

TEST DES PERFORMANCES D'UN DISPOSITIF POUR LE PRELEVEMENT PERSONNEL DES AEROSOLS SEMI-VOLATILS DANS UN BANC DE GENERATION D'AEROSOLS ORGANIQUE

N. REKEB^{1,2}, B. SUTTER¹ E. BELUT¹ et E. GEHIN²

¹INRS, 1 rue du Morvan, F-54500 Vandœuvre, France

²Univ Paris Est Creteil, CERTES, F-94000 Creteil, France

*Courriel de l'orateur : noredine.rekeb@inrs.fr

TITLE performance test of a personal device for the sampling of semi-volatile aerosols in an organic aerosol generation bench

RESUME

Dans cet article, nous présentons les tests de performance d'un dispositif de prélèvement appelé SADS, basé sur le principe de l'impacteur virtuel, lorsqu'il est utilisé pour échantillonner la phase particulaire d'un aérosol semi-volatile. Les tests sont réalisés dans un banc de génération d'aérosols organiques. Les résultats des tests mettent en lumière certains facteurs réduisant l'efficacité de collecte de la phase particulaire, tels que le dépôt très important des particules dans le dispositif. Agir sur ces facteurs permettrait de concevoir un dispositif plus performant.

ABSTRACT

In this paper, we present the performance tests of a sampling device called SADS, based on the virtual impactor principle, when used to sample the particle phase of a semi-volatile aerosol. The tests are performed in an organic aerosol generation bench. The results of the tests highlight some factors reducing the collection efficiency of the particle phase, such as an important deposit inside the device. Acting on these factors would make it possible to design a more efficient device.

MOTS-CLES : Aérosols semi-volatils, SADS, Efficacité de séparation / **KEYWORDS**: Semivolatile aerosol, SADS, Separation efficiency.

1. INTRODUCTION

Une recherche dans les données publiques de l'INSEE démontre que près de 700000 salariés sont exposés aux aérosols organiques semi-volatils (COSV) dans le cadre de leur travail. La norme NF EN 13936 définit un composé organique semi-volatile (COSV) selon sa pression de vapeur saturante (P_{vs}), comprise entre 0,001 et 100 Pa. Ces pressions de vapeurs saturantes faibles se traduisent par une présence simultanée d'une phase condensée (liquide ou solide) et d'une phase gazeuse dans les conditions ambiantes de pression et température. Des études ont relevé que les phases particulaire et gazeuse avaient des effets différents sur la santé, car elles sont collectées selon des mécanismes et des endroits différents dans les voies respiratoires (Volckens, 2003). L'évaluation de l'exposition des salariés aux COSV sur les lieux de travail nécessite donc de prélever et collecter séparément les phases particulaires et vapeurs afin évaluer au mieux les risques pour leur santé.

Les techniques de prélèvement de COSV existantes basées essentiellement sur des médias fibreux associés à des adsorbants en série (cassette 37 mm + tube de charbon actif par exemple) sont sujettes à des biais liés à l'évaporation de la phase particulaire au cours du prélèvement (B. Sutter, 2009). L'évaporation des particules résulte en une estimation erronée de l'exposition des salariés, traduite par une sous-estimation de la phase particulaire et surestimation de la phase vapeur.

