

CARACTERISATION D'AEROSOLS EMIS LORS DE PRATIQUES INSTRUMENTALES ET VOCALES FACE AU CONTEXTE COVID-19

V. Crenn^{*1}, G. Smith¹, D. Le Dur¹, M. Creton², M. Jousserand², T. Soubrié³, J. Néchab³ et R. Viala⁴

¹ADDAIR, 78530 Buc, France

²Buffet Crampon, 78711 Mantes La Ville, France

³Andheo, Centre ONERA, 92322 Châtillon, France

⁴ITEMM, 72000 Le Mans, France

*Courriel de l'orateur : v.crenn@addair.fr

TITLE

Characterization of aerosols emitted by wind instruments and vocal activities in the COVID-19 context.

RESUME

Depuis l'émergence de l'épidémie de Covid-19, la transmission du virus par voie aérosol est étudiée avec attention. Cette étude a consisté à caractériser la concentration totale et la distribution en taille d'aérosols (de quelques nanomètres à plusieurs microns) émis par un large spectre d'instruments à vents et de chanteurs en déployant des instruments de mesure sur le terrain. L'effet cumulatif d'un orchestre et d'un chœur a également été évalué en se plaçant à trois distances différentes de la source allant d'un champ très proche à lointain, représentatives du risque potentiel de contamination inter-musiciens et inter-chanteurs, du chef d'orchestre et du 1^{er} rang du public.

ABSTRACT

Since the emergence of the Covid-19 epidemic, the transmission of virus by aerosols has been studied with attention. This study consisted in characterizing the total concentration and size distribution of aerosols (from a few nanometers to several microns) emitted by a broad spectrum of wind instruments and singers by deploying instruments in the field. The cumulative effect of an orchestra and a chorus was also evaluated by measuring airborne particles at three different distances from the source, representative of the potential risk of contamination between musicians and singers but also of the conductor and the first row of the public, respectively.

MOTS-CLES : aérosols, COVID-19, instruments à vents, chanteurs / **KEYWORDS**: aerosols, COVID-19, wind instruments, singers

1. CONTEXTE ET ETAT DE L'ART

La connaissance du niveau de risque vis-à-vis de la covid-19 en pratique musicale est à ce jour partiellement connue car fortement dépendante du niveau de connaissance de la transmission du virus et de la charge virale minimale pour laquelle l'Homme contracte cette maladie. En effet, la possibilité d'une transmission du virus par la voie aérosols, au même titre que les émissions d'aérosols par la pratique musicale, était un phénomène très peu étudié en début d'épidémie et fait l'objet depuis peu d'une prise de conscience par les autorités sanitaires mondiales (OMS) et nationales.

A l'heure actuelle, très peu d'études documentent les émissions de particules lors du chant ou en sortie d'instruments et des interrogations subsistent sur la taille des particules d'autant plus que les méthodologies utilisées sont peu renseignées ou diffèrent significativement d'une étude à l'autre rendant la comparaison et l'interprétation des résultats délicates. Les travaux déjà réalisés permettent cependant de connaître un ordre de grandeur des tailles de particules en sortie d'instruments et de voix, celles-ci étant variables selon les instruments mais en majorité inférieures à 5 µm (Alsved *et al.*, 2020 ; He *et al.*, 2020 ; Parker et Crookson, 2020). La taille des particules émises est un paramètre déterminant de leur capacité de propagation/transfert au sein d'un environnement et conditionne également directement leur faculté à être inhalée par une personne présente.

De plus, l'impact de certains paramètres sur la quantité de particules émises est à ce jour peu documenté, comme par exemple le point par lequel sont émises en majorité les particules pendant le jeu ou encore les phénomènes de dépôts de celles-ci dans l'instrument, impactés notamment par la géométrie de l'instrument considéré. L'étude de He *et al.* (2020) a récemment montré que le dépôt de particules est corrélé à la longueur du tube et dépend du type d'embouchure (manière dont les particules sont propulsées dans le tube) ainsi que la nuance jouée (pression plus ou moins forte).

Parmi les autres paramètres à évaluer figurent la grande variabilité entre les individus (chanteurs ou musiciens) et leurs capacités à émettre plus ou moins de particules pour une même action (même chant ou partition, respectivement). Une étude sur la parole d'Asadi *et al.* (2019) a montré que certains individus émettent des quantités de particules jusqu'à 10 fois plus importantes que la moyenne des autres individus. On

parle alors de « super-émetteurs ». Le niveau sonore et les lettres prononcées lors du chant ou de la parole sont autant de paramètres ayant une influence sur les concentrations de particules émises (Asadi *et al.*, 2020).

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans ce contexte, il apparaît donc justifié de caractériser les aérosols émis par les instruments à vent et par le chant afin d'estimer la concentration totale des aérosols lors de la pratique musicale. L'étude s'est décomposée en trois phases complémentaires réalisées consécutivement (Tableau 1).

