

[7] Air Quality Consultants. Air quality monitoring study: London school streets. 2021. 96 p. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/school_streets_monitoring_study_march21.pdf

[8] UNICEF/Harris Interactive. Sondage auprès des parents d'élève sur les trajets domicile-école et le principe des rues scolaires. 2020. https://harris-interactive.fr/opinion_polls/sondage-aupres-des-parents-deleve-sur-les-trajets-domicile-ecole-et-le-principe-des-rues-scolaires/

[9] Davis A. School street closures and traffic displacement: A literature review and semi-structured interviews. Edinburgh: Transport Research Institute, Edinburgh Napier University; 2020. 31 p. <https://www.napier.ac.uk/about-us/news/school-street-closures>

[10] IFOP/ECO CO2. Sondage les parents et les transports domicile – établissement scolaire. 2020. <https://www.moby-eco.mobilite.fr/sondage-ecomobilite-scolaire/>

[11] Deschamps V, Salanave B, Torres M, Verdote C. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban), 2014-2016. Volet Nutrition. Chapitre Activité physique et sédentarité. 2^e édition. Saint-Maurice: Santé publique France; 2020. 58 p. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/documents/rapport-synthese/etude-de-sante-sur-l-environnement-la-biosurveillance-l-activite-physique-et-la-nutrition-esteban-2014-2016.-volet-nutrition.-chapitre-activite-physique-et-sedentarite>

Citer cet article

Rousseau S, Cazorla C, Dimitrova Y, Ricard E. Les rues scolaires : une solution pour contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air, plébiscitée par les parents. Bull Epidemiol Hebd. 2022;(19-20):343-9. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2022/19-20/2022_19-20_3.html

> ARTICLE // Article

RENOUVELLEMENT DE L'AIR INSUFFISANT DANS LES ÉCOLES : UN CONSTAT ÉTABLI DE LONGUE DATE

// INSUFFICIENT VENTILATION OF CLASSROOMS: A WELL-ESTABLISHED FACT

Corinne Mandin (corinne.mandin@cstb.fr), Mickaël Derbez, Olivier Ramalho, Sutharsini Sivanantham, Anthony Grégoire, Claire Dassonville

Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Centre scientifique et technique du bâtiment, Champs-sur-Marne

Soumis le 31.05.2022 // Date of submission: 05.31.2022

Résumé // Abstract

Les écoles sont les lieux de vie les plus fréquentés par les enfants après les logements. La qualité de l'air dans ces espaces est donc primordiale pour leur santé, mais également leur apprentissage. Rapidement après sa création en 2001, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a mis en place un programme de travail dédié aux bâtiments accueillant des enfants. Cet article vise à faire la synthèse des travaux menés, à la lumière des questionnements qui se sont fait jour sur l'aération dans les écoles lors de la pandémie de Covid-19. Les résultats des travaux de l'OQAI montrent de façon homogène une problématique de renouvellement d'air insuffisant dans les salles de classe en France et donc une qualité de l'air intérieur souvent dégradée. Des solutions existent pour inciter à l'ouverture des fenêtres dans les écoles non équipées d'un système mécanique de ventilation. La réduction des sources de pollution intérieure est également un levier majeur pour l'amélioration de la qualité de l'air dans les espaces clos. De façon générale, la sensibilisation des enfants, enseignants et gestionnaires des bâtiments scolaires est à promouvoir.

Schools are the buildings in which children spend most of their time after their home. Therefore, indoor air quality in classrooms is essential for children's health, but also for learning. Following its creation in 2001, the French Indoor Air Quality Observatory (OQAI), a permanent public research initiative, rapidly set up a program dedicated to indoor air quality in schools. This article summarizes the work carried out in light of the issues regarding classroom ventilation that emerged during the COVID-19 pandemic. The program's results have consistently shown a lack of air exchange in classrooms and consequently a poor indoor air quality in these settings. Solutions exist to encourage window opening in schools that are not equipped with a mechanical ventilation system. The removal of indoor pollution sources is also a major action for improving indoor air quality. Overall, raising awareness among children, teachers, and school building managers is fundamental.

