Notes techniques

LA DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES AÉROSOLS AU POSTE DE TRAVAIL

Quels moyens, quelles méthodes de mesure ?

**Trois approches sont possibles, et utilisées, pour déterminer la granulométrie des aérosols au poste de travail : l'analyse bibliographique, la mesure en temps réel, et celle qui repose sur un couplage prélèvement et analyse.
Cet article propose de revenir sur les avantages et limites de chaque méthode, afin de les utiliser au mieux dans un contexte de prévention des risques professionnels.**

SÉBASTIEN BAU, LISE ALONSO, NAÏMA GAUDEL, AUDREY HUMBERT, VIRGINIE MATERA, BARBARA SAVARY, XAVIER SIMON, SOPHIE TOMAZ
INRS, département Métrologie des polluants

Cet article complète le décryptage proposé dans ce même numéro (*Cf. pp. 5-10)* et a pour objectif de faire le point sur trois approches complémentaires qui permettent de déterminer la granulométrie des aérosols dans l'air des lieux de travail :

- la bibliographie par nature de particules et/ou par secteur d'activité ;
- l'utilisation d'appareils de métrologie en temps réel (MTR) ;
- et le recours à des techniques de prélèvement associées à une ou plusieurs analyses *a posteriori*.

Premiers éléments d'estimation de la répartition granulométrique des particules

La mesure des fractions conventionnelles en lien avec la santé[1] – inhalable[2], thoracique et/ou alvéolaire[3] – à l'aide de dispositifs de mesure conventionnelle permet en première intention d'avoir une indication quant à la granulométrie d'un aérosol (présence de particules fines ou grossières). La *Figure 1* présente l'évolution du rapport entre les concentrations massiques en fractions alvéolaire et inhalable d'un même aérosol en fonction de son diamètre aérodynamique médian en masse (MMAD), sous l'hypothèse d'une loi de distribution log-normale, pour différents écarts-types géométriques (ETG ; *Cf. dans ce même numéro pp. 5-10)*[4]. À mesure que le MMAD de l'aérosol augmente, le rapport passe de 1 (fractions alvéolaire et inhalable équivalentes) à 0 (fraction alvéolaire tendant vers zéro). S'il ne s'agit pas d'une détermination de la distribution granulométrique à proprement parler, cette approche permet néanmoins d'évaluer la proportion de particules fines ou grossières au sein d'un aérosol.

Les exemples proposés sur la *Figure 1* (fumées de soudage et poussières de bois) correspondent à des mesures réalisées par différents dispositifs de prélèvement dans deux environnements de travail distincts. Au cours d'activités de soudage, dont l'aérosol présente un MMAD de 1 µm (ETG = 3) en raison de sa coexistence avec l'aérosol de fond présent dans l'atelier, le *ratio* moyen entre fractions alvéolaire et inhalable est égal à 82 ± 6 %, ce qui signifie que l'aérosol est composé majoritairement de particules fines. Ce *ratio* est égal à 13 ± 5 % pour l'aérosol présent lors d'opérations de découpe de panneaux de bois (MMAD = 16 µm, ETG = 2) signifiant que l'aérosol est plus grossier.

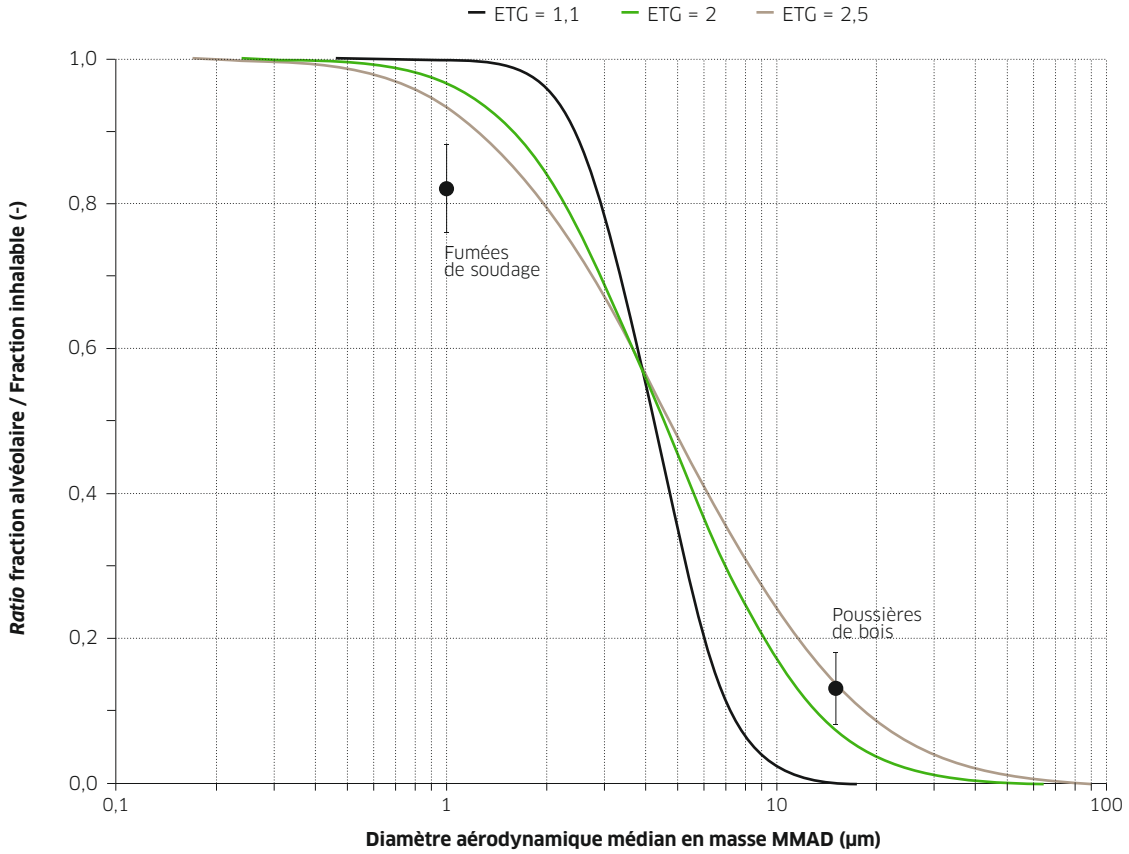
Cette première manière d'estimer approximativement la répartition granulométrique des aérosols est possible lorsque des mesures de la fraction alvéolaire et de la fraction inhalable sont réalisées simultanément. Même si les premiers exemples d'applications basés sur l'exploitation conjointe des fractions inhalables et alvéolaires sont encourageants, des données complémentaires nécessitent d'être capitalisées en vue de confirmer la pertinence des courbes proposées sur la *Figure 1* vis-à-vis d'une diversité de situations de travail.

