



Laboratoire de Géologie de Lyon  
Terre - Planètes - Environnement

# OFFRES DE STAGE MASTER 2 (2023/2024)

*(publiées au fil de l'eau)*



# LISTE DES STAGES PROPOSÉS :

[Raman spectroscopy of metamorphic inclusions under stress: applications to geobarometry](#)

[Reconstructing the paleoaltimetry of the High Himalaya from the isotopic composition of hydrothermal micas: implications for tectonic models.](#)

[Study of elasmobranch and actinopterygian microremains from the Middle Oxfordian \(Upper Jurassic\) of Normandy](#)

[Caractérisation des matériaux d'origine volcanique issus des fouilles archéologiques de l'océan Indien occidental par spectrométrie portable et non-destructive \(pRaman, pXRF, pLIBS\)](#)

[Uncovering osteological signatures of seasonal migration in birds: a statistical approach incorporating intraspecific variation](#)

[Les échinodermes du Burdigalien du Luberon \(Vaucluse, bassin d'Apt, SE France\) : analyses systématique, taphonomique et paléoécologique](#)

[Sedimentary dynamics in Eocene depositional systems in the Blieux syncline \(04\): palaeostructural implications for the Arc de Castellane](#)

[The seismic signature of subduction rock dehydration: the example of lawsonite blueschists](#)  
[Séismes en laboratoire / Lab Quakes](#)

[Datation des déformations ductiles de basse température, exemple des déformations alpines de Belledonne.](#)

[Datation des phases de déformation extensives dans le bassin du SE : part des extensions syn-sédimentaires et tardives](#)

[Évolution spatio-temporelle de la biodiversité cambro-ordovicienne des échinodermes](#)

[Reconstitution à haute résolution des conditions environnementales du domaine du Vernai \(38\) entre l'époque gauloise et le haut Moyen-Âge à partir de l'enregistrement isotopique des restes squelettiques de mammifères](#)

[Mars seismicity statistical analysis](#)

[Compositional heterogeneities as a potential source for Reunion hotspot short-period pulsations of activity: Insights from numerical models of mantle convection.](#)

[Investigation of the rheological and seismological properties of Earth's asthenosphere.](#)

# Raman spectroscopy of metamorphic inclusions under stress: applications to geobarometry

**Supervisor:** B Reynard @ LGL ([bruno.reynard@ens-lyon.fr](mailto:bruno.reynard@ens-lyon.fr)). Collaboration with R Caracas IPG Paris

**Keywords:** Raman spectroscopy, high pressure and stress experiments, DFT calculations

*Raman spectroscopy is becoming a valuable tool for estimating the pressure or depth at which metamorphic inclusions were entrapped and metamorphic rocks formed. Estimates of residual pressure and differential stresses on natural inclusions rely on establishing accurate calibrations of the effects of pressure and differential stress on the Raman spectrum of minerals commonly found as inclusions. Targeted minerals are those where chemical variations are small or have negligible effect on the Raman spectrum such as zircon, apatite, calcite and aragonite... The aim of the project is to establish the pressure and stress dependence of Raman peaks from experiments, and by combining it with DFT calculations.*

*A first step of the project will be experimental determination with the Raman facility at LGL, following a methodology established for quartz (Reynard & Zhong, Solid Earth, 2023 <https://doi.org/10.5194/se-14-591-2023>). A second step is the comparison with theoretical results obtained from DFT. The target mineral will be determined based on geological interest.*

*Geological applications will be discussed and carried on if time allows.*

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

# Reconstructing the paleoaltimetry of the High Himalaya from the isotopic composition of hydrothermal micas: implications for tectonic models.

**Supervisors:** Gweltaz Mahéo & Véronique Gardien, LGLTPE, Collaboration Patrick Jame, ISA -  
Contact: gmaheo@univ-lyon1.fr / vgardien@univ-lyon1.fr

**Keywords:** Paleo-altimetry, stable isotopes, micas, Himalaya, Ar/Ar, tectonic

Suitable formation level & prerequisite: A good level in petrology and geochemistry is needed. Lab skill welcome.