Mots-clés : Air intérieur, École, Confinement de l'air, Pollution de l'air, Exposition, Ventilation

// **Keywords:** Indoor air, School, Stuffiness, Air pollution, Exposure, Ventilation

Introduction

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a été mis en place en 2001 par les pouvoirs publics avec pour objectif de décrire et de comprendre la pollution de l'air dans les lieux de vie, afin d'identifier les leviers d'amélioration de la qualité de l'air dans les espaces clos. Dans les écoles, outre des effets sur la santé des enfants, notamment l'apparition de troubles respiratoires^{1,2}, une mauvaise qualité de l'air intérieur aurait un impact sur l'apprentissage³. Un programme de l'OQAI a ainsi été constitué pour étudier spécifiquement la qualité de l'air dans les bâtiments accueillant des enfants, notamment les écoles. Quelques résultats de ce programme sont résumés dans cet article, afin d'illustrer la problématique du renouvellement de l'air dans les salles de classe. Mis en lumière lors de la pandémie de Covid-19⁴, le défaut d'aération et de ventilation dans les écoles est pourtant un sujet connu de longue date, en France et dans l'ensemble des pays industrialisés⁵.

Pratiques d'ouverture des fenêtres et freins à l'aération

Il existe trois contributeurs au renouvellement de l'air dans les bâtiments : i) l'ouverture des fenêtres (on parle alors d'aération), ii) le système de ventilation : mécanisé (VMC), non mécanisé (ventilation par tirage thermique) ou hybride, et iii) les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. Par souci d'économies d'énergie, ces infiltrations d'air parasites sont désormais réduites le plus possible, à la construction ou lors de la rénovation des bâtiments. Ainsi, le renouvellement d'air repose principalement sur l'ouverture des fenêtres et le système de ventilation. Afin de documenter ces deux composantes dans les écoles, une enquête nationale de l'OQAI, pilotée par Sepia-Santé, a été réalisée au cours de l'hiver 2010-2011 auprès d'un échantillon de 2 000 écoles maternelles et élémentaires, tirées au sort dans le parc des écoles en France⁶. Les questionnaires ont été retournés par 985 enseignants de 466 établissements. En période hivernale, 32% des enseignants ont déclaré ouvrir les fenêtres « souvent », 56% les ouvrir « parfois » et 7% ne jamais les ouvrir (information manquante pour 5% des enseignants et un seul a rapporté travailler dans une salle de classe sans fenêtre ouvrante). L'aération n'est donc pas systématique en hiver. Cinq raisons décrivant les freins à l'ouverture des fenêtres ont été exprimées par au moins 20% des enseignants : les courants d'air (33%), les économies d'énergie (31%), la bonne qualité perçue de l'air intérieur justifiant de ne pas ouvrir (30%), le bruit de l'extérieur (25%) et la température intérieure trop froide (22%). Sachant que, dans ce même échantillon, 85% des écoles ne disposaient pas de VMC et que seulement 5% avaient l'intégralité de leurs salles de classe équipées d'une VMC, il était légitime de s'interroger sur la qualité de l'air dans ces bâtiments.

