

**MASTER DE CHIMIE DE PARIS CENTRE - M2S2**

**Proposition de stage 2024-2025**

**Internship Proposal 2024-2025**

**Parcours type(s) / Specialty(ies) :**

- Chimie Analytique, Physique et Théorique / *Analytical, Physical and Theoretical Chemistry* :  
 Chimie Moléculaire / *Molecular Chemistry* :  
 Chimie et Sciences Du Vivant / *Chemistry and Life Sciences* :  
 Chimie des Matériaux / *Materials Chemistry*:  
 Ingénierie Chimique / *Chemical Engineering*:

**Laboratoire d'accueil / Host Institution**

Intitulés / *Name* : LRS (Laboratoire de Réactivité de Surface)

Adresse / *Address* : 4 place Jussieu – 75005 Paris

Directeur / *Director (legal representative)* : Vincent Vivier

Tél / *Tel* : 01 44 27 25 77

E-mail : [vincent.vivier@sorbonne-universite.fr](mailto:vincent.vivier@sorbonne-universite.fr)

**Equipe d'accueil / Hosting Team :**

Responsable du stage (encadrant) / *Direct Supervisor* : Clément Guibert & Jessem Landoulsi

Fonction / *Position* : Maîtres de Conférences

Tél / *Tel* : 01 44 27 60 05, 01 44 27 54 52

E-mail : [clement.guibert@sorbonne-universite.fr](mailto:clement.guibert@sorbonne-universite.fr), [jessem.landoulsi@sorbonne-universite.fr](mailto:jessem.landoulsi@sorbonne-universite.fr),

Période de stage / *Internship period* : février – juin 2025

**Titre / Title**

Rôle de l'interface protéine/minéral dans la  
régulation de la biominéralisation

*Role of the protein/mineral interface in  
the regulation of biomineralisation*

**Projet scientifique (1 page maximum) / Scientific Project (maximum 1 page):**

**1. Description du projet / Description of the project**

Les tissus minéralisés (os, cartilage, dentine et émail) présentent une structure composite hiérarchisée qui assure leurs propriétés physiologiques et mécaniques uniques. Néanmoins, le mécanisme par lequel la phase minérale se forme au sein d'une matrice organique présente encore de nombreuses zones d'ombre à explorer.

L'étude des tissus biologiques minéralisés a révélé que parmi les sites de nucléation du minéral on trouve essentiellement des vésicules matricielles, particulièrement riches en protéines, notamment en enzymes. Le processus de minéralisation, résulte, en effet, d'une cascade enzymatique qui régule les promoteurs et les inhibiteurs de la minéralisation, ce qui influence à la fois la nucléation et la croissance du minéral. Ainsi, l'une des nouvelles pistes biomimétiques prometteuses pour mieux comprendre la formation de phosphate de calcium en milieu biologique consiste à utiliser une enzyme pour générer l'un des précurseurs du minéral, comme l'ALP (Phosphatase ALcaline) pour former du phosphate *in situ* ([1], Figure 1).

Afin de mieux comprendre le rôle de protéines impliquées dans la régulation de la minéralisation et étudiées à l'échelle clinique (enzymes, protéines de la famille SIBLING), ce projet vise à complexifier le système modèle déjà développé au laboratoire [2] pour y introduire l'étude de l'effet de l'ajout d'autres protéines dans la minéralisation enzymatique du phosphate de calcium, en particulier à l'aide d'un suivi en temps réel dans des conditions physiologiques.

Ce projet permettant d'ouvrir de nombreuses nouvelles perspectives, il pourra déboucher sur un travail de thèse (demande de financement d'école doctorale envisagé), selon les pistes découvertes.