RÉSUMÉ

Cet article présente trois approches pour déterminer la granulométrie des aérosols en milieu professionnel.
La première repose sur la bibliographie : elle s'appuie sur des données existantes dans la littérature en fonction de l'activité ou des substances en présence. La deuxième méthode est basée sur la mise en œuvre de dispositifs de mesure en temps réel (MTR), tels que des capteurs à bas coût ou des compteurs optiques de particules. Bien qu'efficace pour un suivi immédiat, cette méthode peut présenter des limites en termes de précision et d'interprétation des données.
Enfin, les approches couplant prélèvements et analyses sont détaillées. Celles-ci impliquent la collecte des aérosols, à l'aide de dispositifs discriminants en taille ou non, et l'analyse en différé en laboratoire.
Un logigramme d'aide à la sélection est proposé pour guider le choix de la méthode la plus adaptée en fonction des objectifs de l'utilisateur.

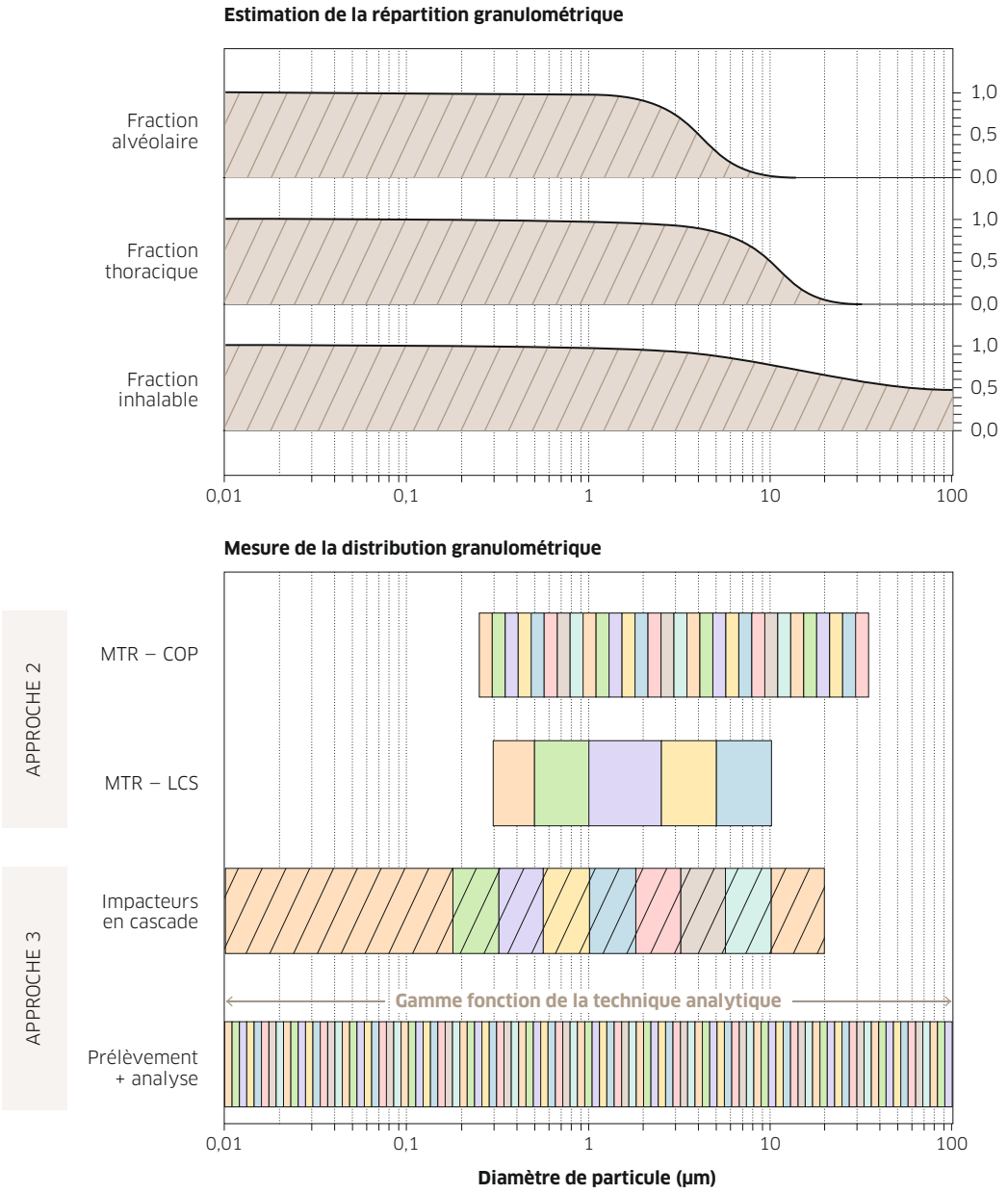
SIZE DISTRIBUTION OF AEROSOLS AT THE WORKSTATION: MEASUREMENT MEANS AND METHODS

This article presents three approaches for determining the size distribution of aerosols in the professional environment.
The first is based on the bibliography: it draws on the existing data in the literature depending on the activity and the substances present.
