

CARACTERISATION EN LABORATOIRE DES POLLENS ET SPORES FONGIQUES PAR DIFFUSION OPTIQUE

A. Miffre*¹, D. Cholleton¹, A.P. Genoud¹, A. Spanu² and P. Rairoux¹,

¹Institut Lumière Matière, Université Claude Bernard Lyon 1, 69 622, Villeurbanne, France.

²Réseau National de Surveillance Aérobiologique, RNSA, 69 690, Brussieu, France.

*Courriel de l'orateur : alain.miffre@univ-lyon1.fr

TITLE

Laboratory characterization of pollen and fungal spores using optical scattering.

RESUME

Parmi les divers bioaérosols présents dans l'atmosphère, les pollens et les spores fongiques suscitent un intérêt particulier en raison de leur capacité à déclencher des réactions allergiques. Bien qu'ils partagent une importance commune pour la surveillance des allergènes, ils diffèrent significativement par leur origine et leur structure de surface : les pollens sont caractérisés par des pointes, des ouvertures et des perforations, tandis que les spores fongiques présentent des parois cellulaires et des textures plus complexes. Nous rapportons ici les résultats d'une publication récente [1], fruit d'une coopération entre l'iLM et le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA), relatant, en laboratoire, la diffusion de la lumière par ces structures complexes en utilisant des techniques de spectroscopie et de polarimétrie optique. En s'appuyant sur le formalisme des vecteurs de Stokes et des matrices de Mueller, des signatures polarimétriques distinctes des pollens et des spores fongiques ont été identifiées, tant dans le domaine spectral du visible (532 nm) que dans celui du proche infrarouge (1064 nm). Cette approche pourrait ainsi offrir une méthode pour identifier les allergènes en suspension dans l'air, avec des applications potentielles dans les secteurs de l'agriculture et de la santé.

ABSTRACT

Among the various bioaerosols present in the atmosphere, pollens and fungal spores are of particular interest because of their ability to trigger allergic reactions. Although they share a common importance for allergen monitoring, they differ significantly in origin and surface structure: pollens are characterised by spikes, openings and perforations, while fungal spores have more complex cell walls and textures. We report here on the results of a recent publication [1], the fruit of cooperation between the iLM and the Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA), reporting on the laboratory scattering of light by these complex structures using spectroscopy and optical polarimetry techniques. Using the formalism of Stokes vectors and Mueller matrices, distinct polarimetric signatures were identified in both the visible (532 nm) and near-infrared (1064 nm) spectral ranges. This approach could provide a method for identifying airborne allergens, with potential applications in the agricultural and healthcare sectors.

MOTS-CLÉS: bioaérosols, pollen, spores fongiques, spectroscopie, polarimétrie / **KEYWORDS:** bioaerosols, pollen, fungal spores, spectroscopy, polarimetry.

1. INTRODUCTION

La capacité à différencier les particules biologiques présentes dans l'atmosphère est essentielle pour de nombreuses applications environnementales et sanitaires, notamment la surveillance des allergènes, la gestion agricole et la santé publique [2-5]. Parmi ces bioaérosols, le pollen et les spores fongiques occupent une place particulière en raison de leur potentiel à déclencher des réactions allergiques [2,5]. Bien qu'ils partagent une importance commune pour la surveillance des allergènes, ils diffèrent considérablement par leur origine et leur structure de surface : le pollen présente des caractéristiques telles que des pointes, des ouvertures et des perforations [6], tandis que les spores fongiques se distinguent par des parois cellulaires épaisses et des textures complexes [3-5]. Par ailleurs, les phénomènes de polarisation, omniprésents dans la nature, offrent des outils puissants pour étudier divers processus environnementaux. En sciences de l'atmosphère, l'optique de polarisation, qui analyse l'orientation du champ électrique à l'aide des vecteurs de Stokes, s'est imposée comme une méthode clé. Les lidars polarimétriques, par exemple, permettent de quantifier les variations de polarisation après la rétrodiffusion de la lumière par des particules telles que les poussières minérales [7], les cendres volcaniques [8] ou le pollen [9]. Cependant, la différenciation de bioaérosols comme le pollen et les spores fongiques à partir de la rétrodiffusion de lumière polarisée reste un défi que les techniques traditionnelles de télédétection ne peuvent pas encore relever.

Pour répondre à cette problématique, des mesures en laboratoire ou sur le terrain de la diffusion de lumière polarisée sont nécessaires afin d'explorer les caractéristiques polarimétriques propres à ces bioaérosols. En effet, les modèles théoriques de diffusion de la lumière, tels que la théorie de Lorenz-Mie, ne sont pas adaptés à la complexité structurale de ces particules biologiques. Dans ce contexte, cette étude se concentre sur la mesure en laboratoire de la diffusion de la lumière par ces structures complexes, en utilisant des techniques

de spectroscopie et de polarimétrie optique. Grâce au formalisme des vecteurs de Stokes et des matrices de Mueller, des signatures polarimétriques spécifiques des pollens et des spores fongiques ont été mises en évidence, tant dans le spectre visible (532 nm) que dans le proche infrarouge (1064 nm).

