

# **DEVELOPEMENT ET CALIBRATION DU mini-E-RATEs (Emission Rates Analysis Through Experiments) : UN BANC EXPERIMENTAL POUR LA MESURE DU TAUX D'ÉMISSION DE BIOAEROSOLS DE SOURCES VARIABLES**

L. Ait Ali Yahia<sup>\*1</sup>, H. Jeux<sup>1</sup> et E. Géhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CERTES, Université Paris-Est, 61 Avenue du Général de Gaulle, 94000 Créteil France

\*Courriel de l'orateur : lyes.ait-ali-yahia@u-pec.fr

## **TITLE**

**Development and calibration of the mini-E-RATEs (Emission Rates Analysis Through Experiments): an experimental bench for variable sources bio-aerosols emission rate measurement.**

**MOTS-CLÉS:** Bioaérosols, taux d'émission, aérocontaminants/ **KEYWORDS:** Bioaerosols, emission rate, aero-contaminants.

## **Résumé**

Dans cette étude nous avons développé et calibré le mini-E-RATEs, un banc expérimental permettant la mesure du taux d'émission de bioaérosols de sources variables. La mesure du taux d'émission se fait par analyse des cinétiques de concentration en particules dans une enceinte propre à atmosphère contrôlée. Le mini-E-RATEs a été calibré en évaluant le taux d'émission d'un générateur de billes de polystyrène latex (PSL) monodisperses (atomiseur TSI). Deux tailles de particules (1,05  $\mu\text{m}$  et 1,53  $\mu\text{m}$ ) ont été générées et injectées dans une sphère creuse en verre propre à atmosphère contrôlée. La concentration en particules dans la sphère a été évaluée en utilisant un TSI/APS (Aerosol Particle sizer). Le taux d'émission a été évalué à partir de ces mesures de concentration en suivant la méthode développée par Géhin et al., (2008). Un bon accord a été trouvé entre le taux d'émission évalué à partir des mesures du mini-E-RATEs et le taux d'émission évalué en sortie du générateur, ceci pour plusieurs débits d'aérations de la sphère. Une fois calibré, le mini-E-RATEs est maintenant testé avec des faibles concentrations en particules générées en continu et en discontinu afin de tester les limites de la méthode d'évaluation du taux d'émission.

## **Abstract**

In this study we developed and calibrated the mini-E-RATEs, an experimental bench designed for the measurements of variable sources bioaerosols emission rates. The emission rate measurement is obtained by analysis of the particles concentration kinetics in a clean room with a controlled atmosphere. The mini-E-RATEs was calibrated by evaluating the emission rate of a monodispersed particle generator (the atomiser TSI). A polystyrene latex (PSL) aerosol with two particle sizes (1,05  $\mu\text{m}$  and 1,53  $\mu\text{m}$ ) was generated and injected in a clean hollow glass sphere with a controlled atmosphere. The particles concentration in the sphere was measured with an Aerosol Particle sizer (TSI/APS). This particle concentration was used to evaluate the emission rate following the methodology developed by Géhin et al., (2008). The emission rate evaluated following this methodology was found to be in good agreement with the one evaluated at the outlet of the generator independently of the airflow injected in the sphere. Once calibrated, the mini-E-RATEs is tested with low particles concentrations (generated in continuous and discontinuous) to test the limits of the emission rate evaluation method.

## **Introduction**

Les bioaérosols (bactéries, champignons, pollens, virus...) sont des particules en suspension dans l'air d'origine biologique. Ces particules sont connues pour être l'une des principales voies de transmission des maladies infectieuses en milieu intérieur (hôpitaux, bureaux, gymnases, etc.) où les personnes passent la majorité de leur temps (Sharma et al., 2020). Afin de comprendre la transmission des bioaérosols dans les environnements intérieurs il est nécessaire de caractériser trois aspects du système aérosol : la source, le moyen de transport et le niveau d'exposition. La présence humaine dans les environnements intérieurs est considérée comme l'une des principales sources d'émissions de bioaérosols. En effet, l'humain génère des bioaérosols secs (Adams et al., 2015; Colbeck & Whitby, 2019) (particules solides) et liquides (gouttelettes). Ces derniers sont générés lorsque les humains respirent, parlent, éternuent ou toussent (Bourouiba et al., 2014; Scharfman et al., 2016). Ces gouttelettes, également appelées exhalaisons humaines, sont l'une des principales voies de transmission des maladies infectieuses (virus sous forme aéroportée) en milieu intérieur. Il est donc très important de caractériser physiquement les sources d'émission des bioaérosols pour mieux prédire leur transmission en milieu intérieur.