The second method is based on the implementation of real-time measurement devices, such as low-cost sensors or optical particle counters. Although effective for immediate follow-up, this method can have its limits in terms of precision and interpretation of data.
Lastly, the approaches combining sampling and analysis are presented.
These involve the collection of aerosols using mechanisms that do or do not differentiate size, and deferred analysis in the laboratory.
A decision-making flow chart is proposed to assist with the selection of the most suitable method depending on the user's objectives.



← **FIGURE 1**
Évolution du *ratio* des concentrations massiques entre fraction alvéolaire et fraction inhalable en fonction du MMAD et de l'ETG de l'aérosol suivant une loi de distribution log-normale.

FIGURE 2 → Gammes de diamètres de particules couvertes et résolutions typiques de différentes approches pour la mesure de la distribution granulométrique. *Les fractions conventionnelles liées à la santé sont également représentées en partie supérieure de cette figure.*



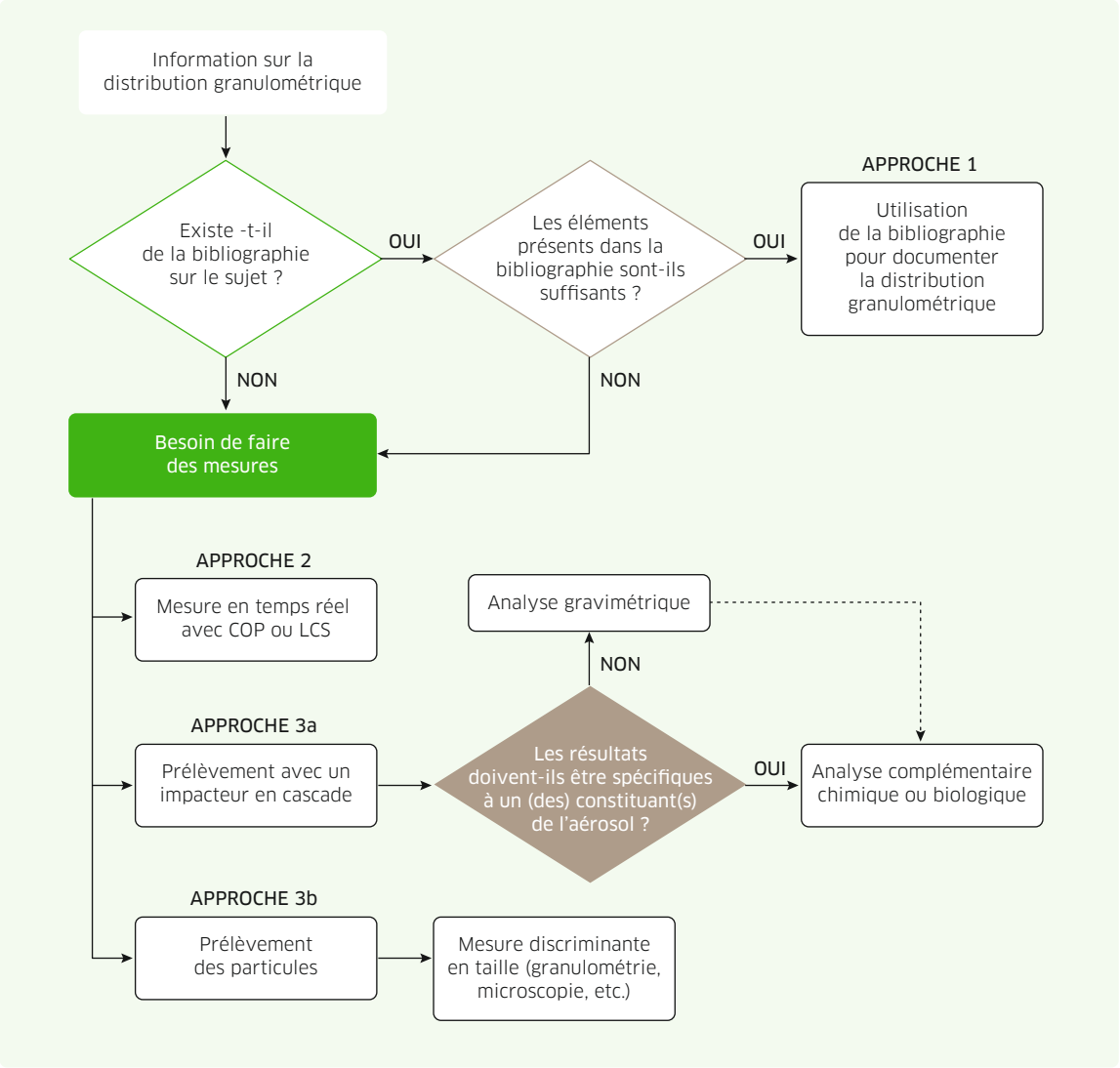
La mesure de la distribution granulométrique doit ensuite être appréhendée de manière plus rigoureuse lorsque ce paramètre revêt une importance avérée dans la démarche de prévention.

