélèvement réalisé à un débit de 2,0 L/min (Tableau 1).

Ainsi, une « cassette ouverte » pour laquelle la pièce d'entrée est absente, et qui présente donc un orifice de captage de l'aérosol d'environ 33 mm au lieu de 4 mm, ne doit pas être confondue avec une « cassette fermée ». Les différents éléments constitutifs que sont les pièces de sortie, intermédiaire ou d'entrée (Figure 2) sont par ailleurs utilisés, tout ou partie, en tant que porte-filtre au sein d'autres dispositifs de prélèvement. On peut par exemple citer le dispositif à point fixe CATHIA [5] ou différents cyclones [6]. Même si elles utilisent les mêmes pièces d'assemblage et permettent de créer des portes-filtres astucieuses ou pratiques, ces configurations n'ont en réalité rien à voir avec le dispositif de prélèvement « cassette fermée ». Pour ces utilisations dérivées, il est préférable d'employer le terme « porte-filtre » plus général, et de ne pas utiliser les termes « cassette » ou « cassette fermée » qui ne sont pas conformes et peuvent prêter à confusion.

Comme l'indique le Tableau 1, les matériaux constitutifs des éléments d'une CF sont multiples. Le choix du matériau va dépendre de la nature du polluant particulière ou de la méthode d'analyse envisagée pour l'échantillon. Dans la plupart des situations, le matériau utilisé est en polystyrène transparent. Celui-ci permet notamment d'observer l'état du filtre au cours du prélèvement (encrassement, aspiration d'un insecte, etc.) Les matériaux opaques permettent de protéger l'échantillon prélevé des effets de la lumière. Le matériau noir est de plus conducteur, ce qui limite théoriquement les effets liés aux charges électrostatiques portées par les particules.

Le Tableau 1 indique également les volumes internes pour les différentes configurations. Ceux-ci sont compris

entre ~ 2,5 et ~ 15 cm<sup>3</sup>. Pour certaines analyses, il est indispensable d'extraire l'ensemble des particules captées par la CF. Ainsi, certaines méthodes d'analyse reposent sur une solubilisation (minéralisation) ou extraction (ou élution) dans la CF, à l'aide d'un mélange de liquides réactifs, qui peut être introduit directement à l'intérieur de la CF via l'orifice de 4 mm de diamètre. La CF37 constituée de 3 pièces est alors généralement employée car son volume interne de ~15 cm<sup>3</sup> permet aisément d'introduire des volumes de liquide d'extraction de 5 à 15 mL. A titre d'exemple, les méthodes MétroPol relatives aux métaux et métalloïdes M-122, au Chrome VI M-43 ou aux micro-organismes cultivables M-147 ont recours à un tel protocole.

Configuration	Nb de pièces (-)	Matériaux	Débit (L/min)	Volume interne (cm <sup>3</sup> )	
				2 pièces	3 pièces
CF25	2 ou 3	Polystyrène (transparent, marron)	2	~2,5	~6
CF37		Polypropylène (blanc, noir)		~6,5	~15

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes configurations de cassette fermée pouvant être mises en œuvre pour la mesure de l'exposition aux aérosols en fraction inhalable

## PREPARATION ET ASSEMBLAGE DES CASSETTES

Le stockage des consommables (médias de collecte, pièces de la cassette, etc.) doit se faire selon les préconisations du fabricant, dans un endroit propre et sec.

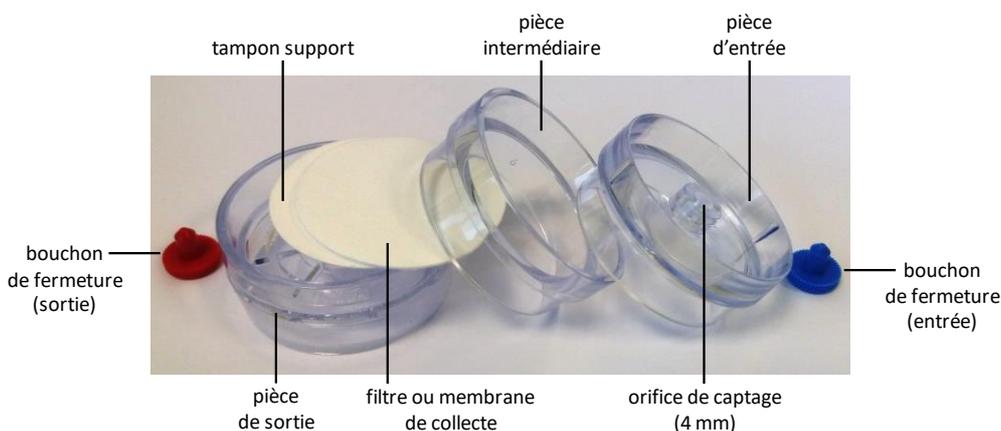


Figure 4 : Vue éclatée des différents éléments qui composent une cassette fermée en configuration dite « 3 pièces ». Les bouchons d'entrée et de sortie sont enlevés lors du prélèvement.

Les Figures 2 et 4 aident à la compréhension du montage. Placer le tampon support (si nécessaire), puis le filtre ou la membrane dans la pièce de sortie à l'aide d'une pince. Positionner la pièce intermédiaire au-dessus de la pièce de sortie. Positionner la pièce d'entrée au-dessus de la pièce intermédiaire. Assembler les trois pièces de la cassette en effectuant une pression sur l'ensemble du montage. Il est nécessaire de veiller à l'enfoncement complet (jusqu'en butée) et régulier (sur toute la circonférence) des pièces de la cassette.

L'utilisation d'une presse pneumatique à une pression de 2 bars est conseillée. L'assemblage peut aussi s'effectuer en deux étapes : assemblage de la pièce de sortie avec la pièce intermédiaire, puis assemblage de la pièce intermédiaire avec la pièce d'entrée. Il est également conseillé de vérifier visuellement que le support de collecte (filtre ou membrane) n'est pas endommagé (troué par exemple) et qu'il est bien positionné dans la cassette et, notamment, qu'il ne s'est pas « froissé » au cours de l'assemblage. En cas de doute, ne pas utiliser la cassette. Enfin, il convient d'obturer les orifices d'entrée et de sortie de la cassette avec les deux bouchons de couleur qui sont destinés à limiter la contamination interne lorsque la CF est manipulée ou transportée. L'utilisateur pourra décider d'un code couleur pour différencier les cassettes au sein d'une même série : par exemple, placer initialement le bouchon bleu en entrée / le bouchon rouge en sortie pour les cassettes vierges avant prélèvement, puis procéder à une inversion (bouchon rouge en entrée / bouchon bleu en sortie) pour chaque cassette ayant déjà été utilisée pour réaliser un prélèvement.

