

ETUDE DE LA REMISE EN SUSPENSION DE PARTICULES METALLIQUES A PARTIR DE SURFACES URBAINES EN MILIEU AMBIANT: METHODOLOGIE

E. Kouadio*, M. Goriaux, V. Ruban

IFSTTAR, GERS, EE, F-44344 Bouguenais, France

*Courriel de l'orateur: emmanuel.kouadio@ifsttar.fr

TITLE

Etude de la remise en suspension de particules métalliques à partir de surfaces urbaines en milieu ambiant: méthodologie

RESUME

Sous l'action de différents facteurs naturels et/ou anthropiques, les dépôts secs atmosphériques peuvent être remis en suspension dans l'air. Ce phénomène vient interférer dans les estimations actuelles du dépôt sec net. Ce travail met en œuvre une méthodologie en vue d'une acquisition de données. L'intérêt est d'évaluer des variations de concentrations surfaciques de particules métalliques (0.5-5 μm de diamètres) remis en suspension par temps secs, en conditions ambiantes et à partir de surfaces représentatives du milieu urbain.

ABSTRACT

Atmospheric dry deposition can be resuspended in the air by various combinations of natural and/or anthropogenic factors. Current estimations of dry deposition are interfered by this phenomenon, thus not exactly accurate. This study is therefore an attempt to implement a methodology for data acquisition. These data are then used to evaluate surface fractions of metal particles (of 0.5 to 5 μm diameter size) which are resuspended in dry ambient conditions of urban surfaces.

MOTS-CLES : Dépôts secs, surfaces urbaines, milieu ambiant, Particule, Remise en suspension / **KEYWORDS :** Dry deposition, urban surfaces, ambient conditions, Particle, Resuspension

1. INTRODUCTION

Dans son article qui fait un point sur cette question, Nicholson (1988a) définit la remise en suspension (RES) comme étant « le réentraînement, dans l'atmosphère, d'un matériau préalablement déposé ». Nous n'avons trouvé dans la littérature aucune espèce de traceur robuste pour l'identification et la quantification de matériaux remis en suspension en milieu ambiant. Plusieurs approches ont été développées pour évaluer et observer les épisodes de remise en suspension. Les mesures ont souvent été exprimées en termes de facteur de remise en suspension K (m^{-1}) ou encore en taux de remise en suspension Λ (sec^{-1}) (Nicholson, 1988a; Sehmel, 1980). Toutefois, pour ce qui est du milieu ambiant, des limitations majeures associées à l'estimation de ces notions sont évoquées par différents auteurs qui mettent en lumière la difficulté à les évaluer en toute confiance ailleurs que dans un milieu contrôlé (Sehmel, 1980 ; Nicholson, 1988a, 2009 ; Ould-Dada et Baghini, 2001). D'autres évaluations de la RES de particules et polluants existent dans la littérature. Boor et al (2013a ,b) par exemple ont développé une méthodologie expérimentale pour étudier la RES aérodynamique des dépôts monocouches et multicouches de particules et leur approche fait intervenir la notion de « fraction absolue de remise en suspension » ϕ . Cette fraction est définie comme le changement de la densité d'ensemencement (nombre de particules par unité de surface) suite à des épisodes venteux. Il s'agissait, comme pour la plus part de ce type d'étude, essentiellement d'approches expérimentales réalisées en milieux contrôlés et de surfaces de type « milieu intérieur » (Lazaridis et Drossinos, 1998; Chiou et Tsai, 2001; Friess et Yadigaroglu , 2001; Gac et al. 2008; et Nitschke et Schmidt, 2010; Boor et al. 2011). D'un point de vu aérodynamique, les caractéristiques intrinsèques de la particule (morphologie, taille...), les conditions météorologiques (vent, humidité relative, pluie...), ainsi que l'environnement de dépôt (sols revêtu, végétation, sol nu, autres surfaces) apparaissent comme les facteurs essentiels à cette RES (Nicholson 1988a, 2009; Vallius, 2005).

Le milieu urbain, en raison de sa configuration est suspecté d'être une zone plus ou moins propice à ces phénomènes de RES. L'une des particularités principales de ce milieu est son fort taux de surfaces couvertes. Toutefois, la grande partie des études menées à ce jour dans ce contexte urbain s'est essentiellement portée sur les flux de polluants et particules remis en suspension du fait du trafic routier (activité des véhicules, action des pneus sur la chaussée, ré-envol « naturel » des particules antérieurement déposées). L'un des intérêts principaux de ce travail est alors, de fournir des données de RES de particules métalliques à partir de surface urbaines (milieu extérieur) sous l'action des paramètres vent, températures et

humidité relative, en vue de servir d'éléments de corrections dans les estimations actuelles de dépôts secs atmosphérique en milieu urbain. Nous faisons intervenir la notion de « fractions absolues de remise en suspension » ϕ de Boor et al (2013a, b). Cette communication présente la méthodologie mise en œuvre.