Détermination de la distribution granulométrique des aérosols

La distribution granulométrique conditionne le comportement des particules sur l'ensemble du cycle de vie d'un aérosol dans un environnement professionnel. Au-delà de la méthodologie simplifiée permettant une première estimation de la répartition en taille des particules présentée dans le paragraphe précédent, trois approches peuvent être distinguées en vue de déterminer la distribution granulométrique des aérosols présents dans l'air des lieux de travail.

L'approche n° 1 repose sur une étude bibliographique, pouvant être menée par substance d'intérêt ou par secteur professionnel. L'approche n° 2 est basée sur la mise en œuvre d'appareils de mesure en temps réel (MTR) des aérosols. Enfin, l'approche n° 3 implique un couplage prélèvement et analyse, l'une des deux étapes étant discriminante vis-à-vis de la taille des particules.

La *Figure 2*, dans sa partie inférieure, schématise les gammes couvertes ainsi que le degré de discrimination en taille (nombre de classes granulométriques) de différentes techniques des approches n°s 2 et 3. Les cases hachurées représentent des échantillons



←FIGURE 3
Logigramme d'aide à la sélection de l'approche pour la détermination de la distribution granulométrique d'un aérosol.
COP : compteur optique de particules. LCS : micro-capteur à bas coût.

collectés et pouvant faire l'objet d'une analyse subséquente (gravimétrie, chimie, microscopie, microbiologie, biochimie, etc.). Il convient de noter que le nombre de classes et leurs bornes sont donnés sur la *figure 2* à titre d'exemple. Ils varient en fonction des dispositifs utilisés : impacteurs en cascade ou appareils de MTR, tels que les micro-capteurs à bas coût (LCS, pour *low-cost sensors)* et les compteurs optiques de particules (COP). L'approche d'un prélèvement d'aérosol associé à une analyse discriminante en taille est celle qui présente *a priori* la meilleure résolution en taille. La gamme de mesure associée va, quant à elle, dépendre de la technique analytique mise en œuvre.

Ainsi, différentes approches sont envisageables pour connaître la distribution granulométrique associée à un procédé, un secteur professionnel ou une tâche particulière. La sélection de l'approche la mieux adaptée peut être réalisée à l'aide du logigramme présenté sur la *Figure 3*. Parmi ces approches, certaines sont plus directes comme l'étude de la bibliographie existante (approche n° 1). Les approches nos 2 et 3 exigent un investissement financier et/ou des compétences techniques plus importantes.

Approche n° 1 : étude de la bibliographie existante

La littérature scientifique est une source d'informations préalable et incontournable concernant de nombreux sujets, y compris la mesure de la granulométrie. Moyennant un accès, parfois payant, à certaines ressources, une recherche bibliographique permet de sélectionner des documents issus de la littérature scientifique, classés dans des bases de données pour répondre à une question. Celle-ci doit être clairement identifiée et exprimée pour orienter au mieux la recherche. Concernant la granulométrie, la bibliographie peut être réalisée en fonction de la nature des particules, du ou des polluants visés, du secteur d'activité, du procédé, de la tâche professionnelle, etc. Si un premier niveau d'information est requis sur un polluant particulier par exemple, une

→

étape initiale consiste à rechercher l'existence d'une revue bibliographique, synthétisant les connaissances sur le sujet. S'il n'existe pas de telle revue, des méthodes sont proposées pour la réaliser de façon exhaustive et rigoureuse, comme la méthode PRISMA[5] *(preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses* [1,2]). Celle-ci propose un diagramme d'actions permettant de sélectionner, de retenir et d'éliminer des documents en fonction de critères définis. Les articles d'intérêts sont identifiés à travers une requête par mots-clés dans une ou plusieurs bases de données. Le choix des mots-clés est déterminant afin de cibler au mieux les documents d'intérêt qui composeront la revue.

La sélection des articles repose sur :

- le retrait des doublons, si plusieurs bases de données sont consultées ;
- la lecture du titre et du résumé ;
- puis la lecture du texte intégral.

Lors de la lecture de ces documents, il convient de garder un esprit critique sur la qualité des données (fiabilité des données, réplica, statistiques, témoins négatif et positif), les conditions et les méthodes de prélèvements et d'analyses utilisées, en particulier si la revue est réalisée dans un objectif de comparaison de résultats. Un point de vigilance est à accorder à la stratégie mise en œuvre (émission *versus* exposition). Le plus souvent, la recherche bibliographique est une approche préliminaire à la mise en œuvre des approches n°s 2 et 3.