Après réalisation du montage, un ruban adhésif (type scotch d'électricien) peut être appliqué sur la rainure extérieure basse (Figure 5). Cette précaution optionnelle a pour seul objectif d'éviter les dépôts de particules sur la surface externe de la CF, principalement au niveau de la rainure et en particulier pour des atmosphères professionnelles très empoussiérées. En effet, en retirant le ruban après le prélèvement, l'utilisateur retrouvera une surface « propre » avant le désassemblage / l'ouverture de la CF et pourra récupérer le support de collecte sans craindre une pollution extérieure de l'échantillon. L'apposition de ce ruban adhésif est inutile si la CF n'est pas démontée (dans le cas d'une solubilisation/extraction directe par exemple), et n'a aucune influence sur l'étanchéité du dispositif. Dans tous les cas, il est préférable de nettoyer / dépolir la surface externe de la cassette suite à un prélèvement.



Figure 5 : Exemples d'aspects de CF37 et CF25 après montage. Le ruban adhésif noir apposé sur deux CF est optionnel ; il peut permettre de limiter le dépôt de particules sur les surfaces (rainures) extérieures.

Dans le cas particulier de l'utilisation de capsules comme supports de collecte (cf. section « préconisations pour la prise en compte des dépôts »), l'assemblage des CF se fait exclusivement en configuration « 2 pièces », de manière à ce que l'orifice d'entrée de la capsule épouse l'orifice d'entrée de 4 mm de la cassette (Figure 6).

Dans les autres cas (filtre ou membrane), la cassette peut être constituée de 2 ou 3 pièces ; cela aura pour principale conséquence de modifier le volume interne (cf. Tableau 1) disponible pour réaliser une solubilisation (minéralisation) ou extraction (élution).

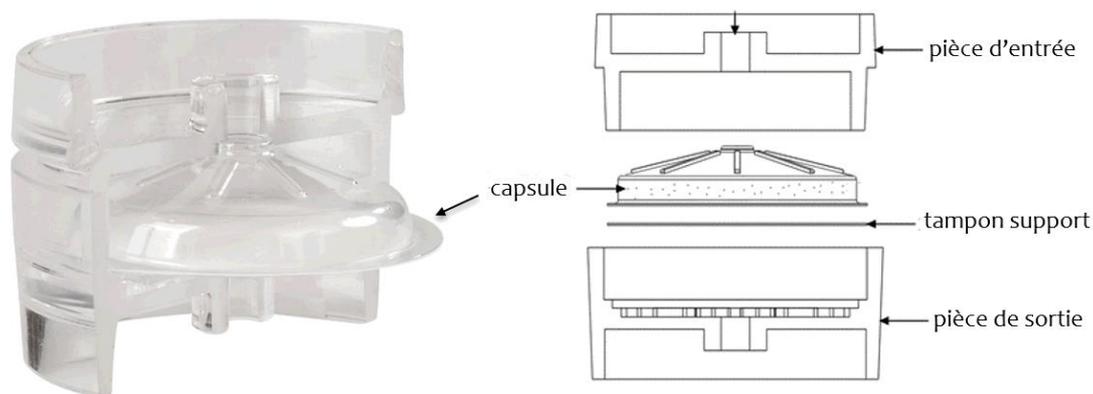


Figure 6 : Assemblage d'une cassette fermée avec une capsule comme support de collecte.  
Illustrations adaptées de [www.zefon.com](http://www.zefon.com).

La préparation s'effectue généralement par série de plusieurs cassettes (assemblées le même jour) qui sont ensuite conservées fermées dans un endroit propre et sec. Avant d'utiliser les cassettes d'une série pour réaliser des prélèvements, il est conseillé d'effectuer une vérification de l'étanchéité de certaines cassettes de la série, choisies au hasard. Cette vérification permet de valider la préparation de la série ; les cassettes pourront alors être utilisées, en une ou plusieurs fois, jusqu'à épuisement de la série. L'étanchéité de certaines cassettes de la série peut être vérifiée en suivant l'une des méthodes décrites dans la fiche du guide méthodologique intitulée « Préparation des dispositifs de prélèvement en vue d'une intervention en entreprise » [7]. Un travail préliminaire peut donc être nécessaire pour s'assurer de la validité du protocole d'assemblage employé.

Remarque 1 : L'étanchéité interne entre la pièce de sortie et la pièce intermédiaire de la cassette (là où sont placés le tampon support et le filtre ou la membrane) peut ne pas être parfaite [7-11]. Ces défauts proviennent d'un mauvais assemblage / enfoncement des pièces de la cassette fermée, qui ne respecte pas la règle suivante : « il est nécessaire de veiller à l'enfoncement complet et régulier sur toute la circonférence des pièces constituant la cassette, jusqu'en butée » [2]. Les défauts d'étanchéité peuvent avoir une influence notable sur le résultat final de concentration ; ils sont à l'origine d'une perte de particules qui auraient dû être collectées par le filtre et qui, au lieu de cela, ont été entraînées vers l'aval du filtre. La cause principale de la perte de particules est la création de passage(s) préférentiel(s) et l'établissement de vitesses d'air élevées, plusieurs m/s, au travers de ces fuites et qui sont bien supérieures aux vitesses de filtration qui s'établissent sur la surface du filtre. Cette perte de masse dans l'échantillon à analyser conduit à une sous-estimation des concentrations mesurées pouvant atteindre plusieurs dizaines de pour cent. Plus le défaut d'étanchéité est important, plus la quantité de particules qui transitent vers l'aval du filtre et ainsi la perte de masse dans l'échantillon analysé sont grandes. Certaines de ces particules manquantes sont rejetées vers la pompe, d'autres peuvent se retrouver dans le tampon support qui est placé en dessous du support de collecte. La sous-estimation des concentrations peut intervenir quelle que soit la méthode d'analyse pratiquée (gravimétrique, chimique, microbiologique, etc.) puisque la cause est la perte de polluant particulaire dans l'échantillon au cours du prélèvement.

Remarque 2 : Les médias filtrants habituellement utilisés dans la CF sont de différentes natures et vont dépendre du type d'analyse : membranes en PVC, PTFE, polycarbonate, esters de cellulose, fibres de verre ou de quartz, etc. D'une manière générale, tous les médias filtrants montrent une perméance (rapport de la concentration en particules en sortie du filtre par rapport à celle en entrée) très faible [12, 13]. Des expériences menées à l'INRS (cf. Tableau 2 de [7]) montrent que les filtres typiquement utilisés pour la mesure des expositions professionnelles présentent des valeurs de perméance comprises entre  $10^{-3}$  et  $10^{-5}$  (correspondant à des efficacités comprises entre 99,9% et 99,999%), en fonction de la méthode de mesure.

Ainsi, dans la mesure où l'étanchéité interne est parfaite, la question de la perte de particules via un transfert interne au travers de la CF est négligeable, y compris pour les particules les plus petites pouvant être de taille nanométrique.

## REALISATION DU PRELEVEMENT

Le débit de prélèvement est de 2,0 L/min ( $\pm 5\%$ ). Il doit être assuré tout au long de la durée de prélèvement (maximum 8 heures). Ce débit est imposé depuis maintenant plus de dix ans (norme NF X 43-257 [2]). Il permet le prélèvement d'un volume d'air proche de 1 m<sup>3</sup> sur une durée d'environ 8 heures et la collecte d'une quantité de matière particulaire généralement suffisante pour mesurer des concentrations de l'ordre du dixième de la VLEP-8h du polluant ciblé.