*Various models of crustal deformation have been proposed to explain the building of the Himalayan range. The main models invoked either horizontal flow followed by vertical extrusion of the partially melted mid-crust or a tectonic wedging above a main decollement fault. Although both models imply crustal thickening, they differ in the space and time evolution of this latter (e.g. Leloup et al., 2015). These differences have an impact on the topographic evolution of the chain which is, to the first order, controlled by the crustal thickness through isostasy. Therefore, the reconstruction of the evolution of the elevation of a mountain range is a good way to discriminate between deformation models. A new method of extraction and isotopic analysis (oxygen and hydrogen) of small quantities of fluids trapped as inclusion within mineral developed at the LGLTPE, was applied to hydrothermal quartz veins from the Himalaya (Melis et al., 2023). The first results evidenced that the fluid trapped in quartz are mostly of meteoric origin. As the isotopic composition of meteoric water is controlled by elevation, we can reconstruct the Himalayan paleo-elevations at the time of the veins formation. For example, we have shown that in the Miocene a topographic gradient similar to the modern one already existed in the central Himalayas but further north of its present position. In the continuation of this work we proposed a M2 project based on the study of the micas from syn-kinematic hydrothermal veins analyzed by Melis et al. (2023). Deformation-synchronous micas may also formed by incorporating meteoric fluids but unlike quartz, they can be dated, especially using the Ar/Ar method. However, only the hydrogen composition of micas is used so far to reconstruct paleo-elevation. Moreover, the measurement is indirect as it involves the use of an equilibration equation that considers the formation temperature of the micas to correct its isotopic composition for the temperature-dependent fractionation effect.*

*This project goal is therefore twofold: (1) Setup at the LGLTPE a protocol for extracting and measuring the isotopic composition (O and H) of the micas. The values will be compared to those obtained on the quartz fluids inclusions of the micas veins, to evaluate the method.*

*(2) Acquirement of new and precise ages constraints will be obtained coupling Ar/Ar dating with reconstruction of the fluid in inclusion entrapment temperature and of the micas formations conditions, applying various thermobarometric methods. Finally, this reconstruction would then allow us to better discuss the tectonic models proposed for the formation of the Himalayan belt.*

*Methodology: Thin section analyses / Micas chemistry characterization of the (MEB): micas types and thermobarometry/ Quartz fluid inclusions microthermometry/ Micas fluid extraction*

*Fluid isotopic composition (O, H) measurement (ISA)/ Ar/Ar dating if possible (Montpellier)*

Leloup, P. H., Liu, X., Mahéo, G., Paquette, J. L., Arnaud, N., Aubray, A., & Liu, X. (2015). New constraints on the timing of partial melting and deformation along the Nyalam section (central Himalaya): implications for extrusion models. *Geological Society, London, Special Publications*, 412(1), 131-175.

Melis, R., Mahéo, G., Gardien, V., Jame, P., Bonjour, E., Bhandari, B., & Pécher, A. (2023). When rainfall trapped in fluid inclusion restores the relief of an orogen: Insights from the Cenozoic Himalayas. *Earth and Planetary Science Letters*, 613, 118185.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## **Study of elasmobranch and actinopterygian microremains from the Middle Oxfordian (Upper Jurassic) of Normandy**

**Supervisors:** Gilles Cuny (UCBL, LEHNA), Laurent Picot (Paléospace Villers-sur-Mer, Calvados), Romain Vullo (Université de Rennes) : Contact : gilles.cuny@univ-lyon1.fr

**Keywords:** Vertebrate palaeontology, teeth, microremains, elasmobranchs, actinopterygians

*Suitable formation level & prerequisite: Validation of STU 3093L (palaeontology of vertebrates) course or equivalent*

*The aim of this project is the study of an ancient collection from the Middle Oxfordian of Villerville (Calvados) recently deposited in the collections of the Paléospace of Villers-sur-Mer. This collection was retrieved through excavations in levels of black clay intercalated between limestone and marly limestone plates, at the base of the cliffs. The sediments were screened-washed on a mesh equal to or less than 0.5 mm. About 200 elasmobranch teeth and many teleost remains (including about forty otoliths) were thus collected, mostly very small remains (below one mm in size). Among these teeth are about thirty shark teeth that do not belong to the Hybodontiformes. The Oxfordian faunas remain poorly known in Normandy and this assemblage represents therefore an excellent opportunity to complete our knowledge of the ichthyological faunas of this period.*

*The internship is rewarded between 500 and 600 euros. Free accommodation is provided for 3 months and then 3 months are offered in a studio of 21 m<sup>2</sup> at 360 euros per month (electricity and water included). The internship begins in February and ends at the end of July. The trainee will also have a small charge of scientific mediation within the Paléospace of Villers-sur-Mer.*

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## **Caractérisation des matériaux d'origine volcanique issus des fouilles archéologiques de l'océan Indien occidental par spectrométrie portable et non-destructive (pRaman, pXRF, pLIBS)**

**Encadrants:** Andrea Di Muro (LGL-TPE), Antoine Triantafyllou (LGL – TPE), Virginie Motte (DAC – Réunion). Contact : andrea.di-muro@univ-lyon1.fr

**Thématique/mots-clés:** Archéologie, Techniques d'analyse des matériaux

*Pré-requis : Master 1 en Sciences de la Terre ou Archéologie*

*Le développement récent et très rapide de l'archéologie sur les îles volcaniques de l'océan Indien (La Réunion, Mayotte, Comores, TAAF) a produit un besoin accru de caractérisation physico-chimique des matériaux archéologiques, des couches sédimentaires naturelles et celles produites par l'activité anthropique.*

