

Stages de recherche Master 2 - 2025/26

Titre/Title: Selenium enrichment in biogenic magnetite as a signature of magnetotactic bacteria

Encadrant(s)/ Supervisor(s): Matthieu Amor & Mélissa Garry

Thématique/mots-clés (Keywords): Ancient life, biosignatures, biomineralization

Résumé/Abstract: Magnetotactic bacteria (MTB) are a diverse group of microorganisms characterized by their capacity to biomineralize intracellular magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles in a genetically controlled manner. They may represent some of the most ancient biomineralizing organisms with a proposed emergence in the early Archean (~3 Ga), but identification of their fossils remains highly debated. Recent work has demonstrated specific chemical patterns in MTB magnetite: its chemical composition showed high purity when compared to abiotic magnetite, although a few elements including selenium were specifically enriched in the biological nanoparticles. These chemical traits were proposed as a tool to test the biological origin of magnetite extracted from ancient terrestrial and extra-terrestrial materials. The aim of this Master internship is to explore the enrichment of selenium in magnetite produced by MTB to provide novel tools for the identification of MTB fossils, and to understand these magnetite chemical properties in a metabolic context.

The candidate will be located at Ecole Normale Supérieure de Lyon (ENSL) in Lyon. The project will benefit from access to the microbiology laboratory dedicated to MTB cultivations, electron microscopes, as well as the mass spectrometry platform.

To apply: contact Matthieu Amor (matthieu.amor@ens-lyon.fr) and Mélissa Garry (melissa.garry@ens-lyon.fr)

Titre/Title: Combiner thermochronologie et datations directes de la déformation pour contraindre la cinématique alpine de l'accident Médian de Belledonne.

Encadrant(s)/ Supervisor(s):

Stage au Laboratoire de Géologie de Lyon et à ISTERRE (Grenoble)

Traces de fission, thermochronologie : Matthias Bernet (Professeur, ISTERRE)

matthias.bernet@univ-grenoble-alpes.fr

Géologie structurale : Philippe Hervé LELOUP (D.R CNRS, LGL-TPE)

herve.leloup@univ-lyon1.fr

Thermochronologie / modélisation Pecube : Gweltaz Mahéo (MCF, LGL-TPE)

gweltaz.maheo@univ-lyon1.fr

Thématique/mots-clés (Keywords):

Alpes ; Belledonne ; Chevauchement ; Datation de la déformation ; thermochronologie ; modélisation thermo-cinématique.

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite.

Bases d'analyses structurales ; bases de géochronologie ; appétence à combiner données de terrain, mesures en laboratoire et modélisation numérique.

Résumé / Abstract:

Le projet est de combiner trois méthodes géochronologiques (Ar/Ar et Rb/Sr sur Muscovite et U/Pb sur calcite) et la thermochronologie pour contraindre l'âge et la durée de fonctionnement du chevauchement médian du massif de Belledonne (Alpes, France). Dans un premier temps il s'agit de tester la cohérence entre les différentes méthodes pour pouvoir discuter de la portée de chacune d'entre elles. Dans un deuxième temps l'application de ces méthodes à différentes localités le long du chevauchement médian du massif de Belledonne permettra de quantifier l'évolution tectonique alpine de ce massif qui est encore mal connue alors qu'il s'agit du plus long des massifs cristallins externes. Cette quantification est essentielle pour discuter du modèle de déformation le plus adapté aux Alpes occidentales.

Le stage impliquera la réalisation de modèles thermo-cinématiques Pecube à partir de données publiées (LGL, Lyon), la mesure de traces de fission à ISTERRE (Grenoble), une mission de terrain pour collecter de nouveaux échantillons, la synthèse des données structurales et géochronologiques.

