

Titre : Analyses isotopiques (S et O) des encroûtements noirs des monuments pour retracer la pollution urbaine au cours des derniers siècles

Mots clés : géochimie isotopique, matériaux du patrimoine, pollution atmosphérique

Profil recherché : titulaire d'un master 1 en géosciences

Structures d'accueil et localisation du stage : ISTeP (Paris) et LISA (Créteil) occasionnellement

Durée : 5-6 mois (janvier-juin 2026)

Date limite de candidature : 15 décembre 2025

Indemnités : gratification selon la réglementation en vigueur au 1^{er} janvier 2026

Encadrement :

- Erwan Martin (ISTeP) : erwan.martin@sorbonne-universite.fr
- Aurélie Verney-Carron (LISA) : aurelie.verney@lisa.ipsl.fr

Les mesures de la pollution atmosphérique sont relativement récentes. Il faut attendre les années 1950 pour que se mettent en place des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Or, disposer de données anciennes sur la pollution est nécessaire pour connaître l'impact des activités anthropiques sur l'environnement, sur le patrimoine et sur la santé dans le passé.

Lors de ce stage nous intéressons à de nouvelles archives : les croûtes noires (CN) présentes sur les monuments en calcaire. Elles se forment par réaction du calcaire (CaCO_3) avec le SO_2 de l'air pour former du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Au cours de sa croissance, le gypse piège le contenu particulaire de l'atmosphère et notamment les aérosols issus de la combustion, phénomène qui donne leur couleur noire à ces encroûtements.

Des travaux précédents ont permis de mesurer la composition multi-isotopique de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$ et $\Delta^{17}\text{O}$) des CN formées à des époques différentes. Ils ont mis en évidence des différences significatives de cette composition multi-isotopique pour des CN anciennes et modernes. Notre hypothèse est que ces différences s'expliquent par l'évolution de la composition en oxydants atmosphérique, notamment l' O_3 , et les NO_x dans l'atmosphère en zone urbaine car ces composés jouent un rôle dans les voies d'oxydation du soufre et de la formation de sulfates. Si cette hypothèse est confirmée, alors nous disposerions pour la première fois d'un proxy de la concentration en O_3 et de NO_x au cours de derniers siècles.

Des échantillons seront collectés au cimetière du Père-Lachaise. Nous concentrerons notre étude sur au moins 6 tombes qui présentent des CN datant de différentes époques (1820, 1840, 1860, 1880, 1900, 1920). Ils seront préparés pour être tout d'abord observés et caractérisés en microscopie optique et en microscopie électronique à balayage (MEB-EDS) pour établir des cartographies chimiques élémentaires. Ils seront ensuite analysés à l'échelle micrométrique par sonde ionique (SIMS) à Lausanne (Suisse) pour déterminer la composition isotopique en oxygène.

Title: Isotopic analyses (S and O) of black crusts on monuments to trace urban pollution over the last few centuries.

Keywords: isotopic geochemistry, heritage materials, atmospheric pollution.

Required profile: Master's degree in geosciences.

Host organizations and internship location: ISteP (Paris) and LISA (Créteil) occasionally

Duration: 5-6 months (January-June 2026)

Application deadline: December 15, 2025

Compensation: remuneration in accordance with regulations in force on January 1, 2026

Supervision:

- Erwan Martin (ISteP): erwan.martin@sorbonne-universite.fr
- Aurélie Verney-Carron (LISA): aurelie.verney@lisa.ipsl.fr

Air pollution measurements are relatively recent. It was not until the 1950s that air quality monitoring networks were set up. However, historical data on pollution is necessary to understand the impact of human activities on the environment, heritage, and health in the past.

During this internship, we will focus on a new type of archive: black crusts (BC) found on limestone monuments. These form when limestone (CaCO_3) reacts with SO_2 in the air to form gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As it grows, gypsum traps particulate matter in the atmosphere, particularly aerosols from combustion, which gives to these crusts their black color.

Previous studies have measured the multi-isotopic composition of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$ and $\Delta^{17}\text{O}$) in BCs formed at different times. They have revealed significant differences in this multi-isotopic composition between ancient and modern BCs. Our hypothesis is that these differences can be explained by changes in the composition of atmospheric oxidants, particularly O_3 and NO_x in the urban atmosphere, as these compounds play a role in the oxidation of sulfur and the formation of sulfates. If this hypothesis is confirmed, then for the first time we would have a proxy for O_3 and NO_x concentrations over the last few centuries.

Samples will be collected at the Père-Lachaise cemetery. We will focus on at least six graves with BCs dating from different periods (1820, 1840, 1860, 1880, 1900, and 1920). They will first be prepared for observation and characterization using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM-EDS). They will then be analyzed at the micrometric scale using ion probe (SIMS) in Lausanne (Switzerland) to determine the oxygen isotopic composition.