

CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET GRANULOMÉTRIQUE DE LA POLLUTION PARTICULAIRE EN AIR INTÉRIEUR AUX ANTILLES DANS LE CADRE DU PROJET SAMBA

K. Desboeufs^{*1}, M. Pinault¹, J. Guimberteau², G. Plancel², L. Gamard², G. Noyalet¹, M. Ropiquet¹, H. Yahyaoui¹, R. Losno³ et C. Boullanger²

¹Université Paris Cité and Univ Paris Est Creteil, CNRS, LISA, F-75013 Paris, France

²Madininair, Observatoire de la qualité de l'air, 97200 Fort-de-France, Martinique

³Institut de Physique du Globe de Paris, Université Paris Cité, CNRS, Paris, France

*Courriel de l'oratrice : karine.desboeufs@lisa.ipsl.fr

TITLE

Caractérisation physico-chimique et granulométrique de la pollution particulaire en air intérieur aux Antilles dans le cadre du projet SAMBA

RESUME

Le projet SAMBA documente pour la première fois la composition et la granulométrie des particules en air intérieur dans sept bâtiments tertiaires et scolaires de Martinique. Des prélèvements PM₁₀ sur filtres avec spéciation chimique et microscopie sont combinés à des mesures granulométriques continues (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀), y compris lors d'épisodes de brumes sahariennes. Les résultats montrent une faible réduction des concentrations intérieures avec aération naturelle (≈10–20 %), contre ≈60 % dans les bâtiments climatisés et ≈85 % avec VMC double flux. Cet abattement des concentrations affecte essentiellement les particules minérales et les sels de mer, alors que les concentrations de suies sont proches entre les deux environnements. Ces données fournissent des éléments nouveaux pour la conception et la gestion de la ventilation en climat tropical insulaire.

ABSTRACT

The SAMBA project provides the first detailed characterization of indoor particle composition and size distribution in seven office and school buildings in Martinique. PM₁₀ filter samples with chemical speciation and microscopy are combined with continuous particle sizing (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀), including Saharan dust outbreak periods. Results show limited indoor reduction under permanent natural ventilation (≈10–20 %), compared with ≈60 % in air-conditioned buildings and ≈85 % with mechanical supply-and-exhaust ventilation with filtration. This decrease in concentrations mainly affects mineral particles and sea salts, whereas soot concentrations are similar in both environments. These findings bring new insights for designing and operating ventilation systems in tropical island climates.

MOTS-CLES : Antilles ; Air intérieur ; Brumes sahariennes ; Ventilation des bâtiments ; Spéciation chimique.

KEYWORDS: West Indies; Indoor air; Saharan dust outbreaks; Building ventilation; Chemical speciation

1. INTRODUCTION

La Martinique est exposée à des pollutions particulaires extérieures importantes, dont l'une impactant l'ensemble de l'île via les arrivées de poussières désertiques sahariennes et l'une à un niveau plus local via les émissions de suies à proximité des axes routiers. Dans cet environnement tropical chaud et humide, deux principaux types de bâtiments sont rencontrés : les maisons traditionnelles ouvertes (fenêtres en persiennes) et les bâtiments fermés et climatisés. Le projet SAMBA vise à étudier la pollution intérieure dans ce contexte particuliers, englobant la pollution particulaire et la présence de moisissures. Pour ce qui concerne la pollution particulaire, la spéciation chimique et la granulométrie des particules ont été mesurées simultanément dans l'air intérieur et extérieur de bâtiments tertiaires et scolaires. Les transferts extérieur/intérieur ont également été étudiés en fonction des conditions de ventilation, notamment lors d'épisodes de brumes sahariennes. L'originalité du travail présenté ici tient à la réalisation de prélèvements en air intérieur inédites aux Antilles, associant spéciation chimique fine, microscopie et comptage granulométrique continu.

2. SITES D'ÉTUDE ET CONDITIONS DE VENTILATION

Les mesures sont réalisées dans sept bâtiments (bureaux et écoles) répartis dans trois zones représentatives de la Martinique :

- Côte Atlantique, peu anthropisée mais fortement soumise aux apports de brumes de sable et aux embruns marins ;
- Côte Caraïbe urbaine, influencée par de nombreuses sources anthropiques, notamment le trafic routier;
- Zone de forêt humide tropicale au centre de l'île, représentant une situation de fond en climat plus frais et humide.