Une solution alternative de dispositif de prélèvement a été proposée par l'université de Minnesota (Kim & Raynor, 2009) à partir du principe de l'impacteur virtuel : Semi-Volatile Aerosol Dichotomous Sampler (SADS). Les performances du SADS ont été étudiées numériquement et expérimentalement par les auteurs (Kim & Raynor, 2009, 2010, 2014). Cependant, les travaux publiés par Kim et al montrent qu'il existe un écart important entre les résultats de simulations numériques et les tests expérimentaux. Rekeb et al. (2020) ont retravaillé les simulations numériques 2D et 3D du SADS et sont arrivés à reproduire les tests expérimentaux de Kim & Raynor (2009). Néanmoins, les travaux expérimentaux réalisés par Kim & Raynor (2009) sont basés essentiellement sur la génération de particules solides de billes en latex de diamètre allant de 50 nm à 1 µm. Or des particules liquides ont une faculté de dépôt différente dans le dispositif par rapport aux particules solides ce qui peut engendrer des performances de séparation différentes du SADS : coalescence des gouttes sous forme de film aux parois, non-réentrainement des gouttes déposées, etc. De plus, les mesures granulométriques d'air des lieux de travail montrent que les particules ont très souvent un diamètre supérieur au micromètre ce qui peut engendrer des dépôts bien plus importants dans le dispositif que pour les particules inférieures à 1 µm. Il est donc nécessaire d'évaluer expérimentalement les performances de séparation du

SADS vis-à-vis d'un aérosol liquide micrométrique pour pouvoir valider dans ces conditions réalistes le modèle numérique développé par Rekeb et al. (2020).

L'objectif de cet article est de présenter les résultats des tests expérimentaux d'évaluation des performances du SADS vis-à-vis d'un aérosol liquide monodispersé micrométrique de DEHS. Par ailleurs, sur la base des travaux de simulation proposés par Rekeb et al. (2020), nous avons testé numériquement les performances du SADS en le confrontant à la même distribution granulométrique que les particules liquides générées dans les tests expérimentaux.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Dispositif de prélèvement SADS

Le principe de fonctionnement du SADS est schématisé en figure 1. L'aérosol semi-volatile, constitué d'un mélange de particules et de vapeurs, est aspiré à l'intérieur du dispositif à l'aide d'une pompe à un débit de 2,1 L/min. Le mélange traverse une buse d'accélération et est projeté en direction d'une buse de collecte qui lui est opposée. L'inertie acquise par les particules permet à celles-ci de poursuivre leur trajectoire vers la buse de collecte alors qu'un prélèvement de la phase gazeuse, perpendiculairement aux axes des buses, est effectué. Ainsi, le prélèvement des particules et vapeurs issues de la buse de collecte permet de déterminer les concentrations en particules et vapeur cumulées, et le prélèvement perpendiculaire à l'axe des buses permet de déterminer la concentration en vapeur uniquement. Néanmoins, les particules $< 0,1 \mu\text{m}$ et donc peu inertielles, peuvent aussi être dirigées vers le prélèvement de la phase vapeurs, diminuant l'efficacité de séparation des deux phases et biaisant ainsi les résultats (Rekeb et al. 2020).

