

LEVITATION ACOUSTIQUE POUR L'ETUDE DE LA PERSISTANCE DES BIOAEROSOLS RESPIRATOIRES

J. Leduc^{*1,2}, J.M. Vyskocil^{1,2}, G. De Jesus Ferreira¹, T-L. Ha¹, E. Robine¹, L. Ait Ali Yahia² et E. Géhin²

¹Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 77420 Champs-sur-Marne, France

²Univ Paris Est Creteil, CERTES, F-94010 Creteil, France

*Courriel de l'orateur : julian.leduc@cstb.fr

TITLE

Acoustic levitation for the study of respiratory bioaerosols persistence

RESUME

Ce travail porte sur le développement d'un nouveau banc d'aérobiocontamination pour l'étude des bioaérosols supermicroniques produits lors d'une émission respiratoire. Le banc, placé dans un environnement confiné (BSL2+), permet la production et la mise en lévitation acoustique de particules liquides (supérieures à 20 µm de diamètre) dans des ambiances abiotiques contrôlées et modulables en termes d'hygrométrie, de température et de chimie de l'air. Par l'intégration de moyens d'observation on-line et de collecte associée à de l'analyse différée, le dispositif permet d'adresser la caractérisation de ces aérosols selon des critères qui vont de l'observation de son état d'hydratation, de sa forme et taille, jusqu'à la détermination de sa composition, notamment sa charge biologique. La mise au point du banc ainsi que sa caractérisation sur le volet physique sont présentées.

ABSTRACT

This work focuses on the development of a new aerobiocontamination bench for the study of supermicronic bioaerosols produced by respiratory emissions. The experimental bench, located in a confined facility (BSL2+), allows for the production and trapping in acoustic levitation of liquid particles (above 20 µm in diameter) in controlled abiotic environments in terms of humidity, temperature and air chemistry. With the integration of on-line observation and collection means, associated to a deferred analysis, the system allows for the characterisation of these bioaerosols with criteria such as their hydration state, their shape, their size and the determination of their composition, including their biological load. The development of the bench and its physical characterisation are presented.

MOTS-CLÉS : Aérosols respiratoires, Lévitation, Banc expérimental, Environnement contrôlé / **KEYWORDS**: Respiratory aerosols, Levitation, Experimental bench, Controlled environment

1. CONTEXTE

Les infections respiratoires aiguës sont les maladies les plus fréquentes chez l'humain. Parmi celles-ci, les infections d'origine virale sont majoritaires et ont des impacts sanitaires et économiques majeurs (Bolek et al., 2023; Denny, 1995; Jin et al., 2021). Concernant l'infection par le SARS-CoV-2, l'Organisation Mondiale de la Santé classe les modes de transmission suivant la distance entre l'individu contaminé et l'individu sain. A courte distance, la transmission a lieu par le biais de gouttes ou d'aérosols produits par l'individu infecté et inhalés par l'individu sain. A plus longue distance, dans les espaces faiblement ventilés, les transmissions ont lieu par le biais d'aérosols plus âgés (*Maladie à coronavirus 2019 (COVID-19) : comment se transmet la COVID-19?*, 2021). Malgré l'identification de ces modes, les mécanismes de transmission des virus respiratoires, en lien notamment avec leur persistance sous forme d'aérosols, restent méconnus (Morawska et al., 2023).

Les aérosols excrétés par les voies respiratoires sont le résultat de différents procédés de fragmentation de mucus et de salive provoqués par la respiration, la parole ou la toux d'un individu. Dans le cas où cet individu serait infecté par un pathogène respiratoire, ces aérosols, variant en taille et en nombre, peuvent contenir des particules potentiellement infectieuses (Morawska et al., 2022). La survie des agents biologiques en aérosols a fait l'objet d'une multitude de travaux en laboratoire, se concentrant sur l'étude de la fraction micronique à l'aide de dispositifs comme des tambours rotatifs ou des chambres de sédimentation (Santarpia et al., 2020). Or, les données de la littérature montrent que les événements expiratoires produisent un continuum de particules allant de 0,1 à 1 000 µm (Mahjoub Mohammed Merghani et al., 2021), suggérant que des aérosols au-delà de la fraction micronique sont aussi susceptibles de transporter des agents infectieux.

L'objet de ce travail expérimental est de proposer un nouveau banc d'aérobiocontamination basé sur la lévitation acoustique pour l'étude de la persistance des agents biologiques dans les aérosols respiratoires supermicroniques. Cette technologie consiste en la production d'une pression de radiation acoustique permettant de contrer le poids d'un objet solide ou liquide et de le suspendre dans l'air. Elle a notamment été utilisée pour étudier les dynamiques d'évaporation de gouttes de salive (Andrade et al., 2018; Lieber et al., 2021), les caractéristiques hygroscopiques de grains de pollen (Mills et al., 2023) ou la diffusion d'eau dans

des aérosols d'acides gras en lévitation (Milsom et al., 2023). L'application de la lévitation acoustique à l'étude des bioaérosols n'a pas encore été reportée dans la littérature.