Confinement de l'air des salles de classe en France

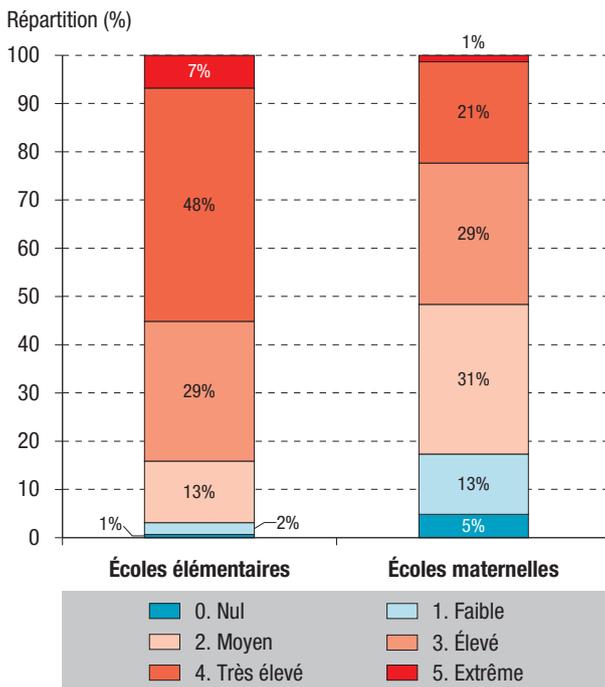
Afin de documenter la qualité de l'air intérieur dans les écoles à l'échelle nationale, l'OQAI a mené, de 2013 à 2017, une campagne de mesures dans un échantillon de 301 écoles, tirées au sort dans le parc des écoles maternelles et élémentaires de France métropolitaine. Dans chaque école, deux salles de classe, également tirées au sort, ont fait l'objet de mesures pendant une semaine scolaire, du lundi matin au vendredi soir. Les mesures portaient sur un large panel de polluants et paramètres, incluant le dioxyde de carbone (CO₂). En effet, émis par les occupants d'un espace clos, le CO₂ est un marqueur du confinement de l'air de ce dernier. Une concentration élevée en CO₂ dans une pièce indique une mauvaise adéquation du renouvellement de l'air de ce local à sa densité d'occupation. Corollairement, ce renouvellement de l'air inadapté implique une dégradation de la qualité de l'air intérieur, puisqu'à l'instar du CO₂ les autres substances présentes dans l'air ne sont pas évacuées⁷. La mesure de la concentration en CO₂ s'effectuant aisément et de façon fiable avec un analyseur portatif et compact à infrarouge, l'évaluation du confinement de l'air intérieur est facile. Sur la base de la mesure des concentrations en CO₂, il est possible d'exprimer de façon simple le confinement de l'air grâce à l'indice Icone (indice de confinement de l'air dans les écoles)⁸. Établi sur une échelle de 0 (confinement nul) à 5 (confinement extrême), cet indice prend en compte à la fois les fréquences de concentrations élevées et leur intensité. La figure 1 présente les valeurs de l'indice Icone dans les écoles en France ; les résultats sur l'échantillon observé ont été extrapolés au parc national des écoles.

Plus de 50% des écoles élémentaires ont au moins une salle de classe présentant un confinement de l'air très élevé (Icone=4) ou extrême (Icone=5), tandis que 22% des écoles maternelles sont dans ce cas. Ces résultats viennent conforter la problématique du confinement de l'air des salles de classe, mise en lumière pour la première fois à large échelle lors de la campagne pilote menée dans 209 écoles en 2009-2011, préalablement à la mise en place de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air dans les établissements recevant du public sensible⁹. Un confinement élevé était observé dans les écoles élémentaires où 32% des salles de classe (n=489) présentaient un indice Icone égal à 4 ou 5, tandis que 9% des salles de classe des écoles maternelles (n=220) avaient un indice Icone de 4 ou 5. Cette différence systématique entre les écoles maternelles et les écoles élémentaires n'a pas été examinée spécifiquement.

L'étude des profils de pollution intérieure dans les salles de classe des écoles en France a montré qu'un indice Icone très élevé ou extrême était statistiquement plus souvent associé à une salle de classe dite « multi-polluée dans l'air », c'est-à-dire présentant des concentrations en polluants dans l'air plus

Figure 1

Répartition de la valeur la plus élevée de l'indice de confinement Icone selon le type d'écoles. Campagne nationale 2013-2017 de l'OQAI, France métropolitaine



Résultats redressés à l'échelle du parc métropolitain des écoles. N=65 660 écoles.