La vérification du débit de la pompe s'effectue à l'aide d'un débitmètre connecté à l'entrée de la cassette (Figure 7), conformément au mode opératoire décrit dans la fiche MétroPol « Principe général et mise en œuvre pratique du prélèvement » [14]. Il est souhaitable d'utiliser un débitmètre dont la perte de charge est nettement plus faible que celle du filtre afin d'assurer des conditions de fonctionnement de la pompe aussi proches que possible de celles du prélèvement réel.

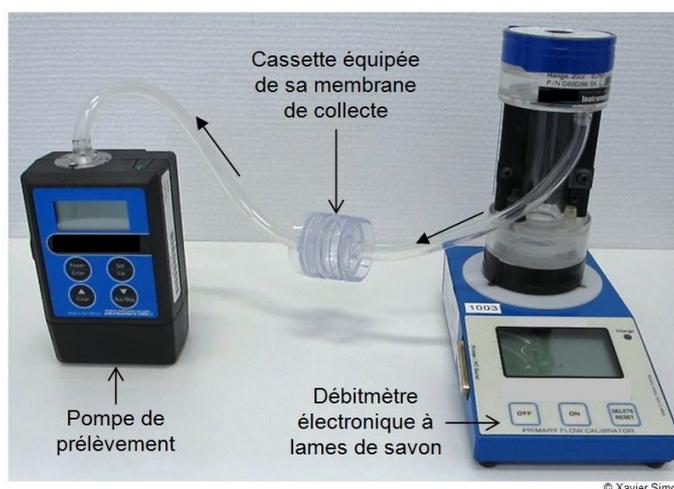


Figure 7 : exemple de montage pour la vérification du débit de prélèvement d'une CF.

Le débit doit être mesuré et noté avant ( $Q_1$ ) et après le prélèvement ( $Q_2$ ) [4]. Le volume d'air échantillonné,  $V$ , est calculé sur la base du débit moyen  $Q$ , maintenu à  $\pm 5\%$  de la valeur de consigne pendant toute la durée du prélèvement, et de la durée de prélèvement,  $t$  :

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad V = Q \times t$$

La durée de prélèvement devra être choisie par le préleveur en fonction des objectifs de mesure. Dans le cas de la mesure de l'exposition d'un travailleur, la durée de prélèvement doit être représentative de la durée du poste de travail et sera idéalement de 8 heures.

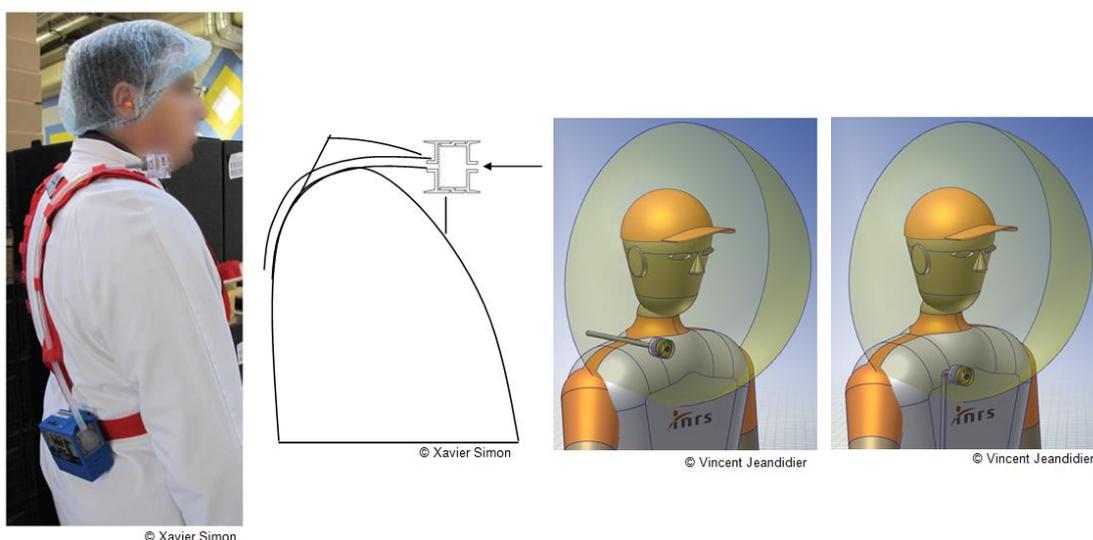
Comme pour tous les dispositifs de prélèvement individuel, l'orifice de captage de la CF doit être localisé dans la zone respiratoire [15, 16] de l'opérateur (hémisphère de rayon 30 cm autour du nez et de la bouche au sein de laquelle la respiration du travailleur a lieu) et dirigé vers l'avant. La CF est reliée par un tube flexible à une pompe de prélèvement, généralement fixée au niveau de la ceinture du travailleur (Figure 8). De plus, la CF doit être solidaire de l'opérateur avec le plan du filtre parallèle au plan du thorax. Ce positionnement précis

tout au long du prélèvement est une exigence en France depuis plus de trente ans : il est par exemple clairement décrit dans la norme NF X 43-257 depuis 1988. Tout autre positionnement est donc à écarter formellement en France, dès lors que la CF est destinée à mesurer la fraction inhalable. Le maintien correct de la CF impose l'utilisation systématique d'un élément de fixation ou de maintien sur le travailleur, ou bien l'utilisation d'un dispositif spécifique porte-cassette (Figure 3). Certains de ces éléments sont disponibles dans le commerce depuis de nombreuses années.

Comme l'illustre l'exemple de la Figure 8, l'exigence est donc de fixer la CF dans la zone respiratoire du travailleur et de maintenir l'axe de captage horizontal et orienté vers l'avant, lorsque le corps de l'opérateur reste en position verticale. La Figure 8 propose également des exemples où la cassette est orientée vers le bas ou vers le haut ; elle illustre ainsi des situations à proscrire (ou à corriger si elles surviennent en cours de mesure) pour réaliser les prélèvements.

Il faut également veiller à ce que le dispositif de prélèvement ne génère pas un risque de se raccrocher dans une machine, n'entrave pas / ne modifie pas les mouvements du travailleur ou ne lui occasionne pas une gêne ou un inconfort, en particulier les mouvements de tête des travailleurs équipés d'un masque de protection respiratoire à cartouches. Dans ce cas de figure, il est possible de fixer la cassette fermée sur le casque ou les branches de lunettes du travailleur, comme illustré sur la Figure 9.