*L'émergence de dispositifs analytiques portables tels que spectrométrie Raman, la spectrométrie sur plasma induit par laser (pLIBS), la spectroscopie par Fluorescence X (pXRF) permet de disposer d'outils non-invasifs et rapides pour réaliser des mesures géochimiques semi-quantitatives et minéralogiques sur le terrain, à même l'affleurement et avec une préparation minimale des échantillons. Le stage aura comme objectif de tester et calibrer les méthodes pour l'analyse des matériaux et sédiments issus des fouilles archéologiques de l'océan Indien.*

*Les résultats obtenus serviront à définir les protocoles de prélèvements ainsi que les bases de données nécessaires dans la perspective de la création des collections de référence des matériaux qui trouveront place dans la matériauthèque du Centre de Conservation et Étude (CCE) de la Réunion projeté pour 2026.*

[\*\*Revenir à la liste des stages proposés\*\*](#)

## **Uncovering osteological signatures of seasonal migration in birds: a statistical approach incorporating intraspecific variation**

**Supervisors:** Antoine Louchart (LGL-TPE) antoine.louchart@ens-lyon.fr, Anaïs Duhamel (LGL-TPE)

**Keywords:** Bird evolution, avian osteology, seasonal migrations, 3D landmarking, statistics

*Suitable formation level & prerequisite: A good level in evolution, and statistics in biology, will be useful*

*Bird seasonal migrations are among the most massive phenomena in vertebrate zoology. The past evolution, at geological scales, of these behaviours, is poorly known and are the object of numerous theories. Hitherto, direct, concrete evidence of past migrations has barely been investigated. The subject of the ongoing PhD by A. Duhamel (LGL-TPE) precisely explores the question, through the search for osteological signatures of migratory behaviour in extant bird skeletons. Once such signatures are identified, they will be researched through the avian fossil record. Endocranial features (sensory capacities) and selected postcranials (locomotion) are targeted. The aim of the present Masters 2 internship will be to realise a substudy in this frame. The student will search for signatures of migratory behaviour by comparing two or four species, but incorporating a sufficient number of individuals withing each of these species, in order to study the intraspecific variation. The potential osteological signatures that may prove useful to move forward will be those exceeding the intraspecific variations.*

*The methodology will use 3D volumes of endocasts and/or some postcranial elements (of the wing and/or of the leg), for specimens of the species involved (to be determined). The specimens will come principally from the collection of avian osteology of the Faculty of Sciences in the Geology dept (LGL-TPE) and if necessary also from online repositories. Specimens will be scanned at the LGL (surface scan) and at INSA Lyon (CT-scan). 3D images will be processed at LGL-TPE. Landmarks of different natures will be set on the 3D volumes. Then statistical discriminant methods will be applied to the high dimensional dataset obtained.*

[Revenir à la liste des stages proposés](#)



## **Les échinodermes du Burdigalien du Luberon (Vaucluse, bassin d'Apt, SE France) : analyses systématique, taphonomique et paléoécologique**

**Encadrants** : Bertrand Lefebvre (LGLTPE, bertrand.lefebvre@univ-lyon1.fr), Pauline Coster (Géoparc du Luberon) & Michel Roux (Univ. Reims)

**Thématique/mots-clés**: échinodermes, systématique, taphonomie, miocène

*Pré-requis: Master 1 validé avec de bonnes compétences en paléontologie des invertébrés (si possible, échinodermes) et en sédimentologie*

*Les calcaires bioclastiques de Ménerbes (Vaucluse, bassin d'Apt, versant N du Luberon) attribués au Burdigalien supérieur ont été exploités par de nombreuses carrières ouvertes sur le plateau de Lacoste. La molasse burdigalienne renferme des niveaux extrêmement riches en invertébrés benthiques dont la conservation est exceptionnelle. Selon M. Bongrain (2013), elles résultent d'événements brusques ayant provoqué une mortalité en masse et un enfouissement rapide (obrution deposits). Les espèces dominantes sont le bivalve Gigantopecten restitutensis et l'oursin Tripneustes planus. Parmi les échinodermes, les astérides montrent un squelette très finement conservé avec toutes les pièces en connexion, ceci permettant une description aussi précise qu'à partir d'espèces actuelles. Les échinides présentent une grande richesse taxonomique et certains oursins possèdent encore leur lanterne d'Aristote ainsi que des radioles en connexion.*

*En relation avec le Parc régional naturel du Luberon, le stage consistera à effectuer un inventaire quantitatif et qualitatif de la faune en portant une attention particulière aux échinodermes, et à préciser les conditions de formation des lentilles fossilifères (taphonomie et paléoécologie). Le travail s'effectuera d'une part sur le terrain (analyse des fronts de carrière) et d'autre part à partir des plaques fossilifères extraites et conservées dans plusieurs collections, notamment au Centre de Conservation et d'Etude des Collections (Musée des Confluences à Lyon). L'analyse de quelques spécimens par radiographie 3D (CT-scan) est envisagée.*

