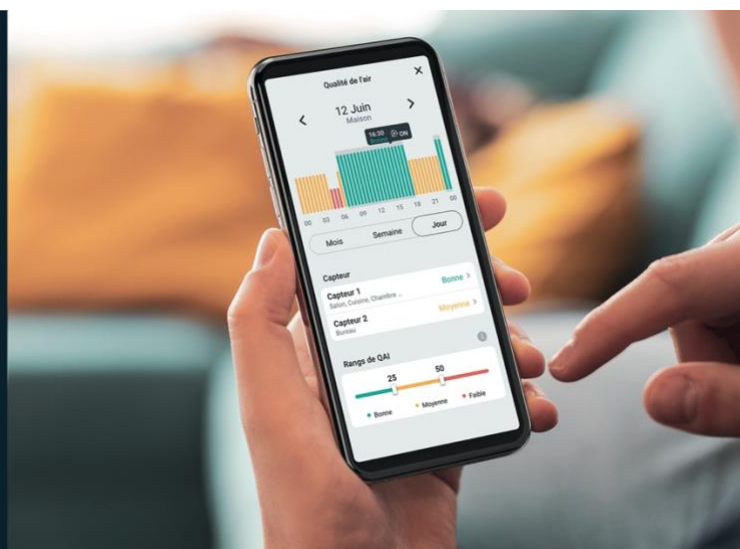




# Rapport de performance de la **technologie QAI** d'Airzone

---



## Introduction

Airzone fait preuve d'un engagement sans faille envers le bien-être des utilisateurs et la protection de l'environnement. Toutes les solutions de contrôle conçues par l'entreprise ont donc pour objectif l'atteinte d'un grand confort et d'une efficacité énergétique élevée.

La population a de plus en plus tendance à rester à l'intérieur pendant de nombreuses heures. Dans les zones urbaines, les gens passent 90 % de leur temps dans des endroits fermés [1]. Cette tendance en matière d'habitudes de vie entraîne des changements significatifs, tant concernant la consommation d'énergie des bâtiments que concernant les exigences de confort et de qualité de l'air intérieur qui s'appliquent à ces derniers.

Pour cette raison, Airzone a développé une solution qui conjugue contrôle hygrothermique et purification de l'air délivré dans les espaces occupés.

Le développement de cette solution se base sur les principes de base suivants :

- Le traitement de purification doit pouvoir être effectué en présence des utilisateurs.
- Le système de contrôle et de purification doit être intégré au réseau de distribution de l'air, en tirant parti des caractéristiques des ventilateurs déjà présents.

Grâce à la technologie utilisée par Airzone, il est possible de contrôler à distance les principaux paramètres de fonctionnement (marche et arrêt, mode de fonctionnement, vitesse du ventilateur et température de consigne) des unités de chauffage et refroidissement, ainsi que réduire le temps de suspension dans l'air des particules fines.

La solution de purification pour améliorer la qualité de l'air développée par le département d'ingénierie d'Airzone est compacte. Elle peut ainsi être placée dans les éléments de diffusion Airzone (motorisés ou non) et dans la zone de soufflage des unités de chauffage et refroidissement multizones avec Easyzone.

Différentes études réalisées dans les laboratoires d'Airzone ont démontré de façon empirique que l'utilisation de ce dispositif entraîne une réduction de 47 % de la concentration maximale d'une source ponctuelle de matières particulaires de 2,5  $\mu\text{m}$ , ou  $\text{PM}_{2,5}$  (Particulate Matter en anglais), et une diminution allant jusqu'à 55 % du temps de suspension dans l'air de ces particules.

Le dispositif développé par Airzone a également été soumis à des tests effectués par des laboratoires externes, qui ont vérifié son effet positif dans la lutte contre les allergies provoquées par les acariens de la poussière, les poils d'animaux, la fumée de tabac et le pollen. De même, ces tests ont constaté l'efficacité de cette solution pour l'élimination des composés organiques volatiles (COV), des bactéries et des virus.

Ces preuves permettent d'affirmer que la solution conçue par Airzone augmente la qualité de l'air intérieur, ainsi que l'économie d'énergie, en réduisant le taux d'air extérieur nécessaire pour diluer les polluants.

Ce rapport regroupe les informations de performance de la solution de purification développée par Airzone.

## Qualité de l'air intérieur et particules $\text{PM}_{2,5}$

La qualité de l'air intérieur est étroitement liée, entre autres, à l'absence de particules en suspension.

Les matières particulaires font référence à un mélange hétérogène et complexe de particules liquides et/ou solides de substances organiques et inorganiques qui sont en suspension dans l'air.

Les matières particulaires font partie de la pollution de l'air et représentent un risque pour la santé de la population. À tel point que les particules sont considérées comme des polluants atmosphériques, au même titre que le SO<sub>2</sub> (dioxyde de soufre), le NO<sub>x</sub> (oxyde d'azote), le CO (monoxyde de carbone), le Pb (plomb), le C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (benzène) et l'O<sub>3</sub> (ozone), par la directive 2008/50/CE [2].