- Exemples de montages réalisés pour maintenir l'axe de captage horizontal et orienté vers l'avant (cas général)



- Exemples de montages à proscrire

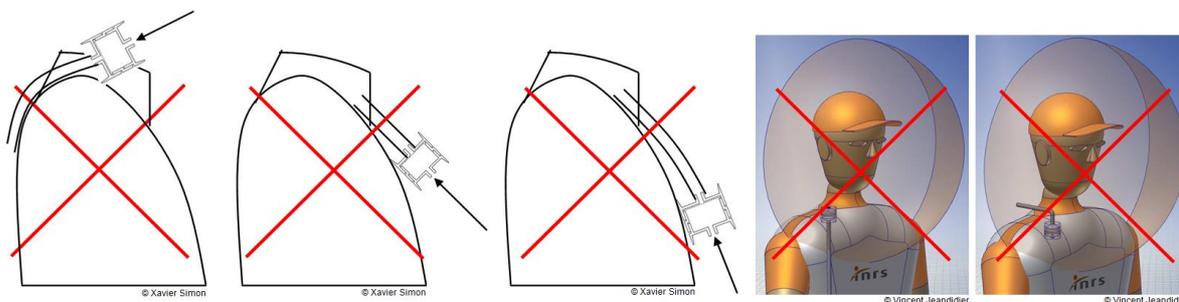


Figure 8 : Exemples de montages de la cassette fermée pour la réalisation d'un prélèvement individuel sur un travailleur.

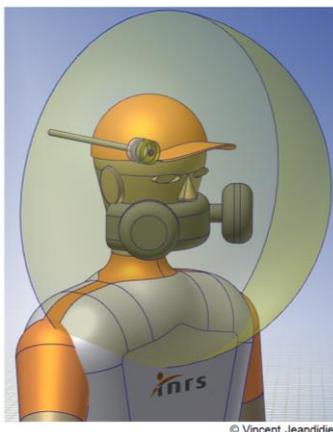


Figure 9 : Exemple de montage de la cassette fermée pour la réalisation d'un prélèvement individuel sur un travailleur équipé d'un masque à cartouches.

La manipulation des cassettes, en début et en fin de prélèvement, doit se faire de manière à ne pas contaminer l'échantillon.

Quel que soit l'objectif de mesure visé, une surveillance en vue de noter (et éventuellement de corriger) d'éventuels incidents pendant la durée de prélèvement est souhaitable : état des tubes flexibles, orientation de l'orifice de la cassette, fonctionnement de la pompe, chute de cassette ou de pompe, recouvrement temporaire du dispositif par un vêtement, etc.

## TRANSPORT ET CONSERVATION DES ECHANTILLONS

Les filtres doivent être, sauf cas particuliers signalés dans les méthodes, transportés dans leurs cassettes de prélèvement. Dès la fin du prélèvement, les cassettes doivent être correctement fermées avec des bouchons et, si possible, maintenues en position verticale. Elles doivent être transportées dans un emballage et des conditions adaptées pour éviter de les endommager et pour assurer leur identification / codification.

Le mode et la durée de conservation des échantillons sont très variables en fonction du polluant et/ou de la méthode d'analyse. Il est donc préférable de consulter la méthode MétroPol concernant la substance visée.

## DEPOTS DE PARTICULES CAPTEES SUR LES PAROIS INTERNES

Les particules de l'aérosol présentes dans la zone respiratoire, passant à proximité de l'orifice de captage de la CF, sont aspirées sous l'effet de l'écoulement d'air imposé par la pompe individuelle. Une fois « captées » par l'orifice, ces particules sont transférées via le conduit d'entrée (longueur ~ 6 mm) au sein du volume de la CF, où elles vont se déposer sur le média filtrant, mais aussi à différents endroits sur les parois internes, comme l'illustre la Figure 10.

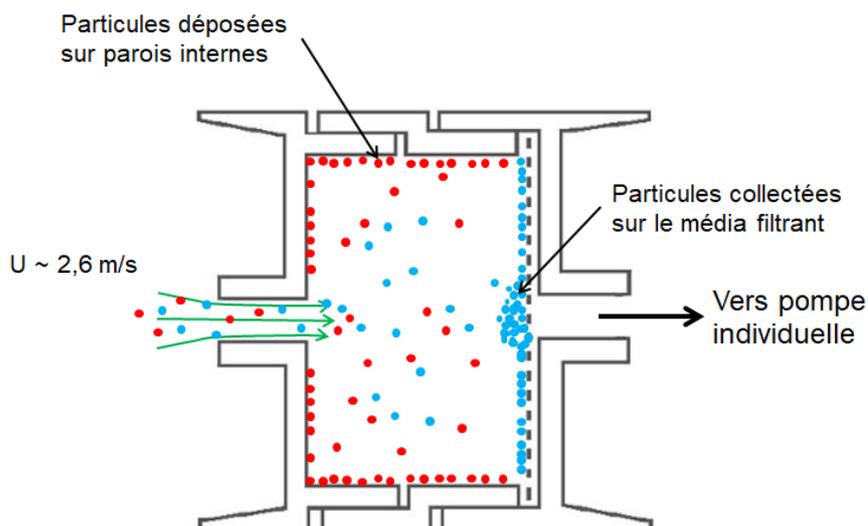


Figure 10 : Illustration lors d'un prélèvement des particules dites « déposées » et des particules dites « collectées » dans une cassette fermée (3 pièces) en position horizontale opérant au débit de  $\geq 2 \text{ L/min}$ .

On désigne ainsi différentes fractions caractéristiques en lien avec la CF :

- ▶ La fraction « captée » est la fraction de l'aérosol présent dans la zone respiratoire qui a été captée par l'orifice d'entrée ;
- ▶ La fraction « collectée » est la fraction de l'aérosol présent dans la zone respiratoire qui est effectivement collectée par le média filtrant ;
- ▶ La fraction « déposée » est la fraction de l'aérosol « capté » qui s'est déposée sur l'ensemble des parois internes, excepté le média filtrant.

Pour le débit imposé pour la CF, la vitesse de l'air au niveau de l'orifice de captage (ou d'aspiration) est de  $2,6 \text{ m/s}$ , ce qui correspond à un nombre de Reynolds d'environ 700, soit un écoulement laminaire. Néanmoins, à l'intérieur de la cassette se forme un jet dont la portée (en configuration jet libre) est théoriquement de  $20 \text{ mm}$ , soit supérieure à la distance orifice-média filtrant. Cela signifie que lors d'un prélèvement, ce jet s'écrase sur le média filtrant et qu'il y a formation, au sein de la cassette, de zones de recirculation pouvant piéger en leur sein des particules.

La configuration interne de la CF, ainsi que l'écoulement d'air qui en résulte sont donc à l'origine d'une part d'un dépôt non homogène sur le média filtrant (avec bien souvent une zone d'impaction visible en son centre), d'autre part du dépôt de particules sur toutes les autres surfaces internes.

Plusieurs mécanismes expliquent ce dépôt de particules sur les parois internes conjointement à la collecte sur le média filtrant : diffusion brownienne, diffusion turbulente, sédimentation, attraction électrostatique, rebond sur le média filtrant, etc. Il existe plusieurs études dans la littérature qui indiquent que la fraction déposée est très variable, de quelques pourcents à plus de 90 %. La quantité de particules sur le média filtrant peut donc être parfois bien inférieure à celle sur les parois. Par ailleurs, cette fraction déposée est aléatoire, elle n'est donc pas prévisible. Ce constat est fait de longue date pour différents types de particules, et est largement documenté [18-25]. Pour autant, les déterminants qui gouvernent ce dépôt ne sont pas clairement identifiés. Enfin, il existe des CF en matériau conducteur (polypropylène noir – Tableau 1) pouvant a priori réduire les dépôts par effet électrostatique. Néanmoins, l'impact réel de l'utilisation de ce type de cassette pour le prélèvement de la fraction inhalable par cassette fermée demande à être démontré.