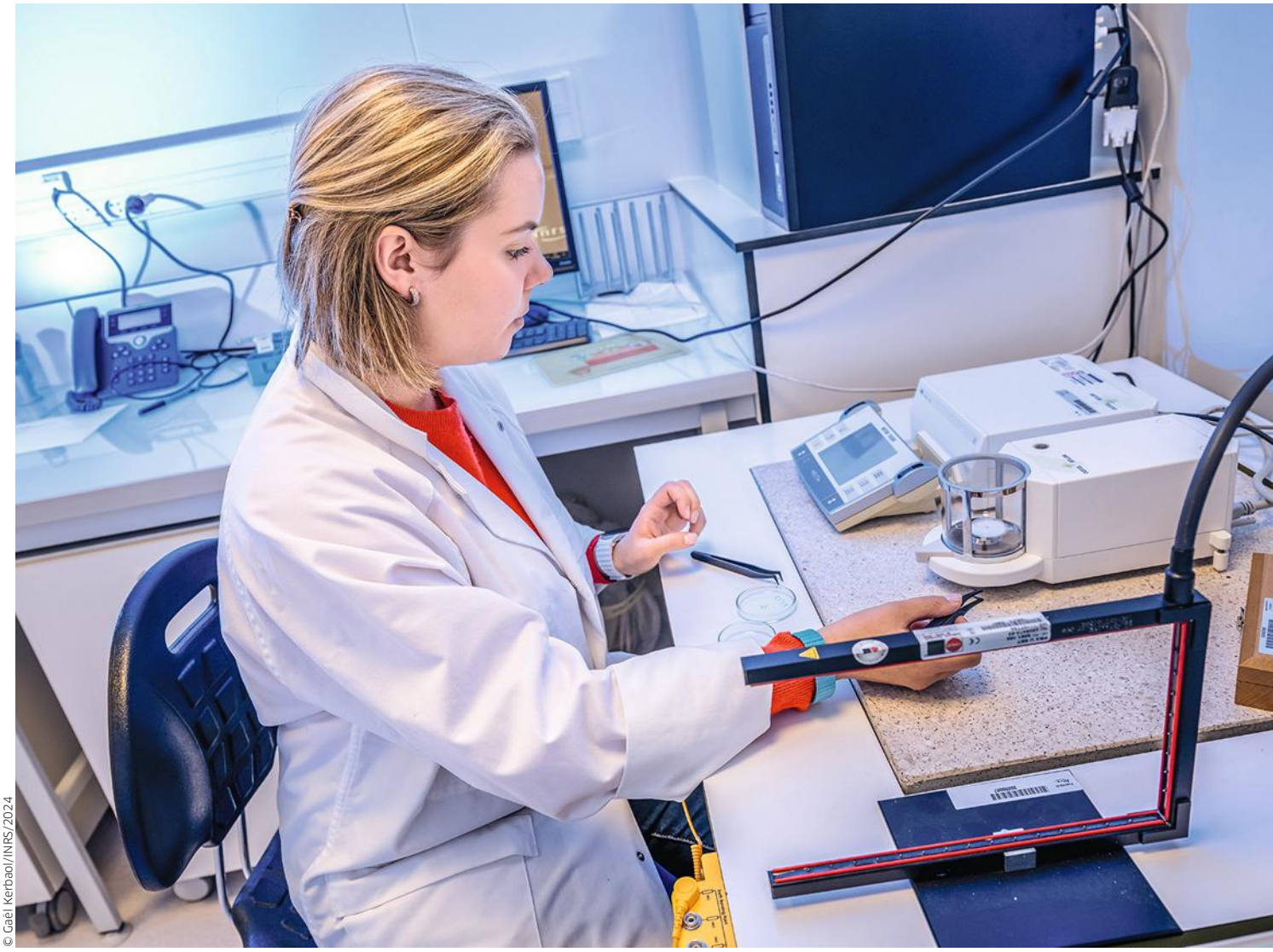
Approche n° 2 : utilisation de la mesure en temps réel (MTR)

Plusieurs familles d'appareils de MTR permettent de déterminer la distribution granulométrique des aérosols [3]. Exception faite des appareils dédiés au laboratoire nécessitant un haut degré d'expertise et présentant un coût élevé (> 30 000 €), deux familles d'instruments peuvent être utilisées : des micro-capteurs à bas coût (LCS) et des compteurs optiques de particules (COP). Ces instruments sont disponibles sur le marché et sont déjà mis en œuvre dans des campagnes de mesure dans des atmosphères professionnelles.

