NOTE A DESTINATION DES CONSERVATOIRES ET AUTRES LIEUX ACCUEILLANT LA PRATIQUE MUSICALE

Les aérosols dans les salles closes

Dans le cadre du Projet PIC PIV : Protocoles pour les Instruments face au Coronavirus - Pratique Instrumentale et Vocale

La présente note synthétise les résultats obtenus par la société Andheo dans le cadre du lot 4 du projet PIC-PIV, « Suivi de contaminants dans les salles closes »[1].

Il est maintenant établi que l'un des enjeux majeurs pour limiter les risques de contamination en intérieur est le renouvellement de l'air, bien que le taux de concentration en aérosols infectés nécessaire à la contamination ne soit pas encore déterminé.

Si les systèmes de ventilation mécanique permettent de quantifier le renouvellement d'air dans une pièce, l'aération par des fenêtres et des portes ne le permet pas et peut évoluer sensiblement dans son efficacité en fonction du vent et des différentiels de températures intérieur/extérieur.

Nous avons souhaité, par ce volet de nos travaux, apporter un éclairage complémentaire pour permettre une gestion plus aisée de la question du renouvellement de l'air et donc du temps d'occupation des salles.

1°) Détermination des salles

Les conservatoires et écoles de musique en France occupent des locaux extrêmement divers.

Au préalable de ce travail, nous avons donc envoyé un questionnaire au réseau des conservatoires afin de pouvoir établir deux types de salle suffisamment caractéristiques pour que les résultats de nos travaux soient significatifs pour les responsables d'établissement.

82 conservatoires ont répondu à cette enquête, avec comme principales conclusions :

- **Salles de cours individuel** : environs 50% d'entre elles ont une surface au sol de 10 à 15 m² et une hauteur sous plafond de 2,5 à 3m, seul 25% des salles ont un système de ventilation mécanique, 90% disposent d'au moins une fenêtre, le temps d'occupation moyen est de 30 à 45 minutes.
- **Salles de pratique collective** : les dimensions des salles sont très différentes, plus de 25% possède une ventilation mécanique, 75% ont un taux d'occupation d'une heure ou plus.

Cette enquête a ainsi permis de déterminer deux types de salles fréquemment utilisées :

- **Une salle de cours individuel de 12 m² pouvant accueillir jusqu'à 4 personnes**[2]. Dans la grande majorité des cas, ce type de salle ne dispose pas de ventilation mécanique mais d'une fenêtre
- **Une salle de pratique collective jusqu'à 25 personnes** de 88 m². Ce type de salle est équipé d'un système de ventilation mécanique 650 m³/heure (correspondant à 25m³/h par personne comme préconisé par le code du travail
- Dans les deux cas, le nombre de personnes a été déterminé avec la règle de **3m²/personne.**

Ces retours ont également permis de déterminer l'implantation des musiciens au sein des salles.

1 Rapport technique n° dh-20-21_rt-04-v03 du 31 mai 2021

2 Cette jauge est déterminée à partir des retours des conservatoires, elle dépasse la jauge recommandée à l'heure actuelle 4m² par personne.

2°) Objectif de cette étude

L'objectif de cette étude est de pouvoir fournir aux conservatoires des recommandations pour limiter les risques de contamination aéroportée (par aérosols) et notamment des outils leur permettant de mesurer le renouvellement de l'air dans leurs salles.

Les besoins en renouvellement d'air se basent sur les dernières recommandations de l'HCSP[3] dans son *Avis relatif à l'adaptation des mesures d'aération, de ventilation et de mesure du dioxyde de carbone (CO_2) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2 en date du 28 avril 2021.* Ces recommandations sont également reprises dans le *Guide d'aide à la continuité d'activité en contexte épidémique* du Ministère de la culture en date du 12 mai 2021.

Le dioxyde de carbone (CO_2) est présent dans l'atmosphère (de l'ordre de 400 ppm, soit parties par millions) et également dans l'air que nous expirons.
Sa propagation n'est pas arrêtée par les masques ou les instruments de musique contrairement à une partie des gouttelettes et des aérosols.

