

EFFET DU CHAMP ELECTRIQUE SUR LA SURVIE DE MICROORGANISMES EN DEPOTS DE SURFACE DANS LE COLLECTEUR D'UN ELECTROFILTRE

H. Michel^{1*}, B. Golly¹, L. Alonso², S. Parat³, E. Lyautey⁴, M. Ondarts¹, E. Gonze¹

¹LOCIE, UMR5271, Université Savoie Mont-Blanc, 73370 Le Bourget du Lac, France

²EDYTEM, UMR5204, Université Savoie Mont-Blanc, 73370 Le Bourget du Lac, France

³AIR&BIO, 488 rue Costa de Beauregard, 73000 Chambéry, France

⁴CARRETEL, INRAE UMR, Université Savoie Mont-Blanc, 73370 Le Bourget du Lac, France

*Courriel de l'orateur : hanelor.michel@univ-smb.fr

TITLE

EFFECT OF AN ELECTRIC FIELD ON THE SURVIVAL OF SURFACE DEPOSIT MICROORGANISMS IN AN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR'S COLLECTOR

RESUME

Les électrofiltres basse intensité sont efficaces pour collecter les bioaérosols tout en limitant la formation de sous-produits indésirables, mais leur impact sur la viabilité microbienne reste peu étudié. Cette étude évalue le développement et la viabilité de *Staphylococcus epidermidis* déposée sur les plaques collectrices d'ESP à ionisation douce, en examinant l'effet du champ électrique et des matériaux du collecteur.

ABSTRACT

Low-intensity electrostatic precipitators (ESPs) are effective at collecting bioaerosols while limiting the formation of undesired by-products, but their impact on microbial viability remains poorly studied. This study evaluates the growth and viability of *Staphylococcus epidermidis* deposited on the collecting plates of soft-ionization ESPs, examining the effects of the electric field and collector materials.

MOTS-CLES : Electrofiltre, Bioaérosol, Qualité de l'air intérieur

KEYWORDS: Electrostatic Precipitator, Bioaerosol, Indoor air quality

1. INTRODUCTION

Les microorganismes en suspension dans l'air intérieur proviennent principalement des occupants, mais également des animaux et plantes, du sol, des matériaux de construction, des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation et de l'environnement extérieur. Cette origine multiple contribue à ce que les concentrations microbiennes en milieu occupés soient souvent élevées : une étude menée sur 120 sites (bureaux, écoles et logements privés) a montré que les niveaux de bactéries et de moisissures en air intérieur dépassent systématiquement ceux de l'air extérieur, avec des ratios allant de 10 à 100 pour les bactéries (Mentese et al., 2009). Dans ces environnements confinés, la transmission des aérosols biologiques repose principalement sur l'inhalation de gouttelettes ou de particules en suspension contenant des agents infectieux, qu'il s'agisse de bactéries, de virus ou de spores fongiques favorisant ainsi la propagation de diverses pathologies (Santurtún et al., 2022 ; Zhu et al., 2021).

Dans ce contexte, la filtration de l'air doit permettre de limiter la présence et la diffusion de ces agents biologiques. Les médias filtrants constituent aujourd'hui la technologie la plus répandue en raison de leurs très bonnes performances de filtration. Toutefois, leur utilisation s'accompagne de contraintes, telles qu'une perte de charge élevée, un coût de maintenance important et la nécessité de remplacer les filtres. Par ailleurs, il est désormais reconnu que les filtres eux-mêmes peuvent favoriser le développement microbien, pouvant conduire au relargage de microorganismes en aval du filtre lors du fonctionnement des centrales de traitement de l'air (Forthomme et al., 2014 ; Xiong et al., 2020).

Les électrofiltres présentent une haute efficacité de collecte des particules, génèrent une très faible perte de charge et offrent une capacité de stockage des poussières élevée sans colmatage. Par ailleurs, leur flexibilité géométrique permet leur intégration aisée dans les systèmes de ventilation. Ces dernières années, l'introduction de décharges ionisantes de très faible intensité (ionisation douce) a permis de réduire considérablement la réactivité du milieu et de limiter la formation de sous-produits indésirables (ozone et oxydes d'azote) à des niveaux de l'ordre de quelques ppbv (Chen et al., 2020). Ces ESP basse intensité se conforment désormais à la réglementation (Code de l'Environnement Articles R221-1 à R221-3) et peuvent être mis à profit dans le traitement de l'air intérieur. Si l'effet biocide des ESP « classiques » est bien documenté et avéré (Sysolyatina et al., 2014 ; Whiley et al., 2022), les nouveaux ESP à ionisation douce

restent encore très peu étudiés pour l'inactivation des contaminants biologiques. Il est désormais essentiel d'évaluer l'impact de cette évolution technologique sur la viabilité et la capacité à proliférer des diverses souches microbiennes présentes dans les bioaérosols.