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## **Sedimentary dynamics in Eocene depositional systems in the Blieux syncline (04): palaeostructural implications for the Arc de Castellane**

**Supervisors** : Philippe Sorrel (LGL-TPE, [philippe.sorrel@univ-lyon1.fr](mailto:philippe.sorrel@univ-lyon1.fr)), Philippe-Hervé Leloup (LGL-TPE), Emanuela Mattioli (LGL-TPE)

**Keywords**: Sedimentology, micropalaeontology (nannofossils), microstructural analyses, depositional environments, arc de Castellane, Eocene

Suitable formation level & prerequisite: A good level in sedimentology on the field, further skills in microtectonics and/or micropalaeontology (nannofossils) would be welcome.

*Abstract : to be updated. Contact Philippe Sorrel ([philippe.sorrel@univ-lyon1.fr](mailto:philippe.sorrel@univ-lyon1.fr)) in case of interest.*

**[Revenir à la liste des stages proposés](#)**

## The seismic signature of subduction rock dehydration: the example of lawsonite blueschists

**Supervisors:** Jean-Philippe Perrillat (LGL, Lyon, jean-philippe.perrillat@univ-lyon1.fr) – A. Schubnel (Lab Geol, ENS Paris).

**Keywords:** Experimental mineralogy & petrology

*Despite the essential role of the "deep water cycle" in the evolution of our planet, many questions remain about the quantity, distribution and form of water in subduction zones. In particular, the mechanisms of dehydration, the depth distribution of released fluids, and the amount of water that can be retained in the plate and thus recycled into the deep mantle are still widely debated. Water affects the elastic moduli of minerals and rocks, so variations in seismic wave velocity provide information on the hydration of the crust and mantle. However, the seismic signature of two-phase water-rock systems is still much debated. The aim of the internship will therefore be to provide experimental constraints on the evolution of seismic velocities during dehydration by carrying out time-resolved in situ acoustic (ultrasound) and X-ray diffraction measurements under subduction pressure-temperature conditions. The samples investigated will be lawsonite blueschists, whose dehydration is associated with the eclogitization of the oceanic crust. The evolution of Vp and Vs velocities will thus be related to the nature and proportion of hydrated silicate phases during the reaction, as well as to the kinetics of aqueous fluid production. Particular attention will be paid to frequency effects in order to characterize the seismic attenuation potentially associated with the presence of fluids. Similarly, measurements will be carried out in both open and closed systems to quantify the effect of H<sub>2</sub>O partial pressure. Microstructural analysis of the samples using electron microscopy will characterize the porosity/fracture network (sizes, orientations, aspect ratios) induced by dehydration. These microstructural observations will serve as input to a multiphase porous effective medium model, the results of which will be compared with experimental measurements of velocities and waveforms. These measurements and models will shed new light on the seismic signature of dehydrating rocks, improving the detection and quantification of fluids in subduction zones via seismic images.*

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## Séismes en laboratoire / Lab Quakes

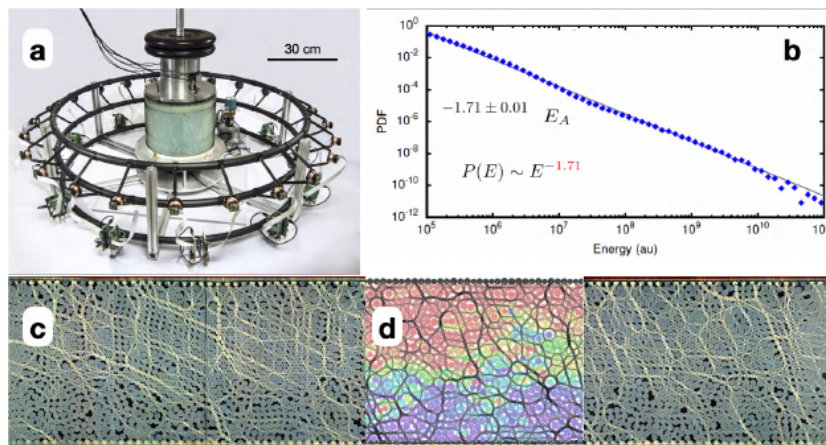
**Encadrants:** Vincent LANGLOIS (LGL, Lyon, [vincent.langlois@univ-lyon1.fr](mailto:vincent.langlois@univ-lyon1.fr)) – Osvanny RAMOS (ILM, Lyon).