L'indice Icone (indice de confinement de l'air dans les écoles) varie de 0 (confinement nul) à 5 (confinement extrême).

OQAI : Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

élevées que les valeurs moyennes observées dans l'ensemble de l'échantillon, et ceci pour un grand nombre de polluants¹⁰.

Des solutions d'amélioration possibles

Le renouvellement de l'air étant l'un des deux leviers principaux pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur, avec la réduction des sources d'émission de polluants, il est fondamental de sensibiliser les gestionnaires de bâtiments scolaires, le personnel enseignant et les élèves à son importance. Dans la mesure où l'installation d'un système de ventilation mécanique n'est pas toujours aisée dans un bâtiment existant, l'ouverture des fenêtres doit être incitée *a minima*. Des cas particuliers, comme la proximité avec un fort trafic automobile, nécessiteront des mesures spécifiques à déterminer au cas par cas.

Afin de promouvoir l'ouverture des fenêtres, un indicateur lumineux du confinement de l'air a été développé dans le cadre des travaux de l'OQAI et testé dans différentes études. La toute première, menée entre novembre 2007 et février 2008, dans deux crèches, une école maternelle, une école élémentaire, un collège et un lycée, a permis de poser les bases de l'indicateur tricolore : si le voyant est vert (concentration en CO₂ inférieure à 1 000 ppm (partie par million)), l'ambiance n'est pas confinée ; s'il est orange (concentration en CO₂ comprise entre 1 000 et 1 700 ppm), l'ambiance est confinée et il est utile

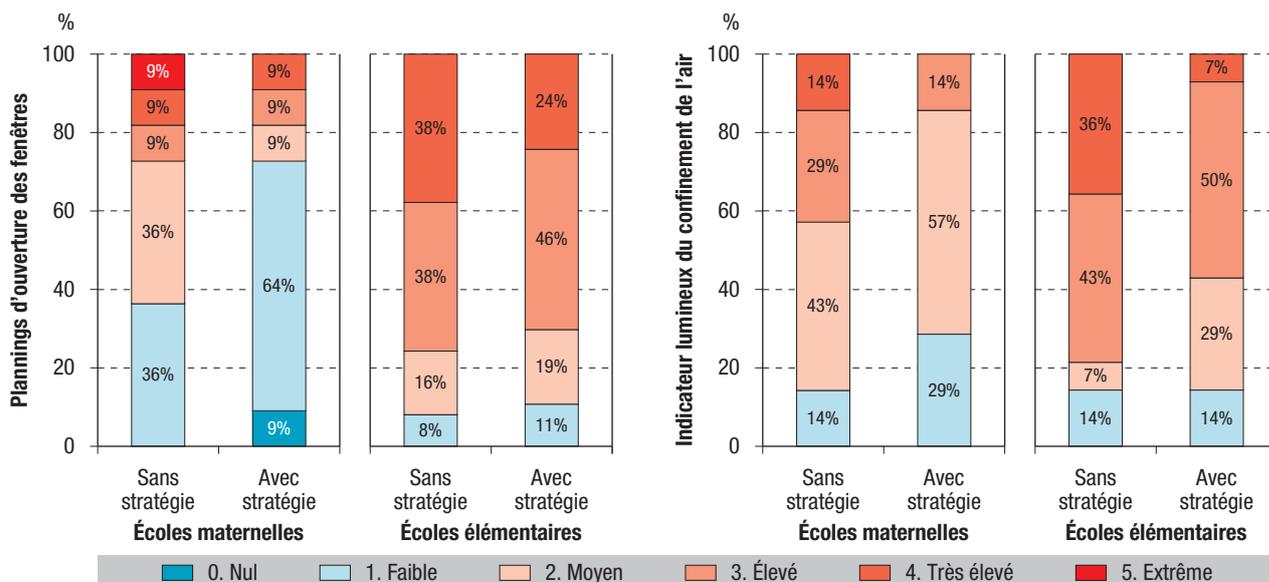
d'ouvrir les fenêtres pour réduire le confinement ; s'il est rouge (concentration en CO₂ supérieure à 1 700 ppm), il est nécessaire d'ouvrir les fenêtres pour augmenter le renouvellement d'air de la pièce. Les valeurs de 1 000 et 1 700 ppm ont été déterminées pour encadrer la valeur limite de 1 300 ppm requise par le règlement sanitaire départemental type (RSDT) dans les locaux non-fumeurs et après avoir été confrontées à des données de terrain qui ont montré leur pertinence à discriminer les situations⁴.