Leur principe de fonctionnement repose sur une méthode optique s'appuyant sur la détection et l'analyse de la lumière diffusée par les particules lors des interactions entre un faisceau laser de longueur d'onde définie et les particules traversant la zone de mesure [4]. Chaque impulsion détectée correspond au passage d'une particule et permet de réaliser un suivi temporel de leur concentration en nombre. L'intensité de lumière diffusée à un angle donné est également analysée pour chaque impulsion afin d'estimer la taille des particules et de les classer dans différents canaux de comptage. La taille est exprimée sous la forme d'un diamètre équivalent optique (d_{opt}), correspondant le plus souvent au diamètre d'une particule sphérique d'indice de réfraction donné (généralement : 1,59 pour des microsphères de latex) et diffusant la même intensité de lumière que la particule mesurée. Ces dispositifs assurent ainsi une mesure en continu de la distribution granulométrique en nombre d'un aérosol en fonction du temps. Les particules les plus petites (d_{opt} inférieur à environ 0,3 µm) ne diffusent pas une intensité de lumière suffisante, c'est pourquoi la gamme de mesure est généralement comprise entre environ 0,3 µm et 10 µm. Bien que conçus pour des applications environnementales, certains LCS offrent la possibilité d'accéder à la distribution granulométrique en nombre de l'aérosol [5]. Les principales différences entre les COP et les LCS sont le prix, les dimensions, le nombre de canaux, la gestion de l'écoulement au sein du dispositif (avec ou sans focalisation, avec ou sans air de gainage), les algorithmes de traitement du signal, le maintien du débit nominal de fonctionnement. Pour ces deux familles d'appareils, la distribution granulométrique est exprimée selon le diamètre équivalent optique des particules. La conversion vers le diamètre équivalent aérodynamique (*Cf. pp. 5-10)* est complexe et dépend de la nature des particules ; cette transposition fait appel à des équipements de métrologie spécifiques.

Ces dispositifs de mesure ne sont pas adaptés aux situations de concentrations élevées d'aérosols dans l'air (généralement > 2000 particules/cm^3), pour lesquelles plusieurs particules circulent dans la zone de mesure et diffusent de la lumière en même temps (problématique de coïncidence). De plus, un biais de mesure peut apparaître lorsque l'humidité relative de l'air est élevée (> 70 %, phénomène de condensation), rendant délicate l'utilisation de la MTR dans certains environnements. En l'absence de sélecteurs en entrée, les mesures provenant de ces appareils ne sont pas représentatives des fractions conventionnelles liées à la santé. Enfin, dans le cas d'un mélange de particules provenant de multiples sources ou disposant de propriétés optiques sensiblement différentes de celles de l'aérosol de calibrage, il est possible que la mesure effectuée avec ces techniques soit associée à un biais plus important.

Leur mise en œuvre en atmosphères de travail se fait généralement à point fixe, à hauteur des voies respiratoires et au plus proche de l'activité à investiguer. Cela permet d'accéder au profil temporel de concentration ainsi qu'à la distribution granulométrique moyennée sur la période de mesure. Un traitement ciblé sur des périodes particulières et pertinentes peut être réalisé ultérieurement en vue de caractériser la distribution granulométrique associée à une tâche, une situation d'exposition, etc. Dans cet objectif, l'utilisateur procède à une observation et une consignation fines des activités au cours du prélèvement pour associer la mesure aux événements. Il peut avoir recours à un enregistrement



© Gaël Kerbaol/INRS/2024

Analyse gravimétrique des supports de collecte d'un impacteur en cascade dans un laboratoire de l'INRS.

vidéo, comme avec le dispositif Captiv [6]. Plusieurs localisations peuvent être explorées séquentiellement (en déplaçant l'instrument de poste en poste), ou plusieurs activités peuvent être caractérisées en parallèle, lorsque plusieurs instruments sont disponibles.

Cette approche reposant sur l'utilisation de la MTR offre une grande flexibilité car quelques minutes de mesure suffisent pour apprécier la distribution granulométrique des aérosols en un point donné. Il est alors possible de la comparer à une mesure réalisée à une autre période (par exemple, activité A *versus* activité B, ou avant/après l'installation d'un équipement de protection collective) ou simultanément à un autre endroit (par exemple, point n° 1 *versus* point n° 2), si les dispositifs déployés présentent des performances équivalentes.

La détermination de la distribution granulométrique d'un aérosol par une mesure en temps réel ne requiert pas d'analyse en laboratoire. Comme pour tout appareil de mesure, il convient de procéder périodiquement à l'entretien, à la maintenance et au calibrage des instruments. Dans le cas d'un suivi, un étalonnage spécifique vis-à-vis de l'aérosol d'intérêt peut également être réalisé.

Avant de procéder au traitement des données, un travail préparatoire est nécessaire. Cela inclut la récupération du fichier brut de mesure, son exportation vers un tableur, ainsi que le nettoyage et la synchronisation des données avec les observations réalisées sur le poste. Le traitement des données est ensuite effectué à l'aide d'un tableur, permettant de déterminer et de représenter graphiquement la distribution granulométrique des aérosols sur la période analysée. La mesure obtenue par ces techniques correspond à la distribution granulométrique en nombre des particules. Pour caractériser la distribution en masse, des calculs de conversion sont nécessaires. Ceux-ci intègrent les propriétés des particules, telles que leur forme et leur masse volumique, et peuvent être réalisés directement au moyen des logiciels associés aux instruments.

→

Approche n° 3 : mise en œuvre de prélèvements d'aérosols couplés à une analyse

Les méthodologies décrites ici impliquent le couplage entre une phase de prélèvement des aérosols dans l'air des lieux de travail, et une phase analytique en laboratoire. Quelle que soit la méthode envisagée, la méthode de prélèvement doit être adaptée de façon à être compatible avec l'analyse réalisée ultérieurement. Le résultat de ces approches est une distribution granulométrique moyennée sur la totalité de la période du prélèvement.