**Mots-clefs:** Simulations numériques, matériaux granulaires, cycle sismique, friction solide

**Pré-requis:** Notions de programmation en C, fortran ou python indispensables.

Malgré la complexité des processus géologiques impliqués, la distribution des tremblements de terre suit des lois statistiques relativement simples. Par exemple, il se produit environ 10 fois moins de séismes dépassant la magnitude  $m+1$  que dépassant la magnitude  $m$ , ce qui traduit l'invariance d'échelle du phénomène. À la suite d'un séisme de grande magnitude, on observe également que la fréquence des répliques diminue de façon inversement proportionnelle au temps. À l'heure actuelle ces observations empiriques n'ont pas d'explication théorique.

Le cisaillement d'un matériau granulaire modèle en deux dimensions peut être vu comme un système simplifié analogue à une faille géologique active. Les expériences menées à l'Institut Lumière Matière ont montré que les fluctuations de contrainte dans ce système présentaient des caractéristiques statistiques similaires à celles des séismes.



Le stage consiste à utiliser un code numérique simulant la dynamique des matériaux granulaires pour reproduire le dispositif expérimental. L'objectif sera d'étudier les réarrangements de chaînes de forces ainsi que les fluctuations de contrainte, afin de tenter de retrouver les mêmes lois statistiques que dans l'expérience, et de quantifier l'influence des différents paramètres de contrôle (coefficient de friction, polydispersité, etc) sur leurs caractéristiques.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## Datation des déformations ductiles de basse température, exemple des déformations alpines de Belledonne.

**Encadrants:** Philippe Hervé LELOUP (LGL-TPE Lyon) [herve.leloup@univ-lyon1.fr](mailto:herve.leloup@univ-lyon1.fr) ; Valérie BOSSE (LMV Clermont-Ferrand) [valerie.bosse@uca.fr](mailto:valerie.bosse@uca.fr); Emilie JANOTS (ISTerre Grenoble) [emilie.janots@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:emilie.janots@univ-grenoble-alpes.fr); Philippe MUNCH (Géosciences Montpellier) [philippe.munch@umontpellier.fr](mailto:philippe.munch@umontpellier.fr); Jocelyn BARBARAND (GEOPS Orsay) [jocelyn.barbarand@universite-paris-saclay.fr](mailto:jocelyn.barbarand@universite-paris-saclay.fr)

**Mots-clefs:** Déformation ductile ; Tectonique Alpine ; Géochronologie ; Thermochronologie ; Belledonne.

Le but de ce stage est de dater les déformations alpines du massif de Belledonne. Ce massif fait partie des massifs cristallins externes des Alpes et la déformation alpine y est généralement considérée comme limitée à une exhumation d'ensemble et à des mouvements décrochants cassants. Cependant depuis plusieurs années nous accumulons des évidences structurales et pétrographiques en faveur de plusieurs épisodes de déformation alpins avec la mise en place de nappes, des chevauchements et des rétro-chevauchements. Il s'agit maintenant d'apporter des âges absolus à ces épisodes de déformation ce qui n'est pas aisé vu les relativement basses températures des déformation alpines ductiles ( $\leq 450^{\circ}\text{C}$ ) qui affectent un socle structuré durant l'orogénèse varisque ( $\geq 300$  Ma). Dans ce but nous proposons d'appliquer différentes méthodes géochronologiques (thermochronologie et modélisation Pecube,  $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$  sur micas, Rb/Sr par LA-ICPMS sur micas, U/Pb par LA-ICPMS (monazite, apatite)) pour voir comment elles se complètent. Certaines de ces méthodes sont en cours de développement / validation. La première partie du stage consistera à une étude pétro-structurale des échantillons disponibles au LGL-TPE (Lyon) pour définir les échantillons clé et quelle méthode(s) semble(nt) la plus appropriée pour chaque échantillon. Elle impliquera l'analyse de lames minces au microscope au MEB et à la microsonde, et sera complétée par une mission de terrain. La seconde partie du stage consistera à la réalisation d'une ou de plusieurs méthodes géochronologiques ( $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$  à Géosciences Montpellier, Rb/Sr par LA-ICPMS sur micas à ISTerre Grenoble, U/Pb par LA-ICPMS au LMV Clermont-Ferrand). La troisième partie consistera à une synthèse des résultats et à une comparaison avec ceux déduits de la thermochronologie (histoires d'exhumation modélisées par PeCube), pour finalement contraindre l'histoire tectonique de la zone et donc l'évolution du prisme orogénique alpin.

Le sujet fait l'objet d'une demande de financement de projet collaboratif au programme SYSTER de l'INSU. Il pourra être adapté en fonction des préférences du candidat.