Tableau 1 : Objectifs des trois phases de l'étude.

Phase :	Objectif :
1	Caractérisation des niveaux de concentrations et de la distribution en taille d'aérosols en sortie d'instruments à vents ET voix chanteurs (à la source) dans un environnement confiné
2	Caractérisation des niveaux de concentrations et de la distribution en taille d'aérosols en champ très proche, proche et lointain lors de la pratique collective Orchestre dans un environnement confiné.
3	Caractérisation des niveaux de concentrations et de la distribution en taille d'aérosols en champs très proche, proche et lointain lors d'une pratique collective Chœur dans un environnement confiné.

3. DEROULE DE LA CAMPAGNE DE MESURE ET MATERIELS ET METHODES UTILISES

3.1. Campagne de mesure

La campagne de mesure s'est déroulée à la Philharmonie de Paris du 31 août au 9 septembre 2020. La salle retenue d'un volume d'environ 500m³ avec un taux de renouvellement d'air connu est représentative d'un environnement courant de la pratique musicale (répétition, concert en espace confiné). Une salle adjacente a également été mise à disposition pour la préparation des instruments et des chanteurs, et afin d'éviter la perturbation des mesures en cours. Les situations en plein air n'ont pas été évaluées du fait de la complexité supplémentaire multiparamétrique engendrée par les mesures extérieures (vitesse et direction du vent, variation thermo-hygométrique, ...) et de la dilution plus importante du volume d'air par rapport à un espace confiné même ventilé.

3.2. Instruments déployés

Les instruments déployés ont permis de mesurer la distribution en taille des particules en suspension dans l'air sur une large gamme de taille s'étalant sur plus de 3 décades, de quelques nm jusqu'à une dizaine de microns. Cette granulométrie englobe ainsi les aérosols secs ou humides (gouttelettes) pouvant être émis par les musiciens ou chanteurs lors de l'activité musicale et susceptibles d'être mesurés lors des expérimentations. Ainsi, un granulomètre de mobilité électrique U-SMPS (PALAS) permettant d'avoir la concentration et la taille de la fraction ultrafine des aérosols sur une gamme de taille de 8 nm à 400 nm selon 32 canaux (balayage complet sur 1 min) a été couplé à un granulomètre optique FIDAS Mobile (PALAS), avec une plage de recouvrement, mesurant la concentration totale et la taille de la fraction fine à grossière des aérosols (gamme de taille de 180 nm à 18 µm) en temps réel (10s). Enfin, un analyseur portatif et temps réel PIAQ (PEGASOR) est venu compléter le dispositif expérimental par la mesure de la concentration totale en nombre des aérosols entre 20nm et 2,5µm et de la concentration en CO₂ à un temps d'acquisition de 5s. L'instrumentation déployée était installée sur un chariot mobile permettant de se déplacer facilement dans l'espace entre les points de prélèvements retenus (phases 2 et 3). Chaque instrument possédait sa propre ligne d'échantillonnage antistatique avec une longueur minimisée et l'absence de coude pour limiter au maximum les pertes par diffusion et sédimentation.

En complément des mesures en temps réel, un compteur volumétrique type Gallus a été utilisé pour déterminer le volume d'air expiré par l'ensemble du panel. Le compteur Gallus a été relié à l'embouchure des instruments ou à un masque facial pour les chanteurs.

3.3. Description du panel de musiciens et chanteurs et nombre de mesures

Pour la pratique vocale, les mesures ont été réalisées sur un chœur composé de 14 chanteurs regroupant les 4 tessitures (4 barytons, 3 ténors, 4 sopranos, 3 altos). Chaque chanteur a participé aux mesures individuelles (Phase 1) selon un protocole commun consistant successivement à lire un texte parlé, réaliser un exercice

spécifique (« S » expiré) puis chanter deux chants distincts répétés 3 fois en boucle chacun afin d'obtenir un temps de mesure suffisant pour une analyse statistique des données.

Pour la pratique instrumentale, les mesures ont été réalisées sur un orchestre de 11 musiciens jouant 6 instruments à vents différents (flûte traversière, hautbois, saxophone, tuba, trompette, clarinette). Les émissions en aérosols de chaque type d'instrument ont été caractérisées individuellement lors de la 1^{ère} phase. Si des mesures en sortie principale d'instrument (en sortie de pavillon) ont été réalisées sur l'ensemble des instruments, des mesures complémentaires ont également été menées sur les sorties annexes liées aux spécificités techniques intrinsèques des instruments comme au niveau des trous latéraux (clarinette, saxophone, hautbois) ou en face de l'embouchure (flûte traversière).