Un nombre important d'études portant sur l'émission de bioaérosols exhalés peut être trouvé dans la littérature. Mahjoub et al., (2021) ont récemment publié une étude bibliographique sur des études expérimentales pour la caractérisation des gouttelettes issues des exhalaisons humaines. Dans leur étude, Mahjoub et al., (2021) ont mis en évidence l'importance de la distribution granulométrique des gouttelettes initiales dans la caractérisation du transport des aérosols. Cette distribution est considérée comme un paramètre important dans l'évaluation du taux d'émission d'aérosols. Certaines études récentes se sont concentrées sur la mesure du taux d'émission de bioaérosols provenant de la respiration, de la toux, des éternuements, de la parole, du jeu d'instruments à vent et du chant. Asadi et al., (2019, 2020) ont étudié l'impact de l'intensité de la voix (Asadi et al., 2019) ainsi que la manière de s'exprimer et d'articuler (Asadi et al., 2020) sur le taux d'émission d'aérosol de personnes qui parlent. Les résultats obtenus dans ces études ont montré que le taux d'émission de particules augmente avec l'intensité de la voix. He et al., (2021) ont développé un dispositif expérimental similaire à celui utilisé par Asadi et al., 2019, (2020) pour mesurer la génération de bioaérosols à partir de différents instruments de musique à vent. Alsvéd et al., (2020) ont mesuré le taux d'émission d'aérosols pendant le chant et la conversation de personnes installées dans une chambre expérimentale hermétique. Les résultats ont montré qu'une personne qui chante à voix haute génère plus de particules aéroportées qu'une personne qui chante ou qui parle à voix basse. Dans ces études (Alsvéd et al., 2020; Asadi et al., 2019, 2020; He et al., 2021), un entonnoir adapté au visage d'une personne ou à la sortie d'instruments à vent et connecté à un APS (Aerosol Particle sizer) a été utilisé pour collecter et mesurer la distribution de la taille des gouttelettes émises. L'utilisation d'un entonnoir permet une mesure de la distribution granulométrique des résidus secs des gouttelettes émises directement à la source. Cependant, l'entonnoir ne peut pas être utilisé dans des études expérimentales liées à d'autres activités telles que manger, pratiquer du sport ou danser.

L'objectif principal de notre étude est de développer un banc expérimental Bio-E-RATEs (Bio Aerosol Emission Rates Analysis Through Experiments) permettant la mesure du taux d'émission de particules de sources variables. Ce banc sera composé d'une chambre expérimentale (à atmosphère contrôlée) où le taux d'émission de contaminants générés par exhalaisons d'une personne sera évalué. Plusieurs activités réelles (chanter, manger, faire du sport...) seront étudiées avec et sans utilisation d'un entonnoir similaire à celui utilisé dans certaines études décrites précédemment (Alsvéd et al., 2020; Asadi et al., 2019, 2020; He et al., 2021). L'évaluation du taux d'émission dans le Bio-E-RATEs se fera en suivant la méthode développée par Géhin et al., (2008). Cette méthode permet d'obtenir les taux d'émissions moyens par analyse des cinétiques de concentration en particules (voir courbe figure 1 (b)) dans une enceinte propre à atmosphère contrôlée. La partie décroissante de la courbe est utilisée pour déterminer le taux d'épuration qui prend en compte le débit de ventilation et les dépôts sur la paroi interne de l'enceinte. La partie croissante de la courbe est utilisée pour calculer le taux d'émission moyen durant la génération. Cette méthode a été utilisée pour des mesures de taux d'émissions de particules fines et ultrafines provenant d'activités humaines en environnement intérieur (Géhin et al., 2008) (cuisson, utilisation de spray, nettoyage ménager...) et semble être applicable même si l'activité étudiée génère des aérosols de manière variable ou discontinue ce qui pourrait être le cas lors des mesures sur les exhalaisons humaines.

Dans cette étude, nous avons développé le mini-E-RATEs un banc expérimental permettant de vérifier la validité de la méthode décrite précédemment pour les exhalaisons humaines. Dans ce banc la chambre de mesure est remplacée par une sphère creuse en verre ( $8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  de volume) dans laquelle l'analyse des cinétiques de concentration en particules générées sera réalisée. Avant de pouvoir utiliser le mini-E-RATEs avec des exhalaisons humaines, il a été nécessaire de le calibrer en mesurant le taux d'émission d'un aérosol monodisperse généré avec un atomiseur TSI 3076. Les détails de la calibration sont présentés dans ce qui suit :

