

SOURCES ET POTENTIEL OXYDANT DES PM₁₀ ET PM_{2,5} OBSERVÉS SUR 3 SITES CONTRASTÉS : URBAIN DE FOND, TRAFIC ET GARE FERROVIAIRE

Ludovic Farnier¹, Vy Ngoc Thuy Dinh¹, Pamela Dominutti¹, Gaëlle Uzu¹, Anouk Marsal¹, Sophie Darfeuil¹,
Rhabira Elazzouzi¹, Mélodie Chatain², Emmanuel Jantzen^{2*}, NGO Sylvie³, GHZZI Fayes³, Jean-Luc
Jaffrezo¹, Stéphane Sauvage^{1*}

¹Institut des Géosciences de l'environnement (IGE), 38000 Grenoble, France

²ATMO Grand Est, 67300 Schiltigheim, France

³Société nationale des chemins de fer français (SNCF Voyageur), 93200 Saint-Denis, France

*Courriel des orateurs: stephane.sauvage@univ-grenoble-alpes.fr, emmanuel.jantzen@atmo-grandest.eu

PM₁₀/PM_{2,5} Sources and oxidative potential observed at three constrating sites: urban background, traffic, and railway station

RESUME

Cet article présente les premiers résultats consolidés issus du projet DECOMPOSE (appel à projet AQACIA de l'ADEME en 2022), dont l'objectif est l'étude des émissions véhiculaires et ferroviaires à l'échappement et hors échappement sur trois sites urbains à Reims (France), avec la détermination de la composition chimique et du potentiel oxydant des particules issues de ces émissions.

Les résultats montrent une variabilité importante selon les typologies de sites, les saisons et les sources d'émissions, avec une contribution particulièrement marquée des émissions véhiculaires hors échappement dans les environnements sous influence des trafics routier et ferroviaire.

ABSTRACT

This article presents the first consolidated results from the DECOMPOSE project (AQACIA call for projects by ADEME in 2022), which aims to study vehicular and railway emissions—both exhaust and non-exhaust—at three urban sites in Reims (France), by determining the chemical composition and oxidative potential of particles originating from these emissions. The results show significant variability depending on site typology, seasons, and emission sources, with a particular strong contribution from non-exhaust emissions in environments influenced by road and rail traffic.

MOTS-CLÉS: aérosols, PM₁₀, PM_{2,5} trafic routier, trafic ferroviaire, potentiel oxydant / **KEYWORDS:** aerosols, PM₁₀, PM_{2,5}, road traffic, railway traffic, oxidative potential.

1. INTRODUCTION

Les particules (PM) constituent l'un des polluants atmosphériques les plus étudiés en raison de leurs effets sur la santé humaine, l'écologie, le climat (Fuzzi et al., 2015) et l'environnement. Leur capacité à pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire et à générer un stress oxydant est associée à des risques accrus de maladies cardiovasculaires, respiratoires et métaboliques. Le potentiel oxydant (PO) des PM est l'un des indicateurs pertinents pour la santé; il représente essentiellement la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS /ERO), provoquant un déséquilibre des antioxydants dans les poumons. Les effets néfastes des PM sur la santé varient selon la typologie des sites, les niveaux de PM, et les sources d'émissions, le PO de PM étant nettement plus élevés sur les sites de trafic et industriels que sur les sites urbains ou ruraux (Weber et al., 2021; Grange et al., 2022).

De nombreuses études ont rapporté des résultats de répartition des sources de PM et du PO dans les villes pour des sites de fond urbain. Cependant, très peu d'études explorent l'exposition aux PM selon différentes typologies de sites au sein d'une même ville. Comprendre ces différences est primordiale pour une évaluation juste de l'exposition des populations et pour le développement de stratégies de réduction ciblées.