Il est important de noter que la concentration du CO_2 dans l'air peut être utilisée **pour évaluer les besoins en renouvellement de l'air** dans une salle et **est donc un indicateur utile pour les protocoles sanitaires**
Néanmoins il convient de prendre en compte qu'**il n'y a pas de lien direct entre la concentration de l'air en CO_2 et le risque de contamination à la Covid-19 par voie aéroportée**

Ci-dessous : Concentration de CO_2 dans l'atmosphère et dans l'air expiré, exprimée en parties par millions (ppm), en fraction volumique (%) et en fraction massique (%)

	ppm	*% volume*	*% masse*
Atmosphère	400	0,04%	0,06%
Critère HCSP sans masque	600	0,06%	0,09%
Critère HCSP avec masque	800	0,08%	0,12%
Air expiré	40 000	4%	6%

Le HCSP[4] fixe une limite de 800 ppm pour les ERP accueillant du public masqué. Sachant qu'une salle inoccupée présente déjà un taux de 400 ppm.

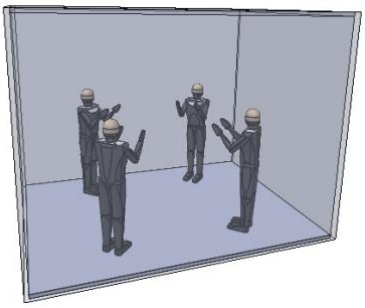
3°) La simulation dans la salle de cours

Les essais ont été fait dans une salle de répétition de **12m² au sol et 3 m de hauteur (soit 36 m³), sans système de ventilation et accueillant 4 personnes[5]**.
Il est à noter que la simulation pour cette salle a été faite sans prendre en compte le fait que, dans la réalité, il existe toujours une circulation d'air a minima par les huisseries même avec porte et fenêtre fermées. Les calculs sont donc établis dans les circonstances les plus défavorables.

Pour une pièce de ce volume, sans ventilation et en partant du débit d'air moyen expiré par une personne, on calcule que le taux de 800 ppm (maximum conseillé par l'HCSP pour les personnes masquées) est atteint au bout de **11 minutes pour 4 personnes.** Ce qui appelle alors un renouvellement de l'air pour rester dans les taux recommandés. Cette durée varie en fonction du nombre de personnes dans la pièce. **Avec 2 personnes, la durée pour atteindre le même taux est multipliée par deux : 22 minutes et par 4 avec une seule personne 44 minutes.**

3 Haut Conseil de la Santé publique : www.hscp.fr
4 Haut Conseil à la Santé Publique
5 Cette jauge est déterminée à partir des retours des conservatoires, elle dépasse la jauge recommandée à l'heure actuelle 4m² par personne

L'utilisation d'un **capteur du taux de CO_2** va permettre de **suivre l'évolution du taux de CO_2** et d'adapter l'aération de la pièce en fonction de son niveau.
La modélisation montrant dans ce cas de figure une **diffusion homogène du CO_2** dans la pièce, la mesure où qu'elle soit prise sera significative du taux de CO_2 de la pièce : il n'y a pas de recommandation particulière pour le placement du capteur

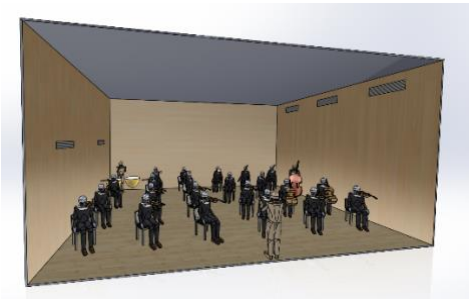


.
crédit : Andheo

4°) La simulation dans la grande salle de pratique collective
La salle étudiée ici mesure **88m² et accueille 25 personnes** [6]
Deux configurations sont étudiées pour ce volume : une première dans laquelle la salle dispose d'une « ventilation latérale » (dans ce premier cas la salle dispose d'une hauteur sous plafond de 5,5m[7])
et une seconde dans laquelle la salle dispose d'une « ventilation plafond » (avec une hauteur sous plafond de 3,5m[8]).
Le taux de renouvellement d'air est de 1,3 vol/h dans la configuration « ventilation latérale » et de 2 vol/h dans la « ventilation plafond ». La teneur en CO_2 de l'air de ventilation est considérée comme égal à celle de l'atmosphère (soit 400 ppm).

