

Prélèvement des aérosols par le dispositif CIP 10

Contexte

Le dispositif CIP 10 collecte les particules dans une coupelle rotative en plastique munie d'une mousse. Trois versions existent : CIP 10-R, CIP 10-T ou CIP 10-I, pour prélever au choix la fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable, respectivement. Un exemple d'utilisation de la méthode est le mesurage de l'exposition individuelle à des polluants particulaires renfermant une substance pour laquelle il existe une valeur limite d'exposition en fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable. Le CIP 10-M est une version alternative du CIP 10 qui permet de réaliser la collecte de particules, comme des microorganismes ou des endotoxines par exemple, dans une coupelle métallique autoclavable contenant un liquide.

TABLE DES MATIÈRES

Description et principe de fonctionnement du CIP10	3
Montage et utilisation	6
Mesurage et réglage du débit	6
Performances du CIP10	7
Performances du CIP 10-R – fraction alvéolaire	8
Performances du CIP10-T – fraction thoracique	9
Performances du CIP10-I – fraction inhalable	11
Remarques sur l'utilisation de la méthode	13
Certifications ATEX	13
Description et performances du CIP10-M	14
Informations sur les liquides de collecte	16
Performances du CIP10-M – fraction inhalable	18
Remarques sur l'utilisation de la méthode POUR LES BIOAEROSOLS	20
Bibliographie.....	20
Auteurs.....	22
Historique.....	22

DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU CIP10

Le dispositif complet comprend les éléments suivants :

- ▶ Dispositif de prélèvement individuel CIP 10 muni d'un sélecteur de la fraction alvéolaire (Figures 1 et 2a), thoracique (Figure 2b) ou inhalable (Figure 2c).
- ▶ Etage collecteur (coupelle rotative) muni d'un filtre spécifique en mousse de polyuréthane de grade 60 (60 PPI - Pores Per Inch : nombre de pores sur une longueur de 2,54 cm).
- ▶ Système d'étalonnage du débit à compensation de perte de charge (Figure 3).



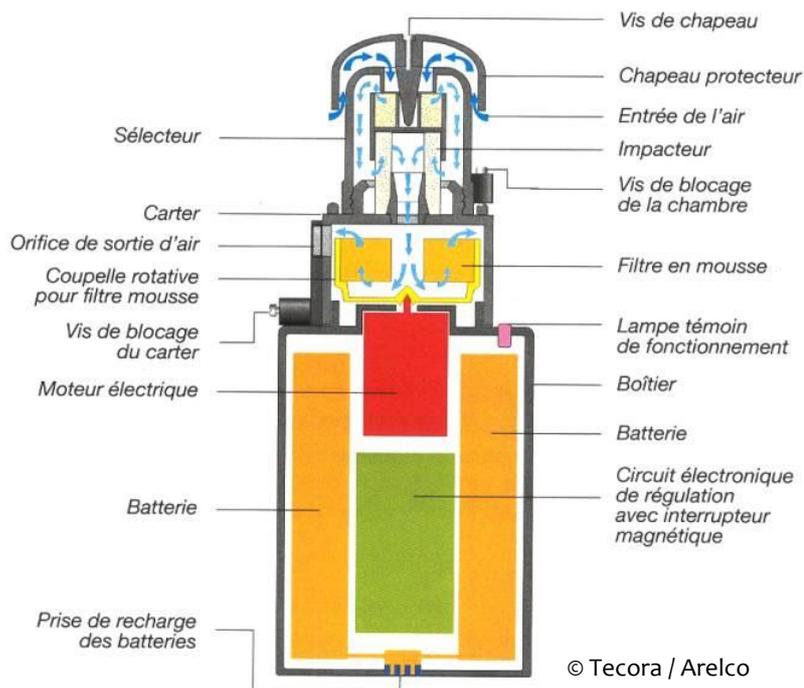
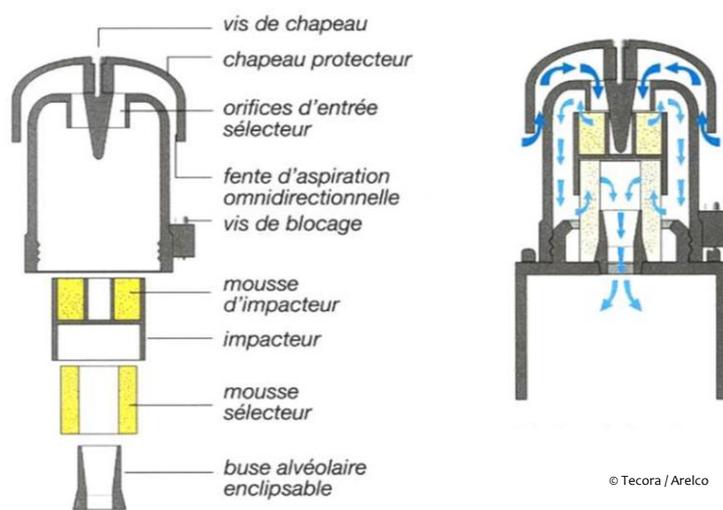
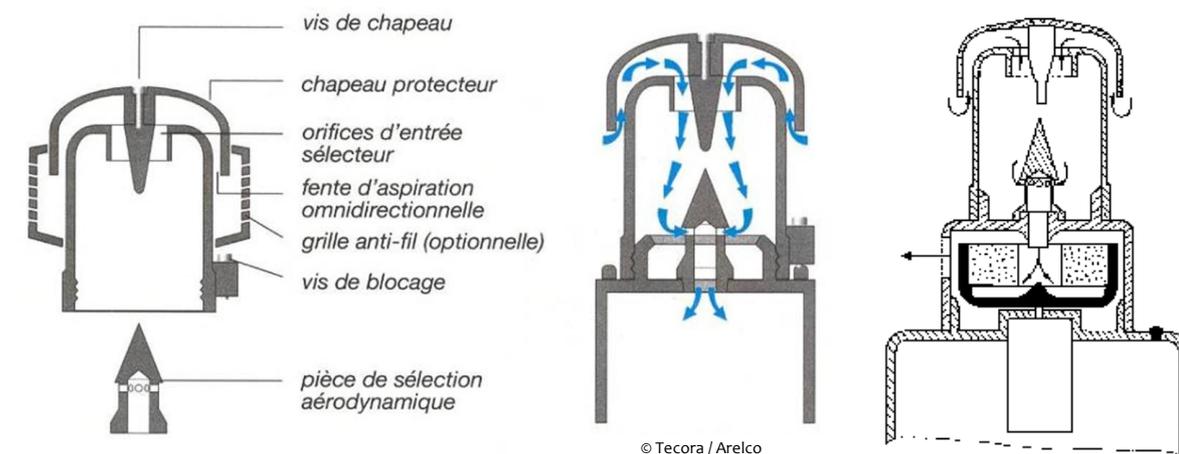


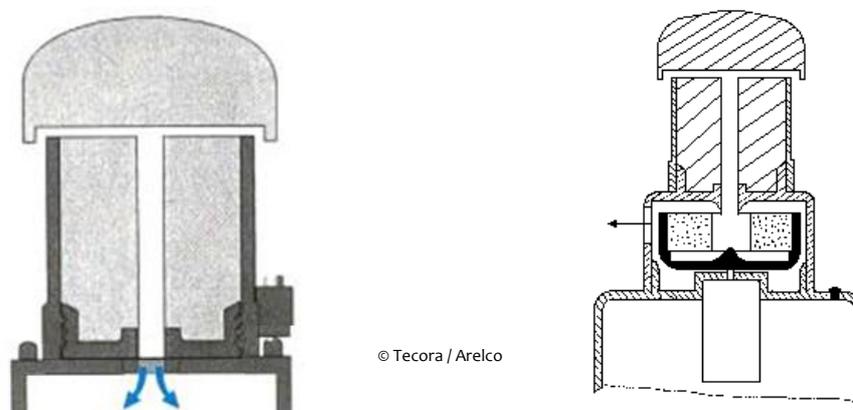
Figure 1 : Photo et schéma de l'appareil CIP 10 en version alvéolaire (CIP 10-R), débit de prélèvement d'air : 10 L.min⁻¹



(a) alvéolaire



(b) thoracique



(c) inhalable

Figure 2 : Schéma détaillé des différents sélecteurs du CIP 10
 (a) sélecteur de la fraction alvéolaire (CIP 10-R, 10 L.min⁻¹)
 (b) sélecteur de la fraction thoracique (CIP 10-T, 7 L.min⁻¹)
 (c) sélecteur de la fraction inhalable (CIP 10-I, 10 L.min⁻¹)

Le débit du dispositif est assuré par la rotation à grande vitesse (près de 7000 tours par minute) d'une coupelle garnie de mousse poreuse à l'intérieur d'une cavité appelée carter munie d'une entrée axiale et d'une sortie tangentielle. L'aspiration est assurée par la combinaison d'écoulements dits cyclonique et anticyclonique [7, 8]. Le débit est directement proportionnel à la vitesse de rotation [9]. Si le débit de l'appareil CIP 10 est relativement élevé pour sa compacité, le dispositif est par contre sensible à toute perte de charge imposée à l'écoulement ; ce qui implique que le mesurage du débit doit notamment être accompagné d'une compensation de la perte de charge induite par l'instrument de mesure [6] (Figure 3).