2. PRESENTATION DU BANC D'AEROBIOCONTAMINATION

Le banc d'étude se compose de différents blocs organisés autour d'un dispositif commercial de lévitation acoustique (100kHz, Tec5) qui permet, selon les données fournisseur, le maintien en suspension d'échantillons de diamètres géométriques supérieurs à 20 μm . Les blocs associés au dispositif de lévitation consistent en une chaîne de production d'un aérosol biologique calibré en taille et en concentration, son maintien en suspension dans des conditions abiotiques contrôlées, son observation en temps réel et sa collecte en vue d'analyses de sa composition (figure 1). L'ensemble du banc est placé dans un isolateur afin de sécuriser la manipulation en aérosol de souches virales pathogènes dans le contexte de nos recherches sur les virus respiratoires.

Des adaptations sur le design de la chambre de lévitation ont été réalisées afin d'optimiser l'interfaçage des blocs et d'assurer par thermostatisation le contrôle de la température de l'air dans l'environnement d'étude. Les premières caractérisations montrent une régulation possible de la température de 22 à 31 $^{\circ}\text{C}$. La gestion de l'hygrométrie de l'air, dans une plage de 10 % à 100 % d'humidité relative, est réalisée en ajustant les débits d'un air humide, produit à l'aide d'un brumisateurs à ultrasons, et d'un air sec, reconstitué ou inerte (azote), en provenance de bouteilles de gaz. La température et l'humidité relative sont suivies par un thermo-hygromètre (mini-capteur HC2, Rotronic).

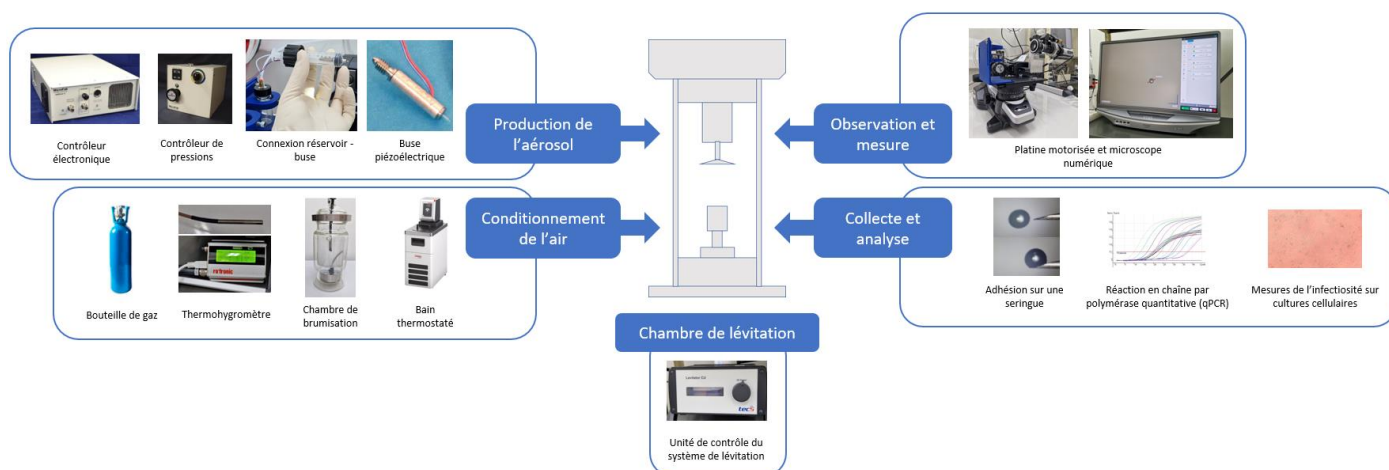


Figure 1. Les différents composants du système d'étude, placé dans un isolateur permettant la manipulation de souches virales pathogènes.

Concernant l'introduction d'un aérosol au sein de la chambre de lévitation, les publications indiquent essentiellement l'usage de seringues permettant l'injection de gouttes de quelques microlitres. Le dispositif utilisé dans notre cas est un générateur de gouttelettes à la demande, qui permet de travailler sur des volumes de l'ordre du picolitre, donc des tailles de gouttes plus petites en adéquation avec le domaine de tailles visé. La buse d'éjection des gouttelettes est pointée en direction du champ acoustique (PH-47 buse 80 μm , Microfab Technologies Inc.) favorisant le piège de la gouttelette au niveau d'un nœud du champ. Suivant le paramétrage du générateur et la nature de la suspension aérosolisée, nous avons pu observer l'injection reproductible de gouttelettes variant entre 30 et 60 μm . Des exemples de tailles de gouttelettes obtenues pour différents paramètres d'injection sont présentés en figure 2.