À l'issue du prélèvement, lorsque la CF est manipulée ou transportée, il y a également une probabilité non négligeable que les particules déposées sur les parois internes ou le média filtrant se détachent et se transfèrent à un autre endroit.

## PRECONISATIONS POUR LA PRISE EN COMPTE DES DEPOTS

Les éléments de connaissance concernant les dépôts conduisent à définir, pour la CF, l'échantillon à analyser comme étant constitué des particules collectées sur le média filtrant ainsi que de celles déposées sur les parois internes [26]. Pour cette raison, en France, la mesure de l'exposition aux aérosols en fraction inhalable repose sur la base de la fraction captée, et non la fraction collectée [2].

La seule exception concerne les poussières de bois, pour lesquelles la VLEP-8h fixée dans l'arrêté du 20 décembre 2004 [27] repose sur l'analyse gravimétrique de la seule fraction collectée sur le filtre dans la CF. Pour les poussières de bois, ce n'est donc pas la fraction inhalable des poussières en suspension dans l'air qui est mesurée.

Il existe plusieurs méthodes pour prendre en compte l'ensemble des particules captées lors de l'analyse post-prélèvement [28]. Lorsque cela est possible, une mise en solution ou une extraction peut être directement faite dans la CF avec une méthode et/ou des réactifs compatibles avec la méthode d'analyse. Ces protocoles doivent avoir été préalablement validés et notamment présenter un taux de récupération des particules satisfaisant.

Concernant l'analyse gravimétrique, une méthode différente est proposée. Elle repose sur l'utilisation d'un élément spécifique, qui est une capsule intégrant un média filtrant, l'ensemble étant pesé avant et après le prélèvement (comme pour n'importe quel média filtrant). Comme illustré sur les Figures 6 et 11, cette capsule qui épouse la géométrie interne de la cassette fait que toutes les particules entrant dans la capsule font partie de l'échantillon qui sera analysé.

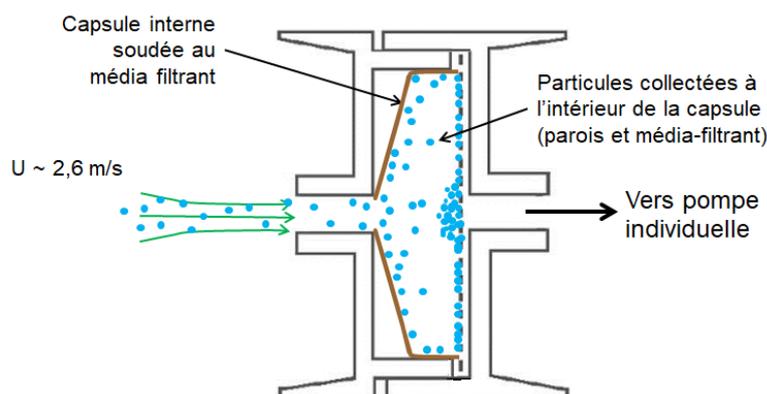


Figure 11 : Illustration d'un prélèvement de particules à l'aide d'une cassette fermée (deux pièces) intégrant une capsule interne, en position horizontale opérant à 2 L/min

Il existe différentes capsules dans le commerce. Certaines sont adaptées à l'analyse gravimétrique (média filtrant de type PVC, par exemple Accu-Cap™ ou Gravi-Sert™) et d'autres à certaines analyses chimiques (média filtrant en esters de cellulose, par exemple Solu-Sert™). La géométrie de ces capsules impose d'utiliser des CF en configuration deux pièces. La présence d'une capsule interne soudée au filtre présente par contre un désavantage lors d'une analyse gravimétrique : la pesée d'un objet plus volumineux, de masse initiale plus grande et qui est en partie constitué de plastique occasionne en effet une limite de quantification plus élevée en comparaison d'un filtre de même nature, pesé seul sans capsule [2]. A titre d'exemple, les limites de quantification (LQ) en gravimétrie de capsules Accu-Cap™ en PVC de 37 mm de diamètre ont été précédemment estimées à ~150 µg [29] et ~250 µg [30] dans des travaux publiés. Une valeur de ~220 µg avait été établie dans une salle de pesées de l'INRS (2015), soit ~0,23 mg/m<sup>3</sup> pour 8 heures de prélèvement à 2 L/min. Par ailleurs, les LQ en gravimétrie de capsules Gravi-Sert™ en PVC ont été estimées à ~90 µg (CF25) et ~120 µg (CF37) dans une salle de pesées de l'INRS (2020), soit ~0,09 mg/m<sup>3</sup> (CF25) et ~0,13 mg/m<sup>3</sup> (CF37) pour 8 heures de prélèvement à 2 L/min. Comme souligné dans un avis de l'ANSES de 2020 [31], ces éléments rendent par exemple valide l'utilisation d'une CF équipée d'une capsule interne pour le prélèvement des poussières dites sans effet spécifique, que la VLEP-8h en fraction inhalable soit de 10 mg/m<sup>3</sup> ou qu'elle soit abaissée à 4 mg/m<sup>3</sup>.

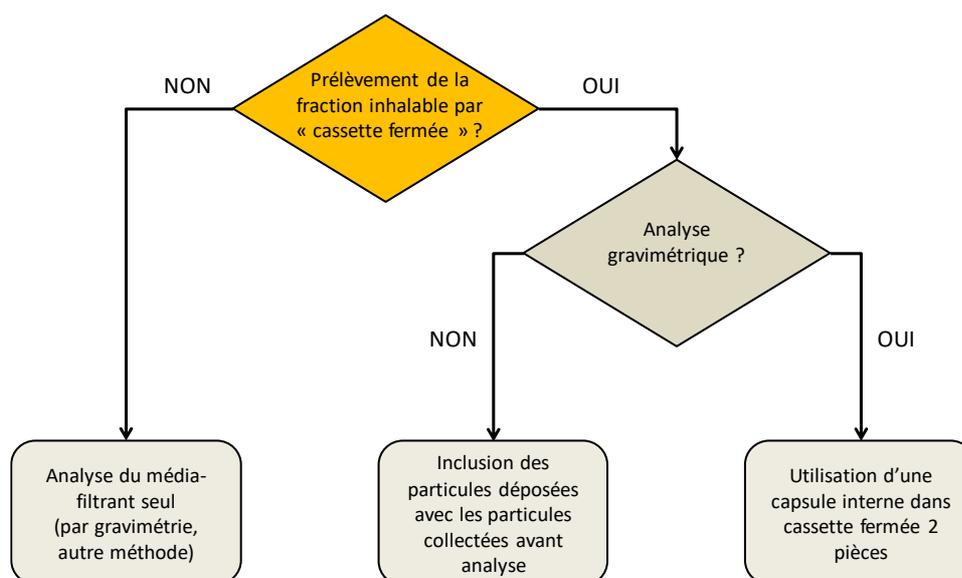


Figure 12 : Préconisations relatives au prélèvement à l'aide de la cassette fermée.

