

APPORTS DU PROJET RI-URBANS POUR LA SURVEILLANCE OPÉRATIONNELLE DE LA QUALITÉ DE L'AIR : OUTILS AVANCÉS POUR L'ATTRIBUTION DES SOURCES ET L'ÉVALUATION DU POTENTIEL OXYDANT DES PARTICULES :

VTN Dinh¹, P. Dominutti¹, S. Sauvage¹, JL Jaffrezo¹, G. Uzu¹, T. Petäy², X. Querol³

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

²UHEL Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), University of Helsinki, Finland

³Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC), 08034, Barcelona, Spain

*Courriel de l'orateur : stephane.sauvage@univ-grenoble-alpes.fr

TITLE

Contributions from the RI-URBANS project for operational air quality monitoring: Advanced tools for source attribution and assessment of the oxidative potential of particles

ABSTRACT

Recent changes in urban emissions require advanced tools to better characterize atmospheric particulate matter and assess related health impacts. The European RI-URBANS project has developed 16 Service Tools covering aerosol chemical composition, source apportionment, ultrafine particle detection, and exposure assessment. Source apportionment based on off-line PM speciation enables the identification of up to ten major sources, including traffic and biomass burning, providing essential support for air-quality policies. Oxidative potential (OP) is a metric for health impact assessment that shows strong variability driven by measurement protocols, assay choice, and regression models. There is need of harmonized methodologies which have are under development paving the way for a future ACTRIS expertise centre on OP.

RESUME

Les récents changements dans les émissions urbaines exigent des outils avancés pour mieux caractériser les particules atmosphériques et leurs impacts sanitaires. Le projet européen RI-URBANS a développé 16 Service Tools couvrant la composition chimique, l'attribution des sources, la détection des particules ultrafines et l'évaluation de l'exposition. Les approches d'attribution des sources basées sur la spéciation off-line des PM permettent d'identifier jusqu'à dix sources majeures, dont le trafic et la combustion de biomasse, fournissant un appui essentiel aux politiques de qualité de l'air. Le potentiel oxydant (PO) est une nouvelle métrique d'évaluation de l'impact sanitaire des particules qui présente toutefois une forte variabilité liée aux protocoles et aux modèles de régression. Il apparaît donc nécessaire de disposer de méthodologies harmonisées actuellement en cours de développement, ouvrant la voie à la création d'un centre d'expertise ACTRIS sur le PO.

MOTS-CLÉS : Particules en suspension, Potentiel oxydant, attribution des sources, RI-Urbans, ACTRIS /
KEYWORDS: Particulate matter, Oxidative potential, source apportionment, RI-Urbans, ACTRIS

1. CONTEXTE ET MOTIVATION

Les évolutions des émissions de polluants atmosphériques au cours des dernières décennies ont modifié les profils de pollution urbaine, nécessitant de nouvelles approches pour la surveillance de la qualité de l'air, l'évaluation de leurs impacts sur la santé et l'élaboration de politique de remédiation.

Le projet européen H2020/Green-Deal/RI-URBANS (<https://riurbans.eu/>) s'est appuyé sur l'expertise scientifique et technique notamment des infrastructures de recherche européennes (ACTRIS et IAGOS) pour adapter et déployer des outils de service avancés (Service Tools, ST) dédiés à l'analyse des particules atmosphériques (incluant les particules ultrafines) leur composition chimique, leurs sources et leurs impacts. Développés en complément des systèmes de surveillance réglementaires de qualité de l'air, ces outils visent notamment à soutenir l'implémentation de la nouvelle directive européenne pour la surveillance de la qualité de l'air.

16 STs ont été développés dans le cadre de RI-URBANS. Ils incluent des protocoles de mesure harmonisés, des méthodes innovantes d'analyse de la composition des PM et d'attribution des sources, des approches de détection et de quantification des nanoparticules, ainsi que des outils de cartographie de l'exposition et des modèles multi-échelles permettant d'évaluer les contributions urbaines et régionales. Les STs intègrent également des méthodologies pour relier ces données à l'évaluation des impacts sanitaires.