Les biais inhérents à ces approches sont liés à :

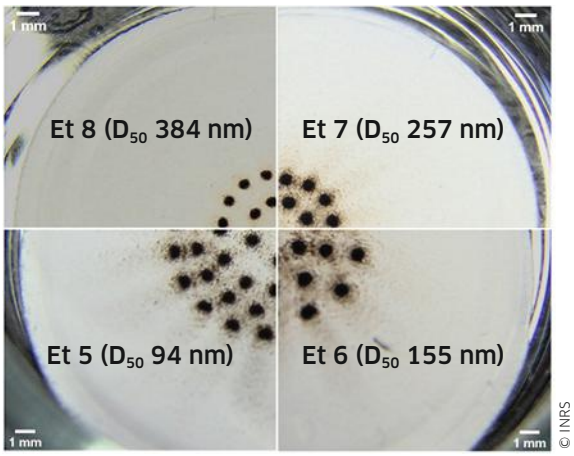
- la représentativité du prélèvement ;
- la manipulation, la conservation et/ou la préparation de l'échantillon pour l'analyse ;
- et les limites de la technique analytique utilisée.

➔ Approche n° 3a : prélèvements discriminants en taille associés à une analyse

Les impacteurs en cascade (IC) permettent d'effectuer des prélèvements discriminants en taille en collectant des particules sur de larges gammes de diamètres (submicroniques à micrométriques). La distribution granulométrique en masse de l'aérosol est alors déterminée par analyse gravimétrique des supports de collecte de chaque étage, avant et après prélèvement. La distribution granulométrique issue de ce type de prélèvement correspond à la distribution de la masse des particules ou des substances visées en fonction de leur diamètre équivalent aérodynamique, et permet d'en déterminer le MMAD *(Cf. pp. 5-10)*.

Au-delà de cette détermination de la distribution en masse, les IC permettent de collecter des échantillons *(Cf. Figure 4)* selon différentes classes de taille pouvant être ensuite caractérisés par des analyses complémentaires (chimiques, biologiques ou microscopiques), moyennant la compatibilité du support de prélèvement.

Le principe de fonctionnement d'un impacteur en cascade est le suivant : pour un débit de prélèvement donné, le flux d'air est accéléré tout au long de la colonne d'impaction en traversant un ensemble de buses de plus en plus fines. Des plateaux d'impaction, perpendiculaires au flux d'air, permettent de maintenir le support d'impaction. Selon leur inertie, certaines particules ne peuvent plus suivre les lignes de courant qui contournent le plateau et vont s'y impacter. Ainsi, les particules présentant la plus grande inertie, correspondant aux tailles les plus élevées, sont collectées sur les premiers étages, puis les particules de plus en plus fines sur les étages suivants, à mesure que la vitesse de l'air augmente. La surface de collecte est constituée d'un média de type filtre ou membrane. Les résultats d'une étude menée à l'INRS confirment la nécessité de graisser les supports de prélèvement et précise également les conditions de graissage, afin d'éviter les effets de rebonds et de réentraînement des particules solides [7].



↑ **FIGURE 4** Particules prélevées sur quatre supports, lors de l'émission de fumées de soudage, avec un impacteur basse pression (DLPI+). *Et = étage ; D_{50} = diamètre de coupure de l'étage.*

Un certain nombre d'IC sont disponibles. Ils se distinguent selon différents critères comme leur utilisation (prélèvement individuel ou d'ambiance), la gamme de taille couverte *(Cf. Figure 2)* ou encore la nature des supports de collecte. Il n'existe pas de dispositif répondant à tous les besoins métrologiques et à toutes les situations rencontrées. La fiche du guide méthodologique MétroPol[6] précise les conditions optimales à mettre en place pour effectuer des prélèvements par IC et propose un outil d'aide à la décision afin de choisir le dispositif et la configuration la mieux adaptée à la stratégie souhaitée.

Il est important de noter que le temps de prélèvement par IC est fonction du débit nominal de l'IC considéré ainsi que de l'empoussièrement. En effet, il s'agit de prélever suffisamment de particules pour que la masse collectée sur les différents étages soit supérieure à la limite de quantification (LQ) de l'analyse gravimétrique, tout en respectant une charge maximale, afin d'éviter le réentraînement des particules voire un dépôt excessif sur les parois du dispositif. Une évaluation préalable de la concentration en particules *via* l'utilisation d'un photomètre peut alors être envisagée.

➔ Approche n° 3b : prélèvements non discriminants associés à une analyse discriminante

La distribution granulométrique d'un aérosol peut également être déterminée par l'analyse en laboratoire de particules préalablement collectées avec des dispositifs bien connus des préleveurs, sans distinction en taille. L'échantillon de particules est d'abord récupéré par élution et dilué si nécessaire, puis analysé en voie liquide à l'aide d'un granulomètre, afin de mesurer la distribution granulométrique moyenne des particules collectées sur la durée totale du prélèvement. Les techniques mises

en œuvre sont basées sur le principe de la diffraction laser, ou sur de la mesure d'impédance. Elles permettent de compter individuellement chaque particule solide et non soluble au sein de l'échantillon et de déterminer un diamètre équivalent associé, dans une large gamme de tailles, en couvrant le domaine submicronique jusqu'à des dimensions supérieures à 100 µm.