**Pré-requis:** Notion de géologie structurale, de pétrographie métamorphique et de géochronologie.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## **Datation des phases de déformation extensives dans le bassin du SE : part des extensions syn-sédimentaires et tardives**

**Encadrants:** Blaise, Thomas (MCF, GEOPS, Paris-Saclay) ; Colombié, Claude (MCF, LGL-TPE, Lyon 1) ; Leloup, Hervé (DR, LGL-TPE, Lyon 1) ; Giraud, Fabienne (MCF, ISTerre, Université Grenoble Alpes)

**Mots-clefs:** déformation extensive, Bassin du SE, géochronologie, analyses microstructurales

**Pré-requis:** une bonne autonomie sur le terrain et des notions de géologie structurale et de géochronologie seront les bienvenues

Alors que les séries sédimentaires du Cénomaniens de Haute Provence montrent d'importantes variations d'épaisseur et de faciès suggérant de la tectonique extensive, aucune trace d'activité syn-sédimentaire n'a pour l'instant été mise en évidence. Cela pourrait être en partie dû aux phases de déformation plus récentes en lien notamment avec la formation des Alpes. Lors d'une mission préliminaire, des calcites syn-cinématiques de failles ont été prélevées sur des failles normales et décrochantes. La plupart de ces calcites sont datables par géochronologie U-Pb. Les premiers tests réalisés donnent deux familles d'âges à 30-35 Ma (Eocène-Oligocène) et 10-15 Ma. Ces âges correspondent à des événements récents qui sont respectivement l'événement extensif Cénozoïque Européen (ECRIS) et la compression alpine.

Dès lors, plusieurs questions se posent :

- La sédimentation au Cénomaniens est-elle contrôlée par un régime extensif ? S'exprime-t-il par des failles normales ? Si oui où sont-elles localisées ? Si non, quels mécanismes peuvent expliquer les fortes variations d'épaisseur et de faciès ?
- Les failles normales éocène-oligocène sont-elles toutes synchrones ? Quels sont leurs mécanismes de formation ? Quelle(s) relation(s) avec les compressions pyrénéenne et alpine ?

Le principal objectif de ce stage étant de préciser le calendrier de la déformation, en identifiant notamment des failles normales syn-sédimentaires, il s'agira de : 1) préciser les datations U-Pb sur les échantillons déjà collectés; 2) faire le lien entre ces datations et les différentes phases de déformation proposées dans ce secteur (Ritz, 1991 ; Laurent, 1998 ; Sonnette, 2012) ; 3) définir les stations microtectoniques où des événements tectoniques extensifs cénomaniens seraient encore visibles ; 4) revoir l'interprétation de ces phases en intégrant les nouvelles données (géochronologiques et de terrain) et concepts sur la géodynamique régionale disponibles dans la littérature.

[\*\*Revenir à la liste des stages proposés\*\*](#)

# Évolution spatio-temporelle de la biodiversité cambro-ordovicienne des échinodermes

**Encadrants:** Pauline GUENSER (LGLTPE) [pauline.guenser@univ-lyon1.fr](mailto:pauline.guenser@univ-lyon1.fr) & Bertrand LEFEBVRE (LGLTPE) [bertrand.lefebvre@univ-lyon1.fr](mailto:bertrand.lefebvre@univ-lyon1.fr)

**Mots-clefs:** échinodermes, diversité, biogéographie, Paléozoïque inférieur

**Pré-requis:** Master 1 validé avec de bonnes compétences en paléontologie. Une connaissance préalable du langage R est très appréciée

La biodiversification du Paléozoïque inférieur (la plus importante de l'histoire de la Terre dans les écosystèmes marins) a commencé avec « l'explosion cambrienne » (~540 Ma) et a été suivie d'une diversification importante lors du Grand Événement de Biodiversification Ordovicienne (GOBE ; ~470 Ma). Ces deux événements ont été considérés par beaucoup de paléontologues comme des événements spectaculaires et ponctuels qui se sont déroulés sur des intervalles de temps très courts. Cependant, il semble que ces deux événements aient été étudiés de manière plus intensive à quelques endroits du globe, ce qui a créé de nombreuses lacunes dans les bases de données aujourd'hui disponibles (e.g., la PaleoBiology DataBase et la GeoBiology DataBase), impliquant ainsi des biais dans la reconstitution des courbes de diversité taxinomique du Paléozoïque inférieur. De plus, ces courbes ne sont généralement estimées qu'en deux dimensions (richesse taxinomique vs. temps) et la distribution spatiale est rarement évaluée. Les organismes ont cependant pu occuper la surface de la Terre de manière hétérogène suivant leurs niches écologiques, générant ainsi des "points chauds de la diversité" (hotspots). L'évolution de la biodiversité doit donc être étudiée en trois dimensions : diversité vs. temps vs. espace.