### **Calibration du mini-E-RATEs :**

Un aérosol de bille de latex mono disperse a été généré avec un atomiseur TSI 3076 à partir d'une solution de polystyrène latex (PSL) diluée dans de l'eau ultra pure (deux diamètres ont été générés :  $1,07 \mu\text{m}$  et  $1,53 \mu\text{m}$ ). Dans un premier temps, un TSI/APS (Aerosol Particle sizer) a été utilisé pour mesurer la concentration en particules en sortie du générateur (ligne grise dans la figure 1- (a)). Ces mesures de concentration ont été utilisées afin d'évaluer le taux d'émission de l'atomiseur TSI pour les deux tailles de particules étudiées. Par la suite, l'aérosol généré a été injecté dans la sphère creuse où l'analyse des cinétiques de concentration en particules est réalisée avec l'APS (ligne rouge dans la figure 1- (a)). Une pompe a été utilisée pour injecter différents débits d'air filtré dans la sphère afin de tester plusieurs débits d'aérations et leurs impacts sur la mesure de la concentration et du taux

d'émission. En début d'expérience, un blanc est réalisé pendant environ 40 secondes puis le générateur est mis en route. La concentration en particules augmente dans la sphère jusqu'à atteindre un maximum (figure 1 (b)). Le générateur est par la suite arrêté et la concentration dans la sphère diminue suivant une loi exponentielle (voir figure 1 (b)). La partie décroissante de la courbe est utilisée pour déterminer le taux d'épuration (en  $h^{-1}$ ) qui prend en compte le débit de ventilation et les dépôts sur la paroi interne de la sphère. La partie croissante de la courbe est utilisée pour calculer le taux d'émission moyen durant la génération. L'avantage de cette technique est qu'elle reste applicable même si l'activité génère des aérosols de manière variable ou discontinue ce qui pourrait être le cas lors des mesures sur les exhalaisons humaines.

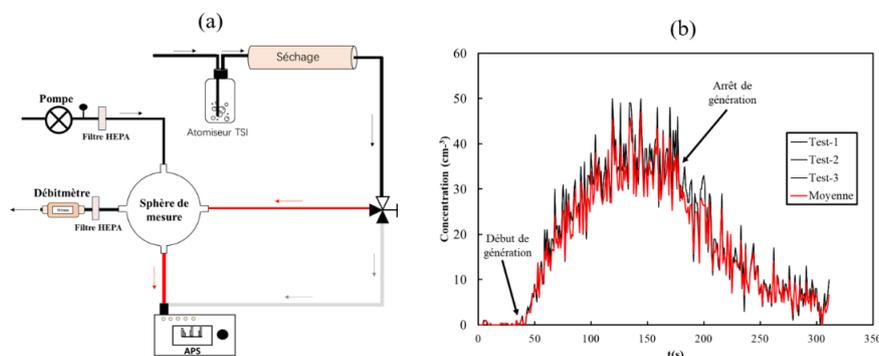


Figure 1 : (a) Schéma descriptif du mini-E-RATEs. (b) Exemple de l'évolution de la concentration en particules de  $1,53 \mu\text{m}$  de diamètre en fonction du temps, avec  $Q/V=2,5 h^{-1}$ .

Deux tailles de particules ont été générées ( $1,07 \mu\text{m}$  et  $1,53 \mu\text{m}$ ) et trois facteurs d'aérations  $Q/V$  ont été testés. Le graphique présenté dans la figure-1 (b) représente un exemple de l'évolution de la concentration en particules ( $1,53 \mu\text{m}$  de diamètre) dans la sphère avec un facteur  $Q/V$  de l'ordre de  $2,5 h^{-1}$ . Nous avons par la suite évalué les taux d'émissions pour des facteurs d'aérations variant de  $2,5 h^{-1}$  à  $9 h^{-1}$ . Les résultats que nous avons obtenus montrent que même si la concentration dans la sphère diminue avec l'augmentation du débit d'aération (figure-2 (a)), le taux d'émission évalué dans le mini-E-RATEs ne varie pas. Nous avons aussi trouvé un bon accord entre les taux d'émission évalués en utilisant la méthode développée par Géhin et al., (2008) et le taux d'émission de l'atomiseur TSI.

Nous avons par la suite modifié la concentration de la solution PSL ( $d_p=1,53 \mu\text{m}$ ) pour réduire le taux d'émission de l'atomiseur à une valeur de l'ordre de 320 Particules. $s^{-1}$ . Cette valeur est proche de celle du taux d'émission d'une personne qui parle (Alsved et al., 2020). La concentration en particule a été mesurée dans la sphère pour un facteur  $Q/V=2,5 h^{-1}$  et la même cinétique de concentration que celle observée sur la figure-1 (b) a été obtenue. Un taux d'émission similaire à celui évalué en sortie du générateur (320 Particules. $s^{-1}$ ) a été obtenu.