Outre l'énoncée rapide de l'ensemble des STs, la présentation aura pour objectif de démontrer la valeur ajoutée des méthodologies d'attribution des sources et du potentiel oxydant (PO) des PM rendues accessibles pour la surveillance opérationnelle améliorant ainsi les connaissances sur les particules, l'évaluation des politiques de qualité de l'air ainsi que l'analyse des risques pour la santé dans un contexte de pollution atmosphérique urbaine changeant et de plus en plus complexe.

2. TRANSFERT RECHERCHE ET RÉSEAUX OPÉRATIONNELS

Les STs ont été développés dans le cadre du projet RI-Urbans puis testés et révisés pour l'évaluation de la qualité de l'air en milieu urbain. 16 STs portent sur les mesures in-situ et par télédétection des gaz et des aérosols, sur l'attribution des sources, sur l'évaluation de l'impact santé, sur la cartographie, les inventaires d'émission et la modélisation. Ils constituent une base de travail précieuse pour l'implantation des sites et le développement de la stratégie de surveillance. En particulier les nouveaux polluants ciblés par la nouvelle directive sur la qualité de l'air (Particules ultrafines, composés organiques volatils, ammoniac, PO) font l'objet de recommandations techniques basées sur l'expertise scientifique développées à l'échelle européenne et auxquelles plusieurs groupes de recherche français ont contribué.

3. SOURCES ET IMPACTS DE PM

3.1. Attribution des sources basée sur les mesures off-line

L'attribution des sources de particules atmosphériques est un élément central pour comprendre l'origine des polluants et guider les stratégies de réduction. En complément des méthodes de mesures de composition chimique on-line, les approches d'attribution des sources basées sur les mesures off-line (Prélèvement sur filtre et analyse en laboratoire) de la chimie des aérosols - incluant les métaux, ions inorganiques, carbone organique/élémentaire et traceurs organiques - fournissent un cadre robuste pour décomposer les concentrations de PM en contributions de sources telles que le trafic, la combustion de biomasse, les aérosols secondaires ou les émissions industrielles. L'utilisation de modèles comme le PMF (Positive Matrix Factorization) permet d'identifier ces sources et de caractériser leur variabilité saisonnière. Cette approche reste toutefois sensible aux choix analytiques, aux incertitudes sur les espèces chimiques et aux contraintes imposées au modèle.

Les contributions des sources de PM₁₀ varient significativement d'une ville à l'autre et suivant la typologie et la climatologie des sites de mesure. Les résultats obtenus peuvent néanmoins fournir des informations très pertinentes en soutien à l'évaluations des politiques de remédiation aux échelles régionale et locale. Jusqu'à 10 sources peuvent être identifiées suivant les sites et la liste des espèces chimiques analysées. L'amélioration des techniques analytiques continue d'amener un potentiel significatif pour la recherche de nouveaux traceurs afin d'étendre encore la déconvolution des sources de PM.

3.2. Potentiel oxydant des PM

Le potentiel oxydant (PO) des particules atmosphériques est de plus en plus utilisé comme indicateur de toxicité pour relier les sources d'aérosols aux impacts sanitaires (Tassel et al., 2025). Cependant, la diversité des méthodes de mesure limite aujourd'hui la comparabilité des études et la robustesse de l'attribution des sources. La présentation proposera sur ce volet une synthèse des travaux réalisés à l'IGE pour une analyse des principales sources d'incertitude et d'interprétation du PO jusqu'à la provision de méthodes harmonisées.

