

# DYNAMIQUE D'ÉMISSION DES PARTICULES FINES ISSUES DU COMPOSTAGE DE PROXIMITÉ : ENTRE TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET QUALITÉ DE L'AIR

M. Toutain<sup>1,2,\*</sup>, F. Lucas<sup>3</sup>, C. Druilhe<sup>4</sup>, A. M. Pourcher<sup>4</sup> et F. Binet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ECOBIO, CNRS UMR6553, Université de Rennes, OSERen, 35000 Rennes, France

<sup>2</sup>ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 49004 Angers, France

<sup>3</sup>LEESU, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne, 94000 Créteil, France

<sup>4</sup>INRAE, UR OPAALE, 35000 Rennes, France

\*Courriel de l'orateur : mathieu.toutain@univ-rennes.fr

## RESUME

En réponse à l'essor du compostage de proximité, il devient nécessaire d'estimer les risques liés à ces pratiques, notamment ceux liés aux émissions de particules pouvant affecter localement la qualité de l'air. Nous avons caractérisé les émissions générées lors du brassage dans 14 sites de compostage partagés de Rennes Métropole, en distinguant les fractions granulométriques. Les PM<sub>10</sub> dominent largement, alors que les PM<sub>1</sub> restent minoritaires. Les dynamiques d'émission varient selon l'humidité et la température du compost. L'aérosolisation de particules fines est ainsi avérée, mais les risques microbiologiques et biologiques associés restent à déterminer.

## ABSTRACT

In response to the growth in local composting, we aim quantifying the particles generated by these practices, as they can affect local air quality. We monitored particle emissions from 14 shared composting sites in Rennes, measuring different fractions. PM<sub>10</sub> dominates emissions during compost turning, while PM<sub>1</sub> is the least significant. Physicochemical conditions such as compost moisture and temperature influence emission dynamics. These emissions can impact local air quality and, as a result, increase health risks.

**MOTS-CLES** : Compost, Particules fines, Risques sanitaires/ **KEYWORDS**: Compost, Fine particles, Health risks

## 1. CONTEXTE ET OBJECTIF

Le compostage est au centre des politiques européennes de gestion des déchets, portées notamment par la directive 2008/96/CE qui fixait un objectif de 50 % de recyclage des déchets ménagers en 2020, et plus récemment par le Pacte vert pour l'Europe visant la neutralité carbone à l'horizon 2050 (European Parliament, 2022). En 2021, chaque citoyen européen produisait en moyenne 530 kg de déchets municipaux, dont près de la moitié était valorisée, par exemple grâce au traitement de la fraction organique par méthanisation ou compostage. Le compostage repose sur la dégradation principalement aérobie des déchets organiques par les micro-organismes, permettant une réduction importante du volume des biodéchets et la production d'un amendement organique stable (Albrecht et al., 2008). Le développement récent des dispositifs de compostage partagé renforce également l'implication citoyenne dans la gestion locale des déchets. Toutefois, le compostage à grande échelle est reconnu comme générateur d'émissions de bioaérosols composés de poussières, micro-organismes potentiellement pathogènes, et particules fines, notamment lors des opérations de brassage qui favorisent leur mise en suspension (Dupuis, 2017). Ces émissions en milieu professionnel peuvent représenter un risque pour les travailleurs et affecter la qualité de l'air (Pahari et al., 2016).

La question des risques sanitaires associés à la pratique de compostage citoyenne est alors posée. En effet, il est nécessaire de mieux comprendre les mécanismes qui influencent les émissions de particules associées au compostage de proximité, d'autant que les pratiques de compostage ne sont pas standardisées contrairement à celles en milieu professionnel, et peuvent varier fortement d'un site à l'autre : volumes de déchets traités, fréquence d'aération, conditions météorologiques, et qualité des déchets ménagers à décomposer. Les émissions issues du compostage de proximité peuvent alors contribuer localement à la dégradation de la qualité de l'air. En ville, la qualité de l'air constitue déjà un enjeu majeur de santé publique, fortement affectée par les particules fines (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) issues du trafic et de l'industrie (Karakatsani et al., 2012). Les interactions entre les particules fines, les conditions météorologiques et/ou les caractéristiques locales des sites de compostage peuvent accentuer les effets sur la santé, en particulier respiratoire (Ning et al., 2025).



Figure 1. Photographie d'ouvriers réalisant une opération de maintenance sur un bac de compostage.