Les particules échantillonnées sont collectées dans le filtre rotatif en mousse de polyuréthane de grade 60, dont l'efficacité de filtration a été étudiée initialement par Brown [10] puis par d'autres auteurs [11-13] ; cette efficacité de filtration croît fortement avec la vitesse de rotation du filtre, comme nous avons pu le vérifier expérimentalement [9].

L'étage de collecte est précédé d'un sélecteur de particules. Son rôle est de trier les particules en fonction de leur diamètre aérodynamique. Il assure le passage de la fraction mesurée vers la coupelle rotative tout en retenant les particules de taille plus élevée. Les trois sélecteurs utilisent une fente annulaire

omnidirectionnelle d'aspiration. Le cheminement de l'aérosol à l'intérieur du sélecteur diffère suivant la fraction sélectionnée (Figures 1, 2a, 2b et 2c). Une sélection correcte est assurée en respectant les débits nominaux des sélecteurs :

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

Le CIP 10 est un dispositif compact par comparaison aux dispositifs classiques composés généralement d'un support de collecte relié à une pompe par un tube flexible. Les dimensions, le poids, la tension des batteries, la consommation énergétique, les caractéristiques des mousses et d'autres paramètres techniques sont mentionnés dans le manuel d'utilisation [14, 15].

La particularité du CIP 10 réside dans l'utilisation d'un filtre rotatif permettant à la fois d'aspirer l'air et de collecter les particules. Cette solution technique confère au dispositif certaines propriétés intéressantes : la rotation de la coupelle consomme peu d'énergie par rapport à une pompe classique, le CIP 10 dispose donc d'une plus grande autonomie. Elle dépasse 30 heures de fonctionnement pour une seule charge de batterie. L'utilisation d'un filtre à faible perte de charge en mousse de polyuréthane permet le fonctionnement à un débit relativement élevé pour un prélèvement individuel (10 L.min⁻¹) et la collecte d'une masse importante de particules sans colmatage (jusqu'à 65 mg environ).

MONTAGE ET UTILISATION

L'assemblage des différents sélecteurs et le montage de la coupelle rotative sont décrits dans le manuel d'utilisation de l'appareil [14, 15]. Pour le prélèvement individuel, le dispositif CIP 10 peut être installé dans un boudin permettant sa fixation sur la poitrine du travailleur. La fente d'aspiration omnidirectionnelle est placée dans la zone respiratoire du travailleur. La mise en marche et l'arrêt de l'appareil s'effectuent à l'aide d'un interrupteur magnétique (Figure 1). Le refoulement d'air doit être orienté vers le travailleur. La concentration massique de l'aérosol se déduit de la mesure de la masse des particules collectées dans la coupelle rotative munie de son filtre en mousse de polyuréthane. La procédure de pesée est décrite par ailleurs [15, 22]. Dans le cas de certaines applications analytiques la mousse peut être incinérée et seules les particules minérales peuvent être récupérées pour l'analyse (c'est le cas de la silice, par exemple) [21]. Si les substances d'intérêt sont solubles dans un solvant, elles peuvent être récupérées par extraction.

MESURAGE ET RÉGLAGE DU DÉBIT

L'assemblage des différents sélecteurs et le montage de la coupelle rotative sont décrits dans le manuel d'utilisation de l'appareil [14, 15]. Pour le prélèvement individuel, le dispositif CIP 10 peut être monté dans un boudin permettant sa fixation sur la poitrine au voisinage des voies respiratoires supérieures. La mise en marche et l'arrêt de l'appareil s'effectuent à l'aide d'un interrupteur magnétique (Figure 1). La concentration massique de l'aérosol se déduit de la mesure de la masse des particules collectées dans la coupelle rotative munie de son filtre en mousse de polyuréthane. La procédure de pesée est décrite par ailleurs [15, 22]. Dans le cas de certaines applications analytiques la mousse peut être incinérée et seules les particules minérales peuvent être récupérées pour l'analyse (cas de la silice, par exemple) [21]. Si les substances dont on veut mesurer la concentration dans l'air sont solubles dans un solvant, on peut les récupérer par extraction.

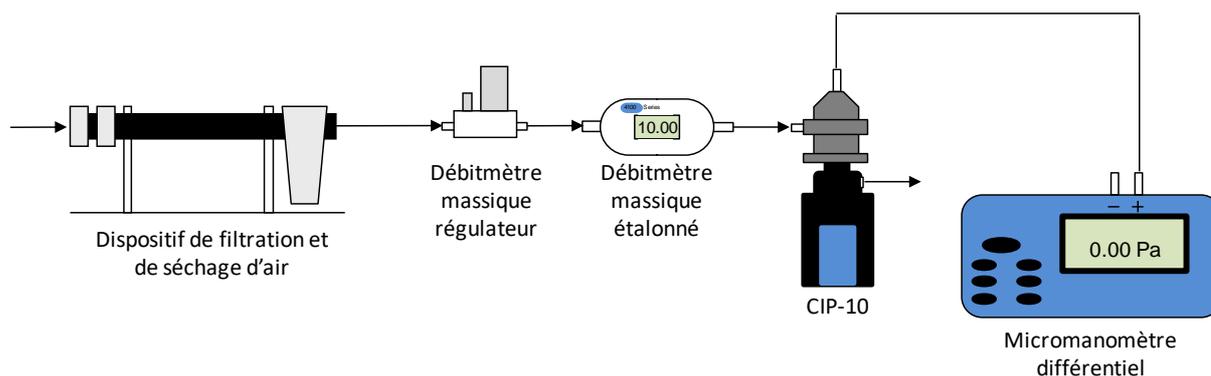


Figure 3 : Schéma de mesure et de réglage du débit du CIP 10

Le principe de mesure du débit avec compensation de perte de charge repose sur le maintien de l'équilibre du débit du dispositif avec le débit de compensation. Le débit de compensation est réglé par un débitmètre massique régulateur au débit nominal de l'échantillonneur et mesuré à l'aide d'un débitmètre massique étalonné. Ce débit alimente une enceinte étanche dans laquelle est insérée la tête d'aspiration du CIP 10 en fonctionnement. L'enceinte étanche est munie d'une prise de pression statique connectée au manomètre différentiel. L'équilibre entre l'air soufflé et l'air aspiré est atteint quand la pression différentielle Δp entre la pression atmosphérique et celle de l'enceinte est égale à zéro. Si cela n'est pas le cas, le débit d'aspiration de l'appareil CIP 10 doit être modifié à l'aide du potentiomètre sur le circuit électronique de l'appareil jusqu'à observer $\Delta p = 0 \pm 5$ Pa. Le réglage du débit de l'appareil CIP 10 est décrit et commenté dans la norme NF X43-262 [6].

Après le réglage du débit à la valeur nominale, la vitesse de rotation de la coupelle rotative doit être mesurée à l'aide d'un compte-tours optoélectronique. La proportionnalité directe entre la vitesse de rotation et le débit de l'appareil CIP 10 [9] permet une vérification ultérieure du débit. Si, dans le cas de ce contrôle, la vitesse de rotation diverge de celle enregistrée après le réglage du débit, le débit doit être réajusté au débit nominal en suivant la procédure complète de mesure du débit avec compensation de perte de charge.

Note : Le réglage du débit doit être effectué systématiquement lors du changement du type de sélecteur. Même si les sélecteurs de la fraction alvéolaire et de la fraction inhalable sont utilisés au même débit nominal ($10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$), les réglages ne sont pas identiques. Ces deux sélecteurs imposent en effet à l'écoulement d'air des pertes de charge différentes. Par conséquent, la vitesse de rotation est légèrement différente dans les deux cas. Ceci est valable de surcroît pour le sélecteur de la fraction thoracique qui fonctionne au débit nominal de $7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Dans la mesure du possible, il est de plus préférable de soigneusement identifier le couple « tête de sélection ET boîtier de CIP 10 » utilisé pour le réglage du débit et de garder cette configuration au cours des mesures réalisées ultérieurement avec le dispositif. Le remplacement d'une tête de sélection (n°1, présente au moment du réglage) par une autre (n°2, considérée comme équivalente car visant la même fraction) sur un même boîtier, peut en effet conduire à une modification significative de la valeur du débit.

PERFORMANCES DU CIP10

L'efficacité d'échantillonnage a été mesurée au laboratoire en fonction du diamètre aérodynamique des particules et comparée aux courbes conventionnelles d'échantillonnage des fractions d'aérosol liées à la santé [1, 2]. Les performances du dispositif de prélèvement ont été évaluées et exprimées sous forme de cartes de biais suivant la norme européenne EN 13205 [17]. Le dispositif de prélèvement permettant, suivant le sélecteur choisi, de prélever l'une des trois fractions conventionnelles, il convient d'évaluer ses performances fraction par fraction.

PERFORMANCES DU CIP 10-R – FRACTION ALVÉOLAIRE

Le CIP 10-R est aussi appelé CIP 10-A en français.