La capacité de l'indicateur lumineux à inciter à l'ouverture des fenêtres a été testée dans 70 salles de classe de trois villes appartenant à des zones climatiques différentes (Nantes, Clermont-Ferrand et Les Pennes-Mirabeau) en 2010¹¹. Pendant la première semaine de l'étude, les concentrations en CO₂ étaient mesurées pour évaluer le confinement, mais aucun affichage lumineux de l'appareil de mesure n'était activé. Puis, pendant une semaine, l'affichage était en place avec la consigne d'ouvrir les fenêtres lorsque l'indicateur passait à l'orange ou au rouge. Pendant les deux dernières semaines de l'étude, l'indicateur lumineux était de nouveau éteint, afin d'examiner si les pratiques d'aération éventuellement mises en place en semaine 2 se poursuivaient. En parallèle, les enseignants (un ou deux par salle de classe) ont été interrogés sur l'acceptation de l'indicateur lumineux et sur l'efficacité de l'appropriation d'habitudes d'aération. Les résultats ont montré une baisse statistiquement significative de l'indice Icone en semaine 2 en comparaison de la première semaine, après ajustement sur la température extérieure. En revanche, en semaines 3 et 4, après suppression de l'indicateur lumineux, l'indice Icone a repris des valeurs plus élevées. Sur les 76 enseignants ayant répondu au questionnaire, 69 (91%) ont apprécié l'indicateur lumineux et 72 (95%) l'ont utilisé pour ouvrir les fenêtres. Interrogés sur les avantages et inconvénients de l'appareil, 9 enseignants (12%) ne lui trouvent que des inconvénients, 59 (80%) au moins un avantage, et 6 (8%) sont sans opinion. Quatre avantages ont été évoqués le plus souvent : prise de conscience de la nécessité d'ouvrir les fenêtres, visualisation de la qualité de l'air, aide à la gestion des ouvrants et aspect pédagogique avec une sensibilisation des enfants.

Un design d'étude similaire a été reproduit à l'hiver 2017-2018 dans 69 salles de classe de la ville d'Aix-les-Bains pour promouvoir l'ouverture des fenêtres dans les écoles non équipées de VMC, notamment en période hivernale où le climat rigoureux est le principal frein à l'aération¹². Outre l'appareil visualisant le confinement de l'air avec l'indicateur lumineux tricolore, une seconde stratégie a été testée, à savoir l'utilisation de plannings d'ouverture des fenêtres mis à disposition des enseignants. Quelle que soit la stratégie mise en place, les deux approches se sont avérées efficaces pour favoriser l'ouverture des fenêtres et réduire le confinement de l'air intérieur (figure 2). Interrogés un mois après la fin de l'étude, 42% des enseignants ayant utilisé un planning, et 36% de ceux ayant eu à disposition un appareil visualisant le confinement, ont déclaré

Figure 2

Indice de confinement de l'air intérieur avec ou sans stratégie d'aération. Étude Aer'Aix, Aix-Les-Bains, hiver 2017-2018



Note : En raison de la faible taille de l'échantillon (n=69 salles de classe), les pourcentages sont arrondis à l'entier et la précision décimale n'est pas fournie car non significative. Ainsi, le total des pourcentages arrondis peut différer de façon marginale de 100%.

avoir maintenu « toujours ou presque toujours » les pratiques d'aération ; 15% et 36% respectivement ont mentionné les avoir « souvent » maintenues. Les études réalisées ont ainsi montré l'adhésion de la majorité des enseignants à un dispositif d'aide à l'ouverture des fenêtres et l'impact effectif de celui-ci sur la réduction du confinement de l'air intérieur. Le maintien de ces bonnes pratiques sur le long terme reste néanmoins à évaluer.