Un protocole de mesure simplifié a été proposé comme ST dans le cadre du projet RI-Urbans notamment avec le test PO_{DTT} (Dominutti et al., 2025). Ces travaux ont notamment montré les niveaux contrastés de PO_{DTT} et de PO_{AA} dans les zones urbaines européennes. Dans un second temps, la reproductibilité du test DTT a été testé à travers une comparaison interlaboratoire impliquant vingt laboratoires européens (Dominutti et al., 2025). Comme le montre la figure 1, elle met en évidence une variabilité substantielle qui est liée aux protocoles analytiques, aux équipements et aux conditions opératoires. Par ailleurs, le choix du type de test PO influence fortement les contributions attribuées aux sources (Dominutti et al., 2023).

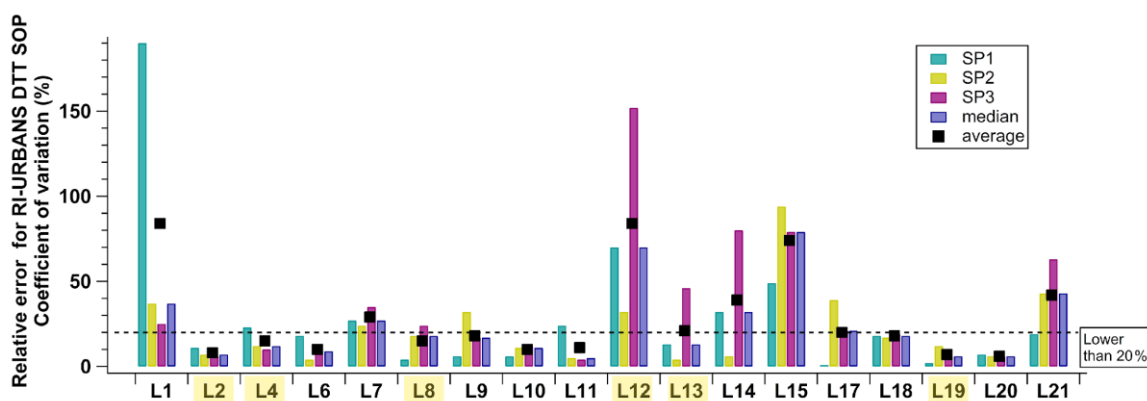


Figure 1. Coefficients de variation (CV) de chaque participant (L1 à L21) pour les trois échantillons testés en triplicats à l'aide du protocole RI-URBANS DTT et répétabilité médiane et moyenne pour chaque laboratoire. Les participants surlignés en jaune sont ceux sélectionnés pour le calcul des valeurs attribuées. La ligne pointillée indique les participants dont le CV est inférieur à 20%

La méthodologie de répartition des sources de PO dans les PM repose sur la répartition des sources PMF appliquée aux ensembles de données sur la spéciation des PM, suivie d'une régression multilinéaire pour attribuer les mesures colocalisées de PO aux sources PMF. Huit modèles de régression ont été appliqués au couplage PMF-PO sur six sites français. Les résultats montrent que les performances des modèles varient fortement selon le contexte avec un compromis à trouver entre stabilité, explicabilité et capacité prédictive (Figure 2) (VNT Dinh et al., 2024).