Pour prélever la fraction alvéolaire d'un aérosol (diamètres inférieurs à $10\ \mu\text{m}$), le dispositif est utilisé dans sa version CIP 10-R avec le sélecteur représenté sur les Figures 1 et 2a, au débit de $10\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Les mesures d'efficacité ont été conduites dans un tunnel aéraulique dans des conditions proches de celles dites de l'air calme en utilisant un aérosol polydispersé, suivant les recommandations de la norme EN 13205 [17]. Les résultats relatifs à l'efficacité d'échantillonnage sont représentés sur la Figure 4 en fonction du diamètre aérodynamique des particules [16]. La courbe conventionnelle alvéolaire est également représentée.

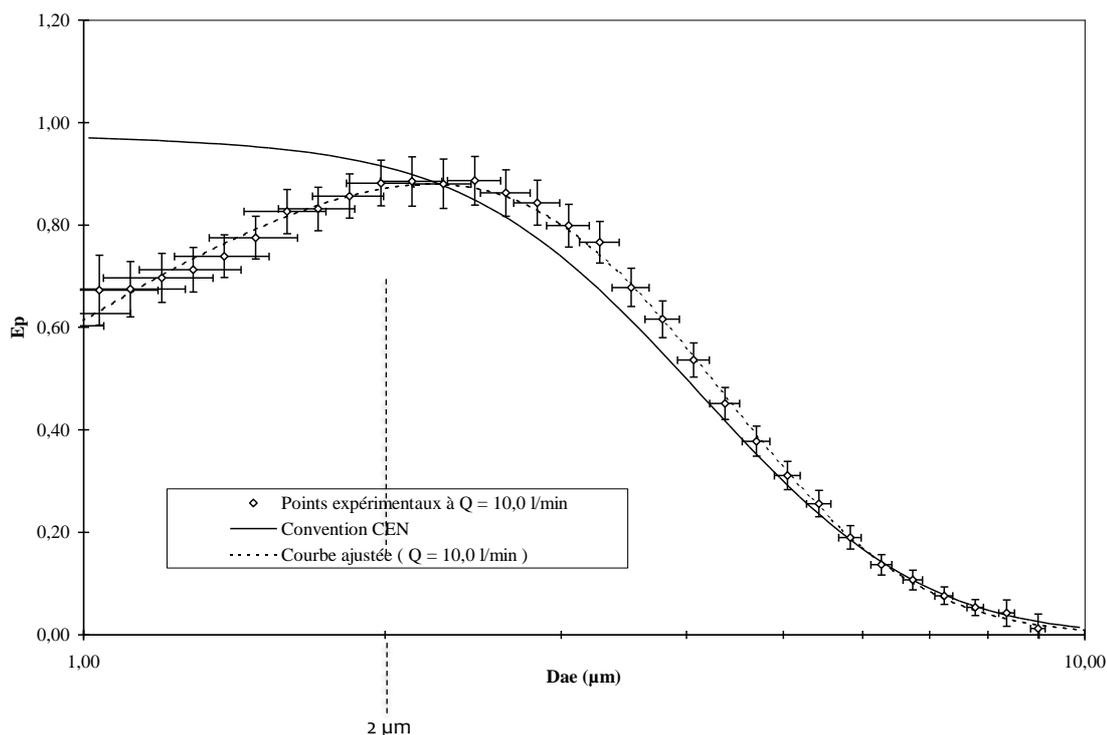


Figure 4 : Efficacité d'échantillonnage de la fraction alvéolaire du dispositif CIP 10-R en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de $10\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$

L'efficacité expérimentale est proche de la courbe conventionnelle au-delà d'environ $2\ \mu\text{m}$ où elle présente un maximum. La diminution de l'efficacité en-deçà de $2\ \mu\text{m}$ est due au rejet partiel des fines particules par le filtre rotatif. Les particules les plus fines ne sont pas collectées avec une efficacité de 100% dans la mousse du CIP 10 ; celles qui ont été rejetées du dispositif ne font donc pas partie de l'échantillon comme cela aurait dû être le cas pour être pleinement représentatif de la fraction alvéolaire. Ce constat, mis en évidence sur des essais avec des billes de verre, a été confirmé avec des natures de particules différentes dans d'autres travaux [40].

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) sur l'axe des X et GSD - Geometric Standard Deviation (Ecart-type géométrique) sur l'axe des Y. La carte de biais représente les écarts relatifs entre la concentration qui serait mesurée par le dispositif étudié et la concentration qui correspondrait exactement à la convention alvéolaire pour le même aérosol [4].

La norme européenne EN 13205 [17] prévoit que le biais ne doit pas dépasser $\pm 10\%$ à l'intérieur du domaine granulométrique correspondant à la fraction spécifiée. A titre d'information l'indice BPC sur la carte (Figure 5) indique le pourcentage de points satisfaisant le critère. 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.

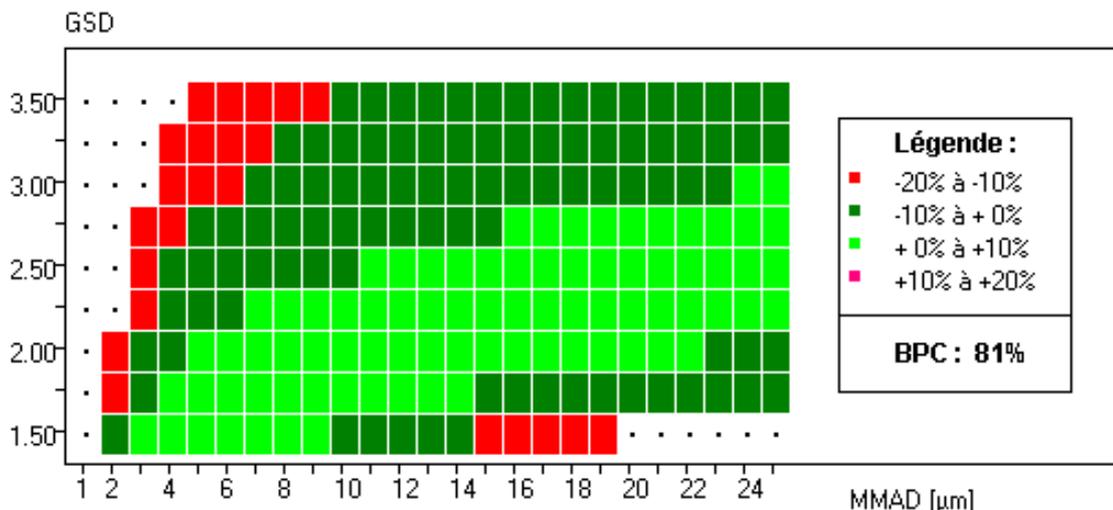


Figure 5 : Carte de biais du dispositif CIP 10-R, débit 10 L.min^{-1} , par rapport à la fraction conventionnelle alvéolaire
BPC - Bias Performance Criterium (Indice de performance sur le biais)

La Figure 5 montre que le critère du biais de mesurage de la concentration alvéolaire est satisfait pour 81% des points. Cette performance peut être considérée comme très satisfaisante pour une grande partie du domaine. Toutefois, il convient de signaler une baisse des performances pour des aérosols composés essentiellement de particules submicroniques. Ceci est dû à la baisse d'efficacité de filtration du filtre rotatif pour ces tailles de particules. Dans le cas des aérosols polydispersés cette baisse est compensée par l'efficacité d'échantillonnage des particules microniques qui est légèrement supérieure à la convention (Figure 4). Par contre il est fortement déconseillé d'utiliser l'appareil CIP 10 pour prélever des aérosols très fins, notamment des fumées, dont les distributions granulométriques sont situées à l'extrémité gauche de la carte, pour éviter de sous-estimer de manière significative leur concentration. Cette précaution concerne par exemple les fumées de soudage, les fumées diesel, et plus généralement les aérosols ultrafins.

PERFORMANCES DU CIP10-T – FRACTION THORACIQUE

Pour prélever la fraction thoracique d'un aérosol (diamètres inférieurs à $30 \mu\text{m}$), le dispositif est utilisé dans sa version CIP 10-T, avec le sélecteur représenté sur la Figure 2b, au débit de 7 L.min^{-1} .

Les mesures d'efficacité ont été conduites 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 [5]. La courbe conventionnelle thoracique est également représentée.

L'efficacité expérimentale est proche de la courbe conventionnelle au-delà de $2 \mu\text{m}$ mais présente un maximum. Elle est légèrement supérieure à l'efficacité conventionnelle entre 10 et $30 \mu\text{m}$. La baisse d'efficacité en-deçà de $2 \mu\text{m}$ est due au rejet partiel de ces fines particules par le filtre rotatif.