En résumé, les préconisations régissant la prise en compte des dépôts de particules dans la CF sont définies par le logigramme de la Figure 12. Ainsi, lorsque le prélèvement vise la fraction inhalable et que l'analyse gravimétrique est retenue, c'est une CF deux pièces intégrant une capsule interne qui doit être mise en œuvre. Si une autre analyse physico-chimique ou biologique est envisagée, l'inclusion des particules déposées dans l'échantillon global est indispensable.

Dès lors que l'analyse réalisée ne concerne que le média filtrant (c'est-à-dire que les particules déposées ne sont pas intégrées dans l'échantillon), le prélèvement à l'aide de la CF ne peut être revendiqué comme un prélèvement de la fraction inhalable.

Ces règles de prise en compte des dépôts sont par ailleurs préconisées par le Niosh (National Institute for Occupational Safety and Health aux États-Unis) depuis plusieurs années [28].

## CALCUL DE LA CONCENTRATION EN PARTICULES DANS L'AIR

Dans le cas d'une analyse de la masse de l'échantillon par méthode gravimétrique, la concentration massique en particules dans l'air se calcule de la manière suivante :

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

Avec,  $C_M$  : concentration massique en particules dans l'air ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) ;

$M$  : masse de particules prélevée sur le substrat de collecte ( $\text{mg}$ ) ;

$V$  : volume d'air pompé pendant le prélèvement ( $\text{m}^3$ ) ;

Dans le cas d'une analyse de l'échantillon prélevé par cassette fermée par une méthode physique ou chimique autre que la gravimétrie, la concentration dans l'air de la substance se calcule de la manière suivante :

$$C_X = \frac{X}{V}$$

Avec,  $C_x$  : concentration dans l'air de la substance ;

X : quantité de la substance prélevée et analysée sur le substrat de collecte ;

V : volume d'air pompé pendant le prélèvement ;

Des éléments complémentaires sont consultables dans la fiche du guide méthodologique MétroPol intitulée « Calcul de la concentration en polluants » [17].

## PERFORMANCE PHYSIQUE DE PRELEVEMENT

La fraction conventionnelle inhalable [1, 32] est la plus couramment utilisée pour les prélèvements d'aérosols ; la plupart des polluants particuliers possèdent une valeur limite d'exposition professionnelle définie en fraction inhalable.

D'une manière générale, les performances de prélèvement d'un dispositif dépendent de différents paramètres liés à la géométrie interne et externe du dispositif, aux écoulements d'air externes et internes qui transportent les particules de l'aérosol, bien souvent polydispersées en taille, à l'orientation du dispositif par rapport à la gravité, etc. La connaissance des performances de prélèvement d'un dispositif est donc fondamentale pour l'évaluation des expositions. Ces performances s'obtiennent au travers de travaux de laboratoire mais aussi de terrain, dont les exigences en Europe sont décrites dans la série de normes EN 13205 [33].

L'analyse de la littérature scientifique<sup>1</sup> concernant la CF suggère qu'il existe deux déterminants qui limitent considérablement les performances de prélèvement :

- ▶ L'orientation de la CF. Lorsque celle-ci est inclinée vers le bas (ce qui se produit lorsqu'elle n'est pas correctement fixée sur l'opérateur – Figure 8), son efficacité diminue fortement par rapport à une orientation horizontale, typiquement d'un facteur 1,5 et 2,8 pour un diamètre aérodynamique de particule de 15  $\mu\text{m}$  et 25  $\mu\text{m}$ , respectivement ;
- ▶ La vitesse externe de l'air incident. Plus la vitesse d'air externe augmente, plus l'efficacité de la CF a tendance à diminuer. Peu visible ou inexistant pour les particules de diamètres inférieurs à 15  $\mu\text{m}$ , ce phénomène a tendance à s'accroître pour les particules de diamètres plus élevés.

Ces deux déterminants ne sont pas propres à la CF, ils concernent également les autres dispositifs de prélèvement visant la fraction inhalable, tels que le CIP 10-I, le GSP, l'IOM et dans une moindre mesure, le Button Sampler [34].

L'analyse de la littérature révèle aussi qu'il existe finalement très peu de travaux de recherche menés dans les conditions d'utilisation de la CF exigées en France : débit de prélèvement de 2 L/min, maintien de l'axe de l'orifice de captage de 4 mm vers l'avant et aussi horizontal que possible pendant toute la durée du prélèvement, analyse de l'ensemble des particules captées. Concernant les études menées sur le terrain, seules deux peuvent être incluses, elles concernent les poussières de bois [35] et des aérosols inorganiques autour de procédés métallurgiques [36]. Les résultats indiquent que globalement les rapports des performances relatives « autre dispositif de prélèvement de la fraction inhalable / CF37 » sont compris dans l'intervalle d'environ 0,85 à 1,20. Compte tenu du fait que ce sont des résultats obtenus sur le terrain, ces données permettent de conclure à une relative bonne concordance des performances de la CF par rapport

<sup>1</sup> L'analyse bibliographique repose sur >70 documents publiés quasi exclusivement au niveau international durant la période 1985–2019, dont près d'1/4 porte sur des travaux menés en laboratoire et le reste concerne des travaux de terrain. La liste complète des références bibliographiques est disponible sur le site de la revue HST ([www.inrs.fr/hst](http://www.inrs.fr/hst)), jointe au document NT 78 [3].

aux autres dispositifs mis en œuvre (CIP10-I, IOM et Button Sampler). Néanmoins, il est clair que le nombre de données de terrain fait défaut.

Concernant les performances de prélèvement de la CF obtenues en laboratoire, les seuls travaux présentant des données expérimentales d'efficacité de captage ont été réalisés à l'INRS. Les résultats obtenus pour un air en mouvement (vitesse d'air incidente de 1 m/s) ont été publiés en 2010 (cf. la Figure 13 de l'article cité [34]). Des travaux complémentaires ont été menés pour la CF à 2 L/min dans un tunnel aérodynamique vertical, pour un air calme (faible vitesse d'air : ~ 3 cm/s). Pour les deux conditions, la méthodologie expérimentale est la même que celle décrite en [34].

La Figure 13 présente les résultats d'efficacité de captage pour les deux conditions : air en mouvement (Figure 13A) et air calme (Figure 13B). Rappelons que pour les expériences menées en air en mouvement, le dispositif est en rotation continue à 2 tours/min et qu'il s'agit donc ici d'une moyenne omnidirectionnelle. Sur les figures, les points expérimentaux sont présentés au côté de la courbe cible décrivant la « convention inhalable » (cf. norme EN 481 [1]), mais également pour les données obtenues en air calme au côté de la courbe dite « air calme », celle-ci devant prochainement être intégrée dans la révision de la norme EN 481 (cf. Remarque 3 page suivante).