2. MÉTHODOLOGIE

Dans cette étude, la composition chimique et le PO des PM_{10} et $PM_{2.5}$ ont été mesurés sur trois sites à Reims (France): un site de fond urbain (Jean d'Aulan - UB), un site de trafic urbain (Doumer) et un site ferroviaire (Reims Gare). L'étude a été menée sur des sites distants de 5 km, offrant une vision du niveau d'exposition aux PM à différents endroits d'une même ville (figure 1). L'échantillonnage sur 24 heures a été réalisé lors de deux saisons: l'hiver (du 24 janvier au 24 mars 2024, $n = 377$) et l'été (du 6 juin au 29 juillet 2024, $n = 322$). Un large éventail de composés chimiques a été analysé (substances carbonées, ions majeurs, éléments, alcools-sucres, acides organiques), ainsi que deux types de PO: le dithiothréitol (DTT) et l'acide ascorbique (AA). De plus, les additifs de pneus ont été analysés, permettant d'identifier les émissions du trafic non liées à l'échappement.

Les résultats de ces compositions constituent des jeux de données uniques qui ont été appliqués à des méthodes de répartition des sources (source apportement, SA), en particulier la factorisation matricielle positive (PMF). L'objectif était de mieux comprendre la composition chimique des particules, de distinguer leurs différentes sources de provenance ainsi que les contributions de ces sources aux PM observées. Ce travail de recherche de sources a été étendu au PO selon la méthodologie de Ngoc Thuy et al. (2024).

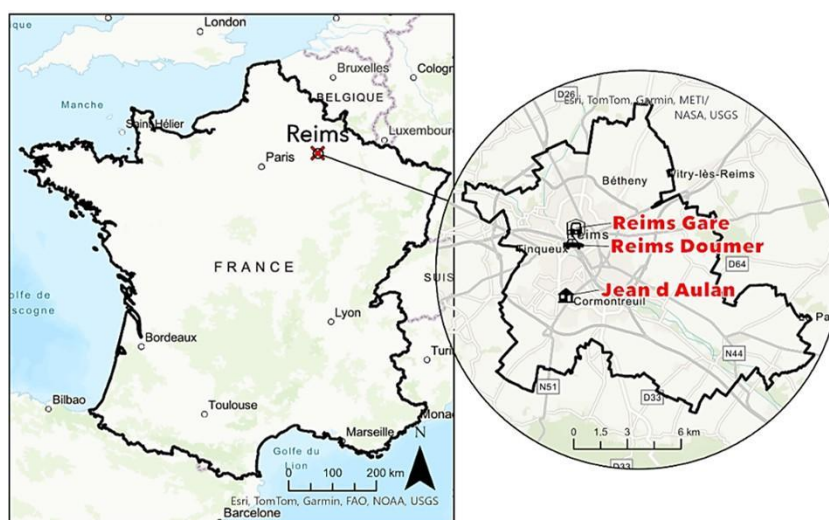


Figure 1. Représentation cartographique de Reims dans la métropole et les trois sites de mesures: Jean D'Aulan (UB) – Reims Doumer (Trafic) – Reims Gare (Gare) (source: Atmo Grand Est)

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La caractérisation des PM et du PO a révélé une variation de la contribution des sources de PM selon la typologie des sites, les fractions de PM et les saisons. De plus, cette étude est l'une des premières à intégrer la mesure des additifs de pneus, soulignant l'effet des émissions non liées aux gaz d'échappement, mais potentiellement liées à l'usure des pneus. L'évolution temporelle de l'acide benzothiazole sulfonique (BTSA) est illustrée dans la figure 2. Elle montre l'effet extrêmement élevé des émissions liées à l'usure des pneus sur le site routier, alors qu'il est négligeable sur le site ferroviaire.

Par contre, la concentration en cuivre dans la fraction PM_{10} à la gare et au site de trafic urbain est plus élevée que sur le site de fond urbain (Figure 2), tandis que dans la fraction $PM_{2.5}$, elle reste équivalente. Un schéma similaire a été observé pour les activités PO sur ces sites, suggérant un niveau d'exposition plus élevé aux PM_{10} à la gare et sur le site de trafic urbain. La concentration plus élevée de Cu dans le site de la gare ferroviaire indique un effet significatif d'une émission spécifique à ce site, qui pourrait être associée aux émissions non liées au trafic ferroviaire.