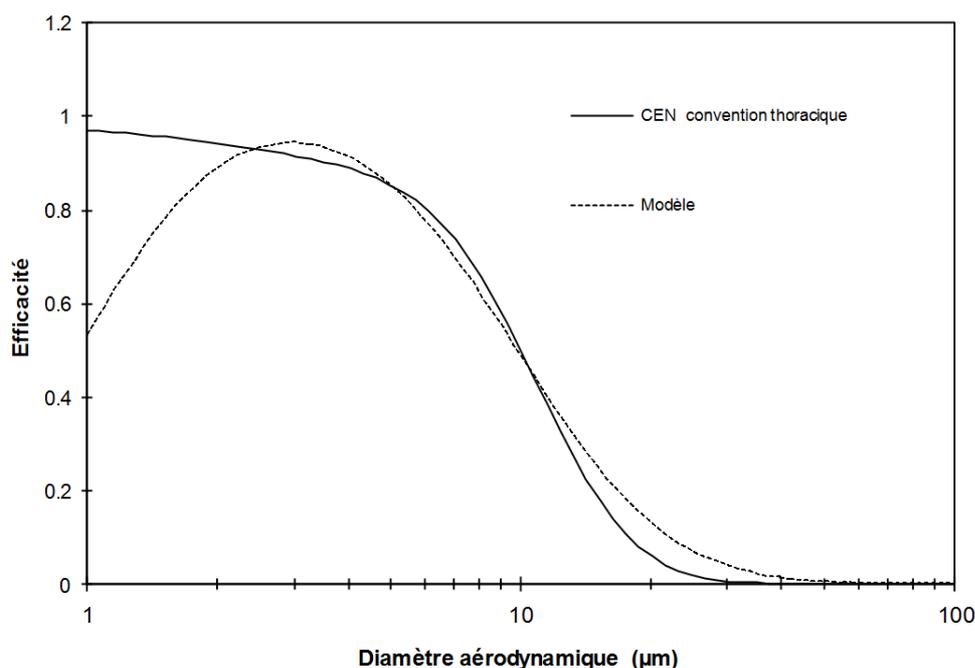


Figure 6 : Efficacité d'échantillonnage de la fraction thoracique du dispositif CIP 10-T en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de 7 L.min^{-1}

La carte de biais correspondant à l'efficacité mesurée est représentée sur la Figure 7. Les exigences normatives [17] sur le biais d'échantillonnage de la fraction thoracique sont les mêmes que pour la fraction alvéolaire.

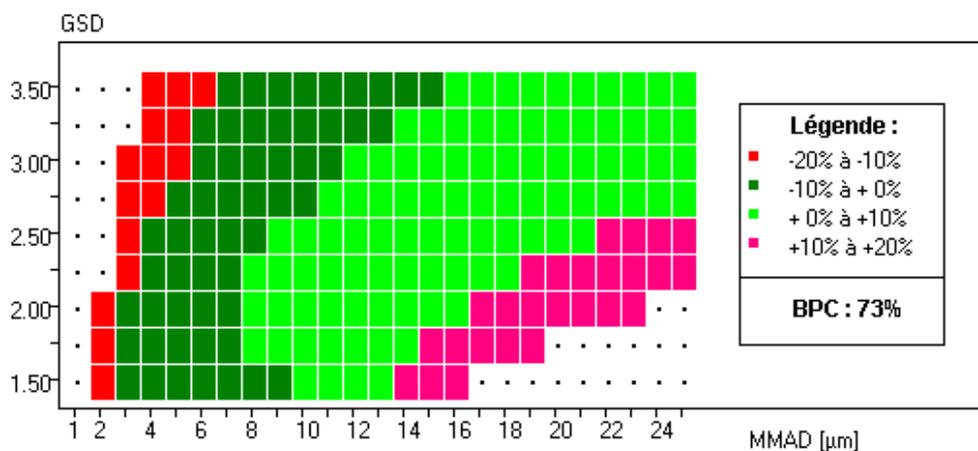


Figure 7 : Carte de biais du dispositif CIP 10-T, débit 7 L.min^{-1} , par rapport à la fraction conventionnelle thoracique
BPC - Bias Performance Criterium (Indice de performance sur le biais)

La Figure 7 montre que le critère sur le biais (BPC) est satisfait pour 73% des aérosols dans la carte avec la condition $\text{GSD} \geq 2$ (Figure 7). Cette performance peut être considérée comme très satisfaisante pour une grande partie du domaine. Toutefois il convient de signaler une baisse des performances pour des aérosols composés essentiellement de particules submicroniques. Ceci est dû à la baisse d'efficacité de filtration du filtre rotatif pour ces tailles de particules. Dans le cas des aérosols polydispersés, cette baisse est compensée par l'efficacité d'échantillonnage des particules plus grandes que $10 \mu\text{m}$ qui s'effectue de manière légèrement supérieure à la convention (Figure 6). Dans le cas du mesurage de la fraction thoracique cet effet a généralement peu de répercussions sur les résultats, étant donné que cette fraction prend en compte des

particules jusqu'à environ 30 µm.

L'appareil CIP 10-T peut être utilisé notamment pour le prélèvement d'aérosols dans l'industrie textile où la valeur limite d'exposition professionnelle est exprimée en fraction thoracique. 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 de l'appareil CIP 10-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 [18].

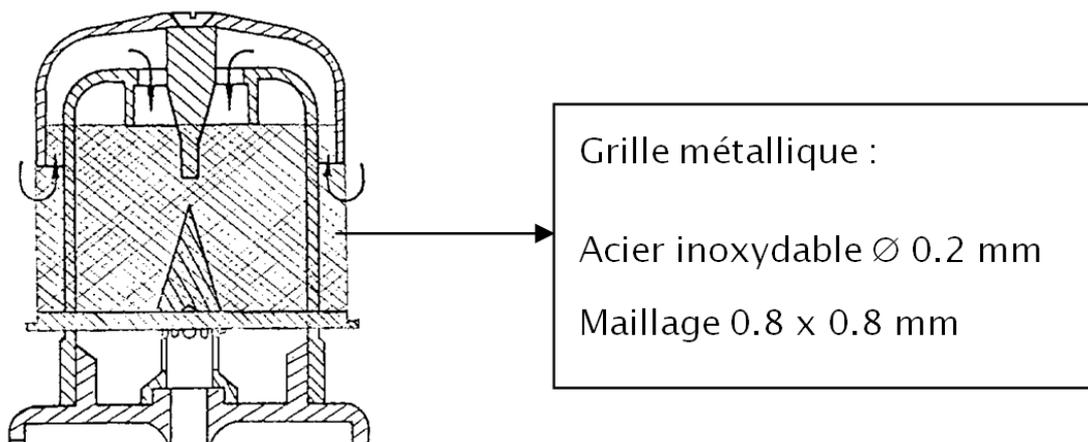


Figure 8 : Sélecteur de la fraction thoracique équipé d'une grille extérieure optionnelle

PERFORMANCES DU CIP10-I – FRACTION INHALABLE

Le dispositif CIP 10 est utilisé pour le prélèvement de la fraction conventionnelle inhalable dans sa version CIP 10-I en utilisant le sélecteur inhalable (Figure 2c) au débit de 10 L.min⁻¹.

Le sélecteur inhalable de la Figure 2c a été développé à l'INRS dans les années 90. Il est actuellement vendu par la société TECORA sous l'appellation « haute efficacité ». L'ancien sélecteur dont le conduit intérieur est conique et dont l'efficacité a été jugée insuffisante [19] par rapport à la définition conventionnelle de la fraction inhalable [1, 2] n'est plus commercialisé.

L'actuel sélecteur (Figure 2c) a été testé dans des tunnels aérauliques sur des aérosols générés expérimentalement. Sa performance est nettement supérieure à l'efficacité de l'ancienne version [20, 24]. Les résultats expérimentaux sont reportés dans la Figure 9 où ils peuvent être comparés à la courbe conventionnelle inhalable. Ils montrent une efficacité globale d'échantillonnage satisfaisante pour toutes les tailles de particules [24]. Cette efficacité a été mesurée dans les conditions aérauliques correspondantes à

une vitesse de vent $W = 1 \text{ m.s}^{-1}$.

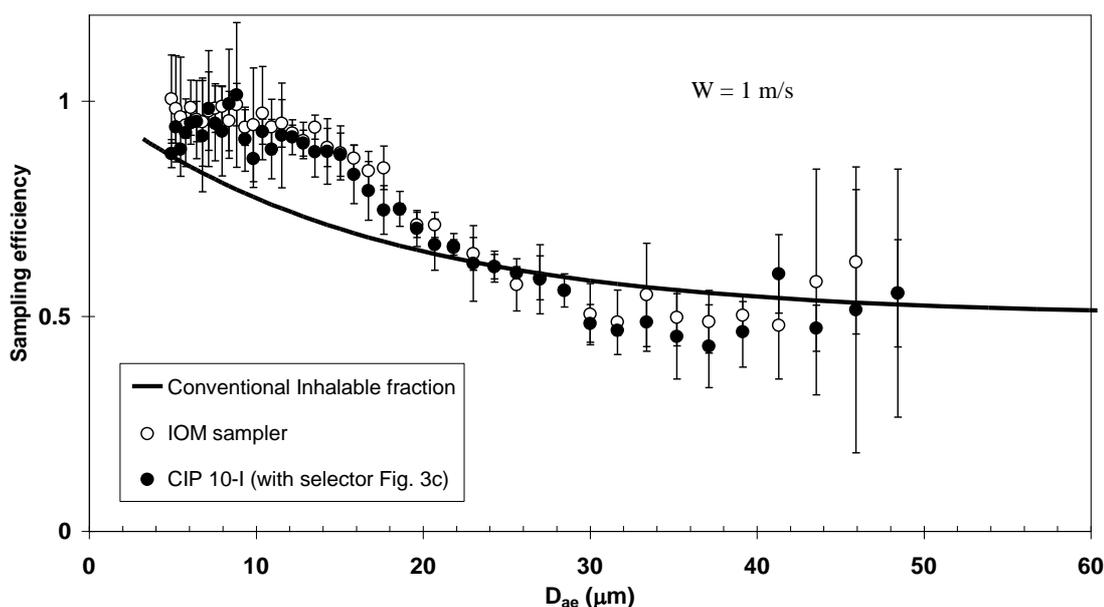


Figure 9 : Efficacité d'échantillonnage de la fraction inhalable du dispositif CIP 10-I en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de 10 L.min^{-1} . (Pour comparaison, l'efficacité de l'IOM sampler (UK) est également reportée)