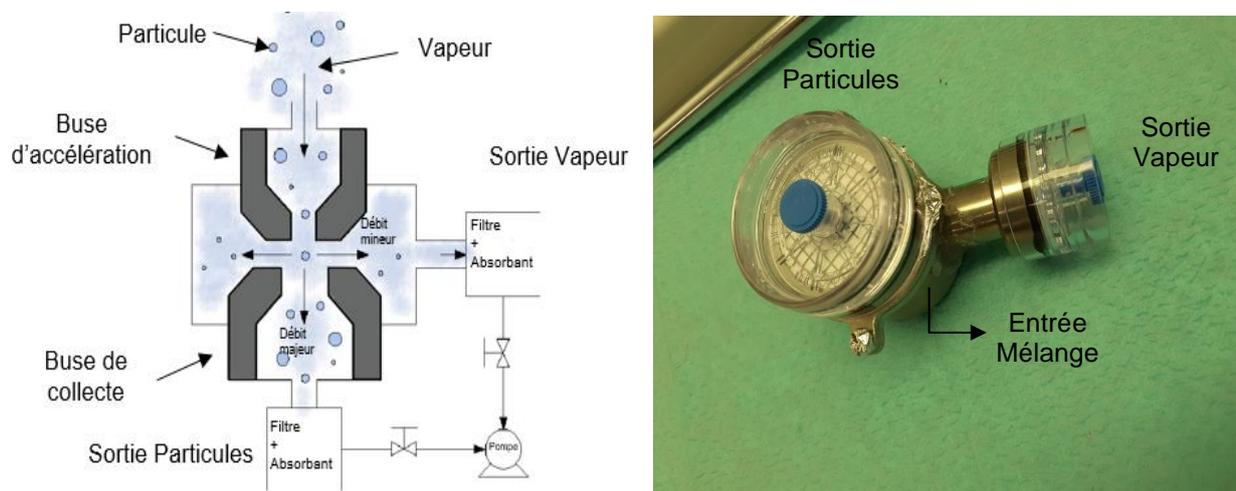


Figure 1. Semi-volatile Aerosol Dichotomous Sampler.

Suivant les dimensionnements proposés par Kim et al (2009), le STAMI, institut norvégien homologue de l'INRS, a fait fabriquer 4 exemplaires de SADS en titane dans une industrie de précision. Le STAMI a mis à la disposition de l'INRS ces SADS qui ont été utilisés pour ces tests.

2.2. Banc de génération d'aérosols organique (BAO)

La figure 2 présente un schéma descriptif du BAO dans lequel sont réalisés les tests de performance du SADS. Le BAO se compose principalement d'un tunnel aéraulique de 30 cm de diamètre dont l'air est régulé en vitesse de 5 à 30 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ et en humidité de 0 à 80 %HR. Un aérosol de DEHS est produit à l'aide du générateur d'aérosols mono dispersés par condensation CMAG 3475 (TSI) puis introduit en tête de tunnel et homogénéisé par une série de diaphragme et de grilles avant son passage dans la section d'exposition.

La section d'exposition permet de positionner jusqu'à dix dispositifs de prélèvement simultanément. L'aérosol présent dans cette section est prélevé par une sonde isocinétique puis dirigé vers un APS modèle 3321 (TSI) et un Nanoscan modèle 3910 (TSI) pour caractériser sa granulométrie.

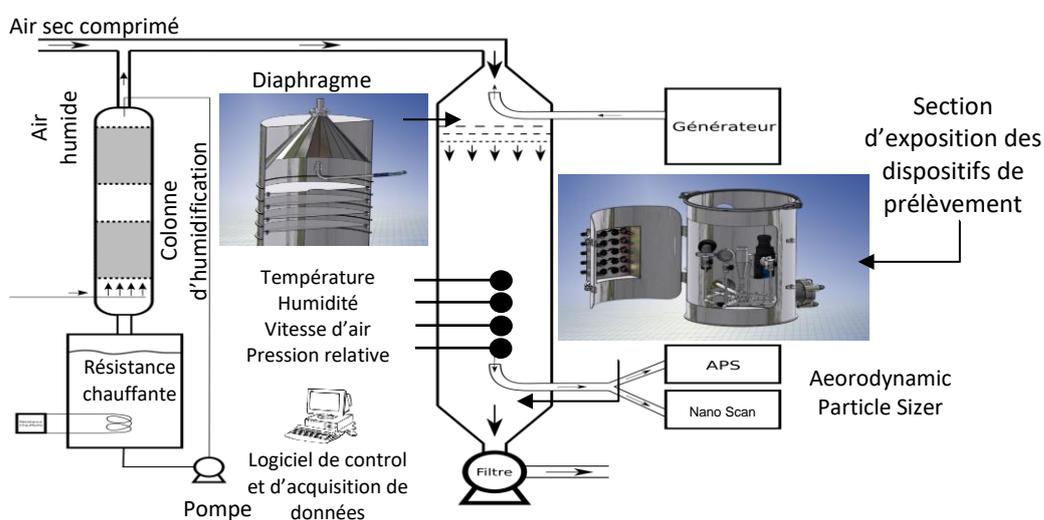


Figure 2. Banc de génération d'aérosol organique (BAO)

2.3. Génération de l'aérosol de DEHS fluorescent

Pour évaluer les performances du SADS, un aérosol liquide et monodispersé de DEHS (di-éthyl-hexyl-sebacate) est généré par le générateur CMAG 3475 (TSI) selon le principe de Sinclair-La Mer qui est une condensation hétérogène de vapeur de DEHS sur des noyaux salins de condensation.