Le stage consistera à tester l'hypothèse d'une biodiversification progressive au Paléozoïque inférieur en utilisant les échinodermes comme modèle. Le/La stagiaire travaillera avec une nouvelle base de données construite sur la base d'une compilation de la littérature scientifique et qui regroupe des données taxinomiques, géographiques et temporelles. La/Le stagiaire étudiera ainsi l'évolution de la diversité taxinomique des échinodermes dans le temps et dans l'espace en construisant une nouvelle courbe de diversité vs. temps et des cartes de diversité pour détecter de potentiels paléo-hotspots.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## **Reconstitution à haute résolution des conditions environnementales du domaine du Vernai (38) entre l'époque gauloise et le haut Moyen-Âge à partir de l'enregistrement isotopique des restes squelettiques de mammifères**

**Encadrants:** Romain Amiot (UMR 5276 LGL-TPE), Arnauld Vinçon-Laugier (UMR 5276 LGL-TPE), Christophe Lécuyer (UMR 5276 LGL-TPE), Robert Royet (UMR 5140 ASM)

**Mots-clefs:** Climat, site du Vernai, géochimie isotopique, mammifères, dents

Ce projet vise à comprendre l'impact des changements climatiques sur la dynamique d'exploitation d'un domaine rural soumis à des instabilités hydrologiques, en termes d'organisation des espaces de vie, de culture et d'élevage, et du mode d'exploitation de la faune. L'objet choisi pour cette étude est le site archéologique du Vernai (Isère) situé en bordure d'un marais et dont les fouilles ont documenté une occupation humaine continue du deuxième siècle av. J.-C. à la fin du haut Moyen Âge. Cette occupation s'est traduite par une activité agricole et d'élevage régulièrement bouleversée par les périodes de crues et de saturation en eau du marais nécessitant des réorganisations des zones d'habitat, d'exploitation, ainsi que de la production agricole et pastorale. Se pose alors la question suivante : Quelle a été l'ampleur des bouleversements environnementaux dans la région du Vernai et comment se sont réorganisées les activités du domaine en réponse à ces changements ? Le stage consistera à analyser l'évolution à haute résolution (avec un pas de 50 ans) des compositions isotopiques de l'oxygène, du carbone et de l'azote des restes squelettiques de la faune collectée sur ce site. Ces données seront interprétées en termes d'évolution climatique, hydrologique et des pratiques d'élevage en terme d'alimentation. Ces données seront intégrées à une étude plus large de la dynamique d'occupation de ce domaine majeur en relation avec les changements climatiques, en termes d'organisation des parcelles agricoles et d'exploitation des animaux consommés.

[\*Revenir à la liste des stages proposés\*](#)



## Mars seismicity statistical analysis

**Supervisors:** Stéphanie Durand (LGL, Lyon, [stephanie.durand@ens-lyon.fr](mailto:stephanie.durand@ens-lyon.fr)) – Chloé Michaut (LGL, Lyon, [chloe.michaut@ens-lyon.fr](mailto:chloe.michaut@ens-lyon.fr)) – Thomas Bodin (LGL, Lyon, [thomas.bodin@ens-lyon.fr](mailto:thomas.bodin@ens-lyon.fr))

**Keywords:** Seismicity, Gutenberg-Richter law, b-value, Mars, statistics

**Pre-requisites:** a solid background in seismology, geophysics and coding is necessary.

The InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) mission probe landed on Mars on November 26, 2018 in Elysium Planitia. The main instrument of this mission was a very broad-band seismometer (SEIS) which recorded for the first time the seismicity of the planet, starting early 2019 and for 4 years. Since the first detected marsquake on April 6th 2019, more than a thousand events have been recorded and analysed by the Marsquake Service (MQS), and in particular several tens to a hundred of "low frequency" events. These low frequency events can be used to better characterize and understand the seismic and tectonic activity of Mars.

On Earth it is well known that the distribution of earthquakes with magnitude follows the so-called Gutenberg-Richter law. It states that the probability of an earthquake,  $P(M > M_0)$ , of a given energy,  $M$ , follows an exponential law such that  $\log(P(M > M_0)) = -bM + a$ , where  $M_0$  is a given magnitude. The slope of this law, or "b-value", is a key parameter for estimating and understanding seismicity.

On Mars, only one station was settled, and recorded the seismicity for a limited amount of time; the seismic noise is highly time-dependent and the number of recorded marsquakes is thus low compared to terrestrial standards. The estimation of the b-value is thus complex. During this internship we propose to use a novel Bayesian approach to better characterize the statistics of the Martian seismicity and in particular to get an estimation of its b-value.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## Compositional heterogeneities as a potential source for Reunion hotspot short-period pulsations of activity: Insights from numerical models of mantle convection.

**Supervisors:** Maëlis Arnould (LGL, Lyon, [maelis.arnould@univ-lyon1.fr](mailto:maelis.arnould@univ-lyon1.fr)), Jean-Philippe Perrillat (LGL, Lyon, [jean-philippe.perrillat@univ-lyon1.fr](mailto:jean-philippe.perrillat@univ-lyon1.fr)), Vincent Famin (Géosciences Réunion, Univ. Réunion/IPGP, [vincent.famin@univ-reunion.fr](mailto:vincent.famin@univ-reunion.fr)).