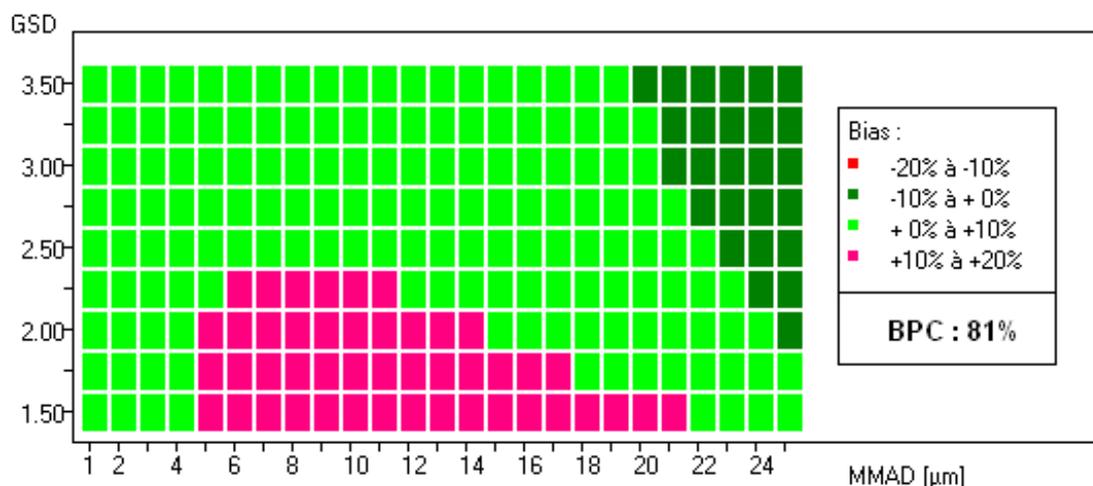


Figure 10 : Cartes de biais du dispositif CIP 10-I, débit 10 L.min^{-1} , par rapport à la fraction conventionnelle inhalable
BPC - Bias Performance Criterion (Indice de performance sur le biais)

La carte de biais correspondant à l'efficacité mesurée est représentée sur la Figure 10. Les exigences normatives [17] sur le biais d'échantillonnage de la fraction inhalable sont les mêmes que pour les fractions alvéolaire et thoracique.

La Figure 10 montre 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 du dispositif de prélèvement. 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 m.s^{-1} et élargi le domaine de performance de l'appareil CIP 10-I aux conditions d'air calme [25].

REMARQUES SUR L'UTILISATION DE LA MÉTHODE

Le débit élevé et la grande autonomie du CIP 10 permettent de collecter une quantité de matière particulaire plus importante que la plupart des autres dispositifs de prélèvement individuel. Les particules étant collectées dans la coupelle rotative munie d'un filtre en mousse de polyuréthane, l'analyse de la masse de l'échantillon présente quelques particularités : la pesée de la coupelle peut être affectée par l'humidité de l'air du fait du caractère hydrophile de la surface de la mousse en polyuréthane. Les pesées doivent être effectuées de préférence dans un local à hygrométrie stable en utilisant des coupelles témoins. La procédure est décrite par ailleurs [15, 22].

Le débit présente généralement une bonne stabilité de fonctionnement au cours du temps. Les mécanismes de collecte des particules dans la mousse et la coupelle ne génèrent pas de variations de perte de charge en cours de prélèvements et n'influent donc pas sur le débit. D'après la norme NF X43-262 [6], le réglage du débit est nécessaire au minimum une fois par an et après chaque intervention technique sur l'appareil ou changement de sélecteur par exemple. Après le réglage du débit, la vitesse de rotation de la coupelle rotative doit être mesurée à l'aide d'un tachymètre (compte-tours optoélectronique). La proportionnalité entre la vitesse de rotation et le débit de l'appareil permet une vérification ultérieure (indirecte) du débit sur le terrain pendant une campagne de mesure. Cette vérification de la vitesse de rotation de la coupelle doit être réalisée lors de chaque mesure, avant et après le prélèvement. Pour ce faire, démonter le sélecteur de l'appareil, insérer une coupelle de vérification sans couvercle munie d'un morceau d'adhésif réfléchissant et mesurer sa vitesse de rotation à l'aide d'un tachymètre. Noter la valeur de vitesse après stabilisation de l'indication. La différence entre la vitesse de rotation de la coupelle mesurée lors du réglage initial du débit de l'appareil et les vitesses de rotation mesurées sur site le jour du prélèvement doit être inférieure à $\pm 200 \text{ tr.min}^{-1}$. Si cette condition est respectée, la différence du débit de prélèvement et du débit nominal est inférieure à $\pm 5 \%$. Si la vitesse de rotation sur site a varié de plus de 200 tr.min^{-1} par rapport à la vitesse de référence, le débit de l'appareil devra de nouveau être mesuré au retour de l'intervention pour déterminer le débit réel de l'appareil lors des mesures et éventuellement réajusté pour les futures mesures. En pratique, on effectue donc un nouveau réglage si la vitesse de rotation s'écarte notablement de la vitesse nominale (plus de 200 tr.min^{-1}).

Les caractéristiques des coupelles et des mousses utilisées doivent être compatibles avec la méthode analytique envisagée. Les mousses doivent ainsi présenter le degré de pureté requis pour l'analyse envisagée ; elles peuvent être lavées et conditionnées par l'utilisateur suivant un mode opératoire approprié au but recherché.

Pour des analyses chimiques ou minéralogiques, la matière collectée doit être extraite du filtre soit à l'aide d'un solvant adapté à l'échantillon, soit par incinération des substances minérales non solubles contenues dans la mousse [21]. Dans les autres cas, il est préférable de choisir la technique de prélèvement sur filtre avec le dispositif CATHIA (décrite dans la fiche MétroPol metropol-prelevement-cathia.pdf [23]), qui utilise les mêmes têtes de prélèvement et les mêmes sélecteurs. Ceci est impératif pour le prélèvement des particules fibreuses dont l'analyse s'effectue par comptage et mesurage des fibres en microscopie à la surface d'un filtre [26].

CERTIFICATIONS ATEX

Les dispositifs CIP 10 disposent, au moment de leur achat, d'une certification Ex II 2G (EEx ia IIC T3) ou Ex I M 2 (EEx ia I) selon la directive ATEX 2014/34/UE. Ce marquage informe sur le niveau de protection de l'instrument et lui confère un certain niveau de sécurité dans des zones où une atmosphère explosive est susceptible de se présenter du fait de la présence de gaz ou vapeur inflammable.

Ce marquage et ce niveau de certification n'offrent pas la possibilité d'utiliser les CIP 10 dans des zones où une atmosphère explosive est susceptible de se présenter du fait de la présence de poussières. L'utilisation des CIP 10 n'est donc pas prévue dans des emplacements contenant des poussières combustibles impliquant un classement en zone 22, 21 ou 20.

Par ailleurs, il est à noter que la maintenance d'un appareil certifié ATEX reste délicate. Le démonter, par exemple, peut dégrader ou supprimer les protections en place permettant de garantir l'absence de source d'inflammation. Si l'utilisateur souhaite préserver la certification ATEX de l'instrument, cette maintenance doit donc être effectuée par du personnel spécifiquement formé et strictement en conformité avec les préconisations du fabricant. Dans certains cas, il sera nécessaire de faire des contrôles suite à une intervention sur l'instrument afin de vérifier ses niveaux de protection, voire de renouveler sa certification auprès d'un organisme notifié.

DESCRIPTION ET PERFORMANCES DU CIP10-M

Le CIP 10-M (Capteur Individuel de Polluants Microbiologiques) est un dispositif de prélèvement d'aérosols qui répond aux mêmes principes de fonctionnement que les autres versions du CIP 10. Il permet également la réalisation de mesures individuelles des niveaux d'exposition dans la zone respiratoire du salarié ou en ambiance à point fixe.

La différence fondamentale réside dans l'étage de collecte qui est constitué d'une coupelle métallique rotative autoclavable pouvant contenir environ 2,5 à 3 mL d'un liquide de collecte, pour le CIP 10-M (Figures 11a et 11b).

Comme le montre la Figure 11a, l'aspect extérieur et les composantes du CIP 10-M, à l'exception de la coupelle, sont identiques aux autres versions du CIP 10. Le CIP 10-M est généralement utilisé pour prélever la fraction conventionnelle inhalable d'aérosols mais son utilisation reste possible avec un sélecteur de la fraction alvéolaire ou un sélecteur de la fraction thoracique (Figure 2), moyennant un réglage adapté du débit / de la vitesse de rotation de la coupelle. La mesure et le réglage du débit de prélèvement sont réalisés sur le même banc à compensation de perte de charge (Figure 3) et suivant le même protocole que les CIP 10.