2. METHODOLOGIE

2.1. Bioaérosols étudiés

Cette étude porte sur deux types de bioaérosols couramment rencontrés : le pollen d'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) et les spores de *Cladosporium*, comme illustré à la figure 1. *Cladosporium*, un allergène bien connu, figure parmi les spores fongiques les plus répandues dans l'air extérieur [2-5]. De même, le pollen d'ambrosie est un allergène majeur [2-5]. Les bioaérosols sélectionnés pour cette étude sont représentatifs de ceux présents dans l'environnement naturel. Les spores de *Cladosporium herbarum* ont été cultivées dans des conditions contrôlées et soigneusement récoltées pour garantir leur qualité et leur uniformité. Le pollen d'ambrosie a été collecté directement sur la plante, ensuite séché et tamisé avec précision. Des tests rigoureux ont été menés pour en vérifier la qualité et l'absence de contamination. Par ailleurs, un sous-échantillon de ces bioaérosols a été soumis à un contrôle de qualité supplémentaire par microscopie afin de confirmer leur identité et leur intégrité. Cette méthodologie rigoureuse garantit la pertinence des résultats expérimentaux pour des conditions réelles, fournissant ainsi des données précieuses pour améliorer la détection des bioaérosols.

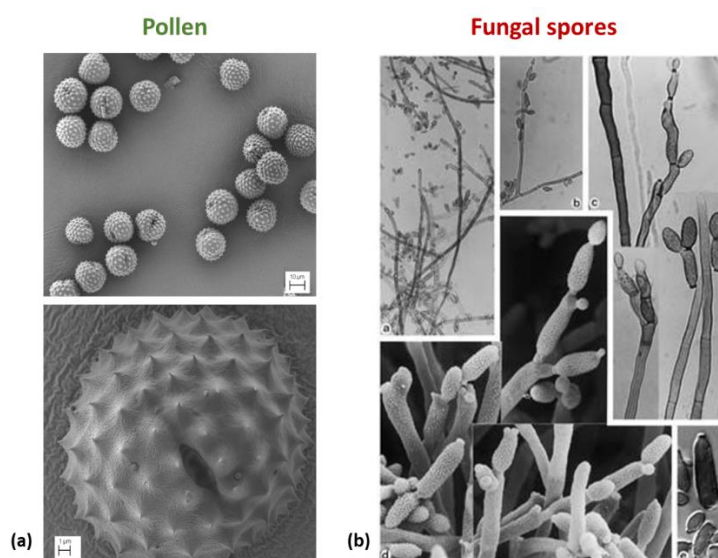


Figure 1. Images microscopiques des bioaérosols étudiés: (a) pollen d'ambrosie (*Ambrosia Artemisiifolia*, étude en laboratoire à l'iLM), (b) : spores fongiques (*Cladosporium herbarum*, MycoBank).

2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental repose sur le savoir-faire de l'iLM dans la mesure de la rétrodiffusion optique d'aérosols [10,11], via un instrument de laboratoire unique au monde, révélant les signatures spectrales et polarimétriques des particules contenues dans l'atmosphère. La Figure 2 rappelle ce dispositif, publié dans des précédents articles [10,11], en l'adaptant au présent cas d'étude (pollens, spores fongiques). En quelques mots, notre connaissance des propriétés optiques de ces bioaérosols repose sur la précision spectrale et polarimétrique des composants optiques mis en jeu. L'instrument révèle ainsi, via le formalisme des matrices de Mueller et des vecteurs de Stokes, des signatures spectrales et polarimétriques précises des bioaérosols de pollen et de spore fongique. En particulier, l'ensemble suivant d'éléments de la matrice de diffusion (f_{22} , f_{33} , f_{44} , f_{12} , f_{34}) est déterminé en ajustant l'intensité diffusée détectée par le photo-détecteur avec la loi théorique déduite de ce formalisme.