Pour accroître la sensibilité des analyses et observer de très faibles quantités de dépôt de particules dans le SADS et dans la voie vapeur, les noyaux de condensation de NaCl ont été remplacés par des noyaux de condensation de fluorescéine. Après prélèvement, la fluorescéine est extraite des filtres collecteurs et des parois du SADS, puis analysée par un fluorimètre (ESElog Fluorescence Detector features, QIAGEN).

2.1. Granulométrie de l'aérosol généré

La granulométrie de l'aérosol de DEHS généré est déterminée par un APS modèle 3321 (TSI) pour la fraction micrométrique d'intérêt de l'aérosol et un Nanoscan modèle 3910 (TSI) pour la fraction nanométrique. A noter que la fraction nanométrique mesurée en diamètre de mobilité permet uniquement le contrôle de la qualité de la génération de l'aérosol de DEHS.

Les distributions granulométriques de l'aérosol sont mesurées en temps réel par l'APS et le Nanoscan pour une durée de génération de 90 min. L'aérosol est considéré comme mono dispersé avec un diamètre aérodynamique médian de 3,1 μm et un écart-type géométrique de 1,12. La fraction nanométrique de l'aérosol est systématiquement négligeable.

En outre, ces distributions granulométriques mesurées par l'APS et le Nano Scan ont été utilisées pour déterminer les performances théoriques du SADS par simulation numérique.

3. RESULTATS

Les essais expérimentaux menés sur plusieurs journées et plusieurs SADS ont montré la présence d'une quantité très importante de dépôt de DEHS à l'intérieur des dispositifs (figure 3). Ces dépôts importants de particules liquides sont observés à plusieurs endroits différents du SADS, principalement au niveau de la buse de collecte (figure 3a), la buse d'accélération (figure 3b) et aussi la chambre vapeur (figure 3c).

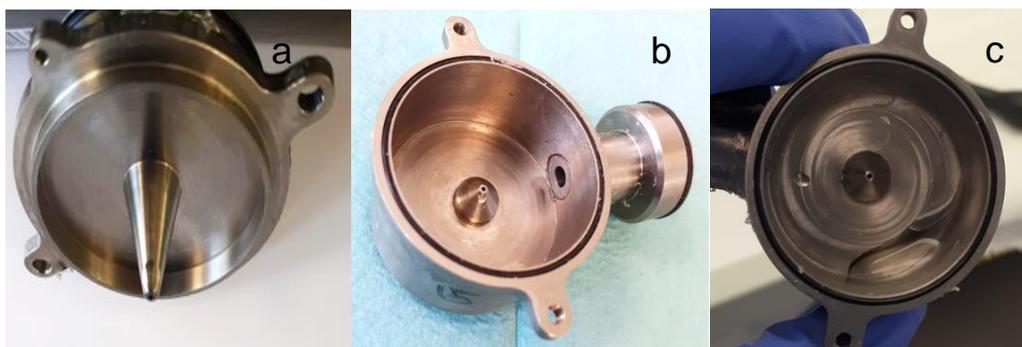


Figure 3 : Buse de collecte (a), Buse d'accélération (b), Chambre vapeur (c)

L'analyse de la fluorescéine collectée sur les filtres de la sortie particules et la sortie vapeur ainsi que dans les dépôts observés dans le SADS montre que les particules de DEHS contenant les noyaux de fluorescéine ont été majoritairement collectées sur le filtre de la sortie particulaire avec une proportion de l'ordre de 70 % par rapport à la quantité totale analysée (Figure 4). Cette proportion est bien en deçà de celle obtenue par les simulations numériques qui devrait se situer à hauteur de 97 %.