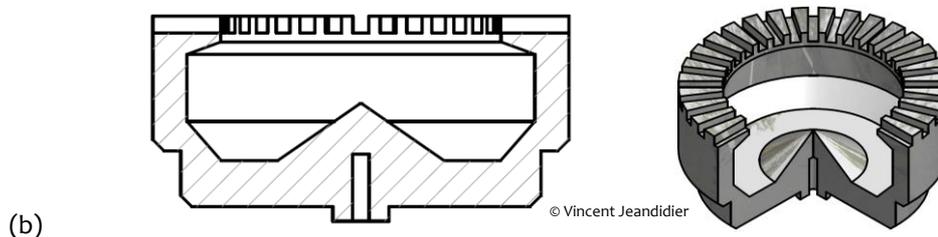
Le débit de prélèvement du CIP 10-M est assuré par la rotation à grande vitesse (environ 7000 tours par minute) de la coupelle métallique à l'intérieur du carter. Les pales situées sur la face externe de la couronne supérieure de la coupelle (rainurage radial, Figure 11b) facilitent l'aspiration d'air par effet ventilateur centrifuge (combinaison d'écoulements dits cyclonique et anticyclonique) vers la cavité intérieure cylindrique de la coupelle. Une particule qui entre dans la coupelle va :

- (1) soit se déposer sur la paroi inférieure dans la coupelle ;
- (2) soit se déposer dans le liquide de collecte qui est lui-même plaqué sur les parois horizontales de la coupelle sous l'effet de la force centrifuge (Figure 12) ;
- (3) soit suivre les lignes de courant qui ressortent du carter et ne pas être collecté dans l'échantillon. Les trajectoires des lignes de courant / des particules dans la coupelle (probablement hélicoïdales) et les mécanismes de collecte mis en jeu (très probablement la force centrifuge et l'impaction sur surface solide ou dans le liquide) ne sont pas précisément connus. Une représentation du phénomène de collecte est néanmoins proposée, à titre illustratif, sur la Figure 12.

(a)



© Xavier Simon



© Vincent Jeandier

Figure 11 : (a) Photo du CIP 10-M pourvu d'un sélecteur omnidirectionnel de la fraction inhalable (1), débit de prélèvement d'air : $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. (2) coupelle rotative pouvant contenir un liquide de collecte ; (3) boîtier du CIP 10 contenant les batteries / le moteur / les circuits électroniques de régulation ; (4) un aimant magnétique pour le démarrage et l'arrêt du dispositif ; (5) carter enveloppant la coupelle rotative ; (6) orifice de sortie de l'air.
(b) Schémas de la coupelle rotative métallique du CIP 10-M.

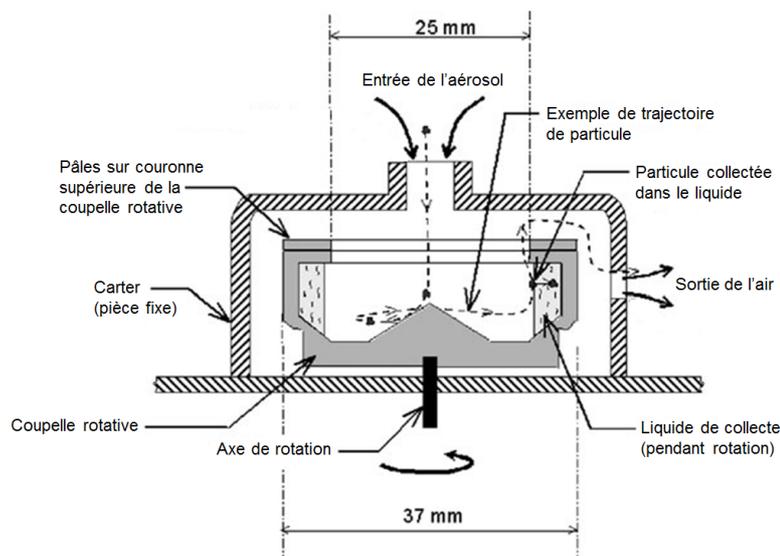


Figure 12 : Représentation schématique et illustrative de la collecte des particules dans la coupelle rotative du CIP 10-M (adaptée de [27]).

Le CIP 10-M est principalement utilisé pour prélever des microorganismes ou des composés microbiens (bactéries, endotoxines, etc.) et les méthodes employées dans la littérature pour l'analyse de l'échantillon liquide obtenu sont diversifiées (culture, microscopie à épifluorescence, spectrophotométrie, biologie moléculaire, etc.) [27-34]. Le CIP 10-M peut également permettre le prélèvement de certains composés chimiques sous forme particulaire tels que les isocyanates MDI par exemple [35].

INFORMATIONS SUR LES LIQUIDES DE COLLECTE

Le liquide de collecte introduit dans la coupelle du CIP 10-M peut être aqueux (eau stérile ou apyrogène, solution tampon phosphate PBS, etc.) ou organique visqueux (huile minérale, solvant non-volatile, etc.). La présence d'un tel liquide peut s'avérer bénéfique pour assurer ou améliorer la conservation des propriétés des particules à mesurer dans l'échantillon. C'est le cas, par exemple, avec les aérosols de MDI qui doivent être prélevés dans un solvant non-volatile, le phosphate de tributyle ou m-xylène par exemple, contenant un agent de dérivation (1-(2-méthoxyphényl)piperazine) qui vont rapidement solubiliser et stabiliser les monomères / oligomères de MDI avant leur polymérisation [35]. Le prélèvement des composés biologiques dans un liquide peut également être recherché en vue d'obtenir directement un échantillon liquide et ainsi, minimiser un possible stress par dessiccation pour les cellules les plus fragiles [36-38] ou éviter une étape supplémentaire d'extraction pour transférer les particules collectées initialement sur un filtre. Dans tous les cas, l'intérêt de recourir à un prélèvement en voie liquide et la compatibilité de ce liquide avec les méthodes analytiques envisagées doivent être validés.

Des exemples de cinétiques d'évaporation de liquides de collecte contenus dans la coupelle rotative du CIP 10-M en fonction du temps de prélèvement sont présentées sur la Figure 13. Les liquides étudiés étaient de l'eau ultra-pure de type 2 (Direct Q-5, Millipore) et du PBS en tant que liquide aqueux, et de l'huile minérale ViaTrap® (SKC, CAS 8042-47-5), en tant que liquide organique visqueux. La viscosité cinématique ($66 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à 40°C) et la pression de vapeur saturante ($< 0,13 \text{ mbar}$ à 20°C) du ViaTrap® sont environ 100 fois et plus de 180 fois supérieures à celles de l'eau, respectivement.

Le volume maximal de liquide admissible dans la coupelle ($t = 0 \text{ min}$) est plus grand pour le ViaTrap® (environ 3,0 mL) que pour l'eau et le PBS (environ 2,5 mL). La mise en rotation de la coupelle, alimentée initialement avec un volume en excès d'environ 4 mL, occasionne le départ immédiat d'une quantité de liquide qui est naturellement expulsé de la cavité interne de la coupelle sous l'effet de la force centrifuge. Du fait de leurs propriétés rhéologiques, le ViaTrap® et d'autres liquides organiques visqueux sont initialement retenus en plus grande quantité dans la coupelle par rapport à des liquides aqueux.

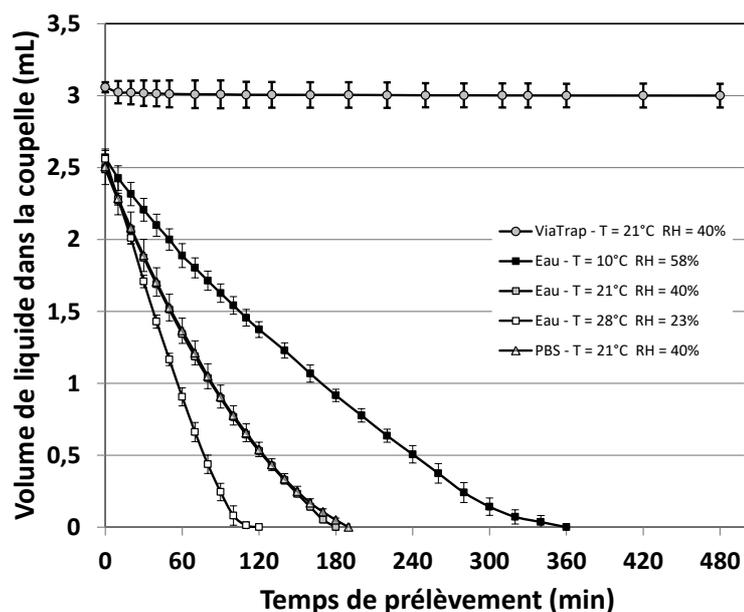


Figure 13 : Cinétiques d'évaporation de l'eau, du PBS et du ViaTrap® contenus dans la coupelle rotative du CIP 10-M en fonction du temps de prélèvement. Débit de prélèvement de 10 L.min⁻¹. Les barres d'erreur correspondent aux intervalles de confiance à 95% sur trois répétitions.

La Figure 13 montre que l'huile minérale ViaTrap® ne s'évapore pas au cours du temps. L'utilisation de ce liquide visqueux permet donc bien d'envisager des prélèvements d'une durée de 8 heures sans perte significative du volume de collecte initialement retenu dans la coupelle rotative. Les particules peuvent ainsi être collectées, pendant toute la durée du prélèvement, dans un volume de liquide connu et constant en fonction du temps.

