



Proposition de thèse : Analyse multi-échelle de matériaux extraterrestres primitifs par Cathodoluminescence (CL) et microscopie électronique en transmission (MET): caractérisation structurale des phases minérales pour la Cosmochimie

Le laboratoire CRHEA (CNRS / Université Côte d'Azur – Valbonne (06)) recrute une doctorante ou un doctorant dans le cadre d'un projet collaboratif avec le laboratoire LAGRANGE (Université de la Côte d'Azur / Observatoire de la Côte d'Azur / CNRS - Nice (06)), financé par la Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires (MITI). Ce projet a pour objectif de développer des approches analytiques issues de la Science des Matériaux afin d'apporter de nouvelles perspectives au domaine de la Cosmochimie. Depuis plusieurs années, les deux laboratoires poursuivent une collaboration autour de l'analyse de matériaux extraterrestres. L'approche originale consiste à appliquer la cathodoluminescence (CL) — une technique couramment utilisée pour la caractérisation des semi-conducteurs — à l'étude de matériaux extraterrestres dits primitifs. Ces derniers fournissent, en effet, des indices essentiels sur les mécanismes de formation et d'évolution intervenus lors de la formation de notre système solaire, il y a 4.567 Ma [1]. L'intérêt de cette collaboration s'est confirmé par la richesse des informations obtenues grâce à la cathodoluminescence sur de nombreux échantillons, qu'ils s'agissent de météorites ou de ceux ramenés par les récentes missions spatiales NASA ou JAXA [2-4].

Aujourd'hui, la possibilité de changer d'échelle d'analyse pour examiner ces objets à des résolutions nanométriques, voire atomiques, est devenue essentielle pour mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre afin d'obtenir des informations précises sur les conditions de formation de ces matériaux extraterrestres.

Dans ce contexte, l'objectif du projet de thèse est de proposer et de développer une approche multi-échelle permettant de documenter l'historique de la formation de ces objets. L'originalité reposera sur la mise en œuvre d'une approche multi-échelle (du micromètre au nanomètre) et corrélative d'analyse d'échantillons de diverses provenances (échantillons des astéroïdes Bennu et Ryugu, météorites carbonées, échantillons synthétiques), en combinant la technique de cathodoluminescence (CL) avec des techniques avancées de microscopie électronique en transmission (MET) comme l'imagerie à très haute résolution (HR-STEM) et la diffraction électronique (ED), disponibles sur le microscope de dernière génération du CRHEA ainsi que des analyses par spectroscopie de rayons-X (STEM-EDX). Le plan de travail de thèse proposé dans ce projet s'articule autour de trois points : i) la réalisation d'analyses morphologiques et spectrales par microscopie électronique à balayage couplée à la cathodoluminescence ii) l'élaboration d'une méthodologie pour identifier les zones avec des grains contenant des phases primitives qui permettra de prélever des lames/sections très fines nécessaires à une étude approfondie des grains à l'échelle nanométrique, voire atomique, en utilisant la microscopie électronique en transmission iii) la caractérisation structurale et microstructurale des grains sélectionnés et la validation des protocoles de caractérisation.

Ce sujet s'adresse à deux profils possibles de candidat(e)s : master de Physique des Matériaux ou bien master de Minéralogie / Géologie. En raison du caractère pluridisciplinaire du sujet, la personne retenue doit être fortement motivée et intéressée pour approfondir des



connaissances connexes mais non initialement abordées au cours de sa formation initiale (Minéralogie pour un profil Science des Matériaux ou Luminescence et Structures pour un profil Minéralogie / Géologie).

[1] Asteroid (101955) Bennu in the laboratory: Properties of the sample collected by OSIRISREx.

Meteoritics & Planetary Science (2024) doi.org/10.1111/maps.14227

[2] Chondrules as direct thermochemical sensors of solar protoplanetary disk gas,

G. Libourel, M. Portail, *Science Advances*, 4(7), eaar3321, (2018)

[3] An evaporite sequence from ancient brine recorded in Bennu samples

T. J. McCoy, S.S. Russell, T.J. Zega,...,G. Libourel,...M. Portail, V. Guigoz,..., and D. Lauretta
Nature, 637, 1072-1077, (2025)

[4] High-resolution cathodoluminescence of calcites from the Cold Bokkeveld chondrite: New insights on carbonatation processes in CM parent bodies.

Guigoz V., Seret A., Portail M., Ferrière L., Libourel G., Connolly Jr HC., Lauretta D. (2024)
Meteoritics & Planetary Science (2024) doi.org/10.1111/maps.14225

Lieu d'exercice : Laboratoire CRHEA (Centre de Recherche sur l'HétéroEpitaxie et ses Applications), Rue Bernard Grégory, 06560 Valbonne, France. www.crhea.cnrs.fr

Travail équivalent temps plein, en présentiel.

