



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

<https://ed560.ed.univ-paris-diderot.fr>

---

**Titre du sujet :** Exposition aux particules fines des cyclistes et piétons en zone urbaine. Identification des sources de pollution aux nanoparticules métalliques : approches magnétiques et géochimiques.

Directrice : CARLUT Julie, (DR), [carlut@ipgp.fr](mailto:carlut@ipgp.fr)  
Co-encadrant(e)s : ISAMBERT Aude (MCF), [isambert@ipgp.fr](mailto:isambert@ipgp.fr)  
et Claire Carvalho (MCF, Sorbonne Université), [claire.carvalho@sorbonne-universite.fr](mailto:claire.carvalho@sorbonne-universite.fr)  
Équipe d'accueil : IPGP- Équipe PAMCE – UMR7154

Financement : Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement

---

### Contexte

L'amélioration des outils de mesure de la qualité de l'air s'inscrit dans une prise de conscience croissante des défis environnementaux, surtout en milieu urbain. Face aux bouleversements climatiques liés aux émissions de gaz à effet de serre, le développement des mobilités douces comme le vélo est une solution clé pour réduire ces émissions. À Paris, la part modale du vélo a fortement progressé, passant de 3 % en 2010 à 11 % en 2023 (contre 4 % pour la voiture), grâce aux aménagements cyclables liés aux politiques publiques. L'exposition des cyclistes et piétons à la pollution reste cependant un problème majeur et dépend des itinéraires empruntés. Elle est ainsi plus importante pour les routes à fort trafic, moins importante pour les pistes cyclables, mais elle dépend aussi du moment de la journée auquel le trajet est effectué.

Cependant, la plupart des études se basent sur un nombre limité d'itinéraires, souvent sur de courtes périodes, et se concentrent surtout sur les particules fines ( $PM_{2.5} < 2.5 \mu m$ ). Ceci est en grande partie lié à la lourdeur et la complexité de l'instrumentation utilisée. En conséquence, l'exposition réelle des cyclistes et piétons aux particules ultrafines ( $PM_{0.1} < 0.1 \mu m$ ) et leur caractérisation détaillée (nature, distribution de tailles, composition chimique) restent très peu documentées. Or ces particules nanométriques peuvent avoir des effets graves sur la santé. Leur grande surface de réactivité ainsi que leur association fréquente à des éléments métalliques (Fe, Pb, Zn, Cd, Ni, Cu, Cr), les rendent potentiellement responsables de certaines maladies neurodégénératives.

En région parisienne, les principales sources de PM sont le chauffage au bois et le trafic routier (AirParif<sup>1</sup> 2018, ANSES<sup>2</sup> 2019). Ces sources majeures de pollution sont à combiner avec les autres activités anthropiques selon le contexte local (périphérique, train, tramway, industries, etc.). Les particules qu'elles rejettent, sont riches en fer et fortement magnétiques, par conséquent facilement détectables par les techniques d'analyses couramment utilisées en magnétisme environnemental.

L'objectif du projet est d'évaluer l'exposition des cyclistes et piétons aux différentes sources de pollutions aux nanoparticules métalliques en Ile de France en participant au développement de **capteurs mobiles** de faible coût et faible impact environnemental (comme l'écorce de platane, qui capte les particules fines métalliques – Carvalho et al. 2024, **projet Ecorc'Air**<sup>3</sup>). Ce protocole d'utilisation de capteurs passifs végétaux

---

<sup>1</sup> L'observatoire de la qualité de l'air en Île-de-France

<sup>2</sup> Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

<sup>3</sup> <https://www.ipgp.fr/la-recherche/projets-de-recherche/projet-ecorcair/>

sera validé en comparant leurs capacités de piégeage des PM avec celles de masques portés par des cyclistes. Ce projet repose sur une **approche participative** qui sera déployée auprès des personnels et étudiants IPGP-UPCité et Sorbonne Université, des associations de cyclistes, et associations environnementales.