Titre/Title: **Structure and Dynamics of hydrothermal chimneys**

Encadrant(s)/ Supervisor(s): Isabelle Daniel, Jean-Philippe Perrillat, Rémi Coltat (ISTO Orléans), Muriel Andréani

Thématique/mots-clés (Keywords): water-rock reactions; hydrothermalism at mid-oceanic ridges; X-ray tomography; image processing

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite: a background in petrology would be appreciated, basic knowledge in fluid dynamics would be an asset, appetite for analytical methods is an asset

Résumé/Abstract: In 1977 the first hydrothermal black smoker was discovered on the Galapagos rift. In nearly 40 years since this discovery, much has been learned about the generation of vent fluids and associated deposits. As of today, close to 400 hydrothermal fields have been found or inferred along 65,000 km of mid-ocean ridges (MORs). Hydrothermal chimneys display spectacular and diverse morphology, at seafloor depth ranging from a few meters below sea level to ~5000 m. There are strong similarities among seafloor vent fields in terms of the processes of heat and mass transfer that result in venting of hydrothermal fluids to the oceans, formation of mineral deposits, and creation of chemical and thermal environments conducive to biological activity in the deep sea. However, when the chimneys are looked at in detail, their structure and compositions depend on a number of factors, not detailed here. When focussing on sulfide chimneys, resulting from the cooling of hot, acidic fluids interacting with deep seawater and known as the black smokers, their structure isn't simply cylindrical with a nice cooling mineral sequence as described in the literature. Preliminary X-ray Computed Tomography scans of sections of sulfide chimneys show a complex structure and fluid paths. They show multiple, superimposed fluid channels, some of them displaying upward intricate conduits, others exhibiting complex 'circular' fluid circuits not yet described in the literature.

As of today, such tomographic measurements on natural chimneys are the first of their kind. We have collected chimneys during 3 oceanographic expeditions in 2022, 2023 and 2025. Some of them have already been CT-scanned and are awaiting processing and interpretation. Others will be scanned during the internship.

Expected outcomes: Comparison of the relation/interplay between mineralogy, fluid flow and detailed structure of selected hydrothermal chimneys formed in a mafic-hosted, high-temperature system and in a high-temperature ultramafic-hosted system associated with serpentinization of the subseafloor.

The project can be extended and expanded later on.

Computing strain rates from diverse geodetic data set using the B-Strain transdimensional inversion tool ([see online description](#))

Encadrant(s)/ Supervisor(s): The internship will take place at the Laboratoire de Géologie de Lyon (LGL-TPE) or the Institut de Ciències del Mar (Barcelona), under the supervision of Thomas Bodin (ICM), Marianne Métois (LGLTPE, Lyon) and Cécile Lasserre (LGLTPE, Lyon). The student will collaborate with Aimine Méridi, a thesis student on Balkan tectonics.

Thématique/mots-clés (Keywords): Strain, tectonics, bayesian inversion, transdimensional, GNSS, InSAR, seismic hazard

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite : The trainee should have a solid background in geosciences or computer science. He or she should be familiar with python and Fortran (see code <https://forge.univ-lyon1.fr/marianne.metois/bayesianstrainrate>), as well as with the Bayesian transdimensional inversion method for theoretical aspects. The trainee will be required to work on cluster environments under Unix.

Résumé/Abstract: GNSS observations can be used to measure the velocity of the earth's surface at a given geographical point. If these measurements are made on a network of stations, they can be spatially interpolated and a continuous velocity field reconstructed. This velocity field can then be differentiated to reconstruct a map of the rate of deformation in a given region. These deformation maps contain a wealth of information (expansion/compression rates, shear, etc.) and are useful for understanding the tectonic processes at play in the region, identify the most active structures and estimate the seismic hazard. However, the spatial distribution of GNSS stations is often irregular, leaving some areas undersampled, and standard techniques for calculating strain rates suffer from artifacts due to the uncertainties associated with interpolating velocities on a regular grid. At the LGL-TPE, we have developed an adaptive interpolation and differentiation method based on a transdimensional Bayesian approach, notably developed by Thomas Bodin for imaging the inner Earth. The B-Strain method has been successfully used in California [Pagani et al. 2021], in the Balkans [Métois et al., in prep], using GPS data sets assumed to be uniform. Nevertheless, it is not uncommon to want to combine different datasets from different GNSS calculations, or from other geodetic techniques, in the same deformation rate calculation. For example, InSAR time series can now be used to extract interseismic velocities over vast regions with high spatial resolution (a few tens of meters for Sentinel 1A data). The B-Strain tool needs to be adapted to integrate different datasets in the same inversion.

The internship project aims to implement in the B-Strain tool the possibility of inverting several datasets simultaneously. This involves increasing the number of hyperparameters, as well as considering strategies for decimating InSAR data. The new version of B-Strain will be applied in mainland France and the Balkan area.

Practical information: Internship gratification provided by a CNES or INSU PNTS AAP project.