La composition des matières particulaires est très variée. Parmi leurs principaux composants, on peut notamment retrouver : des sulfates, des nitrates, de l'ammoniaque, du chlorure de sodium, du charbon, des poussières minérales, des cendres métalliques, du pollen, des acariens de la poussière, de la fumée de tabac, etc.

Les matières particulaires se cataloguent en fonction de leur taille :

- Particules grossières : 10 µm > diamètre aérodynamique équivalent > 2,5 µm.
- Particules fines : diamètre aérodynamique équivalent < 2,5 µm.

L'exposition chronique prolongée à des matières particulaires augmente le risque de maladies cardiovasculaires [3], respiratoires (asthme [4], troubles pulmonaires [5] ou allergies [6]) et de cancer du poumon [7].

En raison de leur taille, les particules PM<sub>2,5</sub> représentent un risque pour la santé supérieure à celui des particules PM<sub>10</sub>, pour trois motifs.

- 1) Elles peuvent voyager profondément dans les poumons, en pénétrant dans le système respiratoire et en se déposant dans les alvéoles pulmonaires, en arrivant même à atteindre le flux sanguin. Elles sont donc susceptibles d'endommager n'importe quel organe du corps humain.
- 2) Elles se composent d'éléments plus toxiques (métaux lourds et composés organiques, par exemple) que ceux que l'on retrouve, en général, dans les particules plus grandes.
- 3) Elles sont plus légères et restent en suspension dans l'air plus longtemps. Cela prolonge non seulement leurs effets délétères, mais facilite également leur transport dans l'air.

Pour ces raisons, l'OMS stipule, pour les particules PM<sub>2,5</sub>, un seuil d'exposition de 10 µg/m<sup>3</sup> (moyenne annuelle) et de 25 µg/m<sup>3</sup> (moyenne sur 24 heures). Pour les particules PM<sub>10</sub>, le seuil d'exposition est fixé à 20 µg/m<sup>3</sup> (moyenne annuelle) et à 50 µg/m<sup>3</sup> (moyenne sur 24 heures) [8].

## Technologie d'ionisation

Airzone a mis en œuvre une technologie d'ionisation négative pour éliminer les particules de l'air.

L'ionisation de l'air est un processus qui survient lorsque les électrons sont éliminés ou s'ajoutent aux atomes, ce qui entraîne un déséquilibre de la charge. Les configurations électriques des ions de l'air ainsi formés comprennent H<sup>+</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, O<sup>+</sup>, N<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> et O<sub>2</sub><sup>-</sup>.

Ces molécules ionisées agissent comme des noyaux de condensation pour des petites particules qui, en se regroupant, grandissent et augmentent en masse. Elles forment donc plus facilement un précipité et sont captées avec des filtres pour particules plus grossières.

L'ionisation de l'air permet de diminuer le temps de suspension des particules, pour ainsi réduire les particules inhalées jusqu'à 46 % [9], [10] et [11]. Avec cette technique, il est possible d'atteindre des taux d'élimination des particules 20 % supérieurs à ceux obtenus grâce à une filtration haute efficacité [12] et [13].

Il existe également des preuves scientifiques concernant les avantages de l'ionisation pour empêcher l'effet des allergies dues aux acariens de la poussière, aux poils d'animaux, à la fumée de tabac et au pollen [14], [15], [16] et [17].

Les molécules ionisées dans l'air sont également capables d'agir sur les composés organiques volatils [18] et [19], d'éliminer des bactéries (*Serratia marcescens* [20] et [21], *E. coli* [22] et [23], *Candida albicans* [24] et [23], *Staphylococcus aureus* [25] ou *P. fluorescens* [26]) et d'inhiber des virus (maladie de Newcastle [27] et grippe [28]). Les molécules ionisées détériorent la membrane externe des virus et exposent leur ARN à l'oxydation.

La diffusion des ions est obtenue par répulsion électrostatique. La migration des ions dépend de l'alignement du champ magnétique généré entre le point d'émission et les objets qui l'entourent. La concentration des ions qui entourent les générateurs n'est pas homogène et diminue considérablement avec la distance. Leur installation avec des ventilateurs augmentera donc la zone de dispersion ionique.

Le processus d'ionisation de l'air peut être réalisé de manière artificielle grâce à différents mécanismes. Au cours des dernières années, les techniques d'ionisation de l'air ont progressé de manière exponentielle, passant des lampes ionisantes à la technologie à pointe d'aiguille utilisée par Airzone. Cela a permis de réduire considérablement la taille des unités et de réduire les coûts de maintenance et remplacement.

La situation mondiale actuelle a popularisé l'installation de différentes technologies de purification de l'air. Mais toutes ne peuvent pas être associées aux unités de chauffage et refroidissement utilisées habituellement dans les secteurs résidentiel et tertiaire. Pour vous permettre de mieux comprendre pourquoi Airzone a choisi la technologie d'ionisation, vous retrouverez dans le Tableau 1 une comparaison des caractéristiques des principales technologies du marché.