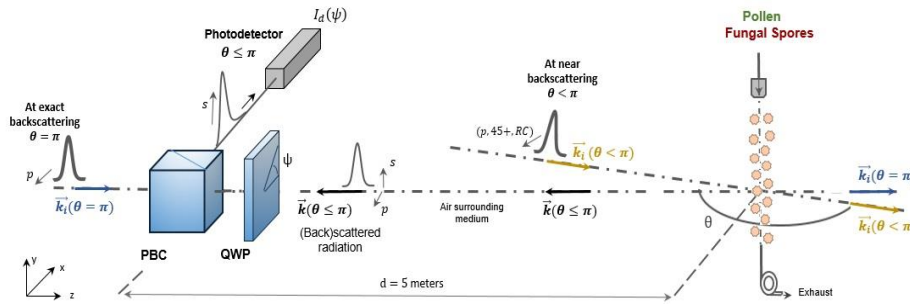


Figure 2. Instrument de laboratoire révélant la rétrodiffusion des particules contenues dans l’atmosphère, révélant, via le formalisme des matrices de Mueller et des vecteurs de Stokes, des signatures spectrales et polarimétriques précises des bioaérosols de pollen et de spore fongique par rotation de la lame (ψ).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Cette section présente les variations de l’intensité $I_d(\psi)$ de la lumière rétrodiffusée, mesurées en fonction de l’angle de rotation ψ de la lame de phase (illustré à la Figure 2), pour l’ambrosie et les spores fongiques. Ces mesures permettent de récupérer leurs signatures polarimétriques. La figure 3 montre les variations de $I_d(\psi)$ pour le pollen d’ambrosie (en vert) et les spores fongiques (en brun) sous différentes polarisations incidentes ($pol = (p, 45+, RC)$) à une longueur d’onde de 532 nm. Les courbes de diffusion lumineuse obtenues pour le pollen et les spores fongiques se distinguent nettement, quel que soit l’état de polarisation incidente considéré. À partir de ces données, les éléments de matrice ($f_{22}, f_{33}, f_{44}, f_{12}, f_{34}$) ont été déterminés pour les deux bioaérosols, comme indiqué dans la Table 1. Il est particulièrement notable que f_{22} présente une différence marquée, passant de 0,38 pour le pollen à 0,71 pour les spores fongiques. Ces résultats démontrent que la polarimétrie lumineuse constitue un outil performant pour discriminer les bioaérosols, à condition d’exploiter plusieurs états de polarisation incidente. Cela permet de générer un ensemble complet de signatures polarimétriques ($f_{22}, f_{33}, f_{44}, f_{12}, f_{34}$), parmi lesquelles les éléments diagonaux de la matrice révèlent les différences les plus significatives.

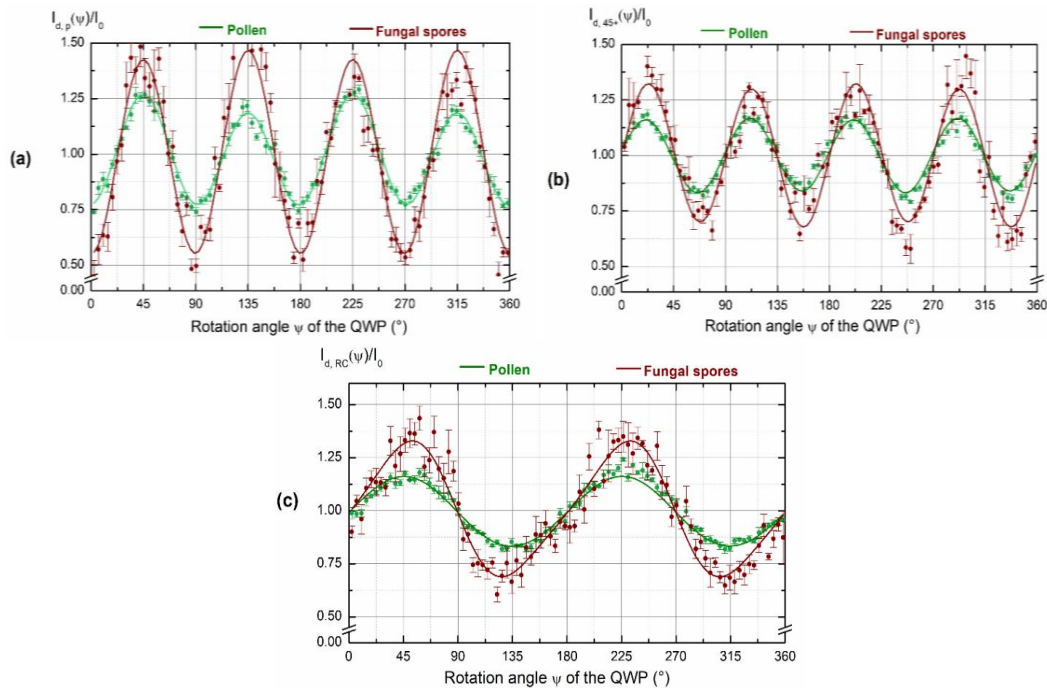


Figure 3. Intensité de la lumière diffusée en fonction de l’orientation ψ de la lame de phase (cf. Figure 2) pour le pollen (en vert) et les spores fongiques (en brun) à 532 nm pour des états de polarisation incidents successifs $pol = (p, 45+, RC)$, respectivement étiquetés (a,b,c) dans la figure.