De très faibles quantités de fluorescéine < 2% ont été mesurées sur les filtres de la sortie vapeur. Ces résultats expérimentaux sont confirmés par les simulations numériques. Cela permet de valider la très bonne capacité de séparation des particules micrométriques par ce dispositif.

En revanche, des quantités de fluorescéine très importantes > 20 % sont déposées sur les parois, alors que les dépôts aux parois obtenus par simulation numérique sont estimés à moins de 1%. Cela met en évidence une différence majeure entre le SADS simulé et les SADS fabriqués qui est à l'origine d'un dépôt très important de l'aérosol dans les dispositifs réels.

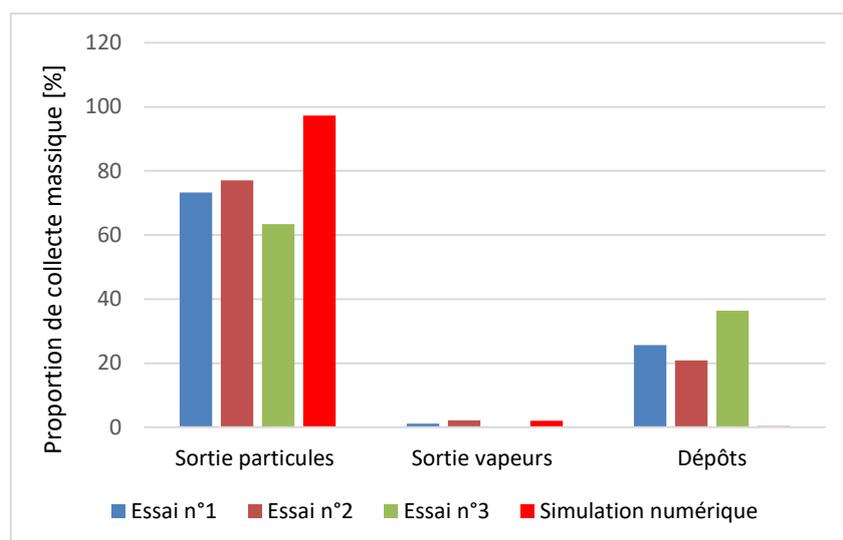


Figure 4. Partition de l'aérosol collecté par un même SADS lors de trois essais.

Par ailleurs, les variations observées entre les essais démontrent que le montage et le démontage des SADS engendrent des modifications dans la position des buses (écartement, alignement,) rendant très délicate son utilisation dans des conditions de répétabilité et reproductibilité.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Alors que les simulations numériques du dispositif de prélèvement personnel développé par Kim et al (2009) établissent d'excellentes performances de séparation de la fraction particulaire d'un aérosol solide de DEHS de 3,1 μm , les résultats expérimentaux démontrent des dépôts très importants > 20 % dans les dispositifs SADS testés, réduisant grandement leur efficacité.

À partir de ces conclusions, des travaux d'optimisations sont en cours et ont pour but de minimiser les dépôts des particules en changeant totalement la conception du SADS.

5. REMERCIEMENTS

L'INRS remercie chaleureusement le STAMI d'avoir mis à disposition ses SADS pour permettre la réalisation de cette étude.

6. REFERENCES

- Kim, S. W., & Raynor, P. C. (2009). A New Semivolatile Aerosol Dichotomous Sampler. *Annals of Occupational Hygiene*, 53(3), 239–248. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep008>
- Volckens, J. (2003). Partitioning Theory for Respiratory Deposition of Semivolatile Aerosols. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(2), 157–164. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg015>
- B. Sutter, « Etude de l'évaporation d'aérosols liquides semi-volatils collectés sur médias fibreux », INPL, 2009.
- Kim, S. W., & Raynor, P. C. (2009). A New Semivolatile Aerosol Dichotomous Sampler. *Annals of Occupational Hygiene*, 53(3), 239–248. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep008>
- Rekeb, N., Sutter, B., Belut, E., and Géhin, E. (2020) Proc. CFA 2020 Congrès Français