	Ionisation négative	Ozone	Ultraviolet	Oxydation photocatalytique	Filtration haute efficacité
Traitement avec occupation	OUI	OUI Concentration < 100 µg/m³ [8]	OUI Dose < 2,8 mJ/cm² [31]	OUI	OUI
Biocide	NON Non reconnu officiellement	NON Non reconnu officiellement [29] Concentration > 2 mg/m³ Oxydant qui réagit avec les protéines et les lipides, mais incompatible avec l'occupation	OUI λ = 253,7 nm Dose = 50 mJ/cm² (ε = 99 %) Altère l'ADN et empêche la reproduction	OUI Oxydant des composés organiques volatils et altérateur de l'ADN	NON
Restriction de montage et sécurité	Très faibles niveaux de génération d'ozone	H > 2,20 m, contrôle de limiteur et signal lumineux [30]	Éviter l'exposition directe	Éviter l'exposition directe	Retrait des filtres de protection

Compatible avec les unités de chauffage et refroidissement	OUI	NON Très réactif et corrosif avec les métaux	OUI Éviter l'exposition directe sur des polymères en raison de la dégradation photo-oxydative [32]	OUI Éviter l'exposition directe sur des polymères en raison de la dégradation photo-oxydative [32]	NON Perte de charge élevée
Coût	Faible	Moyen	Moyen	Élevé	Faible
Maintenance	Remplacement d'ioniseur (8 ans)	Remplacement d'ozonateur (4 ans)	Remplacement de lampe (2 ans)	Remplacement de lampe (2 ans)	Nettoyage des filtres (4 mois)

Tableau 1. Comparaison des technologies de purification d'air du marché.

## Test en laboratoire

La technologie développée para Airzone a été soumise à différents tests de performances. Vous trouverez ci-dessous la description des tests effectués, ainsi que les résultats obtenus.

### Élimination de particules PM<sub>2,5</sub>

Airzone dispose d'un laboratoire doté d'une salle imitant les conditions réelles d'un logement ou d'un bureau.

Le volume de la salle de test est de 70 m<sup>3</sup>, et elle comprend un sol en grès et un plafond et des murs en plâtre. Les dimensions de la salle sont les suivantes : 7,15 m de long, 3,80 m de large et 2,55 m de haut.

L'unité de 3,5 kW thermiques a été testée dans cette salle.

Le réseau de distribution d'air est formé des éléments suivants :

- Plénum de soufflage Easyzone.
- 10 mètres de gaine flexible circulaire isolée à 3 coudes.
- Plénum de grille.
- Grille de diffusion de 300 x 150 mm.

La concentration en particules PM<sub>2,5</sub> est générée de manière artificielle grâce à la combustion de 4 bâtons d'encens.

Pour le premier test, le système de purification est désactivé. Pour le deuxième test, le système de purification est activé. Dans les deux cas, l'évolution temporelle de la concentration en particules PM<sub>2,5</sub> est surveillée, grâce à un réseau de sondes (Honeywell HMP et Panasonic SN-GCJA5), situées dans la salle ainsi qu'au niveau du soufflage et de la reprise du réseau de distribution de l'air.

L'unité de chauffage et refroidissement a été testée en sélectionnant toujours la vitesse la plus faible. De cette manière, le débit entraîné dans la salle est de 360 m<sup>3</sup>/h (ce qui équivaut à 5 renouvellements/heure), avec une vitesse de soufflage sur la grille d'environ 2,5 m/s.

La Figure 1 montre l'évolution temporelle de la concentration mesurée sur le plénum de reprise. Les quatre bâtons se sont consumés en une heure environ. Durant cette période, on peut constater l'augmentation de la concentration en particules. Le pic maximal avec le système de purification désactivé (ligne orange) est de 512 µg/m<sup>3</sup>. Avec le système de purification activé (ligne verte), il ne s'élève qu'à 273 µg/m<sup>3</sup>. Cela équivaut à une réduction de 47 % de la concentration ponctuelle maximale pendant le test.

Une fois les bâtons consumés, la concentration en particules commence à baisser. Toutefois, lorsque le système de purification est désactivé (ligne orange), un total de

11 heures et 45 minutes sont nécessaires à l'élimination de toutes les particules. En revanche, avec le système de purification activé (ligne verte), seules 5 heures et 20 minutes sont nécessaires. Cela signifie que l'utilisation du dispositif Airzone permet de réduire de 55 % le temps pendant lequel les particules PM<sub>2,5</sub> restent en suspension dans l'air.