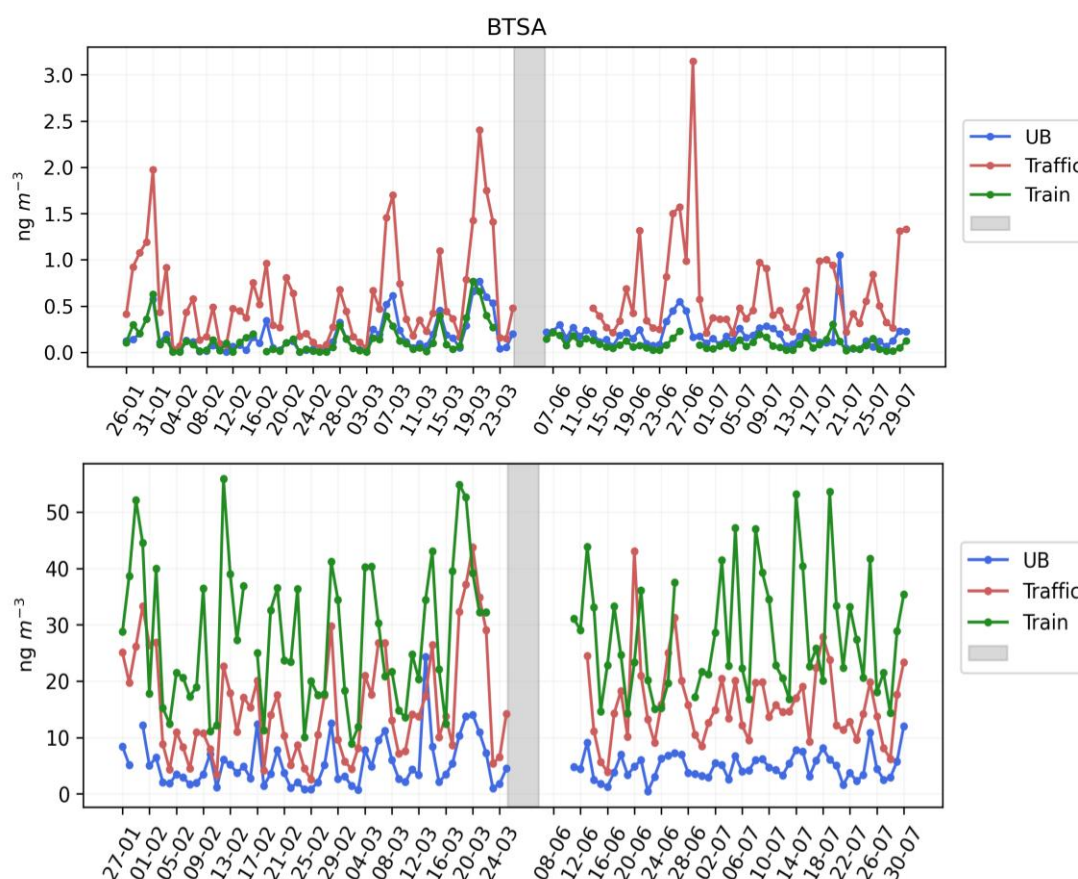


Figure 2. Evolution temporelle de BTSA (au-dessus) et Cu (au-dessous) dans la fraction PM_{10} mesurée sur les 3 sites

En effet, le résultat préliminaire de la SA des PM_{10} a montré une contribution importante des poussières remises en suspension et liées à la source trafic routier sur le site de Reims Doumer (trafic), tandis que les autres sources régionales apparaissent homogènes entre les trois sites. Des analyses complémentaires sont menées, en ajoutant des traceurs des émissions hors échappement et des émissions issues des caténaires de train, afin d'identifier des sources spécifiques à chaque site. La comparaison croisée des résultats fournira un éclairage sur les sources de PM et de PO en fonction des caractéristiques des PM, du site récepteur et de la période d'échantillonnage. En outre, les niveaux d'exposition aux PM dans différents environnements mettent en évidence l'impact sanitaire accru des activités automobiles.

En premiers résultats sur les impacts sanitaires, les mesures de PO volumiques obtenues avec les tests AA et DTT sont mises en parallèle avec des mesures disponibles pour d'autres sites en France (Figure 3). Le OP_v^{AA} du site gare se démarque avec une valeur supérieure à 2 nmol/min/m^3 et ainsi supérieure au site Doumer et au site Jean D'Aulan. Pour le OP_v^{DTT} la différence est bien marquée, avec les valeurs aux sites Doumer et Gare supérieures à la valeur observée au site de fond urbain de Jean d'Aulan mais comparables à celles d'autres sites urbains. Pour ces deux mesures de PO, le site Doumer montre des valeurs inférieures à ce qui est habituellement mesuré sur un site trafic.