2. APPROCHE EXPERIMENTALE

Les éléments d'entrée de l'étude sont des particules métalliques artificielles comme polluants étudiés, le dépôt sec et les surfaces urbaines. Les métaux sont choisis comme polluants pour leur stabilité chimique mais aussi pour leur intérêt sanitaire. Les épisodes de RES étant plus susceptibles de se produire en conditions sèches, l'étude sera axée sur la remobilisation des dépôts secs supposés fortement dépendants du type de surface urbaine. Afin de mieux appréhender les épisodes de RES, notre travail s'articule autour d'une expérimentation comportant deux étapes :

- **un ensemencement en particules métalliques de surfaces urbaines.**
- **une exposition des surfaces ensemencées au milieu ambiant (exposition à des épisodes de RES).**

D'un point de vue granulométrique, les ETM présentent le plus souvent une distribution centrée sur la fraction submicronique ou fine (Percot, 2012). Dans cette étude, la gamme de taille de particules étudiées est comprise entre 0,5 et 5 μm , et le dépôt est essentiellement issu de processus de sédimentations.

2.1 Etape 1 : Ensemencement des éprouvettes de surfaces urbaines

L'objectif de cette étape est d'obtenir un ensemencement homogène de particules métalliques, relativement exempt de tout épisode de remise en suspension avec pour support des surfaces urbaines. En nous basant sur les données de la littérature, nous avons donc construit une chambre de dépôt sec de particules (chambre d'ensemencement). Les particules étudiées sont des particules d'argent (Ag) et d'or (Au) de 0,5-5 μm de diamètres. Les éprouvettes de mesure sont de verre, d'enduit de façade, de tuile plate, d'ardoise et de bitume sous la forme de plaques carrées de 200 mm de côtés. Elles sont disposées sur le sol de la chambre.

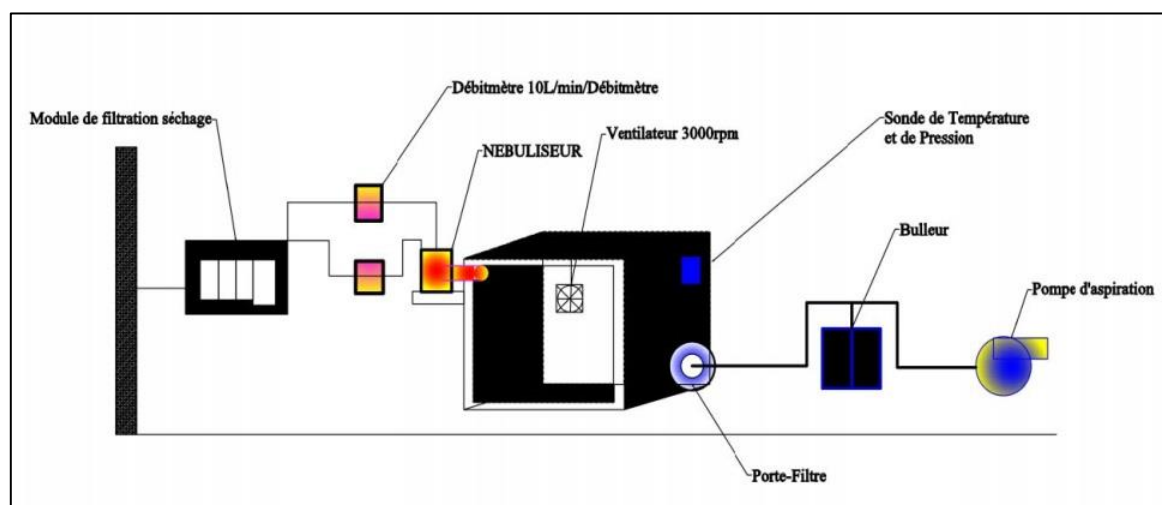


Figure 1: Schéma du dispositif de chambre d'ensemencement des éprouvettes de surfaces urbaines

La génération de particules est réalisée à l'aide d'un nébuliseur Collison 3-jets alimenté en air comprimé (Figure 1). Afin d'améliorer la qualité de l'air comprimé apporté au nébuliseur, celui-ci est séché et filtré via un module de filtration-séchage. Deux débitmètres numériques réglables sont montés au sein du dispositif, à la suite du module de filtration-séchage. Ils permettent d'injecter dans le nébuliseur le débit d'air comprimé nécessaire et aussi la dilution du nuage d'aérosols en fin de nébulisation. La chambre a été réalisée en contreplaqué filmé de 15 mm d'épaisseur avec un volume total de 1 m³. Un ventilateur boîtier 3000 RPM a été fixé à 13 cm en dessous du centre du toit de la chambre pour assurer la turbulence et l'homogénéisation des dépôts de particules dans la chambre. Le dispositif se termine par un système d'aspiration afin de maintenir une pression stable (et proche de la pression extérieure). Une fois ensemencées en particules, les éprouvettes sont exposées au milieu ambiant.