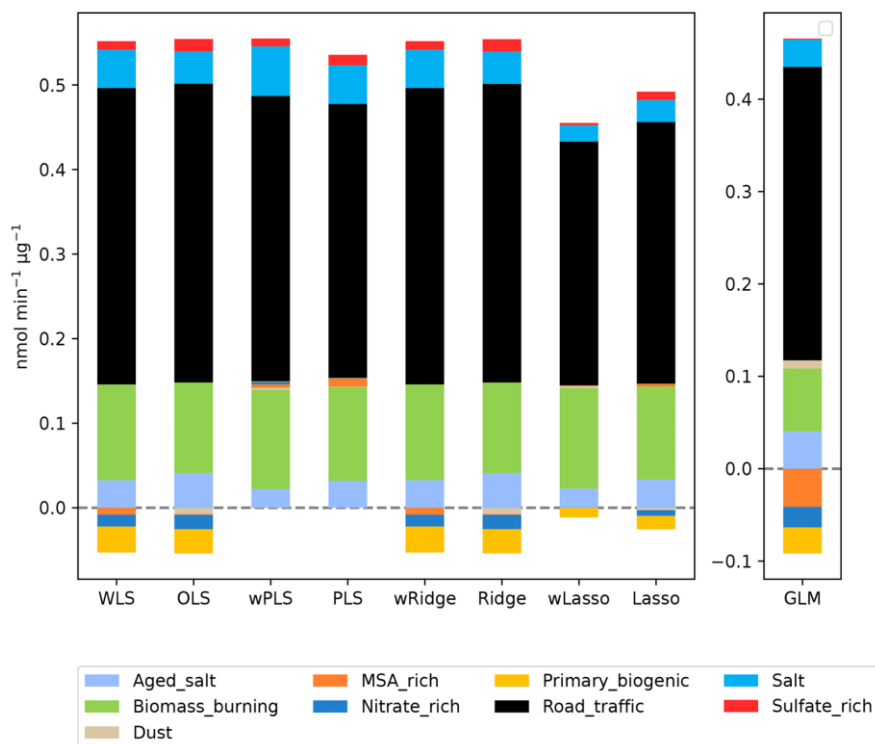


Figure 2. Valeurs intrinsèques du POAA des différentes sources de PM10 à Nice obtenues en fonction de différents modèles.

L'ensemble de ces résultats démontrent que l'estimation du PO dépend de trois couches de variabilité : le protocole expérimental, le choix du type de test PO et le modèle statistique utilisé. Cette analyse intégrée souligne la nécessité d'une harmonisation méthodologique afin de produire un indicateur de toxicité plus robuste, comparable et pertinent pour la santé publique. La perspective repose sur la mise en place d'un centre d'expertise européen sur le PO implémenté à l'IGE dans le cadre de l'infrastructure de recherche ACTRIS ayant vocation à proposer des services d'évaluation des méthodes et l'expertise nécessaire notamment aux réseaux de surveillance opérationnels.

4. CONCLUSION

Les travaux menés dans le cadre de RI-URBANS ont démontré que l'amélioration de la surveillance de la qualité de l'air passe par une intégration cohérente des approches analytiques, statistiques et toxicologiques. L'attribution des sources basée sur la chimie off-line apporte une vision robuste de l'origine des PM, tandis que les méthodes harmonisées de mesure du potentiel oxydant permettent d'évaluer plus finement leurs impacts sanitaires. Les analyses révèlent toutefois une forte sensibilité des résultats aux protocoles expérimentaux et aux outils de modélisation utilisés. La mise en place d'un centre d'expertise européen dédié au PO, au sein d'ACTRIS, constituera une étape clé pour soutenir les réseaux opérationnels et assurer des méthodologies harmonisées pour garantir la comparabilité des indicateurs utilisés.

Vy Ngoc Thuy Dinh, et al., (2025), Toolbox for accurate estimation and validation of PMF solutions in PM source apportionment, <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-1968>

Pamela A. Dominutti, et al., (2025) An interlaboratory comparison to quantify oxidative potential measurement in aerosol particles: challenges and recommendations for harmonisation, AMT, <https://doi.org/10.5194/amt-18-177-2025>

Vy Dinh Ngoc Thuy et al., (2024) Unveiling the optimal regression model for source apportionment of the oxidative potential of PM, ACP, <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-361>

Pamela A. Dominutti, et al., (2023) Source apportionment of oxidative potential depends on the choice of the assay: insights into 5 protocols comparison and implications for mitigation measures, [Environ. Sci.: Atmos., https://doi.org/10.1039/D3EA00007A](https://doi.org/10.1039/D3EA00007A)

Tassel et al.,(2025), Oxidative potential of atmospheric particles in Europe and exposure scenarios. Nature 647, 109–114, <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09666-9>