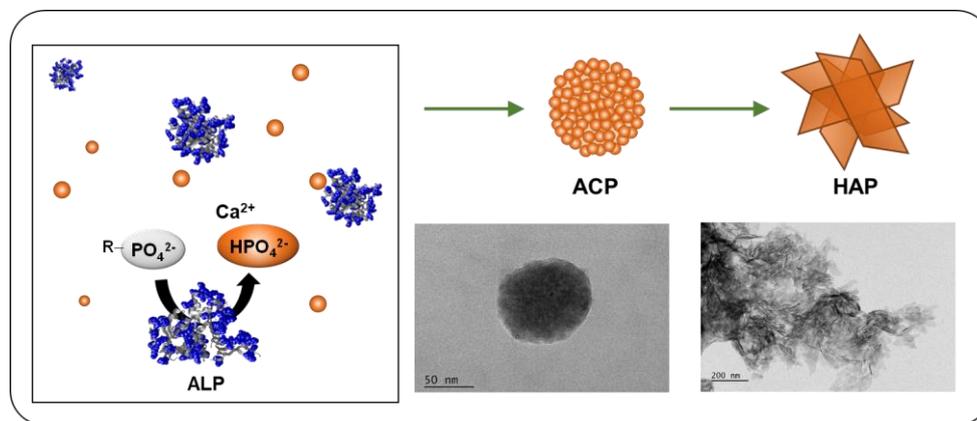


Figure 1 : minéralisation contrôlée enzymatiquement, adaptée de [2] ; ACP : phosphate de calcium amorphe, HAP : hydroxyapatite (phase cristalline du phosphate de calcium)  
*enzyme-controlled mineralization, adapted from [2]; ACP: amorphous calcium phosphate, HAP: hydroxyapatite (mineral form of calcium phosphate)*

*Mineralised tissues (bone, cartilage, dentin and enamel) have a hierarchical composite structure that ensures their unique physiological and mechanical properties. However, the mechanism by which the mineral phase is formed within an organic matrix still presents many mysterious areas to explore. The study of mineralised biological tissues evidenced the presence of matrix vesicles among the mineral nucleation sites, particularly rich in proteins, including enzymes. Indeed, the mineralization process results from an enzymatic cascade that regulates mineralisation promoters and inhibitors, influencing both mineral nucleation and growth. Thus, one of the new and promising biomimetic strategies to understand better the formation of calcium phosphate in biological media consists in using an enzyme to generate one of the precursors of the mineral, such as ALP (ALkaline Phosphatase) to form phosphate in situ (Figure 1).*

*In order to understand better the role of proteins involved in the regulation of mineralisation and studied on a clinical scale (enzymes, proteins of the SIBLING family), this project aims to develop the model system already designed in the laboratory [2]. In particular, the effect of the addition of other proteins on the enzymatic mineralisation of calcium phosphate will be studied under physiological conditions, using real-time monitoring.*

*This project will open up many new perspectives, and may then lead to a thesis project (the application for doctoral school funding is envisaged), depending on the opportunities discovered during the internship.*

## 2. Techniques ou méthodes utilisées / *Specific techniques or methods*

Le stage proposé ici, s'appuyant sur les travaux développés au cours des thèses d'Elodie Colaço (2016-2019) et de Jihye Lee (2020-2023), amènera à étudier dans un premier temps l'étude de la minéralisation enzymatique en conditions aussi proches que possible des conditions biologiques, en particulier par l'ajout de protéines de la famille SIBLING. Ces investigations pourront être menées par étude des suspensions (DLS), de leur charge (mesure de potentiels zêta), de leur caractéristiques spectroscopiques (IR, CD) et de leur structure cristalline (DRX). Dans un second temps, des études de systèmes immobilisés sur surfaces pourront être menées à l'aide de diverses techniques (AFM, XPS, QCM-D...).

*The internship proposed here, based on the work developed during the PhD theses of Elodie Colaço (2016-2019) and Jihye Lee (2020-2023), will first lead to the study the enzymatic mineralization in conditions as close as possible to biological conditions, in particular by adding proteins from the SIBLING family. These investigations will be carried out by studying the suspensions (DLS), their charge (measurement of zeta potentials), their spectroscopic characteristics (IR, CD) and their crystal structure (XRD). In a second step, systems immobilised on surfaces will be studied using various techniques (AFM, XPS, QCM-D...).*

## 3. Références / *References*

- [1] E. Colaço et al., *Calcium Phosphate Mineralization through Homogenous Enzymatic Catalysis: Investigation of the Early Stages*, Journal of Colloid and Interface Science, **2020**, 565, 43-54.  
 [2] J. Lee, et al., *Kinetic study of calcium phosphate mineralisation in biomimetic conditions: An enzymatic model approach*, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, **2023**, 226.