Salaire : 2200€ brut mensuel.

Pour postuler, envoyer un CV, un relevé de notes disponibles du master, si possible une lettre de recommandation, à :

Dr. Marc PORTAIL (laboratoire CRHEA) : marc.portail@crhea.cnrs.fr, Pr.

Guy LIBOUREL (Laboratoire LAGRANGE) : guy.libourel@oca.eu



PhD proposal : Multiscale analysis of primitive extraterrestrial materials by scanning electron microscopy and cathodoluminescence (SEM-CL) and transmission electron microscopy (TEM): structural characterisation of mineral phases for cosmochemistry

The CRHEA laboratory (CNRS / Université Côte d'Azur – Valbonne (06)) is looking for a candidate for a PhD thesis as part of a collaborative project with the LAGRANGE laboratory (Université de la Côte d'Azur / Observatoire de la Côte d'Azur / CNRS - Nice (06)), funded by the Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires (MITI). The project aims to develop analytical approaches based on materials science techniques in order to bring new perspectives to the field of cosmochemistry. For several years, these two laboratories have been collaborating on the analysis of extraterrestrial materials. The original approach is to apply

cathodoluminescence (CL) - a technique commonly used to characterize semiconductors - to the study of so-called primitive extraterrestrial materials. Indeed, these provide essential clues about the formation and evolution mechanisms that occurred during the formation of our solar system, 4.567 Ma ago [1]. The value of this collaboration has been confirmed by the wealth of information obtained through cathodoluminescence on numerous samples, whether they are meteorites or those brought back by recent NASA or JAXA space missions [2-4].

Today, the ability of changing the scale of analysis to examine these objects at nanometric or even atomic resolutions has become essential for a better understanding of the mechanisms at work in order to obtain precise information on the formation conditions of these extraterrestrial materials.

In this context, the aim of this project is to propose and develop a multi-scale approach aimed at documenting the formation history of these objects. The originality of the project lies in the implementation of a multi-scale approach (from micrometer to nanometer) and correlative analysis of samples from various sources (samples from the Bennu and Ryugu asteroids, carbonaceous meteorites, synthetic samples), by combining scanning electron microscopy and cathodoluminescence (SEM-CL) with advanced transmission electron microscopy (TEM) techniques such as high-resolution imaging (HR-STEM) and electron diffraction (ED), available on the CRHEA's latest-generation microscope, as well as analysis by X-ray spectroscopy (STEM-EDX). The thesis plan proposed in this work project is divided in three points: i) carrying out morphological and spectral analyses using scanning electron microscopy coupled to cathodoluminescence (SEM-CL) ii) developing a methodology for identifying areas with grains containing primitive phases, which will allow to elaborate very fine slides/sections required for an in-depth study of the grains on a nanometric or even atomic scale, using transmission electron microscopy iii) structural and microstructural characterization using advanced electron microscopy techniques of the selected grains and validation of the characterization protocols.

This subject is addressed at two possible candidate profiles: Master's degree in Materials Physics or Master's degree in Mineralogy/Geology. Regarding the multidisciplinary nature of the subject, the chosen candidate must be highly motivated and interested in deepening related knowledge not initially covered during his/her initial training (Mineralogy for a Materials Science profile, or Luminescence and Structures for a Mineralogy/Geology profile).

[1] *Asteroid (101955) Bennu in the laboratory: Properties of the sample collected by OSIRISREx. Meteoritics & Planetary Science (2024) doi.org/10.1111/maps.14227*



[2] *Chondrules as direct thermochemical sensors of solar protoplanetary disk gas, G. Libourel, M. Portail, Science Advances, 4(7), eaar3321, (2018)*

[3] *An evaporite sequence from ancient brine recorded in Bennu samples T. J. McCoy, S.S. Russell, T.J. Zega,...,G. Libourel,...M. Portail, V. Guigoz,..., and D. Lauretta Nature, 637, 1072-1077, (2025)*

[4] *High-resolution cathodoluminescence of calcites from the Cold Bokkeveld chondrite: New insights on carbonatation processes in CM parent bodies.*

Guigoz V., Seret A., Portail M., Ferrière L., Libourel G., Connolly Jr HC., Laurretta D. (2024) Meteoritics & Planetary Science (2024) doi.org/10.1111/maps.14225

Location: Laboratoire CRHEA (Centre de Recherche sur l'HétéroEpitaxie et ses Applications), Rue Bernard Grégory, 06560 Valbonne, France. www.crhea.cnrs.fr

Full-time equivalent job.

Salary: €2200 gross per month.

To apply, send a CV, available Master's grades and, if possible, a letter of recommendation to:
Dr. Marc PORTAIL (laboratoire CRHEA) : marc.portail@crhea.cnrs.fr, Pr.
Guy LIBOUREL (Laboratoire LAGRANGE) : guy.libourel@oca.eu