2.2 Etape 2 : Remise en suspension en milieu ambiant

Il s'agit ici d'une exposition par temps sec. Les éprouvettes sont montées sur un support simple, un bâti qui a été réalisé lors des travaux de Percot., et al (2012). Ce bâti permet de maintenir les différents types de surfaces selon leur position habituelle rencontrées en milieu urbain (verre et enduit de façade en position verticale, l'ardoise et la tuile inclinées de 30° et bitume au sol).

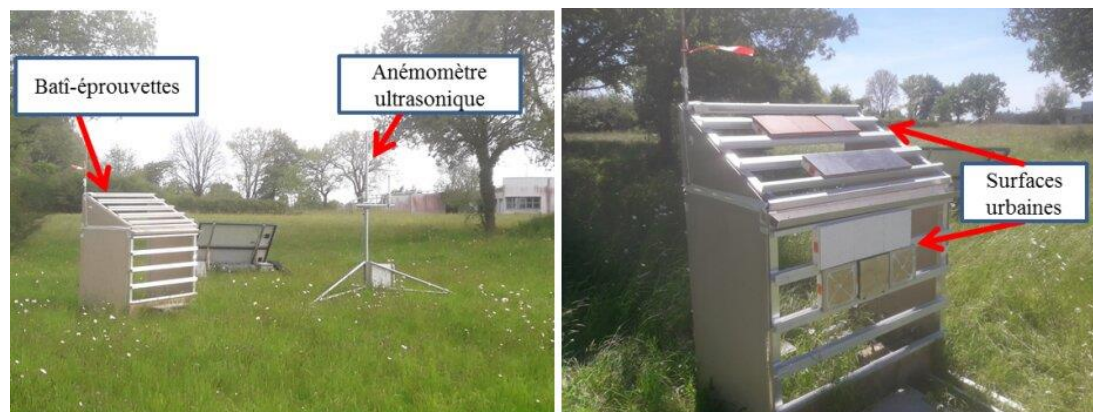


Figure 2: Installation pour les expérimentations de RES (prairie IFSTTAR-Nantes)

Le bâti-éprouvettes est disposé dans une prairie sur le site de l'IFSTTAR-Nantes, à 90° des vents dominants (Figure 2). A proximité du bâti, un anémomètre ultrasonique est disposé afin de fournir les données de vitesses de vent.

2.3 Traitement et Analyse: détermination des concentrations surfaciques en particules

La récupération des particules des surfaces, aussi bienensemencées que soumises à exposition, est réalisée par lavages successifs. Plus précisément, elle consiste en un nombre de 10 lavages successifs de 60 mL chacun à l'aide d'eau ultra-pure acidifiée à pH=1 (soit 3 % HNO₃) pour chacune des éprouvettes. Les solutions obtenues sont ensuite analysées par ICP-MS /OES après filtration de la fraction dissoute et minéralisation à chaud de la fraction particulaire.

3. DONNEES ACTUELLES ET PERSPECTIVES

A ce stade, l'acquisition de données a consisté à valider l'étape N°1 de l'expérimentation et l'efficacité de la technique de récupération par lavages, les essais de l'étape N°2 étant actuellement en cours de réalisation. Le calage de différents paramètres a été réalisé au travers de plusieurs essais et réajustements de la méthode. Le Tableau 1 illustre un exemple de résultats obtenus lors des tests de validation du paramètre « homogénéité des dépôts de particules dans la chambre ». Seize (16) éprouvettes (soit 4 par type de surfaces) ont étéensemencées en particules d'argent (0.5-1 µm de diamètres).