### Conclusion et perspectives :

Dans cette étude nous avons développé et calibré le mini-E-RATEs, un banc expérimental permettant la mesure du taux d'émission d'aérosols de sources variables. Dans ce banc, la mesure du taux d'émission se fait en suivant la méthode développée par Géhin et al., (2008). Cette méthode permet d'obtenir les taux d'émissions moyens par analyse des cinétiques de concentration en particules dans une enceinte propre à atmosphère contrôlée. Dans le mini-E-RATEs, l'enceinte est représentée par une sphère creuse en verre dans laquelle l'analyse des cinétiques de concentration en particules générées est effectuée à l'aide d'un APS (Aerosol Particle Sizer). La calibration du mini-E-RATEs a été réalisée en évaluant le taux d'émission d'un générateur de particules de billes de latex monodisperses (Atomiseur TSI). Ces particules ont été injectées dans la sphère en verre qui est alimentée avec différents débits d'aérations. À partir des cinétiques de concentrations dans la sphère, le taux d'émission a été évalué en suivant la méthode développée par Géhin et al., (2008). Un bon accord a été trouvé entre le taux d'émission du générateur et celui évalué à partir des mesures dans la sphère, ceci indépendamment du débit d'aération.

Le mini-E-RATEs sera par la suite testé avec de faibles concentrations en particules générées en continues et en discontinues afin de se rapprocher des mesures de cas réels tels que les exhalaisons humaines générées dans une grande enceinte à atmosphère contrôlée. Ces mesures permettront de tester les limites de la méthode d'évaluation du taux d'émission dans le E-RATEs. Elles permettront

aussi de réaliser le dimensionnement final du futur Bio-E-RATEs qui sera composé d'une grande enceinte à atmosphère contrôlée permettant d'accueillir une personne à l'intérieur.

#### Références :

- Adams, R. I., Bhangar, S., Pasut, W., Arens, E. A., Taylor, J. W., Lindow, S. E., Nazaroff, W. W., & Bruns, T. D. (2015). Chamber Bioaerosol Study: Outdoor Air and Human Occupants as Sources of Indoor Airborne Microbes. *PLOS ONE*, *10*(5), e0128022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128022>
- Alsved, M., Matamis, A., Bohlin, R., Richter, M., Bengtsson, P.-E., Fraenkel, C.-J., Medstrand, P., & Löndahl, J. (2020). Exhaled respiratory particles during singing and talking. *Aerosol Science and Technology*, *54*(11), 1245–1248. <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1812502>
- Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M., & Ristenpart, W. D. (2019). Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific Reports*, *9*(1), 2348. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
- Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M., & Ristenpart, W. D. (2020). Effect of voicing and articulation manner on aerosol particle emission during human speech. *PLOS ONE*, *15*(1), e0227699. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227699>
- Bourouiba, L., Dehandschoewercker, E., & Bush, J. W. M. (2014). Violent expiratory events: On coughing and sneezing. *Journal of Fluid Mechanics*, *745*, 537–563. <https://doi.org/10.1017/jfm.2014.88>
- Colbeck, I., & Whitby, C. (2019). Biological Particles in the Indoor Environment. In *Indoor Air Pollution* (pp. 127–157). <https://doi.org/10.1039/9781788016179-00127>
- Géhin, E., Ramalho, O., & Kirchner, S. (2008). Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmospheric Environment*, *42*(35), 8341–8352. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.021>
- He, R., Gao, L., Trifonov, M., & Hong, J. (2021). Aerosol generation from different wind instruments. *Journal of Aerosol Science*, *151*, 105669. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105669>
- Mahjoub Mohammed Merghani, K., Sagot, B., Gehin, E., Da, G., & Motzkus, C. (2021). A review on the applied techniques of exhaled airflow and droplets characterization. *Indoor Air*, *31*(1), 7–25. <https://doi.org/10.1111/ina.12770>
- Scharfman, B. E., Techet, A. H., Bush, J. W. M., & Bourouiba, L. (2016). Visualization of sneeze ejecta: Steps of fluid fragmentation leading to respiratory droplets. *Experiments in Fluids*, *57*(2), 24. <https://doi.org/10.1007/s00348-015-2078-4>
- Sharma, P. K., Mondal, A., Jaiswal, S., Saha, M., Nandi, S., De, T., & Saha, S. (2020). IndoAirSense: A framework for indoor air quality estimation and forecasting. *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.07.027>