Les principaux axes du projet seront les suivants :

- 1) caractériser les propriétés magnétiques (distribution de taille et nature des minéraux magnétiques) des nano-particules collectées par les cyclistes et piétons au cours de leur trajet domicile-travail (mesures d'aimantation en champ fort à température ambiante et basse température, mesures de la susceptibilité magnétique en température et à fréquence variable). Un aspect particulièrement novateur sera la quantification de la fraction de grains superparamagnétiques (particules ultrafines) à l'aide du susceptibilimètre triple fréquence MFK2 récemment acquis au sein du laboratoire PAMCE.
- 2) approfondir la caractérisation chimique des sources de particules fines et ultrafines, sur la base des travaux récents réalisés dans l'équipe ACE (thèse S. Coural) : détection par spICP-ToF-MS couplée à deux méthodes de dégradation sélective (TMAH et plasma d'O<sub>2</sub>).
- 3) combiner les caractérisations chimiques et magnétiques des deux précédentes étapes afin de tester un algorithme d'apprentissage machine pour l'attribution des nanoparticules mesurées à chacune de leurs sources, et de poser les bases d'une meilleure compréhension des propriétés magnétiques des sources.
- 4) participer au **déploiement d'un dispositif de recherche participative** basée sur l'action des volontaires et l'échange avec les équipes scientifiques sous forme de restitutions publiques.

Les résultats obtenus sur ces **capteurs passifs mobiles** seront directement comparés aux échantillons (**capteurs passifs fixes**) issus des précédentes campagnes d'échantillonnage du projet Ecorc'Air, utilisant les écorces de platane, arbre omniprésent en ville, comme capteurs passifs de pollution. Plus de 6000 échantillons géolocalisés ont été récoltés sur la période 2021-2026, majoritairement en région parisienne, et feront l'objet d'analyses magnétiques et géochimiques comparables (pour une fraction ciblée).

### Profil recherché

Formation scientifique niveau Master 2 en géosciences ou diplôme d'ingénieur (physique, chimie, environnement). Le candidat devra montrer un intérêt pour les projets interdisciplinaires à l'interface **Géosciences et Société**. Des compétences en magnétisme et/ou chimie/géochimie sont un plus. Des connaissances préalables ou la volonté de se former à l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage machine sont nécessaires.

Ce projet (qui bénéficie d'un soutien financier MITI-CNRS 2026 et du Centre des Politiques de la Terre – CPT Axe 1) s'appuie sur l'expérience de l'observatoire participatif PartiCitaE et des projets Ecorc'Air et ExpoPed (exposition des piétons à différents polluants - mesurée avec des capteurs électrochimiques, Huguenin-Richard et al. sous presse).

Cette thèse s'effectuera en étroite collaboration avec Yann Sivry (IPGP, équipe ACE) pour les analyses chimiques, Frédéric Fluteau (IPGP, équipe PAMCE) pour le traitement des données, Florence Huguenin Richard (Sorbonne université) pour les aspects urbanistiques, Laure Turcati (Plateforme Particitae, OSU Ecce Terra, Sorbonne université) pour le déploiement du volet participatif, et Christine Franke (centre des Géosciences Mines ParisTech) membre du projet Ecorc'Air.

### Références bibliographiques

- [1] Carvallo, C., Isambert, A., Franke, C., Turcati, L., Sivry, Y., Coural, S., et al. (2024). Ecorc'Air: A citizen science project for the biomonitoring of vehicular air pollution in Paris, France. *Community Science*, 3, e2024CSJ000084. <https://doi.org/10.1029/2024CSJ000084>
- [2] Letaief, S., Carvallo, C., Franke, C., Isambert, A., Pierre Camps P. Contributions and limitations of environmental magnetism to characterize traffic-related particulate matter sources. *Geophysical Journal International*, 2024, 237 (3), pp.1505-1525. 10.1093/gji/ggae108 . hal-04529506
- [3] Thèse de Sophie Coural, 2025, UPCité - IPGP. Étude des nanoparticules atmosphériques en milieu urbain à l'aide d'écorces d'arbres comme bioindicateurs naturels.