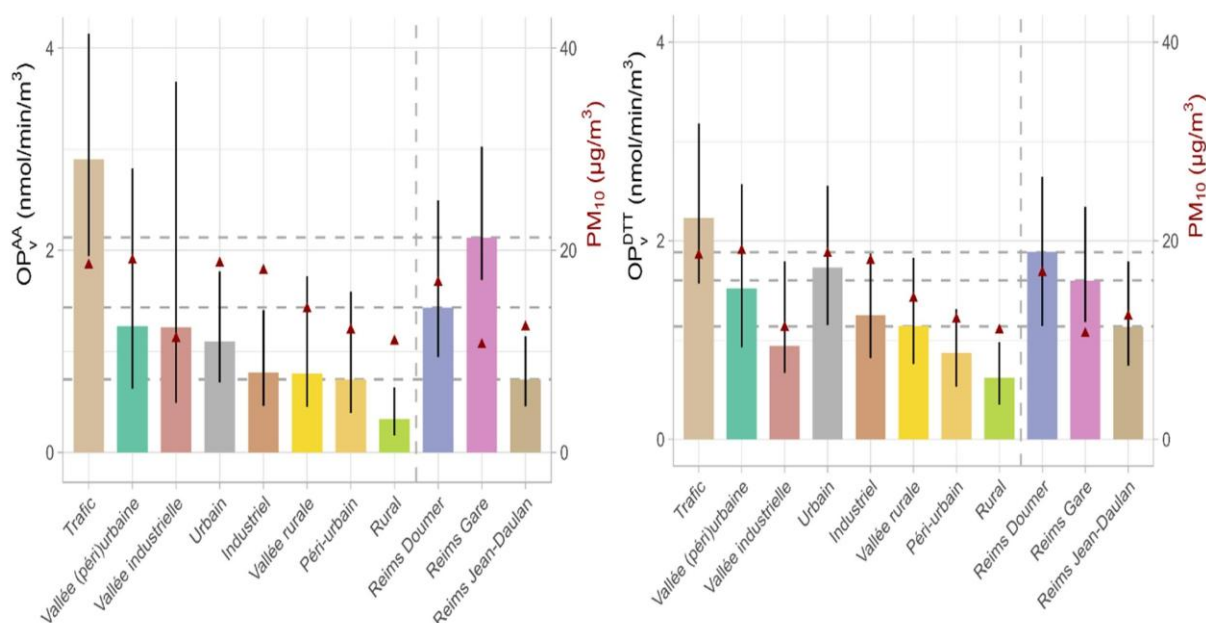


Figure 3. Comparaison du PO volumique pour le AA et le DTT des sites de mesures de Reims (Reims Jean D'Aulan (UB) – Reims Doumer (Trafic) – Reims Gare (Gare), en comparaison avec d'autres sites en France (source: IGE).

4. CONCLUSION/PERSPECTIVES

Ces résultats permettent d'observer que la typologie des sites urbains à Reims influence fortement les niveaux, la composition et le potentiel oxydant des particules. Les prochaines étapes d'exploitation des données incluront des analyses PMF plus approfondies, notamment site par site et, à la fois pour PM₁₀ et PM_{2.5}, l'intégration de tous les échantillons dans l'analyse des additifs pour les pneus, ainsi que des essais pour inclure l'analyse de ces traceurs dans l'analyse des sources par PMF. Une analyse plus poussée des liens entre composition chimique, sources et PO permettra d'affiner l'évaluation des contributions respectives des trafics routier et ferroviaire à la pollution particulaire et à ses effets sanitaires potentiels dans un environnement urbain.

Ce travail est soutenu financièrement par l'Agence de la Transition Ecologique (ADEME)

Fuzzi S, et al., 2015. Atmospheric Chem. Phys. 15:8217–8299.
 Grange SK, et al., 2022. Atmospheric Chem. Phys. 22:7029–7050.
 Ngoc Thuy VD, et al., 2024. Atmospheric Chem. Phys. 24:7261–7282.
 Weber S, et al., 2021. Atmospheric Chem. Phys. 21:11353–11378