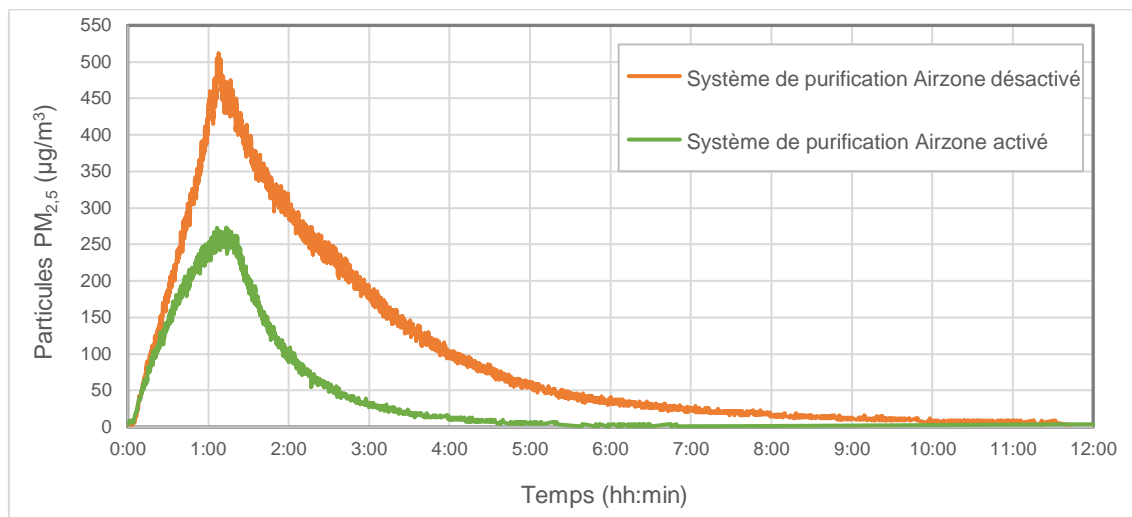


Figure 1. Évolution temporelle de la concentration en particules PM<sub>2,5</sub>.

On constate bien l'effet positif de la solution Airzone sur la qualité de l'air intérieur, en raison de l'absence de particules en suspension.

## Effet désodorisant sur les COV

Le laboratoire japonais Boken Quality Evaluation Institute a démontré le puissant effet désodorisant de la solution de purification Airzone pour les sources de composés organiques volatils, et plus concrètement pour le CH<sub>2</sub>O (formaldéhyde) et le H<sub>2</sub>S (sulfure d'hydrogène).

La Figure 2 montre l'évolution temporelle de la concentration en CH<sub>2</sub>O. On peut constater une réduction de 60 % du COV de type formaldéhyde, après un temps d'exposition de 2 heures.

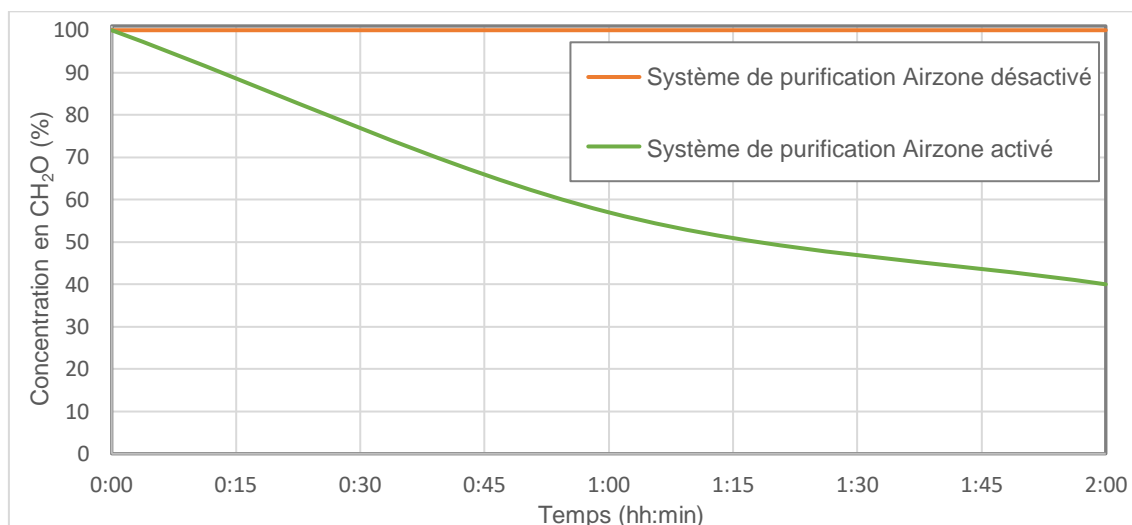


Figure 2. Évolution temporelle de la concentration en CH<sub>2</sub>O (formaldéhyde).  
Source : Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

La Figure 3 montre l'évolution temporelle de la concentration en  $H_2S$ . On peut constater une réduction de 100 % du COV de type sulfure d'hydrogène, après un temps d'exposition de 2 heures.