Ces salles étant ventilées de manière continue, **le taux de CO_2 atteint reste constant et sa répartition n'est pas homogène dans la salle mais finit par se répartir de façon stable**. On parle de **notion d'équilibre** sans référence à une durée temporelle contrairement à ce qu'on peut constater dans la petite salle étudiée ci-dessus.

Dans la configuration « ventilation latérale » on atteint le taux de 1080 ppm, plus précisément 1000 ppm au niveau des têtes, ce qui dépasse donc la limite fixée par le HCSP. On observe une stratification ; les concentrations étant plus élevées à mesure que l'on monte en hauteur.
Dans la configuration « ventilation plafond », on atteint le taux de 1090 ppm. Ce taux est un peu plus élevé ce qui est sans doute dû au fait que la hauteur de plafond est plus faible dans la configuration étudiée (3,5m au lieu de 5,5m).



6 Cette jauge est déterminée à partir des retours des conservatoires, elle dépasse la jauge recommandée à l'heure actuelle 4m² par personne
7 Salle du CNSMDP
8 Salle du CRI Vibrato Océan-Marais de Monts

Dans ce type de configuration, l'utilisation de capteur de CO_2 ne semble pas d'une grande utilité. La quantité d'air renouvelé est déterminée par le réglage du système de ventilation et est déterminant pour se prémunir des concentrations en aérosols. **Le seuil de concentration de CO_2 à 800 ppm ne semble pas opérant dans ce type de salle**. Néanmoins, en cas de pose de capteur il conviendrait de l'installer à hauteur de tête d'une personne debout, la concentration étant plus importante en hauteur.

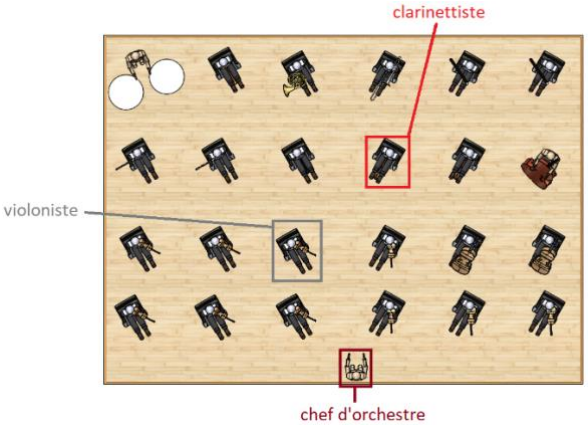
Dans le cadre de ces grandes salles, l'étude est allée un peu plus loin et s'est intéressée également :

- Au risque de transmission du COVID-19 par voie aéroportée, en utilisant la méthodologie utilisée par Stockman[9] et basé sur l'équation de **Wells-Riley** qui utilise la notion de quanta q. Les quanta représentent la dose infectieuse d'aérosols respiratoires lorsque la dose virale provoquant l'infection n'est pas connue, comme c'est encore le cas pour la Covid-19
- Le **LMA** (Local Mean Age) : cet indicateur est utilisé pour analyser la qualité du renouvellement d'air local. C'est-à-dire il représente le temps moyen qu'a mis une particule pour atteindre un point en particulier depuis une grille de soufflage où elle a été introduite. Plus il est élevé, plus l'air a été susceptible de se charger en contaminants

Pour ces deux indicateurs supplémentaires, les simulations se sont focalisées sur 3 personnes :

- 1 pers masquée : un violoniste (respiration avec masque)
- 1 pers non masquée : chef d'orchestre (respiration sans masque)
- 1 pers non masquée : un clarinettiste (respiration et jeu sans masque)