Alors qu'un grand nombre d'études ont été menées dans le monde pour décrire la qualité de l'air intérieur dans les salles de classe, très peu se sont attachées à étudier des solutions pour améliorer le renouvellement de l'air. On peut citer une étude menée aux Pays-Bas pour déterminer l'efficacité de trois outils visant à améliorer le comportement d'aération dans les écoles primaires : des conseils d'aération personnalisés, un dispositif d'avertissement lumineux basé sur la mesure en continu du CO₂ ou un module d'enseignement¹³. D'autres études ont porté sur l'optimisation des systèmes mécaniques de ventilation vis-à-vis des transferts des polluants de l'air extérieur vers l'intérieur des bâtiments : une étude canadienne a examiné l'influence sur la qualité de l'air intérieur de la programmation du fonctionnement de la VMC selon les pics de trafic routier¹⁴ et plusieurs études ont porté sur l'efficacité de la filtration de l'air insufflé mécaniquement dans les salles de classe^{15,16}.

Conclusion

Les résultats des études menées au cours des dernières décennies sur la qualité de l'air dans les salles de classe montrent de façon homogène une problématique de renouvellement d'air insuffisant, donc un risque de qualité de l'air intérieur

souvent dégradée, que ce soit en France ou dans les autres pays. Alors que la pandémie de Covid-19 a mis en lumière ce sujet, ce constat était déjà posé depuis quelques années. Il convient donc de poursuivre le développement de solutions permettant d'assurer l'équilibre entre un renouvellement de l'air suffisant pour garantir la santé, le bien-être et la réussite des enfants à l'école et la réduction des consommations d'énergie, indispensable dans le contexte actuel du changement climatique. La réduction des sources intérieures de pollution est également un objectif primordial. La sensibilisation des occupants et des gestionnaires de bâtiments à la qualité de l'air intérieur doit aussi se poursuivre, afin de faire en sorte que les bonnes pratiques mises en place pendant la pandémie se pérennisent. Enfin, la sensibilisation des enfants à ce sujet peut être intégrée aux activités pédagogiques, et faire ainsi partie de leur éducation à la santé et à l'environnement. ■

Financement et remerciements

Les travaux de l'OQAI dans les écoles ont bénéficié des financements des ministères chargés de la transition écologique, du logement et de la santé, et de l'Agence de la transition écologique (Ademe).

Les auteurs précisent que l'un des appareils de mesure des concentrations en CO₂ et de visualisation du confinement de l'air disponible sur le marché français, l'appareil Class'Air, a été développé par le programme de travail de l'OQAI sous le nom Lum'Air. Cet appareil a fait l'objet d'un dépôt de brevet. Les redevances perçues par le CSTB depuis la société qui exploite ce brevet et assure la commercialisation du Class'Air sont versées au programme de recherche du CSTB et ne bénéficient pas aux auteurs.

Les auteurs remercient Séverine Kirchner et Jacques Ribéron, qui ont contribué à la mise en place et à la conduite des travaux dont les résultats sont présentés dans cet article.

Liens d'intérêt

Olivier Ramalho est co-inventeur du brevet « Procédé de régulation et de contrôle du niveau de confinement de l'air intérieur, dispositif et station d'ambiance associés » (2014). Ce brevet n'est pas en exploitation et n'engendre à ce jour aucun revenu. Les autres auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêt au regard du contenu de l'article.