2. OBJECTIFS

L'objectif de cette étude est d'apporter de nouvelles connaissances sur le développement et la viabilité des microorganismes dans les électrofiltres basse intensité constitués d'un étage d'ioniseur par aiguilles suivi d'un collecteur de type plaque-plaque. Cette première étude se concentre sur les microorganismes accumulés dans les dépôts présents sur les plaques collectrices.

L'efficacité de collecte des particules est usuellement estimée par l'efficacité du procédé à retenir les aérosols par dépôt électrostatique. Toutefois, dans le cas des bioaérosols, une dimension supplémentaire doit être prise en compte : la viabilité des microorganismes collectés et déposés en surface des plaques collectrices. En effet, ces dépôts microbiens s'accumulent progressivement dans le collecteur et peuvent y demeurer pendant plusieurs mois. Si les microorganismes déposés restent viables et se multiplient, un risque de réentraînement de bioaérosols existe, notamment lors de la remise en fonctionnement de la ventilation, avec une charge biologique potentiellement plus importante liée à la concentration et à une prolifération éventuelle des microorganismes dans le collecteur.

Il est donc essentiel de comprendre le devenir des microorganismes déposés sur les plaques collectrices et d'identifier les paramètres de fonctionnement pouvant influencer leur survie ou leur inactivation. Dans ce cadre, l'objectif est de déterminer l'effet du champ électrique sur l'activité biologique des microorganismes collectés, qu'il s'agisse de leur inactivation ou, à défaut, du ralentissement de leur croissance dans un environnement suffisamment contraignant. De plus, l'étude vise à évaluer l'influence des matériaux constituant le collecteur (acier inoxydable, plastique, etc.) sur le développement et la viabilité des microorganismes.

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Microbiologie : microorganismes, dépôt de surface, extraction et mesures analytiques

La bactérie *Staphylococcus epidermidis* CIP 81.55T, un microorganisme non pathogène, pouvant être présente dans l'air intérieur (Mentese et al., 2009), a été sélectionnée pour ces premiers essais. Cette bactérie à coque à Gram positif, caractéristique de la famille des staphylocoques, est de forme sphérique et de taille micrométrique (~1 µm).

Une méthode fiable a été mise au point afin d'évaluer la viabilité des microorganismes déposés sur les plaques du collecteur. Elle comprend le dépôt des microorganismes, puis après l'exposition au champ électrique, l'extraction du dépôt et la quantification par analyses culturales par comptage d'unités formant colonies (UFC) :

- La préparation des suspensions bactériennes s'appuie sur les protocoles décrits dans les articles de Simon et al. (2011), Sysolyatina et al. (2014) pour la préparation de suspensions bactériennes destinées à l'aérosolisation ou au dépôt. La suspension est calibrée à partir d'une culture sur gélose. Une gouttelette de 10 µL de suspension concentrée ($> 10^8$ UFC.mL⁻¹) est déposée sur des lames en acier inoxydable stériles (plaques du collecteur) puis séchée pendant 45 minutes sous flux laminaire.
- La méthodologie d'extraction des dépôts de surface a été spécifiquement développée et testée dans le cadre de ces expériences. Les microorganismes déposés sont récupérés par hydratation avec une solution saline à 0,9 % suivie d'un grattage. Les essais sous PSM permettent d'obtenir un taux de récupération sur les lames en acier inoxydable et des taux de viabilité des microorganismes étalonnés sur une plage de temps s'échelonnant de quelques heures à 12 jours après ensemencement.
- La viabilité des microorganismes récupérés est ensuite quantifiée par des analyses culturales selon les méthodes d'analyse référencées dans la base de données MétroPol de l'INRS (M-147).

3.2. Montage expérimental

Les essais se déroulent en environnement contrôlé, sous sorbonne, afin d'éviter toute contamination extérieure. Un flux d'air comprimé, filtré, déshuilé et humidifié dans un bulleur thermostaté, est introduit dans un tube (figure 1). Après homogénéisation à l'aide d'une fibre textile, le flux laminaire pénètre dans la zone de

test où la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air sont mesurées. Le flux d'air, très faible, permet de maintenir une humidité relative de 50 %. Les essais sont réalisés à température ambiante.

Dans la zone de test, quatre plaques en acier inoxydable espacées de 1 cm sont disposées : la plaque 1 est soumise à une tension continue négative de -7 kV, alors que les plaques 2, 3 et 4 sont reliées à la masse. Ce dispositif crée un champ électrique uniforme entre les plaques 1 et 2 ($E = 7 \times 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$), simulant les conditions des collecteurs de nos ESP, et un champ nul entre les plaques 3 et 4.

