

## Stage fin d'études 2025

Demandeurs : LaSIE (Laboratoire de recherche de l'Université de La Rochelle) et Arc'Antique (Laboratoire de restauration - conservation des objets archéologiques, Nantes)

Durée du stage : au moins 5 mois

Sujet de l'étude : **Corrosion des bronzes antiques en milieux arides : étude physico-chimique de la chalconatronite.**

Lieu principal : LaSIE Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement  
La Rochelle Université  
Avenue Michel Crépeau  
17042 La Rochelle cedex 1

Encadrants et contacts: Céline Rémazeilles / cremazei@univ-lr.fr

Equipe TDVM spécialisée dans la corrosion des métaux (ferreux et cuivreux) en milieux naturels: <https://lasie.univ-larochelle.fr/E3-TDVM>

et

Elodie Guilminot / Elodie.Guilminot@Loire-Atlantique.fr

Charlène Pelé Meziani / Charlene.Pele-Meziani@loire-atlantique.fr

Responsables respectivement du Secteur Recherche et du secteur Analyses d'Arc'Antique

Problématique : Le sujet de stage s'inscrit dans un contexte de préservation d'objets archéologiques en bronze affectés par un phénomène d'altération méconnu et caractérisé par la présence de chalconatronite ( $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) à la surface des objets. Ce composé est observé parfois comme produit de corrosion de statuettes égyptiennes en bronze, extraites de milieux désertiques. Mais il s'agit aussi d'un produit dû à la conversion de composés de la patine du bronze après immersion dans une solution de sesquicarbonates de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{NaHCO}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ), utilisée comme traitement de conservation. La chalconatronite a aussi été détectée sur des objets composites verre/alliage de cuivre. Cependant, les informations et données sur la structure, la stabilité thermodynamique, la réactivité à d'autres espèces chimiques ou aux atmosphères de stockage sont peu rapportées. Ce manque de connaissances peut conduire à des diagnostics erronés, voire à l'utilisation de traitements de conservation inadaptés.

Travail proposé : Ce stage s'intéressera à ce processus d'altération du bronze à travers son produit caractéristique, la chalconatronite. Le travail consistera à :

- faire une synthèse bibliographique des connaissances actuelles sur la chalconatronite
- fabriquer la chalconatronite au laboratoire et établir le ou les protocoles robustes
- déterminer les caractéristiques structurales de la chalconatronite obtenue grâce à l'emploi de différentes techniques de laboratoire (principalement MEB/EDS, Diffraction des rayons X, Spectroscopies Raman et Infrarouge à Transformée de Fourier)
- étudier la réactivité de la chalconatronite en présence d'autres espèces chimiques et selon le pH.
- tenter de faire croître la chalconatronite sur un substrat en cuivre.

Profil du stagiaire : ce sujet nécessite un(e) étudiant(e) au profil spécialisé en physique, chimie ou sciences de la matière ayant un intérêt certain pour la recherche, l'expérimentation en laboratoire et le patrimoine culturel. L'étudiant(e) doit pouvoir faire preuve, en plus de rigueur scientifique, d'une grande rigueur technique car il(elle) devra devenir autonome pour mener à bien les expérimentations. Une connaissance, même seulement théorique, des appareils mentionnés sera un plus.