Pour les études en laboratoire, le domaine de taille des particules d'essais doit théoriquement couvrir l'intervalle 0 à 100  $\mu\text{m}$  (en diamètre équivalent aérodynamique). Cependant, les contraintes expérimentales, partagées par toutes les équipes de recherche œuvrant dans ce domaine, ne permettent pas de produire des résultats validés sur toute la gamme.

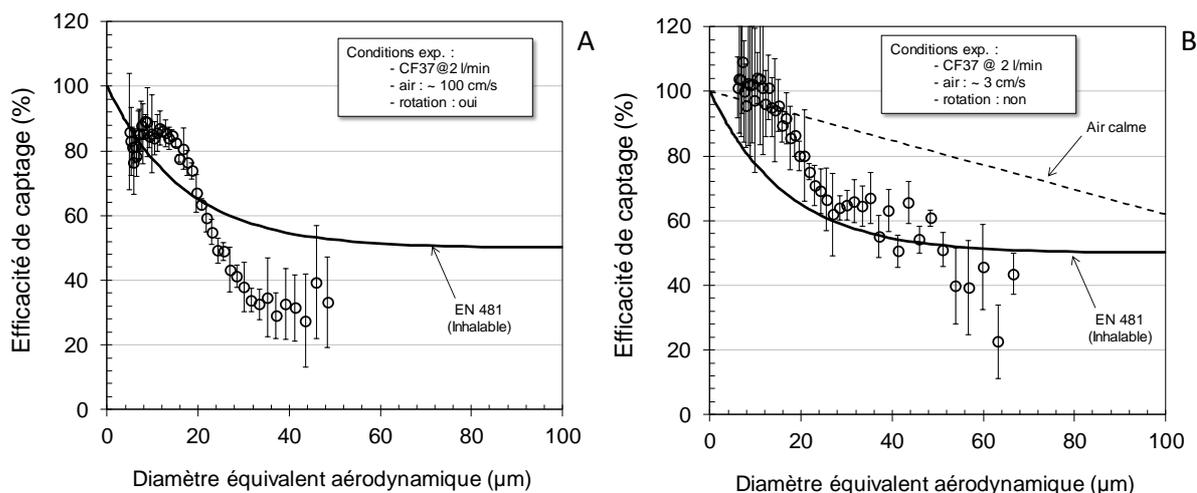


Figure 13 : Efficacité de captage de la CF37 (polystyrène clair) opérant à 2 L/min obtenue en laboratoire à l'INRS pour des conditions d'air en mouvement (A) et d'air calme (B). Valeurs moyennes sur trois essais et IC (95 %).

Les résultats de la Figure 13A suggèrent qu'en conditions d'air en mouvement, la CF37 opérant à 2 L/min tend à sous-estimer la fraction inhalable, dès lors que des particules de diamètre supérieur à 20  $\mu\text{m}$  sont présentes dans la zone respiratoire.

Concernant la configuration dite « air calme », on constate sur la Figure 13B une augmentation de l'efficacité de captage par rapport aux points expérimentaux mesurés pour l'air en mouvement. La CF37 montre une efficacité de captage qui sous-estime la courbe proposée dite « air calme » pour les particules de diamètre supérieur à 20  $\mu\text{m}$ . L'efficacité de la CF37 présente, par contre, une relativement bonne adéquation avec l'actuelle « convention inhalable » jusqu'à environ 50  $\mu\text{m}$ .

Remarque 3 : La « convention inhalable », telle qu'elle est décrite dans la norme EN 481, a été établie sur la base d'expérimentations menées avec des mannequins de laboratoire dans des veines d'essais pour des vitesses d'air  $U_a$  comprises entre ~ 0,5 et 4 m/s. Toutefois, cela ne correspond plus aux situations les plus

courantes dans les pays industrialisés. En effet, bien qu'il existe peu d'études sur le sujet, il est désormais admis que dans la plupart des environnements intérieurs professionnels variés d'air intérieur, les vitesses d'air sont généralement  $\leq 0,2$  m/s. Par ailleurs, des travaux expérimentaux réalisés cette fois dans des chambres d'air calme ont montré que l'efficacité d'inhalation de mannequins de laboratoire ne correspondait pas à la convention inhalable actuelle, remettant en cause le caractère universel de celle-ci. Dans ce contexte, une évolution de la norme EN 481 est en réflexion, dans laquelle la courbe actuelle ne s'appliquera que lorsque  $U_a$  sera comprise entre 0,5 et 4 m/s, et une nouvelle convention dite « air calme » sera intégrée pour  $U_a < 0,5$  m/s.

## CE QU'IL FAUT RETENIR

Les bonnes pratiques de mise en œuvre de la CF sont les suivantes : débit de prélèvement à 2 L/min, CF solidarisée à l'opérateur, positionnée dans sa zone respiratoire, plan du filtre toujours maintenu parallèle au plan du thorax et orifice de 4 mm de diamètre toujours dirigé vers l'avant.

Si la fraction visée est la fraction inhalable, il est indispensable de considérer l'échantillon à analyser (par gravimétrie ou autre) comme étant l'échantillon composé des particules collectées sur le média filtrant ET des particules déposées sur les parois internes. Des règles de prise en compte des particules déposées en fonction du type d'analyse ont été définies (Figure 12). Par ailleurs, le Tableau 2 dresse une liste des avantages et limites de l'usage de la CF.

Cassette fermée @ 2 L/min	
Avantages	Limites
Orifice d'entrée limitant les projections	Assemblage (problème lié à l'étanchéité interne)
Dispositif de faible dimension (hors pompe individuelle)	Désassemblage non pratique
Compatibilité avec de nombreux médias filtrants	Débit faible (2 L/min)
Faible coût des pièces constitutives	Dépôts aléatoires sur les parois internes
Pas de maintenance (usage unique)	Dépôt non uniforme sur le média filtrant
Choix possible entre différents matériaux constitutifs	Effets électrostatiques pour certains matériaux
Mise en solution possible directement dans la cassette	Efficacité de captage limitée en air en mouvement et en air calme au-dessus de 20 µm, en comparaison à l'actuelle convention inhalable et à la courbe « air calme », respectivement
CF pré-montées et/ou pré-pesées disponibles	Nécessite une vigilance au cours du prélèvement pour maintien de l'orientation horizontale

Tableau 2 : Avantages et limites de la cassette fermée opérant à 2 L/min pour la mesure de l'exposition aux aérosols en fraction inhalable.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] NF EN 481. Atmosphères des lieux de travail. Définitions des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. AFNOR, 1993, 11 p.
- [2] NF X 43-257. Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement d'aérosol à l'aide d'une cassette. AFNOR, 2016, 25 p.
- [3] SIMON X., WITSCHGER O. – Mesure de l'exposition aux aérosols en fraction inhalable : avantages et limites de la « cassette fermée ». Hygiène et sécurité du travail, 2019, 257, NT 78, pp. 58-64.
- [4] NF EN ISO 13137 (X 43-282). Décembre 2013. Air des lieux de travail - Pompes pour l'échantillonnage individuel des agents chimiques - Exigences et méthodes d'essai. AFNOR, 2013.
- [5] Prélèvement des aérosols par le dispositif CATHIA. INRS, guide MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cathia.pdf>).
- [6] Prélèvement des aérosols par cyclone. INRS, guide MétroPol, 2018 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cyclone.pdf>).
- [7] Préparation des dispositifs de prélèvement en vue d'une intervention en entreprise. INRS, guide

- MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-intervention-preparation.pdf>).
- [8] FRAZEE P.R., TIRONI G. - A filter cassette assembly method for preventing bypass leakage. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1987, 48 (2), pp. 176-180.
- [9] BARON P.A., KHANINA A., MARTINEZ A.B., GRINSHUPUN S.A. – Investigation of filter bypass leakage and a test for aerosol sampling cassettes. *Aerosol Science and Technology*, 2002, 36, pp. 857-865.
- [10] BARON P.A. - Using a filter bypass leakage test for aerosol sampling cassettes. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 2002, 17 (9), pp. 593-597.
- [11] BARON P.A. Aerosol sampling: Minimizing particle loss from cassette bypass. NMAM Chapter N., NIOSH, 2003.
- [12] BURTON N.C., GRINSHUPUN S.A., REPONEN T. – Physical collection efficiency of filter materials for bacteria and viruses. *Annals of Occupational Hygiene*, 2007, 51(2), pp. 143-151.
- [13] SOO J.C., MONAGHAN K., LEE T., KASHON M., HARPER M. – Air sampling filtration media: Collection efficiency for respirable size-selective sampling. *Aerosol Science and Technology*, 2016, 50 (1), pp. 76-87.
- [14] Principe général et mise en œuvre pratique du prélèvement. INRS, guide MétroPol, 2018 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-principe.pdf>).
- [15] PR NF EN 1540. Exposition sur les lieux de travail - Terminologie. AFNOR, 2020, 17 p.
- [16] XP X 43-244. Air des lieux de travail. Éléments de terminologie, en hygiène du travail. L'exposition, son évaluation, les valeurs limites. AFNOR, 1998, 15 p.
- [17] Calcul de la concentration en polluants. INRS, guide MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-resultat-calcul-concentration.pdf>).
- [18] DEMANGE M., GENDRE J.C., HERVÉ-BAZIN B., CARTON B., PELTIER A. – Aerosol evaluation difficulties due to particle deposition of filter holder inlet walls. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1990, 34 (4), pp. 399-403.
- [19] PUSKAR M.A., HARKINS J.M., MOOMEY J.D., HECKER L.H. – Internal wall losses of pharmaceutical dusts during closed-face 37-mm polystyrene cassette sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1991, 52, pp. 280-286.
- [20] LAFONTAINE M., VU-DUC T., DELSAUT P., MORELE Y. – Aerosols deposits on the inner cassette walls during PAH sampling: underestimation of the inhaled fraction and the occupational risk. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1999, 17, pp. 221-228.
- [21] DEMANGE M., GÖRNER P., ELCABACHE J.M., WROBEL R. – Field comparison of 37-mm closed-face cassettes and IOM samplers. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 2002, 17, pp. 200-208.
- [22] HARPER M., DEMANGE M. – Analytical performance criteria – Concerning sampler wall deposits in the chemical analysis of airborne metals. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2007, 4, pp. 81-86.
- [23] LEE T., CHISHOLM W.P., SLAVEN J.E., HARPER M. – Size distributions of 0.5 to 20 µm aerodynamic diameter lead-containing particles from aerosol sampler wall and filters. *Aerosol Science and Technology*, 2009, 43 (10), pp. 1042-1050.
- [24] CHISHOLM W.P., LEE T., SLAVEN J.E., NELSON J., HARPER M. – Comparison of filter and wall deposits from samplers used to collect airborne lead-containing dusts at field sites. *Aerosol Science and Technology*, 2012, 46 (4), 411-418.
- [25] DUQUENNE P., SIMON X., DEMANGE V., HARPER M., WILD P. – Endotoxin deposits on the inner surfaces of closed-face cassettes during bioaerosol sampling: A field investigation at composting facilities. *Annals of Occupational Hygiene*, 2015, 59 (4), pp. 504-513.
- [26] BRISSON M.J., ARCHULETA M.M. – The real issue with wall deposits in closed filter cassettes - What's the sample? *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2009, 6 (12), pp. 783-788.
- [27] Arrêté du 20 décembre 2004, relatif à la méthode de mesure pour le respect des concentrations en

- poussières de bois dans l'atmosphère des lieux de travail. Accessible sur [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [28] ASHLEY K., HARPER M. – Closed-Face Filter Cassette (CFC) Sampling - Guidance on Procedures for Inclusion of Material Adhering to Internal Sampler Surfaces. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2013, 10 (3), D29-D33.
- [29] CHAMPMARTIN C., CLERC F. – Inhalable dust measurements as a first approach to assessing occupational exposure in the pharmaceutical industry. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2014, 11 (2), pp. 85-92.
- [30] O'CONNOR S., O'CONNOR P.F., FENG H.A., ASHLEY K. – Gravimetric analysis of particulate matter using air samplers housing internal filtration capsules. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 2014, 74 (10), pp. 403-410.
- [31] ANSES. Evaluation des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail pour les poussières dites sans effet spécifique. Mission permanente VLEP. Saisine n°2017-SA-0148. Rapport d'expertise collective du groupe de travail "Métrologie" du comité d'experts spécialisés "Valeurs sanitaires de référence". Juin 2020. 197 p.
- [32] Echantillonnage des aérosols – Généralités. INRS, guide MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-generalite-aerosol.pdf>).
- [33] NF EN 13205 – Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air – Parties 1 à 6. Afnor, Août 2014, 25 p.
- [34] GÖRNER P., SIMON X., WROBEL R., KAUFFER E., WITSCHGER O. – Etude au laboratoire de quelques échantillonneurs individuels de la fraction inhalable (ND 2327). *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2010, 219, pp. 19-39.
- [35] KAUFFER E., WROBEL R., GÖRNER P., ROTT C., GRZEBYK M., SIMON X. et al. – Comparaison sur site dans l'industrie du bois de quelques échantillonneurs d'aérosol. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2010, 219, ND 2326, pp. 3-17.
- [36] DEMANGE M., GÖRNER P., ELCABACHE J.M., WROBEL R. – Field comparison of 37-mm closed-face cassettes and IOM samplers. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 2002, 17 (3), pp. 200-208.

## AUTEURS

### X. Simon et O. Witschger

INRS, Métrologie des polluants ([metropol@inrs.fr](mailto:metropol@inrs.fr))

## HISTORIQUE

Version	Date	Modifications
1	Octobre 2015	Création de la fiche
2	Décembre 2021	Refonte de la fiche pour mettre en conformité les informations avec des documents parus > 2015 : norme NF X 43-257 (2016), NT78 dans HST 257 (2019) et rapport d'expertise collective ANSES (2020).