Dans les deux cas, des blancs de mesure de l'air ambiant ont été réalisés pendant 30 min en début et fin de journée pour caractériser l'aérosol de fond dans la salle de mesures. De plus, un blanc de 10 min a été effectué avant le début de chaque mesure individuelle en présence du chanteur ou du musicien (sans activité musicale) pour faire ressortir la contribution de la source « pratique musicale » des autres sources d'émissions d'aérosols potentielles liées à la présence humaine. Le temps de blanc a été doublé pour les phases 2 et 3 de l'étude.

4. MODELISATION

L'étude de la propagation des particules dans l'air est une discipline complexe nécessitant de prendre en compte de nombreux paramètres (liées aux températures, taux d'humidité, flux d'air...) et phénomènes physiques (advection, diffusion, transferts thermiques, changements de phase...). Les propriétés des gouttelettes et aérosols varient dans le temps et l'espace dès qu'ils sont émis. La modélisation numérique CFD (Computational Fluid Dynamics) est l'un des outils utilisés pour simuler leur dispersion et l'évolution de leurs propriétés. Elle nécessite de connaître les flux d'air en présence pour anticiper la propagation des gouttelettes et aérosols. Aussi, en parallèle des mesures in-situ, des modélisations ont été effectuées puis affinées en utilisant les données recueillies (mesures de température, humidité relative, granulométrie, concentration) sur le terrain comme données d'entrée. Les résultats montrent l'absence d'aérosols à une distance inférieure à 5 cm de la sortie du pavillon probablement liée à l'évaporation de gouttelettes les plus fines et au dépôt des plus grosses dans l'instrument.

5. RESULTATS

Les aérosols émis par les différents musiciens et chanteurs ont été caractérisés en termes de concentration totale en nombre et de distribution en taille. Les premiers résultats de l'étude montrent que la taille des particules est généralement associée au mode fin de l'aérosol même si la présence de particules supérieures à 1 μ m est également observée. A titre d'exemple, la distribution moyenne en taille des aérosols mesurée par le FIDAS Mobile au niveau du bec (embouchure) et en sortie de pavillon lors d'un morceau joué au saxophone est présentée Figure 1, où est également représentée la mesure de l'aérosol de fond.

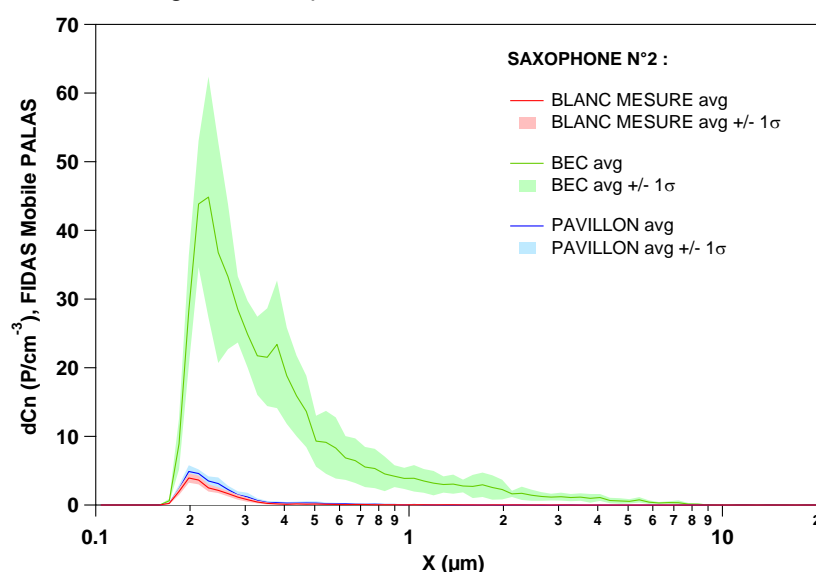


Figure 1. Distribution moyenne en taille des aérosols mesurée par le FIDAS Mobile au niveau du bec (embouchure) et en sortie de pavillon d'un saxophone en comparaison avec la mesure de l'aérosol de fond.

Le pic de concentration est observé pour la mesure « bec » avec un mode centré vers 230nm et est 10 fois plus intense qu'en sortie de pavillon où les concentrations mesurées se situent au niveau de l'aérosol de fond. Il semblerait que la distance entre le point de prélèvement et la bouche pour le chant, ou le pavillon pour les instruments à vents impacte significativement le niveau de concentration en aérosols ce qui est en accord avec la modélisation réalisée.

En complément, le volume d'air expiré mesuré par le compteur Gallus (Figure 2) peut être mis en regard des concentrations totales mesurées pour chaque chanteur ou instrument pour exprimer les résultats en termes de débit de particules (P/s) dans le but de les confronter aux études récentes de la littérature (He *et al.*, 2020).