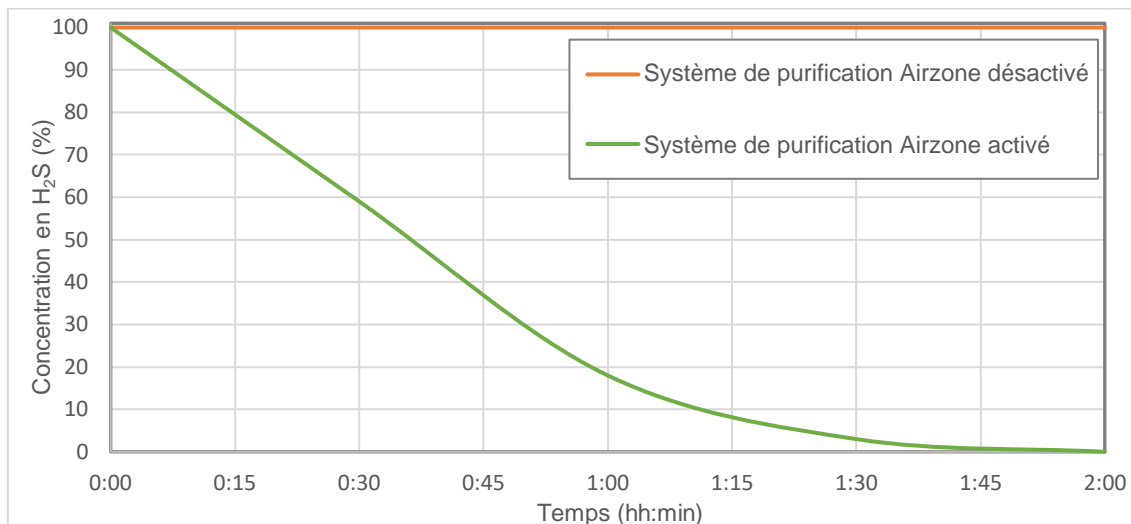


Figure 3. Évolution temporelle de la concentration en  $H_2S$  (sulfure d'hydrogène).  
Source : Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Ces tests prouvent que la technologie de purification d'Airzone réduit les composés organiques volatils et réduit les odeurs désagréables dans l'atmosphère.

## Effet antibactérien

Le laboratoire japonais Boken Quality Evaluation Institute a démontré le haut potentiel antibactérien de la solution de purification Airzone, plus concrètement en ce qui concerne le *Bacillus coli* et le *Staphylococcus aureus*.

La Figure 4 montre l'évolution temporelle des unités formatrices de colonies de *Bacillus coli*. Cette figure montre comment la colonie prospère en une journée, jusqu'à atteindre 130 ufc, avec le système de purification Airzone désactivé (ligne orange). On peut voir comment, au contraire, la colonie est entièrement éliminée en une journée avec l'activation du système de purification Airzone (ligne verte).

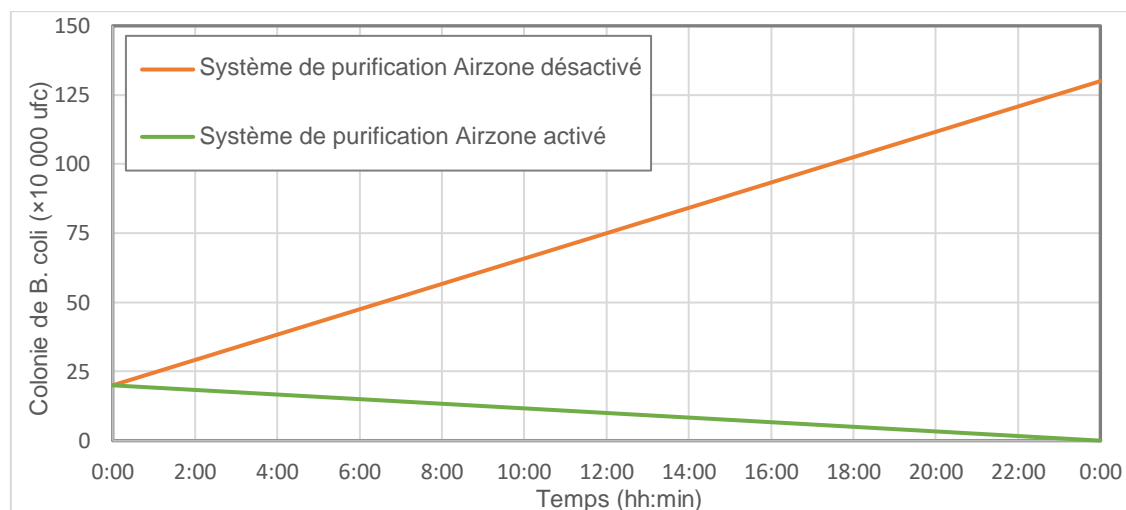


Figure 4. Évolution temporelle du nombre d'unités formatrices de colonies de *Bacillus coli*.  
Source : Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.



La Figure 5 montre l'évolution temporelle des unités formatrices de colonies de *Staphylococcus aureus*. Sur cette figure, on constate comment la colonie prospère en une journée, jusqu'à atteindre 160 ufc, avec le système de purification Airzone désactivé (ligne orange). On peut voir comment, au contraire, la colonie est entièrement éliminée en une journée avec l'activation du système de purification Airzone (ligne verte).