Trois séries de lames en acier inoxydable (5 cm x 2 cm) sont étudiées (figure 2) :

- les lames « collecteur » préalablementensemencées avec la suspension bactérienne calibrée sont placées entre les plaques 1 et 2, dans les mêmes conditions que celles de nos collecteurs ;
- les lames « témoin » égalementensemencées avec la suspension bactérienne calibrée sont disposées entre les plaques 3 et 4, non soumises au champ électrique ;
- les lames « contrôle » sont placées sous sorbonne et sous PSM.

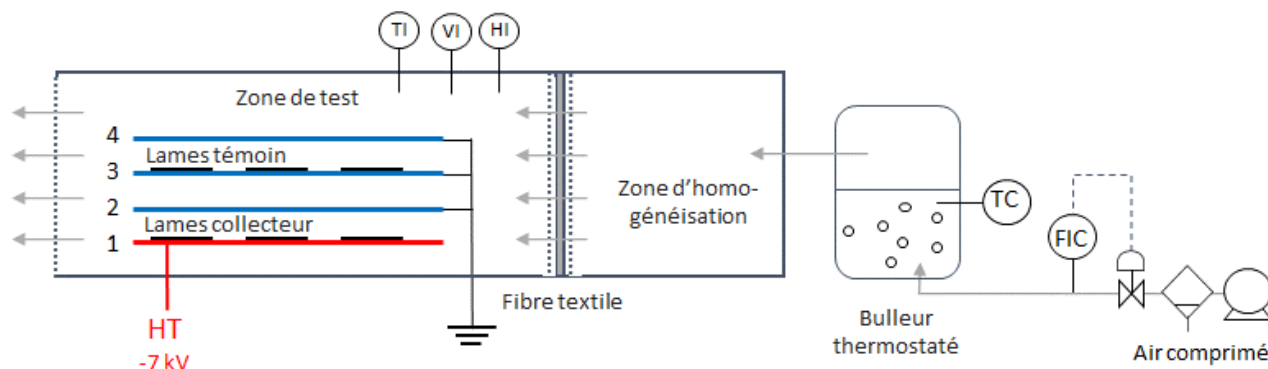


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental



Figure 2 : Photographies des plaques et des lames inox

Les plaques sont analysées à différents moments, allant de quelques heures à plusieurs jours après dépôt des bactéries, afin de suivre de manière dynamique l'évolution de leur viabilité et leur capacité à se développer au fil du temps. Les essais sont réalisés dans des conditions variées afin d'évaluer l'impact de différents facteurs environnementaux et opérationnels : plusieurs niveaux de tension appliquée aux plaques sont testés, l'humidité relative du flux d'air est modulée, différents matériaux de lames (acier inoxydable, plastique, etc.) sont comparés, et la présence ou l'absence de substrat nutritif est prise en compte. Cette approche permet de déterminer les conditions favorisant ou limitant la croissance bactérienne dans les dépôts accumulés sur les plaques collectrices.

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chen L., Gonze E., Ondarts M., Outin J., Gonthier Y. (2020) Separation and Purification Technology, 247, 116964
Forthomme, A., Joubert, A., Andres, Y., Simon, X., Duquenne, P., Bemer, D., Le Coq, L. (2014) J. Aerosol Sci. 72, 32-46
Mentese, S., Arisoy, M., Rad, A.Y., Güllü, G., (2009) Clean: Soil, Air, Water, 37, 487-793

- Santurtún, A., Colom, M.L., Fdez-Arroyabe, P., del Real, A., Fernandez-Olmo, I., Zarrabeitia, M.T. (2022) *Environmental Research* 206, 112261
- Simon, X., Duquenne, P., Koehler, V., Piernot, C., Coulais, C., Faure, M. (2011) *J. Aerosol Sci.* 42, 517-53
- Sysolyatina, E., Mukhachev, A., Yurova, M., Grushin, M., Karalnik, V., Petryakov, A., Trushkin, N., Ermolaeva, S., Akishev, Y. (2014) *Plasma Process. Polym.* 11, 315-334
- Wiley, H., Keerthirathne, T.P., Kuhn, E.J., Nisar, M.A., Sibley, A., Speck, P., Ross, K.E. (2022) *Electrochem*, 3, 276-284
- Xiong, J.W., Wan, M.P., Ng, B.F., You, S. (2020) *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 10084
- Zhu, C., Maharajan, K., Liu, K., Zhang, Y., (2021) *Environmental Research* 198, 111281