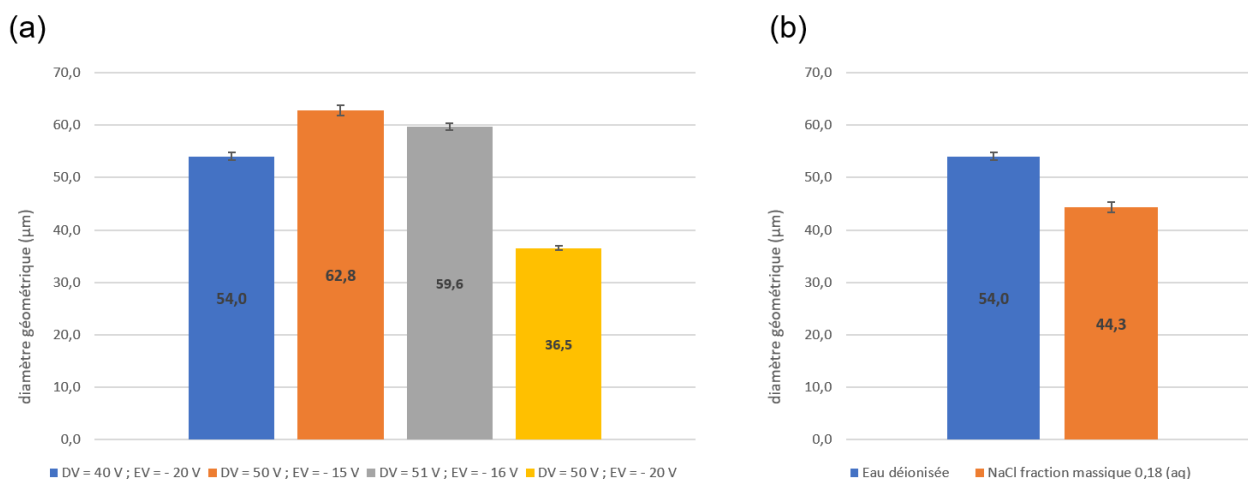


Figure 2. Les paramètres d'injection impactent les tailles de gouttelettes obtenues. (a) Le diamètre des gouttelettes d'eau déionisée produites varie suivant la tension appliquée à la buse piézoélectrique (DV : Dwell Voltage ; EV : Echo Voltage). (b) Le diamètre des gouttelettes produites varie suivant la composition de la solution utilisée (DV = 40 V ; EV = - 20 V). Les barres d'erreur correspondent aux écart-types sur cinq réplicas expérimentaux.

L'observation des gouttelettes en lévitation est réalisée à l'aide d'un microscope numérique à longue focale couplé à un système d'acquisition d'images et vidéos (Keyence VHX-7000) ainsi qu'un logiciel d'analyses morphologiques et dimensionnelles des objets visualisés. Des exemples de clichés obtenus sont présentés en figure 3 pour une gouttelette de solution aqueuse de NaCl (fraction massique 0,1) produite avec le générateur PH-47 dans le champ acoustique.