De manière à comprendre les dynamiques d'émissions et quantifier les particules associées au compostage de proximité et à estimer les risques d'exposition, nous avons réalisé un suivi de quatorze aires de compostage de la métropole de Rennes (France). Ainsi, l'objectif est de quantifier les émissions de particules issues du compostage dans un contexte urbain où le compostage partagé connaît un fort attrait. Nous émettons les hypothèses suivantes : i) l'aération du compost par brassage est une source de particules, ii) la taille des bacs de compostage détermine les abondances d'émissions, iii) et les propriétés intrinsèques du compost contrôlent les dynamiques d'émissions, à savoir un compost plus sec et/ou plus chaud favorisera l'aérosolisation des particules.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Quantification des particules dans l'air

Nous avons quantifié tous les 10 jours environ les particules en suspension dans l'air émises par 14 bacs de compostage locaux (en pied d'immeuble le plus souvent) de Rennes Métropole (RM) sur une période de trois mois (avril à juin 2025). Dans chaque site, un bac de collecte (où sont déposés les déchets alimentaires) a été choisi. Les particules émises avant, pendant et après le brassage ont été quantifiées dans des conditions normalisées à l'aide d'un barnum temporairement fermé. Le barnum a été installé au-dessus du bac de collecte des déchets dans l'objectif de maximiser la détection des particules et de réduire les fluctuations dues en particulier au vent. La quantification des particules a été effectuée à l'aide d'un spectromètre d'aérosols, l'AQ Guard (Pallas, France) avec une haute fréquence (10 secondes). Les concentrations totales de particules aérosolisées (particulate matter, PM) par mètre cube d'air et selon quatre fractions de taille micrométriques différentes :  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_4$  et  $PM_{10}$  ont été quantifiées. La quantification des particules s'est déroulée sur au moins 15 minutes consécutives, divisées en trois phases de 5 minutes : Phase 1 – mesure avec le bac de collecte des déchets fermé (blanc), Phase 2 - bac de collecte des déchets ouvert, Phase 3 - aération par brassage des déchets pendant 2 minutes, suivi d'une période d'attente d'au moins 3 minutes.

### 1.2. Physico-chimie de l'air ambiant et du compost

Pour chaque observation, la température et l'humidité relative de l'air ambiant ont été enregistrées à l'aide du système AQ Guard au démarrage de la phase 1. Des mesures en triplicatas ont été réalisées de la température de surface (entre 0 et 5 cm) et de la hauteur interne du compost dans les bacs d'alimentation afin de calculer le volume de remplissage des bacs. Des échantillons de compost ont été prélevés à la surface (avant mélange) et un échantillon de compost a été prélevé dans toute la colonne de compost (après mélange) afin de mesurer son humidité relative et le pH.

### 1.3. Traitement de données

Les données provenant de l'AQ Guard ont été prétraitées afin d'éliminer les valeurs aberrantes grâce à un modèle Arima. Ensuite, un modèle additif généralisé (GAM) a été appliqué aux données afin de lisser les courbes de concentration des particules émises dans l'air. Cette approche a permis de caractériser la dynamique d'aérosolisation des particules au fil du temps grâce à sept descripteurs de courbes qui

ont été calculés et résumés sur la Figure 2. La sélection des variables qui expliquaient le plus la variance des descripteurs de courbes a été réalisée à l'aide de forêts aléatoires (random forest). Pour finir, chaque descripteur de courbe a été modélisé par des modèles GAM, en fonction des variables explicatives retenues lors de notre analyse. Le traitement et l'analyse a été réalisé sur R (version 4.4.1).