To apply : Please send a CV, a covering letter and possibly the names of referees we could contact : tbodin@icm.csic.es , cecile.lasserre@univ-lyon1.fr, marianne.metois@univ-lyon1.fr

References: Pagani, C., Bodin, T., Métois, M., & Lasserre, C. (2021). Bayesian estimation of surface strain rates from global navigation satellite system measurements: Application to the southwestern United States. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(6), e2021JB021905. Bodin, T., Sambridge, M., Rawlinson, N., & Arroucau, P. (2012). Transdimensional tomography with unknown data noise. *Geophysical Journal International*, 189(3), 1536–1556.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2012.05414.x>

<https://forge.univ-lyon1.fr/marianne.metois/bayesianstrainrate>

<https://bstrain.readthedocs.io/en/latest/>

<https://bstrainplotter.univ-lyon1.fr>

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

Supervisor(s): The internship will take place at the Laboratoire de Géologie de Lyon (LGL-TPE) under the supervision of Maëlis Arnould (maelis.arnould@univ-lyon1.fr) and Stéphanie Durand (stephanie.durand@ens-lyon.fr).

Suitable formation level & prerequisite: The trainee should have a solid background in geosciences or computer science. He or she should be familiar with python and Fortran. The trainee will be required to work on cluster environments under UniX.

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

Abstract:

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.

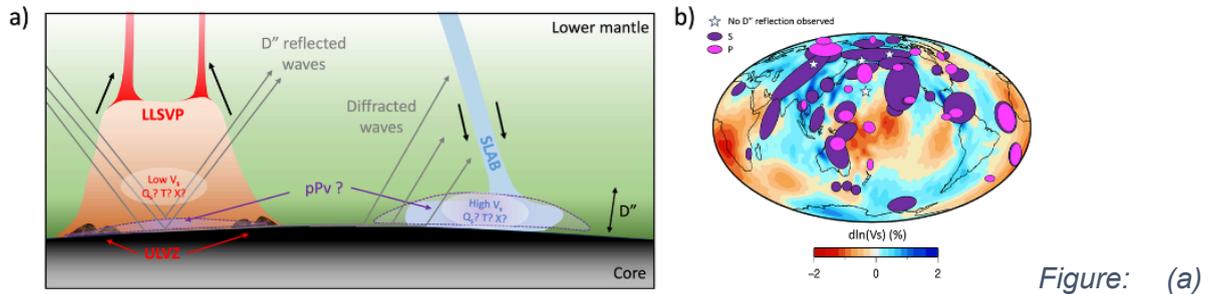
The aim of this research internship is to jointly exploit seismological observables (velocities, anisotropy and attenuation) and geodynamic models of mantle convection with plate tectonics to explore the effects of different rheologies (linear or composite, with or without grain size evolution, with 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.

Practical information: Internship gratification provided by INSU AAP project.

To apply : Please send a CV, a covering letter and possibly the names of referees we could contact : maelis.arnould@univ-lyon1.fr, stephanie.durand@ens-lyon.fr

**Where is the post-perovskite at the base of the mantle?
Apply machine learning methods to detect layer D''**



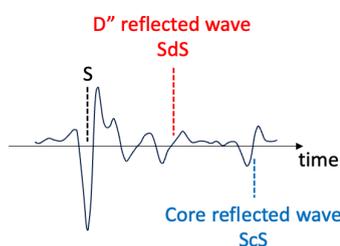
(a) Schematic sketch of lower mantle key structures such as D'', LLSVPs, ULVZs. Constraining V_s and Q_s^{-1} will bring key constraints on temperature (T) and mineralogy (X, presence of pPv). (b) Reported detections of the D'' discontinuity with P (pink circles) and S (purple circles) data and no D'' detection (white stars) (reproduced from Jackson & Thomas (2021)) on top of the tomographic model SEISGLOB2 (Durand et al., 2017) plotted at 2800 km depth.

Supervisor(s): The internship will take place at the Laboratoire de Géologie de Lyon (LGL-TPE) under the supervision of Stéphanie Durand (stephanie.durand@ens-lyon.fr).

Suitable formation level & prerequisite: The trainee should have a solid background in geosciences or computer science or machine learning techniques. He or she should be familiar with python and Fortran.