**Prerequisites:** a solid training in geophysics and numerical modeling is necessary.

**Keywords:** Numerical modeling, mantle plume, compositional heterogeneities, Réunion Island, hotspot magmatism

Terrestrial hotspots exhibit fluctuations in magma emission rates over periods of 1 to 20 Ma, indicating changes in magma production within the underlying mantle plumes. The periodicity of these fluctuations indirectly helps to determine the mechanisms of magma production, and to better understand the interactions between the plumes and the adjacent mantle.

Recently, synchronous fluctuations in magmatic activity have been identified on two Reunion hotspot islands, Réunion and Mauritius, with a period of ~400 ka over the last three million years. This period is an order of magnitude shorter than those identified on other terrestrial hotspots. Given the distance between the two islands (~230 km), this short-period pulse from the Réunion hotspot cannot originate in the lithosphere ( $\leq 70$  km), leading to our working hypothesis that it is produced in the asthenosphere or deeper. The philosophy of the ANR-funded Plum-BeatR project is to better constrain this Réunion hotspot pulsation, and to take advantage of it to better understand the mantle processes behind mantle plumes.

The aim of this research internship is to investigate whether compositional heterogeneities carried within mantle plumes can lead to such observed short-period pulsations of activity. We propose to use the StagYY code (Tackley et al., 2000), which allows to run fully-dynamic 3D-spherical-patch numerical models of whole-mantle convection with plate tectonics (e.g. Arnould et al., 2020) at an unprecedented high spatial ( $< 25$  km) and temporal (~25 kyr) resolution necessary to quantify short-period plume fluctuations. A systematic exploration of the compositional and rheological properties of potential heterogeneities entrained by mantle plumes will be carried. Automatic tracking of mantle plume characteristics (buoyancy and volume fluxes, amount of partial melt produced) will lead to the quantitative assessment of plume fluctuations of activity. The periodicity of model plume pulses will then be compared to the observed periodicity, amplitude, and chemical fluctuations of the Réunion hotspot. This internship will therefore provide valuable information on the ability of compositional heterogeneities entrained by a plume to generate the magmatic fluctuations observed at the Réunion hotspot.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)

## Investigation of the rheological and seismological properties of Earth's asthenosphere.

**Supervisors:** Maëlis Arnould (LGL, Lyon, [maelis.arnould@univ-lyon1.fr](mailto:maelis.arnould@univ-lyon1.fr)) – Stéphanie Durand (LGL, Lyon, [stephanie.durand@ens-lyon.fr](mailto:stephanie.durand@ens-lyon.fr))

**Prerequisites:** a solid training in seismology, geophysics and geodynamic modeling are necessary.

**Keywords:** Seismic anisotropy, attenuation, asthenosphere, mantle rheology, numerical modeling, mantle convection

The asthenosphere, located at the interface between the lithosphere and the rest of the mantle, plays a key role in Earth's internal geodynamics. However, its nature, dynamics and geometry remain poorly constrained at present, limiting our understanding of the rheology and dynamics of the Earth's mantle, as well as the couplings between the lithosphere and the mantle. Seismological observables can provide information on the rheology of this layer: the low seismic velocities and high seismic attenuation of the asthenosphere would suggest the presence of partial melting, the high seismic anisotropy would show the existence of dislocation creep at the origin of the preferential orientation of olivine crystals, and variations in seismic attenuation could reveal the evolution of grain size in the asthenosphere. Combining these seismological observations on asthenospheric rheology with geodynamic models of mantle convection would allow us to better constrain asthenospheric rheology, and to better understand its dynamics and its role in plate tectonic motions.

The aim of this research internship is to jointly exploit seismological observables (velocities, anisotropy and attenuation) and geodynamic models of mantle convection with plate tectonics to explore the effects of different rheologies (linear or composite, with or without grain size evolution, with or without partial melting in the asthenosphere) on seismological characteristics and the dynamic consequences that such rheologies would produce.

We propose to use the StagYY code (Tackley et al., 2000), which allows to run fully-dynamic 2D numerical models of whole-mantle convection with plate tectonics and a complex rheology (Arnould et al., 2023, Manjón Cabeza-Córdoba et al., *in rev.*) in order to explore the effects of the amount of dislocation creep, of grain-size evolution, and of parameterized partial melt in such models, on the development of seismic anisotropy and attenuation. We will then be able to make quantitative comparisons between the spatial distribution of observed anisotropy and attenuation in the Earth's asthenosphere and the seismic properties predicted from geodynamic models, with the goal to better constrain Earth's asthenosphere rheology, and ultimately its dynamics.

[Revenir à la liste des stages proposés](#)