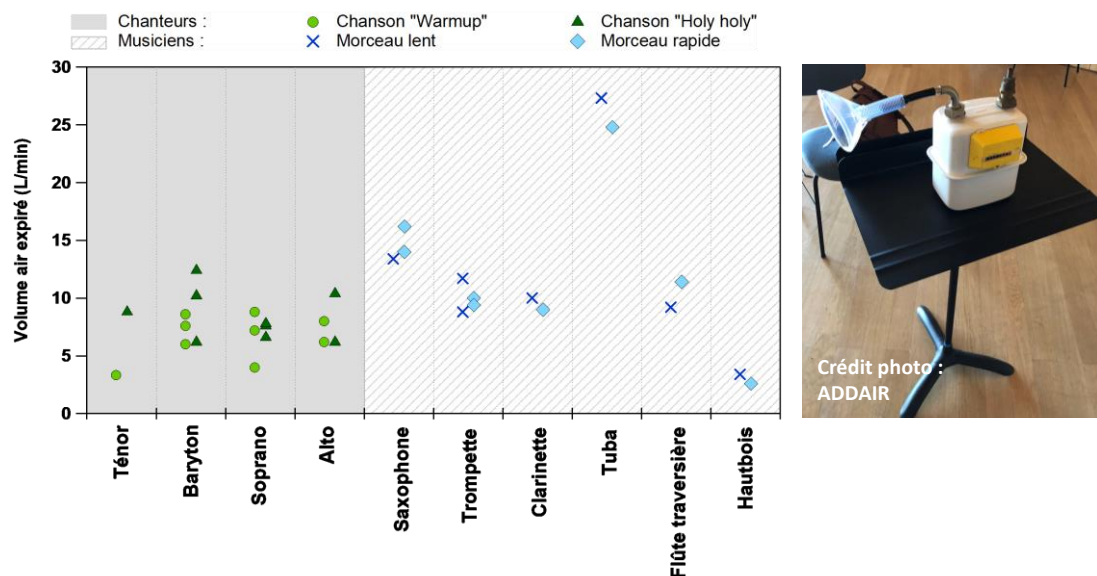


Figure 2. Comparaison du volume d'air expiré ramené en début volumique (en L/min) par les chanteurs classés selon leurs tessitures et les instruments à vents selon les deux morceaux sélectionnés pour les essais pour chaque pratique (à gauche) mesuré par un compteur Gallus équipé d'un masque facial (à droite).

Le couplage de la modélisation et des mesures in-situ devrait permettre de fournir les informations nécessaires en vue de formuler des préconisations concrètes, relatives notamment aux distanciations lors de la pratique musicale ou à la ventilation des espaces confinés. Plus largement, ces informations permettront non seulement d'améliorer les connaissances actuelles sur les émissions et le cheminement d'aérosols issus des différentes pratiques musicales, mais également de légitimer la mise en place de mesures adéquates (disposition de l'espace lors d'une pratique collective, taux de renouvellement d'air, durées de jeu, ...) pour limiter les risques d'exposition par inhalation de particules émises lors de la pratique musicale à destination des chanteurs, des musiciens et potentiellement du public dans le contexte covid-19.

6. REFERENCES ET REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet PIC (Protocoles pour les Instruments face au Coronavirus) piloté par la CSFI (Chambre Syndicale de la Factice Instrumentale) et l'ITEMM (Institut Technologique Européen des Métiers de la Musique). La partie spécifique de ce projet abordant la problématique de la pratique instrumentale et vocale est réalisée en collaboration avec les Forces Musicales et Buffet Crampon. Ces travaux ont été permis par le soutien de CSFI, les Forces Musicales, le Ministère de la Culture, Audiens, la Région Ile-de-France et la fondation Bettencourt. Les auteurs remercient la disponibilité et l'investissement du personnel de la Philharmonie, des chanteurs et des musiciens ayant permis de collecter ces données.

Asadi, S., Wexler, A.S., Cappa, C.D., Barreda, S., Bouvier, N.M. and Ristenpart, W.D. (2019). Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep* 9, 2348.

Asadi, S., Wexler, A.S., Cappa, C.D., Barreda, S., Bouvier, N.M. and Ristenpart, W.D. (2020). Effect of voicing and articulation manner on aerosol particle emission during human speech. *PLOS ONE* 15(1): e0227699.

Alsved, M., Matamis, A., Bohlin, R., Richter, M., Bengtsson, P-E., Fraenkel, C-J., Medstrand P. and Löndahl, J. (2020): Exhaled respiratory particles during singing and talking, *Aero. Sci. Technol.*, DOI: 10.1080/02786826.2020.1812502

He, R., Gao, L., Trifonov, M., Hong, J. (2020). Aerosol generation from different wind instruments. *Journ. Aero. Sci.*, 105669.

Parker, A. and Crookston, K. (2020). Investigation into the release of respiratory aerosols by brass instruments and mitigation measures with respect to Covid-19. *MedRxiv*.