Tableau 1. Évaluation en laboratoire de ($f_{22}, f_{33}, f_{44}, f_{12}, f_{34}$) pour le pollen et les spores fongiques à 532 nm.

Bioaérosol	f_{22}	f_{33}	f_{44}	f_{12}	f_{34}
Pollen	0.38 ± 0.03	-0.33 ± 0.03	-0.18 ± 0.01	0.00 ± 0.02	-0.01 ± 0.02
Spores fongiques	0.71 ± 0.07	-0.63 ± 0.07	-0.30 ± 0.05	-0.01 ± 0.05	-0.04 ± 0.05

Une étude similaire a été réalisée à la longueur d'onde de 1064 nm. Bien que les tailles du pollen et des spores soient de l'ordre du micromètre, l'analyse effectuée à cette longueur d'onde a révélé des résultats comparables à ceux obtenus à 532 nm. La confirmation de cette conclusion à deux longueurs d'onde différentes (532 nm et 1064 nm) met en évidence l'importance de la polarimétrie optique dans l'étude des structures de surface des bioaérosols. Parmi les états de polarisation analysés, les états de polarisation 45+ et circulaire se distinguent comme particulièrement prometteurs pour discriminer efficacement les bioaérosols.

4. CONCLUSION

Dans cette contribution, une expérience de laboratoire est réalisée pour quantifier la diffusion optique des pollens et de spores fongiques avec le même instrument de laboratoire. Des signatures optiques distinctes de ces bioaérosols ont pu être révélées par spectroscopie et polarimétrie optique [1]. Notre environnement de laboratoire contrôlé offre une opportunité unique pour étudier en détail les interactions fondamentales entre les bioaérosols et le système de détection. Ces recherches permettent d'optimiser les performances du dispositif avant son déploiement dans des environnements extérieurs plus complexes. Ainsi, cette étude en laboratoire constitue une base essentielle pour développer une méthode robuste de détection des bioaérosols en extérieur. Les travaux futurs se concentreront sur la comparaison de notre système avec des méthodes établies, considérés comme la référence actuelle pour la surveillance du pollen et des spores [12].

References

- [1] Miffre, A., D. Cholleton, A.P. Genoud, A. Spanu and P. Rairoux (2024), Polarization optics to differentiate among bioaerosols for lidar applications, *Photonics*, **11**, 1067.
- [2] Lake, I. R. et al., Climate Change and Future Pollen Allergy in Europe (2017), *Environmental Health Perspectives* **125**: 385–391.
- [3] Santl-Temkiv, T. et al., Bioaerosol field measurements: Challenges and perspectives in outdoor studies, (2020), *Aer. Sci. and Tech.*, 54:5, 520-546.
- [4] Ki-Hyun Kim, Ehsanul Kabir, Shamin Ara Jahan, Airborne bioaerosols and their impact on human health, (2018), *Journal of Environmental Sciences*, **67**, 23-35, ISSN 1001-0742.
- [5] F. Weigl, V. Radl, J.C. Munch, K. Pritsch, Targeting allergenic fungi in agricultural environments aids the identification of major sources and potential risks for human health (2015), *Science of The Total Environment*, **529**, 223-230, ISSN 0048-9697.
- [6] Hess M. Editor. Pollen terminology: an illustrated handbook, (2009). Springer.
- [7] Haerig, M., Ansmann, A., Engelmann, R., Baars, H., Toledano, C., Torres, B., Althausen, D., Radenz, M., and Wandinger, U.: First triple-wavelength lidar observations of depolarization and extinction-to-backscatter ratios of Saharan dust, (2022), *Atmos. Chem. Phys.*, **22**, 355–369.
- [8] Miffre, G. David, B. Thomas, and P. Rairoux, Atmospheric non-spherical particles optical properties from UV-polarization lidar and scattering matrix, (2011), *Geophys. Res. Lett.* **38**, L16804.
- [9] Sicard, M., Measurement report: Characterization of the vertical distribution of airborne *Pinus* pollen in the atmosphere with lidar-derived profiles – a modeling case study in Barcelona, (2021), *Atmos. Chem. Phys.*, **21**, 17807–17832.
- [10] Miffre, A., T. Mehri, M. Francis and P. Rairoux, (2016), UV-VIS depolarization from Arizona Test Dust particles at exact backscattering angle, *J. Quant. Spec. Rad. Transf.*, **169**, 79-90.
- [11] Miffre, A., D Cholleton and P Rairoux, Laboratory evaluation of the scattering matrix elements of mineral dust particles from 176.0 up to 180.0°-exact backscattering angle, (2019), *J. Quant. Spec. Rad. Transf.*, **222**, 45-59.
- [12] Adamov, S., Lemonis, N., Clot, B. et al. On the measurement uncertainty of Hirst-type volumetric pollen and spore samplers, (2024), *Aerobiologia* **40**, 77–91.