

**MASTER DE PHYSIQUE ET APPLICATIONS - 2<sup>ème</sup> année**  
**Sciences des Matériaux et Nano-objets**  
*UPMC Paris 6, ENS Ulm, Chimie ParisTech, ESPCI et l'École Polytechnique*

**Proposition de stage 2017-2018**

**Laboratoires:** Science et Ingénierie de la Matière Molle (SIMM) et Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF)

**Adresse:** ESPCI, 10 rue Vauquelin 75005 Paris et Palais du Louvre - 14, quai Mitterrand 75001 PARIS

**Directeurs des laboratoires :** Christian Frétiigny, Michel Menu

**Responsable(s) du stage:** J.-B. d'Espinose et B. Mille

**e-mail:** [jean-baptiste.despinose@espci.fr](mailto:jean-baptiste.despinose@espci.fr), [benoit.mille@culture.gouv.fr](mailto:benoit.mille@culture.gouv.fr)  
<https://www.simm.espci.fr/> et [c2rmf.fr](http://c2rmf.fr)



CENTRE DE  
RECHERCHE  
ET DE  
RESTAURATION  
DES MUSÉES  
DE FRANCE

**Analyse Structurale multi-échelle de la Cuprite dans la Métallurgie Préhispanique**  
**Projet scientifique :**

La cuprite,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , est le matériau le plus ancien utilisé dans l'électronique des semi-conducteurs ; c'est également l'un des principaux composés mis en évidence lors de l'étude de la métallurgie ancienne des alliages cuivreux, tant dans les scories d'élaboration du métal, que dans les produits d'altération formés lors de la corrosion des objets archéologiques cuivreux. La cuprite a fait l'objet d'un nombre important d'études expérimentales et théoriques. Ainsi, les applications émergentes de la cuprite en nanoélectronique, spintronique et photovoltaïque requièrent une compréhension fine et approfondie de l'ordre local dans le matériau ; elles ont récemment bénéficié du potentiel offert par la spectroscopie RQN (Résonance Quadripolaire Nucléaire), outil très sélectif de détection de la cuprite et d'étude de sa microstructure, grâce à la sensibilité de la méthode aux modifications de l'ordre local du  $^{63}\text{Cu}$ . En complément de la RQN  $^{63}\text{Cu}$ , il est possible d'observer la microstructure à l'échelle locale de la cuprite par imagerie de photoluminescence.

L'objectif de la thèse est de caractériser et d'étudier la microstructure de la cuprite  $\text{Cu}_2\text{O}$  dans des milieux complexes (scories anciennes d'élaboration du cuivre), en faisant appel à la complémentarité entre la RQN comme sonde locale de l'environnement du cuivre, la diffraction des rayons X moyennée dans l'espace pour la caractérisation dans un système complexe, et l'imagerie de photoluminescence au synchrotron Soleil. La première application se fera sur une problématique d'archéométaballurgie du désert d'Atacama (Chili). Celui-ci abrite un patrimoine minier (10-15<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) exceptionnellement bien conservé. L'étude de ce patrimoine est le cadre du Laboratoire International Associé Mines-Atacama.

L'étude fine du  $\text{Cu}_2\text{O}$  par RQN  $^{63}\text{Cu}$  et par photoluminescence dans les scories de l'Atacama devrait permettre de remonter aux conditions de formation des cristallisations de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ce qui est fondamental à la compréhension des mécanismes réactionnels en jeu lors de la transformation haute température du minerai de cuivre en métal. Par l'étude des scories, nous serons donc à même de déterminer le type de minerai dont elles proviennent, de reconstituer le déroulement des différentes réactions chimiques à haute température, de discuter le niveau de savoir-faire des métallurgistes préhispaniques et les implications économiques et sociales de l'implantation d'une exploitation minière et métallurgique de grande ampleur dans un milieu aussi hostile que le désert d'Atacama.

**Techniques utilisées :** caractérisations structurale (XRD, RMN, photoluminescence...)

**Qualités du candidat requises :** goût pour l'archéologie et les techniques physiques avancées

**Rémunération éventuelle du stage :** oui

**Possibilité de poursuivre en thèse ?** oui

**Si oui, mode de financement envisagé :** DIM « Matériaux Anciens et Patrimoniaux »