Au contraire, la courbe de cinétique d'évaporation établie pour les liquides aqueux, sous une atmosphère à 21°C et 40% d'humidité relative, montre une diminution rapide du volume initial d'un facteur 2 et 5 en 1 et 2 heures, respectivement. Après 3 heures de prélèvement, la coupelle est complètement sèche. L'évaporation d'un liquide aqueux dans une atmosphère plus froide (10°C) et plus humide (~60%) est plus lente : le volume initial diminue d'un facteur 2 en environ 140 min ; la coupelle devient complètement sèche après environ 6 h. Pour l'atmosphère testée la plus chaude (28°C) et la plus sèche (~20%), les liquides aqueux s'évaporent complètement en moins de 2h.

Les liquides de collecte aqueux, majoritairement utilisés avec le CIP 10-M, s'évaporent donc au cours du temps. Pour les durées de prélèvements d'environ 8 heures, recherchées pour évaluer l'exposition d'un salarié ou pour compenser des limites de détection / quantifications élevées des méthodes d'analyse, deux modes de collecte peuvent donc être distingués :

- (1) le début du prélèvement où les particules sont collectées dans un volume de liquide qui diminue continuellement du fait de son évaporation ;
- (2) la fin du prélèvement où l'échantillonnage de l'aérosol s'effectue dans une coupelle complètement sèche. Les utilisateurs désireux de réaliser des prélèvements de longue durée en présence de liquide aqueux dans la coupelle devront donc mettre en place une stratégie de prélèvement incluant la recharge périodique du liquide pour palier son évaporation progressive. Cette étape, contraignante par ailleurs, devra également être réalisée avec prudence, car si le volume de liquide venait à dépasser 2,5 mL lors du rajout, l'excès serait alors expulsé de la coupelle au moment de la remise en fonctionnement du CIP 10-M et occasionnerait une perte de matière dans l'échantillon déjà prélevé.

A la fin du prélèvement, le liquide contenu dans la coupelle doit être récupéré dans un contenant adéquat clos, comme un tube avec bouchon par exemple, pour assurer le transport de l'échantillon vers le laboratoire d'analyse. Il est également préférable de mettre en place un protocole de rinçage de la cavité interne de la coupelle afin d'améliorer la récupération de l'ensemble des particules présentes dans l'échantillon. Le volume final de l'échantillon liquide obtenu doit être mesuré précisément.

PERFORMANCES DU CIP₁₀-M – FRACTION INHALABLE

L'efficacité de collecte de la coupelle et l'efficacité d'échantillonnage du CIP 10-M équipé du sélecteur de la fraction inhalable (Figure 2c) ont été mesurées au laboratoire en fonction du diamètre aérodynamique des particules (Figure 14). Les performances physiques du CIP 10-M, ainsi évaluées à un débit de prélèvement de 10 L.min⁻¹, ont ensuite été exprimées sous forme de cartes de biais (Figure 15).

Les mesures d'efficacité ont été conduites dans des tunnels aérauliques et bancs d'essais spécifiques en utilisant des aérosols monodispersés et polydispersés complémentaires pour couvrir une large gamme de diamètres compris entre 0,1 et 40 µm. La description détaillée des matériels et protocoles de mesures utilisés sont disponibles par ailleurs [24, 27, 39]. Les mesures ont été réalisées en présence de (1) soit 2,5mL d'eau, (2) soit 3,0 mL d'huile minérale ViaTrap®, (3) soit 0 mL de liquide (à sec) dans la coupelle du CIP 10-M ; les différents points expérimentaux constituant l'efficacité de collecte de la coupelle n'ont cependant pas été distingués sur la Figure 14.

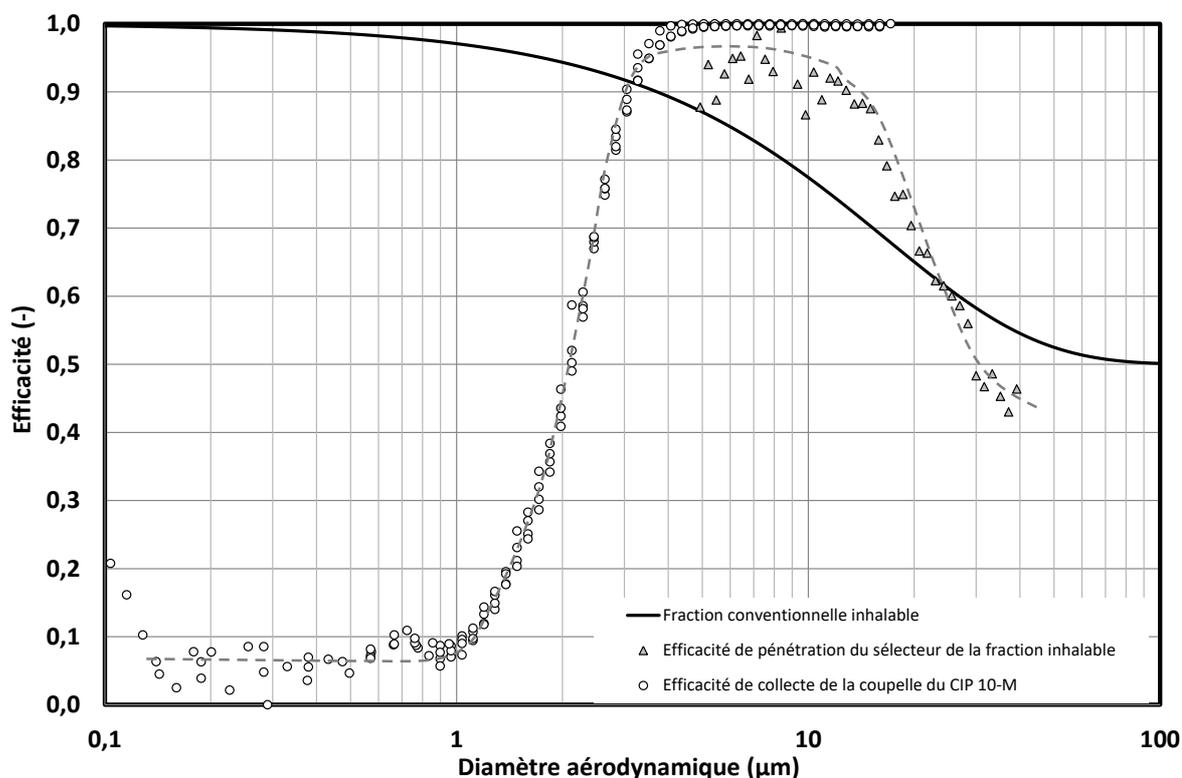


Figure 14 : Efficacité d'échantillonnage du CIP 10-M (combinaison de l'efficacité de pénétration du sélecteur de la fraction inhalable et de l'efficacité de collecte de la coupelle rotative métallique) en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit de 10 L.min⁻¹.

L'efficacité de collecte de la coupelle du CIP 10-M est supérieure à 80% et 95% pour les particules présentant un diamètre aérodynamique supérieur à 2,8 µm et 3,5 µm, respectivement. En-deçà, la courbe décrit une sigmoïde qui décroît progressivement et atteint environ 50% et 10% pour des diamètres aérodynamiques de 2,1 µm et 1 µm, respectivement. Quel que soit le liquide étudié, l'efficacité de collecte de la coupelle reste majoritairement en dessous de 10 % pour les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm. L'efficacité de collecte ne dépend ni de la nature du liquide aqueux ou non, ni du volume de liquide (3 mL de ViaTrap®, 2,5 mL d'eau ou absence de liquide) présent dans la coupelle. L'utilisation d'un liquide visqueux tel que le ViaTrap®, dont le volume initial est plus grand que celui de l'eau, ne modifie donc pas les performances physiques de collecte des particules.

L'efficacité d'échantillonnage du CIP 10-M prend en compte la combinaison successive de deux efficacités : (1) l'efficacité de pénétration du sélecteur de la fraction inhalable qui régit le captage des particules par la fente annulaire et leur transmission vers l'étage de collecte qu'est la coupelle et (2) l'efficacité de collecte de

La région formée par les aérosols présentant des diamètres médians compris entre 7,5 et 15 μm et des GSD inférieurs à 1,5 présente des biais supérieurs à +20%. Le prélèvement de tels aérosols avec le CIP 10-M conduira donc à des surestimations de la concentration en particules comparativement à la fraction inhalable.

Pour résumer, il apparaît que l'utilisation du CIP 10-M pour réaliser des prélèvements de la fraction conventionnelle inhalable dans les atmosphères professionnelles peut donc conduire à des sous-estimations, parfois sévères, des niveaux d'exposition des travailleurs lorsque les aérosols émis contiennent principalement des particules de diamètres inférieurs à environ 3 μm . Pour un grand nombre d'aérosols présentant des diamètres médians plus grands, les efficacités de sélection de la tête inhalable et de collecte de la coupelle rotative apparaissent comme satisfaisantes et conduisent le plus souvent à des biais de concentrations compris entre -20% et +20%.