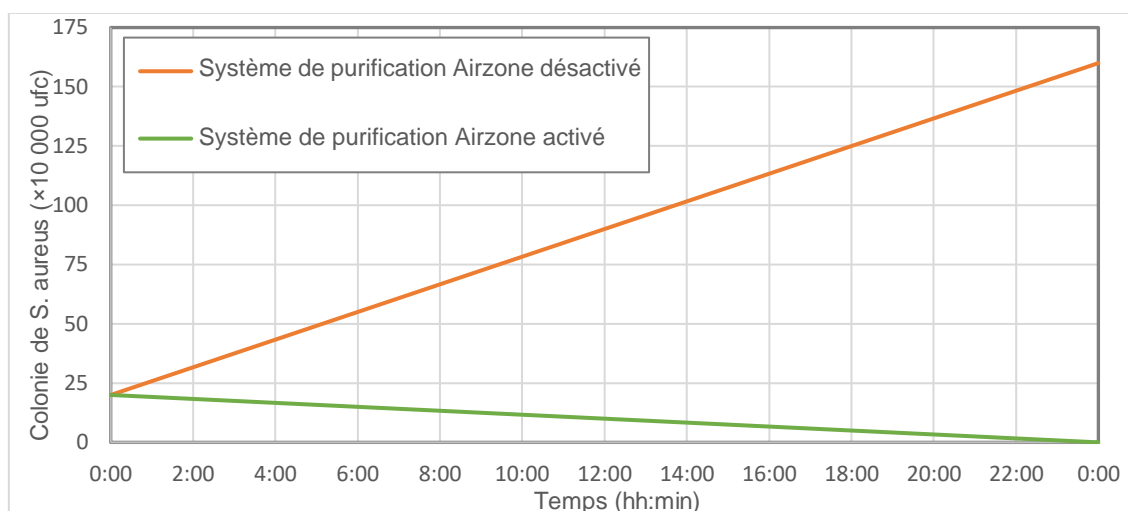


Figure 5. Évolution temporelle du nombre d'unités formatrices de colonies de *Staphylococcus aureus*.  
Source : Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Ces tests prouvent que la technologie de purification d'Airzone réduit différents types de bactéries.

## Effet antiviral

L'association BSA (Biomedical Sciences Association) de la faculté de médecine vétérinaire et de sciences biomédicales du Texas a démontré l'effet inhibiteur de la solution de purification Airzone sur le virus de la grippe H3N2, grâce à la réduction de son taux d'infectiosité.

Le taux d'infectiosité correspond au nombre de particules virales capables d'envahir une cellule hôte.

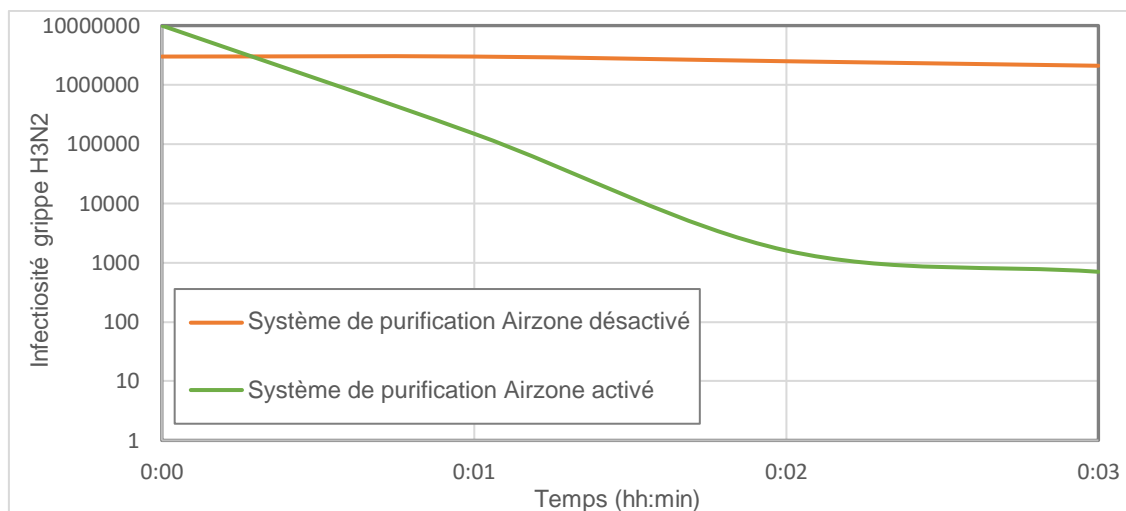


Figure 6. Évolution temporelle du taux d'infectiosité du virus de la grippe H3N2.



Source : Murata Manufacturing Co., Ltd - Biomedical Sciences Association (Texas A&M University).

