

**3 juillet 2020**

Auteurs : Anne Hartmann<sup>1</sup>, Dirk Mürbe<sup>2</sup>, Martin Kriegel<sup>1</sup>, Julia Lange<sup>1</sup>, Mario Fleischer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> **Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut**

<sup>2</sup> **Charité Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Audiologie und Phoniatrie**

*Traduction : Nicolas Stroesser  
Directeur du Conservatoire à  
rayonnement régional de  
Metz Métropole*

## **Introduction**

En l'état actuels des connaissances, les aérosols constituent l'un des modes de propagation du virus SRAS-CoV-2. Les aérosols sont tout autant produits lors de la parole que du chant, car les voies respiratoires possèdent cette double fonction d'échange respiratoire lors de la production de sons vocaux et du langage parlé. Des rapports faisant état de taux élevés d'infection suite à des répétitions de chœurs en espace clos [Hamner2020] laissent penser que la production d'aérosols pendant le chant serait particulièrement élevée, du fait de mécanismes physiologiques vocaux caractéristiques et d'une émission vocale prolongée dans le temps.

Les études actuelles portant sur l'émission de particules en parlant [Hartmann2020] ou en chantant [Mürbe2020] montrent une augmentation de la production d'aérosols dans les deux situations. En comparaison avec la respiration nasale, on constate une augmentation moyenne de la production d'aérosols d'un facteur 10 environ pour la voix parlée et cette augmentation est d'un facteur 30 entre la voix parlée et le chant. La grande variabilité de la formation des aérosols entre les différents individus est frappante, ce qui suggère un rôle particulier des "grands émetteurs" dans la transmission du virus.

Pour évaluer le risque d'infection par le virus du SRAS-CoV-2 durant le chant et pour gérer au mieux les risques de contagion lors de la reprise des répétitions et des concerts, il faut prendre en compte un certain nombre de facteurs en plus de l'évaluation de la prévalence actuelle de la maladie, lesquels vont au-delà des mesures d'hygiène et des règles de distance usuelles. Ces facteurs intègrent le nombre de chanteurs, la durée des répétitions ou des concerts, mais aussi tout spécialement les configurations spatiales et les moyens de ventilation. Ces deux derniers facteurs n'ont, en effet, pas été abordés de manière satisfaisante dans la prise en compte du risque jusqu'à présent et ils seront étudiés dans le cadre du présent travail par une évaluation analytique du risque basée sur le nombre effectif de particules et les configurations typiques des salles.

## **Principes et méthodes**

Plus les gens restent longtemps dans une pièce, plus la concentration d'aérosols augmente.

La concentration de polluants rejetés (qui est fonction du nombre de personnes infectées et du nombre de particules qu'elles émettent), la circulation de l'air (renouvellement d'air frais en fonction de la taille de la pièce) et l'efficacité du système de ventilation sont autant d'éléments déterminants dans l'élévation des seuils de concentration. En se basant sur des équations connues pour la détermination des concentrations de polluants contenus dans une pièce en fonction de différents modes de renouvellement d'air, une

---

<sup>1</sup> <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/11488>

évaluation analytique des risques sera établie en fonction de différents scénarios. La procédure détaillée figure dans [Kriegel 2020].

### Cas examinés

Trois scénarios spécifiques au secteur musical et un scénario de comparaison ont été sélectionnés pour l'évaluation du risque :

- Répétition de chœur
- Salle de concert I
- Salle de concert II
- Bureau (scénario de comparaison)

La salle de répétition du chœur de la Philharmonie de Berlin (Aula Clara-Grunwald-Schule Berlin), la grande salle du Konzerthaus de Berlin (salle de concert I - format "boîte à chaussures") et la salle de concert de la Philharmonie de Dresde (salle de concert II - format "vignoble") ont été sélectionnées pour les calculs. Le nombre de choristes a été fixé sur la base d'un alignement de chanteurs, en fonction des dimensions de l'espace scénique et en respectant une distance radiale de 2 m. Dans chacune des situations, il a été supposé qu'un choriste infecté était présent dans la salle et que seuls les aérosols émis par cette personne doivent être considérés comme potentiellement dangereux, car porteurs d'une charge virale. Le taux d'émission moyen pour le chant était de 2000 P/s [Mürbe2020]. Le nombre de spectateurs correspond aux normes sanitaires actuellement en vigueur dans les deux salles de concert.