Références

- [1] Annesi-Maesano I, Baiz N, Banerjee S, Rudnai P, Rive S on behalf of the SINPHONIE Group. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2013;16:491-550.
- [2] Esty B, Phipatanakul W. School exposure and asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2018;120:482-7.
- [3] Wargocki P, Porras-Salazar JA, Contreras-Espinoza S, Bahnfleth W. The relationships between classroom air quality and children's performance in school. *Build Environ.* 2020; 173:106749.
- [4] Haut Conseil de la santé publique. Avis relatif à l'adaptation des mesures d'aération, de ventilation et de mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2, 28 avril 2021. Paris: HCSP; 2021. 31 pages. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1009>
- [5] Fisk WJ. The ventilation problem in schools: Literature review. *Indoor Air.* 2017;27(6):1039-51.
- [6] Guillaum MT, Gallien J, Ezannic J, Ségala C, Ribéron J, Derbez M. Enquête descriptive nationale sur les écoles et les crèches et leurs pratiques d'aération. Rapport SEPIA-Santé-CSTB-OQAI n°ESE-SB/2011-113. Champs-sur-Marne: CSTB; 2011. 110 pages. <https://www.oqai.fr/fr/media/rapports/enquete-descriptive-nationale-sur-les-ecoles-et-les-creches-et-leurs-pratiques-d-aeration>
- [7] Ramalho O, Wyart G, Mandin C, Blondeau P, Cabanes PA, Leclerc N, *et al.* Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values. *Build Environ.* 2015;93(Pt1):115-24.
- [8] Ribéron J, Ramalho O, Derbez M, Berthineau B, Wyart G, Kirchner S, *et al.* Indice de confinement de l'air intérieur : des écoles aux logements. *Pollution atmosphérique.* 2016;(228).
- [9] Ramalho O, Mandin C, Ribéron J, Wyart G. Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centres. *Int J Ventilation.* 2013;12(2):175-80.
- [10] Sivanantham S, Dassonville C, Ramalho O, Mandin C. Caractérisation de la multipollution dans les salles de classe en France. *Environnement, Risques et Santé.* 2021;20(4):361-7.
- [11] Dassonville C, Mandin C, Ribéron J, Wyart G, Ramalho O, Kirchner S. Indicateur lumineux du confinement de l'air intérieur : suivi expérimental dans 70 salles de classe. *Pollution atmosphérique.* 2013;(218).
- [12] Rey G, Sivanantham S, Fauconnet C, Schneider I, Mandin C. Stratégies d'aération dans les écoles de la ville d'Aix-les-Bains – AER'AIX. 2018. 36 p. <https://bibliothec.ademe.fr/air-et-bruit/1749-strategies-d-aeration-dans-les-ecoles-de-la-ville-d-aix-les-bains.html>
- [13] Geelen LM, Huijbregts MA, Ragas AM, Bretveld RW, Jans HW, van Doorn WJ, *et al.* Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behavior in primary schools. *Indoor Air.* 2008;18(5):416-24.
- [14] MacNeill M, Dobbin N, St-Jean M, Wallace L, Marro L, Shin T, *et al.* Can changing the timing of outdoor air intake reduce indoor concentrations of traffic-related pollutants in schools? *Indoor Air.* 2016;26(5):687-701.
- [15] McCarthy MC, Ludwig JF, Brown SG, Vaughn DL, Roberts PT. Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air.* 2013;23(3):196-207.
- [16] van der Zee SC, Strak M, Dijkema MB, Brunekreef B, Janssen NA. The impact of particle filtration on indoor air quality in a classroom near a highway. *Indoor Air.* 2017; 27(2):291-302.

Citer cet article

Mandin C, Derbez M, Ramalho O, Sivanantham S, Grégoire A, Dassonville C. Renouvellement de l'air insuffisant dans les écoles : un constat établi de longue date. *Bull Epidémiol Hebd.* 2022;(19-20):349-53. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2022/19-20/2022_19-20_4.html