L'essai s'est concentré sur un clarinettiste parce que le fonctionnement de cet instrument est bien documenté dans nos travaux et que nous savons aussi que sa géométrie rectiligne le rend plus émetteur que les cuivres, mais il ne s'agit pas de pointer cet instrument comme présentant un risque particulier. Les résultats obtenus sont à considérer pour tout type d'instrument à vent car pratiqués sans masque



crédit : Andheo

Cette simulation complémentaire révèle que **dans les deux typologies de salles étudiées et dans la configuration donnée,** le violoniste masqué et le chef non masqué ne semblent pas être en mesure de contaminer les autres musiciens dans la pièce
L'instrumentiste à vent génère quant à lui une probabilité d'infection qui s'étend en largeur et tend à se rapprocher des autres musiciens.

5°) Conclusion

9 Tehya Stockman, Shengwei Zhu, Abhishek Kumar, Lingzhe Wang, Sameer Patel, James Weaver, Mark Spede, Don Milton, Jean Hertzberg, Darin Toohey, Marina Vance, Jelena Srebric, Shelly L. Miller, Measurements and Simulations of Aerosol 1 Released while Singing and Playing Wind 2 Instruments, submitted, 2021. https ://scholar.colorado.edu/concern/articles/hq37vp75r

Pour ce qui est de l'évaluation du renouvellement de l'air dans les salles closes, l'utilisation de capteur de CO_2 peut s'avérer être un indicateur très utile dans les salles qui ne sont pas équipées d'un système de ventilation.

En ce qui concerne les établissements publics disposant de système de ventilation, nous avons pu observer lors du sondage que nous avons mené que les valeurs fournies à ce sujet étaient très peu exploitables (que ce soit pour l'air neuf ou pour l'air recyclé). Les services concernant la ventilation sont, par ailleurs, souvent externalisés, ce qui rend le suivi assez problématique.

Il semble important que les services techniques des établissements puissent se réapproprier ces domaines, ce qui leur permettraient d'assurer un meilleur suivi des questions de ventilation et d'identifier les éventuelles améliorations à apporter à leurs systèmes.

Dans le cas des deux types de salle avec ou sans ventilation mécanique, la mesure de la concentration en CO_2 est un bon indicateur pour évaluer l'efficacité d'un système de ventilation, qu'elle soit forcée ou naturelle (ouverture des portes/fenêtres), et le retour à un air renouvelé.

Il ne permet cependant pas de mesurer directement la concentration en aérosols. En effet l'utilisation de protections individuelles (masques) décorrèle le risque de transmission aéroportée (par aérosols) de la concentration en CO_2.

Nos simulations montrent que des salles de conservatoire avec ventilation mécanique usuelle respectent le critère de 1500 ppm à jauge pleine. Ce niveau est cohérent avec les recommandations en la matière de l'ANSES.

Il conviendrait de relever le seuil d'alerte de concentration en CO2 à 1500ppm. Ainsi, par cette mesure incitative et réaliste, les professionnels de l'enseignement et du spectacle pourraient être en capacité – via le CO2 - de mesurer régulièrement la qualité de renouvellement de l'air de leurs salles d'enseignement, de répétition et de représentation.

Les conclusions rassurantes sur le risque de contamination dans les 2 configurations étudiées de salles de pratique collective dotées de ventilation mécanique ne permettent pas d'affirmer comme un principe général que la pratique collective ne présente pas de risque de contamination

En revanche elle permet de conforter le principe d'associer distanciation, port du masque quand il est possible et ventilation en continu comme un moyen efficace pour limiter au maximum le risque de contamination.

Rappelons que les facteurs de risques sont fortement dépendant de la circulation active du virus (taux d'incidence, nombre de personne vacciné, etc)

Document de référence : Rapport technique du laboratoire ANDHEO 25 mai 2021
Fiche Dioxyde de carbone (CO2) dans l'air intérieur ANSES

CONTACT
CSFI CORALINE BAROUX DESVIGNES: csfinstrumentale@gmail.com
Les Forces Musicales NICOLAS DROIN : ndroin@ocparis.com
CAMILLE DELMAS : delmas.camille@gmail.com