Une observation par microscopie électronique à balayage (MEB) ou à transmission (MET) peut également être envisagée pour établir la distribution granulométrique des particules collectées. Réalisée dans des conditions adaptées à l'échantillon (stabilité, grandissement, tension d'accélération…), cette observation peut être associée à des techniques de microanalyse ou de spectroscopie pour déterminer la composition chimique semi-quantitative des particules. Il existe plusieurs dispositifs de prélèvement spécifiques pour l'analyse en microscopie électronique ; cependant, celle-ci peut aussi se faire sur un filtre plus classique en MEB. La préparation de l'échantillon est nécessaire pour l'analyse en MET et peut induire un biais sur la granulométrie. Pour l'analyse en MEB, une préparation du support à observer n'est pas toujours indispensable et est fonction de la nature de l'échantillon. La MET permet d'analyser des échantillons très minces (< 100 nm) avec une grande résolution (1 à 2 Å). La MEB permet d'imager en surface, avec une résolution de l'ordre de quelques nanomètres, d'échantillons y compris de grande taille (jusqu'à environ une dizaine de centimètres).

Si ces techniques présentent la capacité de différencier les particules constitutives des agrégats et les particules libres, elles n'en restent pas moins chronophages et coûteuses, et nécessitent un degré d'expertise important. La haute résolution accessible avec ces techniques est un avantage pour l'analyse de matériaux nanostructurés ; elle représente néanmoins une limite, puisque la zone explorée reste faible, posant donc la question de sa représentativité.

Conclusions et perspectives

Différentes approches permettant de déterminer la granulométrie des aérosols dans les environnements de travail sont proposées dans cet article. Qu'il s'agisse de l'exploitation bibliographique, de l'utilisation d'appareils de mesure en temps réel, ou encore de techniques de prélèvement couplées à des analyses *a posteriori,* chaque méthode offre des avantages et des limites en termes de précision, de faisabilité et de contexte d'application.

Quelle que soit l'approche mise en œuvre, la connaissance de la distribution granulométrique des aérosols permet de mieux comprendre leur comportement aéraulique dans les environnements de travail, leur pénétration dans l'arbre respiratoire d'un travailleur et leurs effets potentiels sur la santé. Cette caractérisation contribue à une description plus fine des expositions et participe au dimensionnement des moyens de protection à mettre en œuvre.

Constituer une base de données des distributions granulométriques des aérosols présents dans les atmosphères professionnelles permettrait certainement de progresser en termes de prévention des risques professionnels. Reposant sur des méthodologies standardisées, fiables et accessibles, l'exploitation de ces données participerait à améliorer les connaissances, et à une surveillance plus précise des expositions professionnelles aux aérosols. À terme, ces avancées contribueraient à renforcer les démarches de prévention et à améliorer la protection des travailleurs. ●

1. Voir : INRS – MétroPol. Fractions conventionnelles. Prélèvement des aérosols : généralités. *Accessible sur : https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-generalite-aerosol/metropol-prelevement-generalite-aerosol.pdf*

2. Voir : INRS – MétroPol. Prélèvement des aérosols par cassette fermée. *Accessible sur : https://www.inrs.fr/dam/jcr:303b2abd-1bec-4f5a-9329-10dcd4499141/metropol-prelevement-cassette.pdf*

3. Voir : INRS – MétroPol. Prélèvement des aérosols par cyclone. *Accessible sur : https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cyclone/metropol-prelevement-cyclone.pdf*

4. Voir : BAU S. ET AL. – *La distribution granulométrique des aérosols au poste de travail : quels apports pour la santé et la sécurité au travail ?* Hygiène & sécurité du travail, *2025, 279, DC 45, pp. 5-10. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/hst/decryptage.html*

5. Voir : https://www.prisma-statement.org/

6. Voir : INRS – MétroPol. Prélèvement des aérosols par impacteur en cascade. *Accessible sur : https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-aerosols-impacteurs/metropol-prelevement-aerosols-impacteurs.pdf*

BIBLIOGRAPHIE

[1] MOHER D. *ET AL.* – Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International journal of surgery,* 2010, 8, pp. 336-341.

[2] PAGE M.J. *ET AL.* – The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *British medical journal,* 2021, 372.

[3] BAU S., WITSCHGER O., GALLAND B., MARTIN P. – Métrologie en temps réel de substances chimiques au poste de travail : intérêts et limites. *Hygiène & sécurité du travail,* 2015, 239, DC 9, pp. 6-10. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DC%209

[4] SZYMANSKI W.W., NAGY A., CZITROVSZKY A. – Optical particle spectrometry: problems and prospects. *Journal of quantitative spectroscopy and radiative transfer,* 2009, 110, pp. 918-929.

[5] SUTTER B., SIMON X., BAU S. *ET AL.* – Évaluation des micro-capteurs à bas coût pour caractériser les aérosols sur les lieux de travail. *Hygiène & sécurité du travail,* 2024, 277, NT 118, pp. 67-75. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20118

[6] MARTIN P., BRAND F., SERVAIS M. – Correlation of the exposure to a pollutant with a task-related action or workplace: The CAPTIV System. *The annals of occupational hygiene,* 1999, 43, pp. 221-233.

[7] MATERA V., GAUDEL N., BAU S. – Intérêts et optimisation des prélèvements d'aérosols par impacteur en cascade. *Hygiène & sécurité du travail,* 2022, 269, NT 104, pp. 34-41. Accessible sur : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20104