Tableau 1 : Données selon scénarios

	Volume (m <sup>3</sup> )	Nbre de personnes dans le chœur	Nombre d'auditeurs / Bureau	Activité	Taux d'émission (P/s)	Renouvellement d'air (vol./h)	Système de ventilation
Salle de répétition de chœur	2250	20	-	Chant	2 000	Répétition 0,05 Pause 2	Fenêtre
Salle de concert I	18 000	40	350	Chant	2 000	2,2	Mécanique
Salle de concert II	21 500	50	498	Chant	2 000	2,9	Mécanique
Bureau témoin	60	-	2	Parole	130	2,4	Mécanique
Bureau témoin	60	-	2	Parole	130	Travail 0,05 Pause 2	Fenêtre

### Résultat de l'évaluation du risque

La figure 1 montre l'évolution de la concentration des aérosols potentiellement infectieux (émis par la personne infectée) pendant 30 minutes de répétition chorale avec une occupation stable et un renouvellement d'air constant dans les deux salles de concert et un manque de ventilation pour la salle de répétition du chœur.

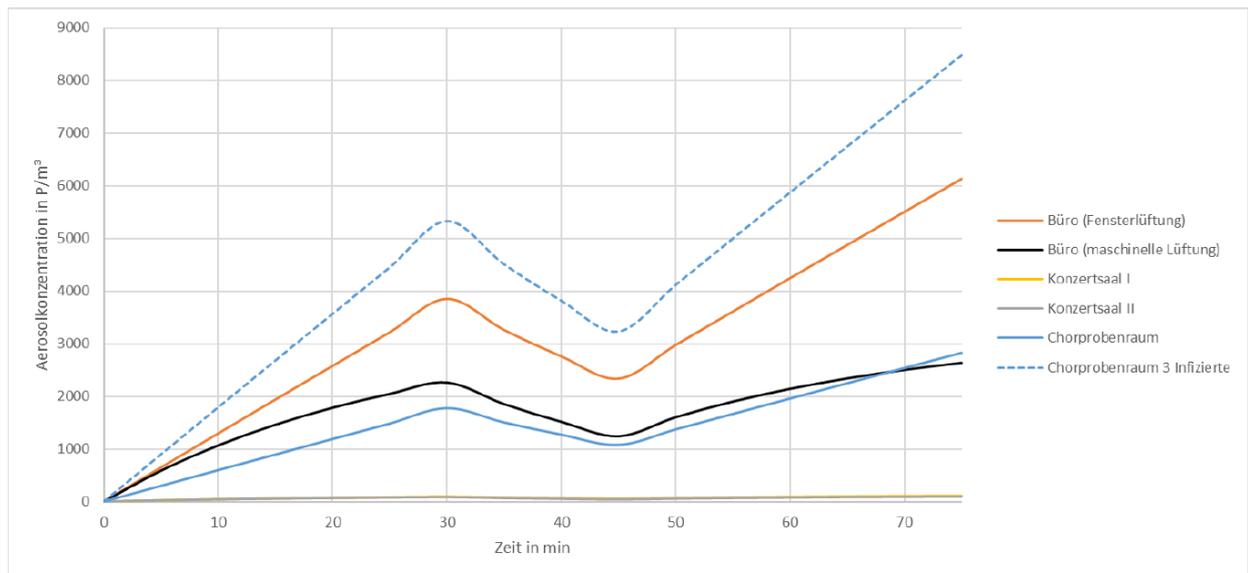


Figure 1 : Evolution de la concentration des aérosols durant une répétition de 30 mn suivie d'une pause de 15 mn dans les 3 salles étudiées et le bureau témoin.

Dans tous les cas de figure, une pause de 15 minutes pour renouvellement d'air a été effectuée après 30 minutes d'activité, toutes les personnes quittant alors la salle. Enfin, la concentration est aussi indiquée après une nouvelle répétition de chœur de 30 minutes. Le renouvellement d'air est constant pour les deux salles de concert durant toute la durée du concert alors qu'il se limite à la durée de la pause dans la salle de répétition du chœur et du bureau.

En outre, le scénario d'une répétition plus longue de 60 minutes, suivie d'une pause de 15 minutes et, à nouveau d'une répétition de 60 mn a aussi été étudié. Le résultat est présenté dans la figure 2.