La Figure 6 montre l'évolution temporelle du taux d'infectiosité du virus de la grippe H3N2. Cette figure montre comment le taux d'infectiosité ne diminue presque pas lorsque le système de purification Airzone (ligne orange) reste désactivé. On peut au contraire constater une chute logarithmique dès les deux premières minutes, lorsque le système de purification Airzone (ligne verte) est activé. Après trois minutes d'exposition, l'infectiosité baisse, et passe de  $10^7$  à 700.

Il est ainsi prouvé que l'exposition directe à la technologie de purification d'Airzone a un effet inhibiteur sur les virus.

## Dimensionnement (UL 2998)

Airzone a prêté une attention toute particulière au dimensionnement du système de purification, pour se conformer à la norme UL 2998 (Air cleaner validation for zero ozone emissions).

Cette norme de sécurité et de qualité des produits pour les États-Unis et le Canada stipule qu'aucun appareil à usage domestique ne doit produire une concentration supérieure à 0,05 ppm dans le volume décrit à la section 37.2 de cette norme.

La salle de test mentionnée mesure entre 950 et 1 100 pieds cubes ( $27$  et  $31 \text{ m}^3$ ). Des proportions spécifiques doivent également être respectées. Sa largeur doit être d'au moins 8 pieds (2,4 m), et sa hauteur maximale de 10 pieds (3 m).

Pendant le test, la salle de test doit être maintenue dans des conditions stables. La température doit être de  $77 \pm 4 \text{ }^\circ\text{F}$  ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ), et l'humidité relative de  $50 \pm 5 \text{ \%}$ .

Le produit testé doit être placé au milieu de la salle de test, à une distance du sol de 30 pouces (762 mm).

L'émission d'ozone est contrôlée pendant 24 heures, pour déterminer la concentration.

Dans les conditions du test, la densité de l'ozone est de  $2,14 \text{ kg/m}^3$ , pour une masse molaire de  $48 \text{ g/mol}$ . La densité de l'air est de  $1,184 \text{ kg/m}^3$ .

Avec ces informations et en tenant compte de la quantité d'ozone générée comme sous-produit de l'ionisation ( $15 \text{ mg/h}$  par ioniseur), telle que certifiée par Murata dans son rapport JEHVAA-0141B, il est nécessaire de respecter le volume de décharge minimum indiqué dans le Tableau 2.

	Puissance thermique de l'unité		
	< 5 kW	7,1 kW	10-14 kW
Volume de décharge minimum	$27 \text{ m}^3$ (3 x 3 x 3 m)	$54 \text{ m}^3$ (4,25 x 4,25 x 3 m)	$81 \text{ m}^3$ (5,2 x 5,2 x 3 m)

Tableau 2. Volume (et dimensions) de l'espace minimum de décharge d'air.

Les volumes indiqués sont conçus en tenant compte de la sécurité car le système de purification ne sera pas activé 24 h/24 et 7 j/7.

## Conclusions

Les informations de performance de la solution de purification développée par Airzone permettent d'affirmer qu'il s'agit d'un dispositif sûr et compact, capable d'améliorer la qualité de l'air intérieur des manières suivantes :

- Réduction des particules fines en suspension dans l'air, avec des rendements supérieurs à la filtration haute efficacité.
- Effets positifs pour les problèmes respiratoires et les allergies provoquées par les acariens de la poussière, les poils d'animaux, la fumée de tabac et le pollen.
- Élimination des odeurs, grâce à la réduction des COV dans l'air.
- Inhibition des bactéries et virus.

Tout cela, sans porter atteinte aux prestations fonctionnelles des ventilateurs des unités intérieures.

La solution de purification Airzone améliore non seulement la qualité de l'air intérieur, mais réduit également la consommation électrique, car elle diminue la quantité d'air extérieur fournie aux espaces chauffés et refroidis et permet de contrôler à distance les unités de chauffage et refroidissement.

Toutes ces caractéristiques font du dispositif de purification Airzone une solution très attractive pour les certifications de construction durable, telles que BREEAM ou LEED, pour lesquelles l'utilisation de la solution Airzone pourrait permettre d'obtenir une note supérieure.