Dans chaque bâtiment, deux locaux intérieurs et un point extérieur sont instrumentés, soit 21 points de mesure. Les sept bâtiments couvrent trois configurations de ventilation typiques du parc martiniquais :

- 1 bâtiment équipé d'une VMC double flux ;
- 3 bâtiments à aération naturelle permanente par ouverture de fenêtres ;
- 3 bâtiments climatisés, avec ouvrants majoritairement fermés.

Cette combinaison « 3 zones × 3 types de ventilation » vise à rendre l'échantillon représentatif des différentes expositions rencontrées dans les bâtiments antillais actuels.

3. DISPOSITIF DE MESURE ET MÉTHODES

Deux campagnes ont été conduites, l'une en saison humide (octobre–janvier), l'autre en période de forte occurrence des brumes désertiques (avril à août). Les semaines de prélèvement ont été positionnées de manière à capturer à la fois des conditions de fond et des épisodes de brume saharienne, identifiés à partir des prévisions et modèles (NAAPS, Copernicus) et de la surveillance de Madininair.

3.1. Spéciation chimique et microscopie

Pour les deux campagnes et sur chaque site (2 intérieurs + 1 extérieur), 2 prélèvements de PM₁₀ de 48 h (de façon à couvrir une semaine ouvrée des sites instrumentée) ont été faits en parallèle : un pour l'analyse de composition élémentaire par spectrométrie de fluorescence X et un pour l'analyse du carbone suie et du carbone organique par méthode thermo-optique. Au total, environ 300 filtres sont analysés, y compris des blancs, afin de documenter la composition chimique des particules en air intérieur et extérieur. Ces analyses ont permis d'estimer les concentrations massiques de poussières minérales, de sels de mer, de suies, d'aérosols secondaires inorganiques et d'aérosols organiques au cours des 2 campagnes pour chaque site. Une sélection de filtres a aussi fait l'objet d'observations en microscopie électronique à balayage (MEB) afin d'identifier les particules désertiques, marines et anthropiques sur les filtres, et conforter l'interprétation des données chimiques.

3.2. Granulométrie et concentrations massiques

Parallèlement, des compteurs de particules optiques à résolution granulométrique fine ont été déployés en rotation sur les 21 site de mesure, en complément de micro-capteurs mesurant en continu PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, CO₂, température et humidité relative. L'exploitation des distributions en nombre et des concentrations massiques a permis de calculer des ratios de concentration intérieur/extérieur par classe de taille, en distinguant les périodes de fond et les épisodes de brume.

4. RESULTATS PRINCIPAUX

4.1. Effet du type de ventilation sur la réduction des concentrations intérieures

Les distributions granulométriques issues des compteurs optiques confirment que les épisodes sahariens se traduisent par un enrichissement en particules grossières, alors que les contributions anthropiques urbaines affectent davantage les fractions fines. Dans tous les cas, il apparaît une réduction des concentrations massiques entre air extérieur et intérieur. Le Tableau 1 synthétise, pour trois bâtiments représentatifs (un par type de ventilation), le pourcentage moyen de réduction des concentrations en air intérieur par rapport à l'extérieur, pour PM₁, PM_{2.5} et PM₁₀, lors et hors épisodes de brume saharienne.

Tableau 1. Réduction (%) des concentrations massiques mesurées en air intérieur par rapport à l'air extérieur, pour trois bâtiments représentatifs.

Type de ventilation	Episode de brume			Hors épisode de brume		
	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀
Aération naturelle	38%	34%	11%	4%	10%	6%
Climatisé peu aéré	76%	73%	70%	44%	48%	55%
VMC double flux	85%	84%	88%	86%	87%	84%

Les mesures mettent en évidence que la réduction des concentrations est la plus faible pour les sites à aérations naturelles quel que soit la classe de taille. Pour tous les sites, il est intéressant de constater qu'il n'y a pas de tendance claire sur le taux de réduction en fonction de la taille des particules.