Tableau 1 : Concentrations surfaciques d'un essai d'ensemencement

Epreuves	Tuile				Enduit de façade				Ardoise				Verre			
	T1	T2	T3	T4	E1	E2	E3	E4	A1	A2	A3	A4	V1	V2	V3	V4
Concentrations surfaciques (mg/m ²)	1,8	2,3	1,9	2,0	1,1	1,3	1,1	1,3	1,7	1,4	1,6	1,6	0,7	0,7	0,8	0,8

Nous avons aussi procédé à une mise au point de la technique de lavage de sorte à la rendre plus efficace (réduire le nombre de lavages). Pour ce faire, plusieurs étapes de lavages en série ont été réalisées sur chaque type d'éprouvettesensemencées jusqu'à atteindre les limites de quantification pour le métal analysé (Ag). Chacune des étapes de lavage s'est faite avec 600mL d'eau acidifiée par éprouvette étudiée. En tout, chaque éprouvette a été lavée avec 2.4 Litres d'eau acidifiée à pH=1. Cette expérimentation a permis de

définir des facteurs de correction (sensibilité du lavage). Ainsi, pour la suite de nos expérimentations, la récupération se limite à un lavage de 600 mL et les résultats sont systématiquement corrigés.

En outre, une analyse au microscope électronique à balayage associée à la microanalyse par énergie dispersive de rayons X a été réalisée sur du scotch carbone directement introduit dans la chambre durant un essai (particules d'argent). Les observations ont pu montrer que les particules générées demeureraient dans la gamme de taille indiquée par le fournisseur. Aussi, les particules captées par les scotchs carbonés étaient individuellement déposées (pas d'agrégats observés). Toutefois, afin de s'affranchir des effets des charges électrostatiques des particules, il est prévu, à très court terme, l'ajout d'un neutraliseur X-Ray (modèle XRC-049) à la sortie du nébuliseur.

4. REFERENCES

- Boor, B. E., Siegel, J. A., and Novoselac, A. (2013a) Monolayer and Multilayer Particle Deposits on Hard Surfaces: Literature Review and Implications for Particle Resuspension in the Indoor Environment. *Aerosol Sci. Technol.*, 47:831–847.
- Boor B, Jeffrey A. Siegel & Atila Novoselac (2013b) Wind Tunnel Study on Aerodynamic Particle Resuspension from Monolayer and Multilayer Deposits on Linoleum Flooring and Galvanized Sheet Metal, *Aerosol Science and Technology*, 47:8, 848-857, DOI: 10.1080/02786826.2013.794929
- Boor, B. E., Siegel, J. A., and Novoselac, A. (2011) Development of an Experimental Methodology to Determine Monolayer and Multilayer Particle Resuspension from Indoor Surfaces, in *ASHRAE Transactions: Proceedings of the 2011 ASHRAE Winter Conference*, Las Vegas, NV, 117(1), pp. 434-441 (paper ID: LV-11-C053)
- Friess, H., and Yadigaroglu, G. (2001). A generic Model for the Resuspension of Multilayer Aerosol Deposits by Turbulent Flow. *Nucl. Sci. Engr.*, 138:161–176.
- Friess, H., and Yadigaroglu, G. (2002). Modelling of the Resuspension of Particle Clusters from Multilayer Aerosol Deposits with Variable Porosity. *J. Aerosol Sci.*, 33:883–906
- Gac, J., Sosnowski, T., and Gradon, L. (2008) Turbulent Flow Energy for Aerosolization of Powder Particles. *J. Aerosol Sci.*, 39:113–126.
- Nicholson, Ken W. 2009. « Chapter 2 The Dispersion, Deposition and Resuspension of Atmospheric Contamination in the Outdoor Urban Environment ». In *Radioactivity in the Environment*, édité par Kasper G. Andersson, 15:21-53. *Airborne Radioactive Contamination in Inhabited Areas*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1569-4860\(09\)00402-1](https://doi.org/10.1016/S1569-4860(09)00402-1).
- Nicholson, Ken W. (1988a) « A review of particle resuspension ».
- Nicholson, Ken W. (1988b) The dry deposition of small particles: A review of experimental measurements. *Atmospheric Environment* (1967) 22 (12):2653-66. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90434-9](https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90434-9).
- Nitschke, D., and Schmidt, E. (2010) Experimental Study and Modelling of the Resuspension of Settled Particles. *Chem. Ingen. Technik.*, 82:2119–2127 (in German)
- Ould-Dada, Zitouni, et Nasser M. Baghini. (2001) Resuspension of small particles from tree surfaces. *Atmospheric Environment* 35 (22):3799–3809.
- Percot, S. 2012. Contribution des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain : Cas du Pin Sec à Nantes. Thèse de doctorat, Ecole Centrale De Nantes
- Sehmel, G. A. (1980) Particle resuspension: A review. *Environment International* 4 (2):107-27. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(80\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0160-4120(80)90005-7).
- Vallius, Marko. 2005. « Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air (Kaupunki-ilman pienhiukkasten ominaisuudet ja lähteet) ». Väitöskirja. 2005. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_951-740-508-1/.