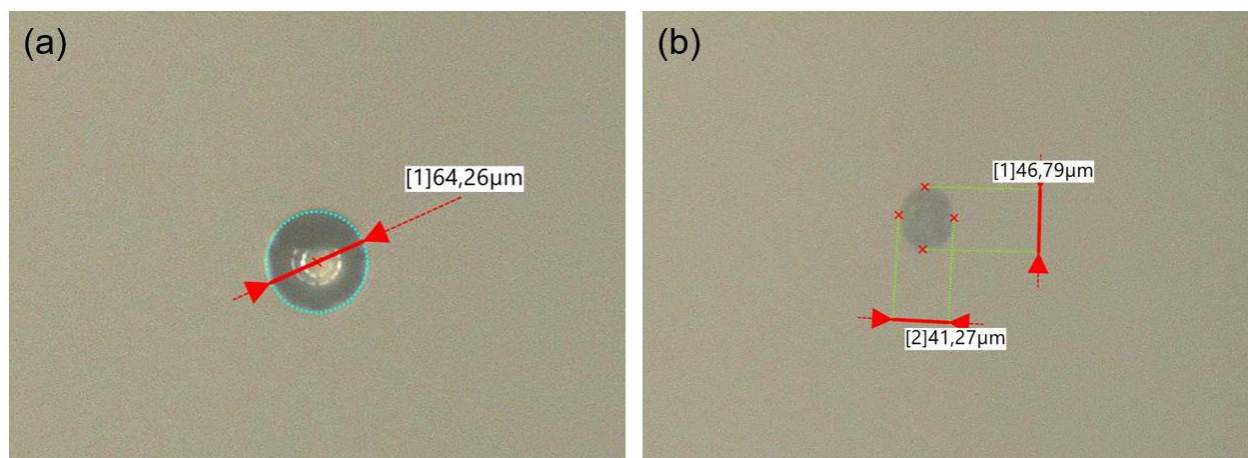


Figure 3. Gouttelette aqueuse de NaCl (fraction massique 0,1) en lévitation (22°C, 25% HR) lors de son arrivée dans le champ acoustique (a, diamètre géométrique: 64 µm) et après évaporation (b, dimensions: 47 µm x 41 µm) observée au microscope numérique (grossissement 50X250).

La collecte de l'aérosol est réalisée à l'aide d'une seringue, à l'issue d'une phase d'humidification préalable. Cette phase d'humidification permet de s'affranchir des effets potentiels liés à l'état d'hydratation de la particule (liquide, partiellement évaporé ou déshydraté) sur la collecte. Cette humidification entraîne également un grossissement de la particule qui facilite sa collecte et le contrôle visuel de celle-ci via l'écran d'observation associé au microscope.

Cette première validation du banc sera prochainement complétée sur le volet biologique par la mise en aérosol d'un virus respiratoire animal.

3. REFERENCES ET REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'unité virologie immunologie porcines du laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort de l'Anses pour leur appui technique.

- Andrade, M. A. B., Pérez, N., & Adamowski, J. C. (2018). Review of Progress in Acoustic Levitation. *Brazilian Journal of Physics*, 48(2), 190-213. <https://doi.org/10.1007/s13538-017-0552-6>
- Bolek, H., Ozisik, L., Caliskan, Z., & Tanriover, M. D. (2023). Clinical outcomes and economic burden of seasonal influenza and other respiratory virus infections in hospitalized adults. *Journal of Medical Virology*, 95(1). <https://doi.org/10.1002/jmv.28153>
- Denny, F. W. (1995). The Clinical Impact of Human Respiratory Virus Infections. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 152(4_pt_2), S4-S12. https://doi.org/10.1164/ajrccm/152.4_Pt_2.S4
- Jin, X., Ren, J., Li, R., Gao, Y., Zhang, H., Li, J., Zhang, J., Wang, X., & Wang, G. (2021). Global burden of upper respiratory infections in 204 countries and territories, from 1990 to 2019. *eClinicalMedicine*, 37, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.100986>
- Lieber, C., Melekidis, S., Koch, R., & Bauer, H.-J. (2021). Insights into the evaporation characteristics of saliva droplets and aerosols: Levitation experiments and numerical modeling. *Journal of Aerosol Science*, 154, 105760. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105760>
- 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>
- Maladie à coronavirus 2019 (COVID-19): Comment se transmet la COVID-19?* (2021, avril 30). who.int. <https://www.who.int/fr/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>
- Mills, S. A., Milsom, A., Pfrang, C., MacKenzie, A. R., & Pope, F. D. (2023). *Acoustic levitation of pollen and visualisation of hygroscopic behaviour* [Preprint]. Aerosols/Laboratory Measurement/Instruments and Platforms. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-670>
- Milsom, A., Squires, A. M., Brasnett, C., Sharratt, W. N., Seddon, A. M., & Pfrang, C. (2023). Acoustic levitation with polarising optical microscopy (AL-POM): Water uptake in a nanostructured atmospheric aerosol proxy. *Environmental Science: Atmospheres*, 10.1039/D3EA00083D. <https://doi.org/10.1039/D3EA00083D>
- Morawska, L., Bahnfleth, W., Bluyssen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., Dancer, S. J., Floto, A., Franchimon, F., Haworth, C., Hogeling, J., Isaxon, C., Jimenez, J. L., Kurnitski, J., Li, Y., Loomans, M., Marks, G., Marr, L. C., Mazzeo, L., Melikov, A. K., ... Wierzbicka, A. (2023). COVID-19 and Airborne Transmission : Science Rejected, Lives Lost. Can Society Do Better? *Clinical Infectious Diseases*, ciad068. <https://doi.org/10.1093/cid/ciad068>
- Morawska, L., Buonanno, G., Mikszewski, A., & Stabile, L. (2022). The physics of respiratory particle generation, fate in the air, and inhalation. *Nature Reviews Physics*, 4(11), 723-734. <https://doi.org/10.1038/s42254-022-00506-7>
- Santarpia, J. L., Ratnesar-Shumate, S., & Haddrell, A. (2020). Laboratory study of bioaerosols : Traditional test systems, modern approaches, and environmental control. *Aerosol Science and Technology*, 54(5), 585-600. <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1696452>