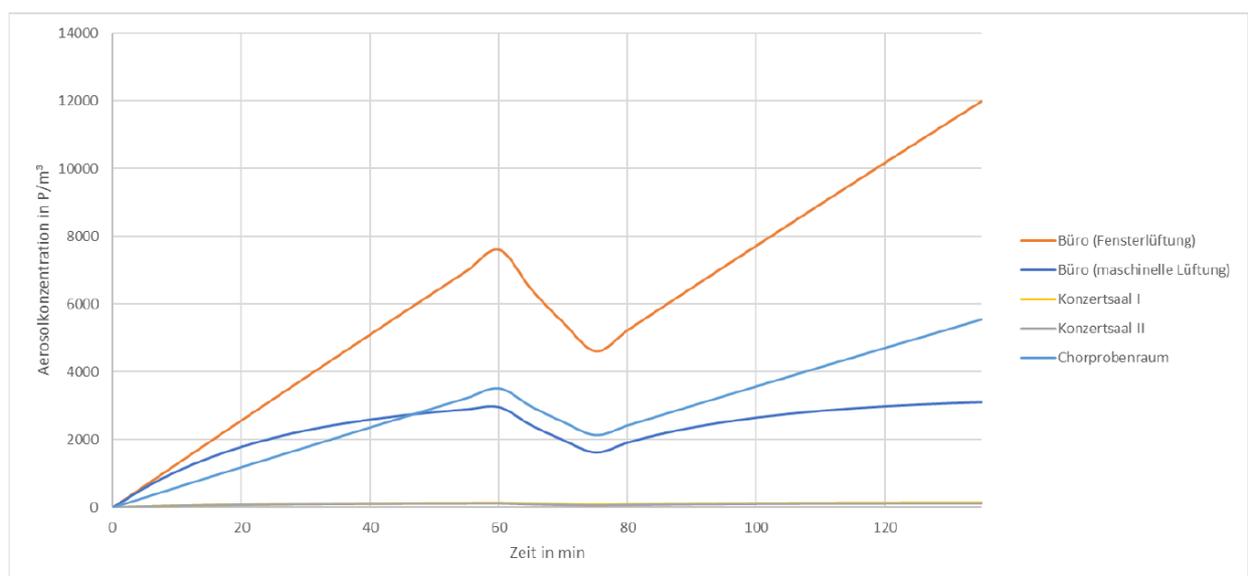


Figure 2 : Evolution de la concentration des aérosols durant une répétition de 60 mn suivie d'une pause de 15 mn dans les 3 salles étudiées et le bureau témoin.

## Discussion

En utilisant des équations analytiques simples, il est possible de modéliser la concentration en aérosols potentiellement infectieux dans des conditions expérimentales simplifiées. En situation réelle, les résultats ainsi obtenus peuvent malgré tout varier de façon importante. Ceci est lié à l'efficacité réelle de la ventilation. Il y aura des endroits où la concentration d'aérosols sera plus élevée et des endroits où elle sera plus faible. Cela concerne notamment l'environnement proche des personnes ou encore l'espace situé juste au-dessus de celles-ci, du fait de l'élévation thermique, — la température de la personne est plus élevée que l'environnement. Les aérosols étant idéalement portés à l'air, ils se déplacent avec le courant d'air ambiant. Il apparaît clairement, qu'en de telles circonstances, l'ouverture des fenêtres peut ne pas être suffisant pour réduire de façon significative le risque d'infection par les aérosols et créer une situation de sécurité trompeuse. Pour l'utilisateur en effet, une aération par les fenêtres ne permet généralement pas de connaître avec précision le volume d'air qui a été renouvelé dans la pièce grâce à cette ouverture. Cela dépend en grande partie de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ainsi que de la vitesse du vent dominant à l'extérieur. Seul un système de ventilation mécanique (air extérieur) permet de maîtriser les risques.

Alors que dans la pièce de bureau ventilée par la fenêtre — 60 m<sup>3</sup> et une personne infectée —, on peut s'attendre à une augmentation significative et immédiate de la concentration des aérosols potentiellement infectieux, on observera, en revanche, une augmentation sensiblement plus lente de la concentration d'aérosols dans la salle de répétition de chœur sans ventilation — 2270 m<sup>3</sup> et une personne infectée — puisque les aérosols potentiellement infectieux se sont initialement répandus dans toute la pièce avec une concentration faible.

Si le nombre de personnes infectées dans la salle augmente, le niveau de concentration en aérosols sera plus élevé.

Ainsi peut-on observer (voir figure 1, ligne pointillée et bleue) qu'avec trois personnes infectées dans le chœur présent dans la salle de répétition sans ventilation — 757 m<sup>3</sup> par personne infectée —, la courbe de cette salle dépasse celle du bureau avec ventilation par une fenêtre. Si, par contre, d'autres personnes infectées sont comptabilisées dans le public de la salle de concert I, la concentration dans la salle n'augmentera, par exemple, que de 10 % après 30 minutes avec cinq spectateurs infectés, ce qui reste nettement inférieure à la concentration observée dans la salle de répétition ou le bureau.