## Bibliographie

- [1] Klepeis, N. et al. Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. Vol. 11 (2001), pp 231–252.
- [2] Directive 2008/50/EC of the *European Parliament and of the Council* of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- [3] Liang, F. et al. Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardiovascular Disease in China. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 75-7 (2020), pp 707–717.
- [4] Hakan, L. et al. Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10-2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and Children's Hospital admission for Asthma and Respiratory Diseases: A Bidirectional Case-Crossover Study. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Vol. 71–8 (2008).
- [5] Hou, D. et al. Associations of long-term exposure to ambient fine particulate matter and nitrogen dioxide with lung function: A cross-sectional study in China. *Environmental International*. Vol. 144 (2020).
- [6] Wang, M. et al. The association between PM<sub>2.5</sub> exposure and daily outpatient visits for allergic rhinitis: evidence from a seriously air-polluted environment. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 64 (2020), pp 139–144.
- [7] Raaschou-Nielsen, O. et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environmental International*. Vol. 87 (2016), pp 66–73.
- [8] World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005 Summary of risk assessment.
- [9] Tanaka A. and Zhang, Y. Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. *Journal of Agricultural Safety and Health*. Vol. 2-1 (1996), pp 39–47.
- [10] Mayya, Y. S., Sapra, B. K., Khan, A. and Sunny, F. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 35-8 (2004), pp 923–941.
- [11] Sawant, V.S. Removal of particulate matter by using negative electric discharge. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. Vol. 2 (2013), pp 48–51.
- [12] Pushpawela, B., Jayaratne, R., Nguy, A and Morawska, L. Efficiency of ionizers in removing airborne particles in indoor environments. *Journal of Electronics*. Vol. 90 (2017), pp 79–84.
- [13] Lee, B. U., Yermakov, M. and Grinshpun, S. A. Removal of fine and ultrafine particles indoor air environment by the unipolar ion emission. *Atmospheric Environment*. Vol 38 (2004), pp 4815–4823.
- [14] Cutis, N. J., Woodfolk, J. A., Vaughan, J. W. and Platts-Mills, T. A. E. Quantitative measurement of airborne allergens from dust mites, dogs, and cats using an ion-charging device. *Clinical & Experimental Allergy*. Vol. 33 (2003), pp 986–991.
- [15] Goodman, N. and Hughes, J. F. The effect of corona discharge on dust mite and cat allergens. *Journal of Electrostatics*. Vol. 60 (2004), pp 69–91.
- [16] Sawant, V. S., Meena, G. S. and Jadhav, D. B. Effect of negative air ions on fog and smoke. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol 12 (2012), pp 1007–1015.

- [17] Kawamoto, S., Oshita, M., Fukuoka, N., Shigeta, S., Aki, T., Hayashi, T., Nishikawa, K. and Ono, K. Decrease in the Allergenicity of Japanese Cedar Pollen Allergen by Treatment with Positive and Negative Cluster Ions. *International archives of allergy and immunology*. Vol. 141-4 (2006), pp 313–321.
- [18] Wu, C. C. and Lee, G. W. M. Oxidation of Volatile Organic Compounds by Negative Air Ions. *Atmospheric Environment*. Vol. 38 (2004), pp 6287–6295.
- [19] Kim, K., Szulejko, J. E., Kumar, P., Kwon, E.E. and Adelodun, A. A. Air ionization as a control technology for off-gas emissions of volatile. *Environmental Pollution*. Vol. 225 (2017), pp 729–243.
- [20] Phillips, G., Harris, G. J. and Jones, M. W. Effects of air ions on bacterial aerosols. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 8 (1964), pp 27–37.
- [21] Zhou<sup>a</sup>, P., Yang<sup>c</sup>, Y., Huang, G. and Lai<sup>b</sup>, C. K. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Building and Environmental*. Vol. 127 (2018), pp 204–210.
- [22] Tyagi, A. K., Nirala, B. K., Malik, A. and Singh, K. The effect of negative air ion exposure on Escherichia coli and Pseudomonas fluorescens. *Journal of Environmental Science and Health. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Vol. 43 (2008), pp 694–699.
- [23] Noyce, J. O. and Hughes, J. F. Bactericidal effects of negative and positive ions generated in nitrogen on Escherichia coli. *Journal of Electrostatics*. Vol. 54 (2002), pp 179–187.
- [24] Shargawi, J. M., Theaker, E. D., Drucker, D. B., MacFarlane, T. and Duxbury A. J. Sensitivity of *Candida albicans* to negative air ion streams. *Journal Applied Microbiology*. Vol. 87 (1999), pp 889–897.
- [25] Dobrynin, D., Friedman, G., Fridman, A. and Starikovskiy, A. Inactivation of bacteria using DC corona discharge: Role of ions and humidity. *New Journal of Physics*. Vol. 13 (2011).
- [26] Timoshkin, I. V., Maclean, M., Wilson, M. P., Given, M. J., MacGregor, S. J., Wang, T. and Anderson, J. G. Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air. *IEEE Transactions on Plasma Science*. Vol. 40-10 (2012), pp 2322–2333.
- [27] Bailey, W. Mitchell, P. and Daniel, J. K. Effect of Negative Air Ionization on Airborne Transmission of Newcastle Disease Virus. *Avian Diseases*. Vol. 38 (1994), pp 725–732.
- [28] Hagbom, M., Nordgren, J., Nybom, R., Hedlund, K., Wigzell, H. and Svensson, L. Ionizing air effects influenza virus infectivity and prevents airborne-transmission. *Scientific Reports*. Vol. 5 (2015).
- [29] Productos virucidas autorizados en España. Secretaría de Estado de Sanidad. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (2020).
- [30] UNE 400201:1994. Generadores de ozono. Tratamiento de aire. Seguridad química.
- [31] Directive 2006/25/EC. Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation).
- [32] Ghatge, N. and Vernekar, S. Evaluation of ultraviolet light absorbers in poly vinyl chloride (PVC). *Macromolecular Materials and Engineering*. Vol. 20-1 (1971), pp 175–180.