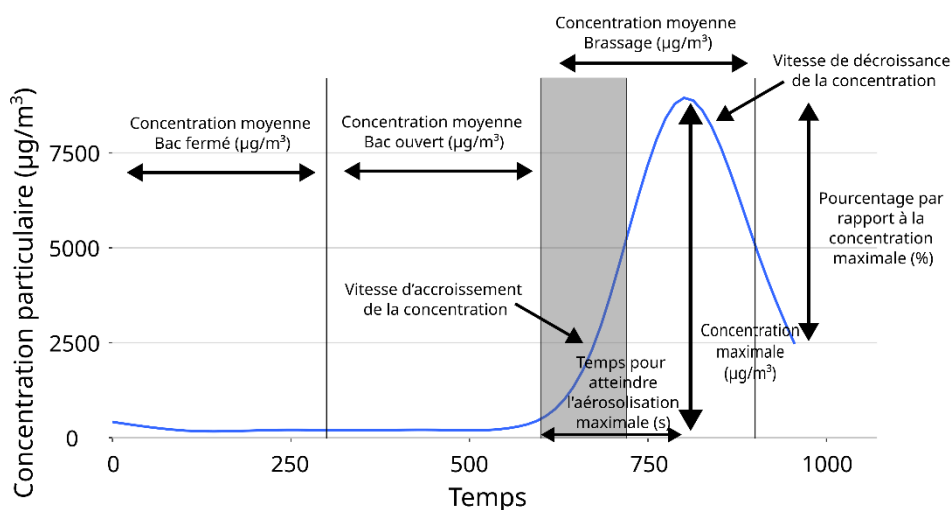


Figure 2. Descripteurs de la dynamique de concentration en particules émises dans l'air ambiant lors des trois phases, l'aération du compost par brassage est indiquée par une zone grise.

### 3. RESULTATS

Tout d'abord, les concentrations moyennes totales en particules mesurées pendant 5 minutes lors des trois phases expérimentales n'ont montré aucune différence entre les bacs de 300 L et 600 L ( $F_{1,89}$ ,  $n = 89$ ,  $p > 0.05$ ). De même, pour les concentrations moyennes de particules  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_4$  et  $PM_{10}$  mesurées, aucune différence significative n'a été observée en fonction de la taille du bac de déchets ( $F_{1,89}$ ,  $n = 89$ ,  $p > 0.05$ ). Cependant, nous avons pu mettre en évidence une différence significative dans la concentration moyenne des particules totales et des différentes fractions en fonction de la phase expérimentale ( $F_{2,298}$ ,  $n = 89$ ,  $p < 0,001$  ; Figure 3A). Le brassage (phase 3) s'est révélé être le moment où l'aérosolisation des particules était la plus élevée. Les particules  $PM_{10}$  constituaient la fraction dominante, représentant environ 55 % du total des particules émises.

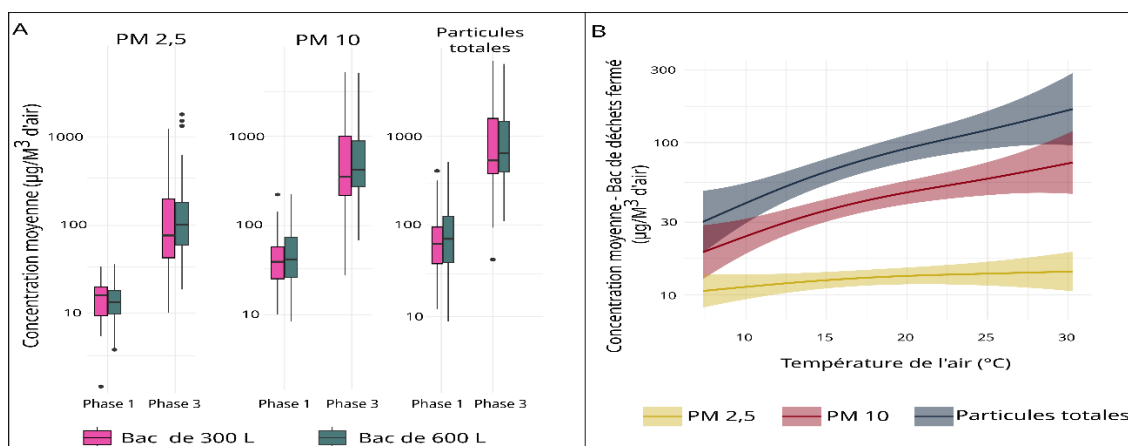


Figure 3. A - Comparaison des concentrations moyennes de particules réglementaires  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  et totales mesurées sur 15 minutes, en fonction de l'action effectuée (Phase 1 : Bac de déchets fermé, Phase 3 : Brassage des déchets) sur le bac de déchets. B - Concentrations moyennes de particules réglementaires  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  et totales mesurées lors de la phase 1 (bac de déchets fermé) en fonction de la température de l'air.

Nous montrons aussi que les conditions environnementales impactaient la concentration des particules émises dans l'air, que le bac de déchets soit ouvert ou fermé. La température de l'air ambiant était l'un des principaux facteurs expliquant les concentrations de particules dans l'air avant l'ouverture du bac de déchets. La concentration totale de particules et celle des PM<sub>10</sub> étaient fortement et positivement corrélées à la température de l'air ( $r^2 = 0.46$ ,  $n = 89$ ,  $p < 0.001$ , Figure 3B), contrairement à la concentration des particules les plus fines PM<sub>1</sub> ( $r^2 = 0.73$ ,  $n = 89$ ,  $p < 0,01$ ).