En outre, il convient de noter que dans la salle de répétition du chœur, malgré l'ouverture des fenêtres durant la pause, on ne constate qu'une baisse légère de la concentration en aérosol, et que, par ailleurs, peu après la reprise, cette concentration dépasse le maxima observé durant la période qui a précédé la pause.

## Résumé et recommandations pour la gestion des risques

La transmission du virus CoV-2 du SRAS se fait principalement par voie respiratoire, sous forme de gouttelettes et d'aérosols. Le chant produit des gouttelettes et des aérosols en plus grande quantité, ce qui explique le danger de la pratique du chant choral.

Jusqu'à présent, les mesures de réduction du risque concernaient tout particulièrement les gouttelettes contre lesquelles la règle des 2 mètres de distance constituait une mesure de protection efficace. Bien que cette distance réduise également le risque de transmission par les aérosols dans la zone de proximité, elle ne permet pas d'évaluer ce qu'il en est de la dispersion ultérieure de ces particules dans une pièce.

Afin d'évaluer la concentration dans l'espace d'aérosols pouvant être infectieux, des facteurs importants ont donc été pris en compte dans les présents calculs pour permettre de comparer les situations spécifiques aux pratiques chorales à une situation de référence telle que celle du bureau.

Raccourcir la durée des répétitions constitue un moyen pour diminuer le risque, comme le montre l'exemple ici présenté avec l'organisation de deux phases de répétition de 30 minutes chacune, lesquelles sont impérativement séparées par un temps d'aération. Ce choix résulte d'un compromis qui semble acceptable artistiquement au regard de la modélisation proposée. En choisissant des salles de répétitions les plus grandes possibles, on augmentera le volume d'air disponible par personne. Le nombre de chanteurs doit être réduit, limitant le nombre de personnes présentes dans la salle en fonction de la distance recommandée pour se protéger contre les gouttelettes.

Un facteur essentiel pour la réduction du risque repose sur les options disponibles en matière de ventilation et en comparant la ventilation par les fenêtres et la ventilation mécanique. En particulier, une ventilation mécanique adéquate présente un potentiel important de réduction du risque et devrait, dans la mesure du possible, être privilégiée. L'aération par les fenêtres peut également permettre une diminution significative du risque bien que cela dépende fortement des conditions météorologiques et reste difficile à évaluer. Il faut donc bien avoir conscience, notamment lors de temps de pause très courts, que l'aération par les fenêtres peut ne pas être suffisante pour réduire de façon pertinente la concentration d'aérosols.

Ces considérations montrent que le chant choral et la pratique en ensemble vocal restent réalisables sous certaines conditions et avec une utilisation optimale des différents moyens d'action, même si un risque résiduel d'infection doit toujours être pris en compte. La taille et la disposition des ensembles, la conception des répétitions, la taille des pièces et le système de ventilation sont autant de moyens efficaces pour réduire le risque, en plus des mesures d'hygiène de base et des règles de distanciation.

En raison de la grande valeur du chant dans les domaines de la culture et de l'éducation, la meilleure gestion possible du risque est de la toute première importance afin de rendre possible, en concertation avec les décideurs privés et publics, l'élaboration de propositions d'organisation de répétitions et de spectacles personnalisés pour le chant choral.

## Bibliographie

[Hamner2020] Hamner, L., Dubbel, P., Capron, I., Ross, A., Jordan, A., Lee, J., Lynn, J., Ball, A., Narwal, S., Russell, S., Patrick, D., Leibrand, H. (2020): High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice – Skagit County Washington, March 2020, in: MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report, Early Release 69, p. 606-610 <https://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6919e6>

[Hartmann2020] Hartmann, A. , Lange, J. , Rotheudt, H. , Kriegel, M. (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, in: Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332>

[Kriegel2020] Kriegel, M., Hartmann, A. (2020): Risikobewertung von Innenräumen zu virenbeladenen Aerosolen, in: Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10343.2>

[Mürbe2020] Mürbe, D., Fleischer, M., Lange, J., Rotheudt, H., Kriegel, M. (2020): Erhöhung der Aerosolbildung beim professionellen Singen, in: Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10374>

[RKI2020] Robert-Koch-Institut (2020): SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19), [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1), letzter Zugriff: 22.06.2020, 12:00Uhr