4.2. Apports de la spéciation chimique et de la granulométrie

La spéciation chimique montre que les poussières désertiques dominent la fraction minérale lors des épisodes sahariens, tandis que les périodes hors brume sont plus marquées par les signatures du trafic (carbone suie, métaux traces) en zone urbaine et par la présence d'aérosols marins pour les sites ruraux. Ceci est illustré dans la figure 1 qui présente les résultats obtenus à Balata, un site rural, dont les pièces étudiées sont climatisées.

Une analyse des données en distinguant la diminution des concentrations entre air extérieur et intérieur par type de particules montre que les particules les plus abattues sont les sels de mer et les particules Sahariennes (Figure 1). Des taux d'abattement plus faibles pour ces particules sont observées pour les ventilations naturelles (de l'ordre de 20%) que pour la ventilation par VMC (autour de 90%), en accord avec les observations de granulométrie. Au contraire les suies présentent des concentrations proches entre l'intérieur et l'extérieur signifiant qu'elles ne sont pas soumises à de l'abattement même dans le cas d'une ventilation double flux. Ces données chimiques ont été confortées par des observations au MEB des filtres de particules.

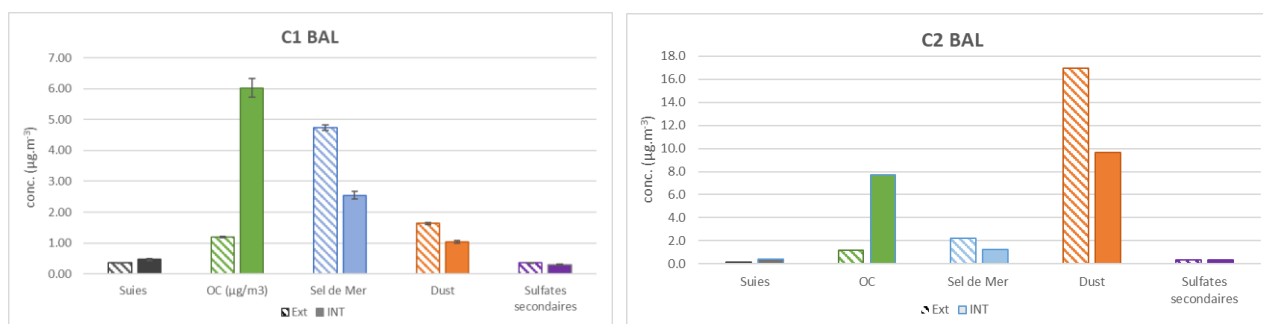


Figure 1 : Concentrations particulaires de suies, d'aérosols organiques (OC), de sels de mer, de poussière minérales (dust) et d'aérosols de sulfate secondaires en atmosphère intérieure (int : histogramme plein) et extérieure (ext : histogramme hachuré) pour le site rural de Balata lors des campagnes C1 (hors période de brumes sahariennes) et C2 (période de brumes sahariennes)

A l'inverse des autres types de particules, les particules de carbone organique (bioaérosols, aérosols secondaires...) ont des concentrations intérieures supérieures à l'extérieure, dont les valeurs sont corrélées au niveau de confinement des pièces (estimées à partir des concentrations en CO_2), mettant en évidence une source intérieure de ces particules (Figure 1).

5. CONCLUSION

Ce travail fournit l'un des premiers jeux de données combinant spéciation chimique, granulométrie et mesures parallèles intérieur/extérieur dans les bâtiments des Antilles françaises. La comparaison de sept bâtiments, répartis dans trois régions contrastées et couvrant trois configurations de ventilation, montre que la qualité de l'air intérieur face aux brumes sahariennes dépend fortement du type de ventilation :

- les bâtiments à aération naturelle offrent peu de protection,
- les bâtiments climatisés peu aérés réduisent significativement l'exposition,
- la VMC double flux constitue la configuration la plus protectrice, avec des réductions de l'ordre de 85 % des concentrations massiques.

Ces résultats ouvrent la voie à des recommandations opérationnelles pour la conception et l'exploitation des bâtiments en climat tropical insulaire (choix des systèmes de ventilation, gestion de l'aération pendant les épisodes de brume) et alimenteront une publication scientifique centrée sur la composante particulaire du projet SAMBA.

5.1. Remerciements

Ce travail a été financé par l'ADEME via l'appel d'offre AQACIA dans le cadre du projet SAMBA (Spéciation chimique des Aérosols et des Moisissures dans l'air intérieur dans les bâtiments aux Antilles).