Concernant les propriétés physico-chimiques du compost, l'humidité relative du compost en surface et sur toute la hauteur, ainsi que la température du compost ont eu un effet significatif sur les descripteurs de la dynamique temporelle des particules. L'humidité relative du compost étaient négativement corrélée à la concentration maximale de chaque fraction de particules ( $r^2$  0,41 et 0,63,  $n = 103$ ,  $p < 0,05$ ). Une relation positive a également été observée pour la pente ascendante des courbes cinétiques concernant les particules totales et la fraction PM<sub>10</sub> (respectivement  $r^2$  0,45 et 0,59,  $n = 103$ ,  $p < 0,05$ ). De plus, l'humidité relative du compost dans sa totalité montrait une relation négative avec la pente descendante des fractions PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>4</sub> et PM<sub>10</sub> ( $r^2$  entre 0,38 et 0,51,  $n = 103$ ,  $p < 0,01$ ). Lorsque le bac de déchets était ouvert (Phase 2), un lien significatif a été observé entre les concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>4</sub> mesurées et la température à la surface du compost (respectivement  $r^2$  0,46 et 0,53,  $n = 103$ ,  $p < 0,05$ ). De plus, la température à la surface du compost était positivement corrélée avec la pente ascendante des courbes de cinétique ( $r^2$  entre 0,54 et 0,59,  $n = 103$ ,  $p < 0,05$ ). Enfin, plus la température à la surface du compost était élevée, plus le temps nécessaire pour atteindre la concentration maximale des différentes fractions était court, à l'exception des particules totales ( $p < 0,05$ ).

#### 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons ainsi démontré que le compostage de proximité génère des émissions de particules non négligeables, particulièrement lors du brassage du compost. Ces dynamiques d'émissions dépendent principalement des caractéristiques physico-chimiques du compost (données non montrées). Si la quantification des particules apporte une première vision de ces émissions, elle ne permet pas d'identifier la nature biologique des particules. Les premières mesures réalisées *in situ* indiquent une concentration en bactéries revivifiables totales de l'ordre de  $1.10^7$  Colonies Formant Unités par  $m^{-3}$  d'air lors du brassage, soit entre 10 et 100 fois plus que lorsque le bac de compostage est fermé. Les prochaines étapes consisteront donc à caractériser précisément la composition microbiologique des particules aérosolisées à l'aide des outils de génomique appliqués à l'ADN environnemental contenu dans ses particules et à identifier les facteurs influençant cette part biologique, afin d'évaluer les risques d'exposition pour les citoyens et l'environnement.

#### REFERENCES

- Albrecht, A., Fischer, G., Brunnemann-Stubbe, G., Jäckel, U., & Kämpfer, P. (2008). Recommendations for study design and sampling strategies for airborne microorganisms, MVOC and odours in the surrounding of composting facilities. *International journal of hygiene and environmental health*, 211(1-2), 121-131.
- Dubuis, M. E., M'Bareche, H., Veillette, M., Bakhiyi, B., Zayed, J., Lavoie, J., & Duchaine, C. (2017). Bioaerosols concentrations in working areas in biomethanization facilities. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 67(11), 1258-1271.
- European Parliament, (2022) *Green Deal: key to a climate-neutral and sustainable EU*. European Parliament.
- Karakatsani, A., Analitis, A., Perifanou, D., Ayres, J. G., Harrison, R. M., Kotronarou, A., ... & Katsouyanni, K. (2012). Particulate matter air pollution and respiratory symptoms in individuals having either asthma or chronic obstructive pulmonary disease: a European multicentre panel study. *Environmental Health*, 11(1), 75.
- Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2015). Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environmental geochemistry and health*, 37(4), 631-649.
- Ning, Z., Ma, Y., He, S., Li, G., Xiao, T., Ma, C., & Wu, J. (2025). The interactive effect of extreme weather events and PM<sub>2.5</sub> on respiratory health among the elderly: a case-crossover study in a high-altitude city. *International Journal of Biometeorology*, 69(2), 331-342.
- Pahari, A. K., Dasgupta, D., Patil, R. S., & Mukherji, S. (2016). Emission of bacterial bioaerosols from a composting facility in Maharashtra, India. *Waste Management*, 53, 22-31.