REMARQUES SUR L'UTILISATION DE LA MÉTHODE POUR LES BIOAÉROSOLS

Lors de la détermination des niveaux de concentration en microorganismes cultivables ou en endotoxines dans l'air des lieux de travail, les mesures doivent être effectuées dans des conditions permettant d'éviter toutes contaminations par des agents biologiques. Cela implique que les coupelles utilisées dans le CIP 10-M doivent initialement être stériles ou stériles et apyrogènes lors du prélèvement de microorganismes ou d'endotoxines, respectivement.

De même, le liquide de collecte introduit dans la coupelle du CIP 10-M doit être stérile pour une détermination des concentrations en microorganismes cultivables ; il doit être stérile et apyrogène lors d'une mesure de concentrations en endotoxines. Le choix du liquide sera guidé par la nécessité d'assurer la conservation des propriétés des particules à mesurer dans l'échantillon. Dans tous les cas et en particulier pour les bioaérosols, l'intérêt de recourir à un prélèvement en voie liquide et la compatibilité de ce liquide avec les méthodes analytiques envisagées doivent être validés.

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] COURBON, P., WROBEL, R., FABRIÈS, J.F. A new individual respirable dust sampler: The CIP 10. *Annals of Occupational Hygiene*, 1988, 32, pp. 129-143.
- [4] GÖRNER, P., FABRIÈS, J.F. Industrial aerosol measurement according to the new sampling conventions. *Occupational Hygiene*, 1996, 3, pp. 361-376.
- [5] 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.
- [6] NF X43-262, Mars 2012. Qualité de l'air – Air des lieux de Travail – Prélèvement des aérosols solides à l'aide d'une coupelle rotative. Paris La Défense. AFNOR 2012, 20 p.
- [7] QUINOT, E., KUEFFER, D. Turbo-Capteur de poussières continu et autonome. *Revue Médicale Minière*, 1968, n° 46, pp. 3-12.
- [8] QUINOT, E. Study of a dust sampling instrument with cyclonic airflow : The Turbocaptor. Report n° 92, June 1968, Centre d'Etudes Médicales Minières.
- [9] GÖRNER, P., WROBEL, R., FABRIÈS, J.F. Air filtration by rotating porous media. In *Proceedings of the 5th World Filtration Congress, Nice 5-8 June, 1990*, pp. 165-167.

- [10] BROWN, R.C. Porous foam size selectors for respirable dust samplers. *Journal of Aerosol Science*, 1980, 11, pp. 151-159.
- [11] GIBSON, H., VINCENT, J.H. The penetration of dust through porous foam filter media. *Annals of Occupational Hygiene*, 1981, 24, pp. 205-215.
- [12] VINCENT, J.H., AITKEN, R.J., MARK, D. Porous plastic foam filtration media: Penetration characteristics and application in particle size-selective sampling. *Journal of Aerosol Science*, 1993, 24, pp. 929-944.
- [13] KENNY, L.C., AITKEN, R.J., BEAUMONT, G., GÖRNER, P. Investigation and application of a model for porous foam aerosol penetration. *Journal of Aerosol Science*, 2001, 32, pp. 271-285.
- [14] CIP 10 Capteur individuel de poussières. CIP 10M Capteur individuel de polluants microbiologiques. Manuel d'utilisation. TECORA 2015.
- [15] CIP 10 Personal dust sampler. CIP 10M Personal Microbiological Pollutants Sampler. Users' manual, TECORA 2015.
- [16] 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.
- [17] 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 de suspension dans l'air. La Plaine Saint-Denis, AFNOR, 2014, Partie 1 à Partie 6.
- [18] 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.
- [19] KENNY, L.C. AITKEN, R., CHALMERS, C., FABRIES, 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.
- [20] 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, S893-S894.
- [21] NF X43-295. Juin 1995. Air des lieux de travail – Détermination par rayons X de dépôt alvéolaire de silice cristalline. Paris La Défense. AFNOR, 1995, 20 p.
- [22] KAUFFER, E., VIGNERON, J.C., FABRIES, J.F. Mesure de la concentration pondérale de polluants particulaires atmosphériques en hygiène professionnelle : Etude de quelques médias filtrants. *Analysis*, 1989, 17, pp. 389-393.
- [23] Prélèvement des aérosols par le dispositif CATHIA. INRS, fiche MétroPol, 2015 (<http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cathia.pdf>).
- [24] GÖRNER, P., WROBEL, R., SIMON, X. High efficiency CIP 10-I personal inhalable aerosol sampler. *Journal of Physics*, 2009: Conference Series 151, 012061
- [25] 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.
- [26] KAUFFER, E., VIGNERON, J.C., FABRIES, 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 asbestos fibres by transmission electron microscopy. *Annals of Occupational Hygiene*, 1996, 40, pp. 311-319.
- [27] GÖRNER, P., FABRIES, J.F., DUQUENNE, P., WITSCHGER, O., WROBEL, R. Bioaerosol sampling by a personal rotating cup sampler CIP 10-M. *Journal of Environmental Monitoring*, 2006, 8, pp. 43-48.
- [28] DEMANCHE, C., BERTHELEMY, M., PETIT, T., POLACK, B., WAKEFIELD, A.E., DEI-CAS, E., GUILLOT, J. Phylogeny of *Pneumocystis carinii* from 18 primate species confirms host specificity and suggests coevolution. *Journal of Clinical Microbiology*, 2001, 39, pp. 2126-2133.
- [29] LELEU, C., MENOTTI, J., MENECEUR, P., CHOUKRI, F., SULAHIAN, A., GARIN, Y.J.F., DENIS, J.B., DEROUIN, F. Bayesian development of a dose-response model for *Aspergillus fumigatus* and invasive aspergillosis. *Risk Analysis*, 2013, 33, pp. 1441-1453.
- [30] NIEGUISILA, A., DEVILLE, M., JAMAL, T., HALOS, L., BERTHELEMY, M., CHERMETTE, R., LATOUCHE, S., ARNE, P., GUILLOT, J. Evaluation of fungal aerosols using temporal temperature gradient electrophoresis (TTGE) and comparison with culture. *Journal of Microbiological Methods*, 2007, 70, pp. 86-95.
- [31] NIEGUISILA, A., ARNE, P., DURAND, B., DEVILLE, M., BENOIT-VALIERGUE, H., CHERMETTE, R., COTTENOT-LATOUCHE, S., GUILLOT, J. (2011). Relative efficiencies of two air sampling methods and three culture conditions for the assessment of airborne culturable fungi in a poultry farmhouse in France. *Environmental Research*, 2011, 11, pp. 248-253.

- [32] SCHLOSSER, O., HUYARD, A., CARTNICK, K., YANEZ, A., CATALAN, V., QUANG, Z.D. Bioaerosol in composting facilities: Occupational health risk assessment. *Water Environmental Research*, 2009, 81, pp. 866-877.
- [33] SCHLOSSER, O., HUYARD, A., CATALAN, V. Exposure to dust, endotoxin and airborne microorganisms in wastewater sludge thermal drying units. *Water Science and Technology*, 2011, 64, pp. 1073-1080.
- [34] SCHLOSSER, O., HUYARD, A., RYBACKI, D., QUANG, Z.D. Protection of the vehicle cab environment against bacteria, fungi and endotoxins in composting facilities. *Waste Management*, 2012, 32, pp. 1106-1115.
- [35] PUSCASU, S., AUBIN, S., CLOUTIER, Y., SARAZIN, P., TRA, H.V., GAGNE, S. CIP10 optimization for 4,4-methylene diphenyl diisocyanate aerosol sampling and field comparison with impinger method. *Annals of Occupational Hygiene*, 2015, 59, pp. 347-357.
- [36] JENSEN, P.A., TODD, W.F., DAVIS, G.N., SCARPINO, P.V. Evaluation of eight bioaerosol samplers challenged with aerosols of free bacteria. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1992, 53, pp. 660-667.
- [37] LI, C.S., HAO, M.L., LIN, W.H., CHANG, C.W., WANG, C.S. Evaluation of microbial samplers for bacterial microorganisms. *Aerosol Science and Technology*, 1999, 30, pp. 100-108.
- [38] MACHER, J.M., FIRST, M.W. Personal air samplers for measuring occupational exposures to biological hazards. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1984, 45, pp. 76-83.
- [39] SIMON, X., BAU, S., BOIVIN, A., DUQUENNE, P., WITSCHGER, O., GÖRNER, P. Physical performances and kinetics of evaporation of the CIP 10-M personal sampler's rotating cup containing aqueous or viscous collection fluid. *Aerosol Science and Technology*, 2016, 50, pp. 507-520.
- [40] LEE, T., KIM, S.W., CHISHOLM, W.P., SLAVEN, J., HARPER, M. Performance of high flow rate samplers for respirable particle collection. *Annals of Occupational Hygiene*, 2010, 54, pp. 697-709.

AUTEURS

X. Simon, P. Görner, P. Duquenne, S. Bau, et O. Witschger

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

HISTORIQUE

Version	Date	Modifications
1	Octobre 2015	Création de la fiche
2	Juin 2017	Modifications mineures des sections « Contexte » et « Performance du CIP 10 ». Création d'une nouvelle section intitulée « Description et performances du CIP 10-M ».
3	Janvier 2022	Ajout d'un paragraphe traitant de la certification ATEX des CIP10