Keywords: neural networks, signal processing, lower mantle, post-perovskite, D'' layer

The D'' region (Figure 1a) corresponds to the lowermost few hundred kilometers of the Earth's mantle. This specific layer was identified as early as the 1950s (Bullen, 1950). It was characterized in the 1980's by its long wavelength structures, typically over 1000 km. But seismic imaging has improved considerably, revealing the D'' region complexity and making it increasingly enigmatic. The D'' region became a symmetrical analog of the lithosphere as being a thermal and/or chemical boundary located at the base of the mantle. The D'' layer is mainly interpreted as the consequence of a phase transition from Bridgmanite (Bdm) to post-perovskite (pPv). However, this layer is not always detected which may reveal, besides coverage problems, 3D variations in temperature or/and composition (Figure 1b), due to the properties of the Bdm phase transition (high Clapeyron slope and transition pressure dependence on composition). Because of its deep location, it remains challenging to study, which has hampered a global exploration to date. Its worldwide distribution, topography and origin are still actively debated. Is there a pPv layer globally present at the base of the mantle remains, 35 years after the first D'' observation, an open question?



Answering this question requires a global mapping of small-scale D'' structures. The aim of this internship is to develop an algorithm that automatically detects D'' reflected waves (SdS) on individual seismograms and to apply it to a global dataset. D'' reflected waves are expected to arrive just before core reflected waves (ScS), so we will seek for ScS precursors. Based on

existing datasets (Durand et al., 2019) as well as synthetic seismograms the aim is to train a CNN to achieve the detection.

To apply : Please send a CV, a covering letter to stephanie.durand@ens-lyon.fr

Que nous racontent les monazites en inclusion dans des verres libyques (LDG) ?

Encadrant(s)/ Supervisor(s): [A-M Seydoux-Guillaume](#) et P-M Zanetta (LGL-TPE@Saint-Etienne)

Collaborateurs : P. Rochette (CEREGE), Bruno Reynard (LGL-TPE), Aaron Cavosie (Curtin, Australie), E. Gardes (LMV), Ph de Parseval (GET) et S. Sao Joao (LGF-EMSE). Contact : anne.magali.seydoux@univ-st-etienne.fr

Thématique/mots-clés (Keywords): verre libyque (LDG glass), monazite, impact, nanocaractérisation

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite : étudiant.e de master Sciences de la Terre ou Physique avec appétence pour la minéralogie, la planétologie, les sciences des matériaux et la physique des minéraux. Travail en laboratoire (analyse avec techniques de pointe de nanocaractérisation)

Résumé/Abstract:

Au cœur du Sahara de l'ouest de l'Égypte, près de la frontière libyenne, se trouvent des indices d'un ancien cataclysme cosmique. Le verre libyque (LDG – libyan desert glass) est le nom donné aux fragments de verre jaune dispersés sur une centaine de kilomètres, entre les dunes de sable en mouvement. L'intérêt pour le verre du désert libyen remonte à plus de 3 000 ans ; c'est en effet dans la chambre funéraire du roi Toutankhamon que figure un plastron incrusté d'or et de bijoux, au centre duquel se trouve un magnifique scarabée, taillé dans du verre libyque.

Les études montrent que ce verre s'est formé il y a environ 29 millions d'années, et qu'il s'agit de silice presque pure, dont la formation nécessite des températures supérieures à 1600 °C. Des centaines d'articles scientifiques ont été publiés sur les propriétés physico-chimiques du LDG, et la grande majorité d'entre eux s'accordent à dire qu'il s'agit d'un verre d'impact. Les indices pour cela comprennent : i. des températures de formation très élevées (plus de 1700 °C) documentées par l'occurrence d'inclusions minérales comme la lechatérite, la cristobalite, la mullite, la baddeleyite, les produits de décomposition de la Ti-magnétite ; ii. des pressions jusqu'à 30 GPa (*Cavosie et Koeberl 2019*) par une preuve de l'existence d'ancienne reidite (polymorphe de haute pression du zircon) ; et iii. la présence d'une signature géochimique chondritique dans les bandes sombres. (*voir revue dans Folco et al. 2019*). Aucun autre verre d'impact ne peut être comparé au verre libyque et son processus de formation reste encore très mystérieux, notamment en ce qui concerne l'emplacement de son cratère d'origine et l'éventuelle érosion qu'il a subie.

L'objectif de ce stage (localisé sur le site stéphanois du LGL-TPE) sera de travailler sur d'autres inclusions minéralogiques, en l'occurrence des monazites, jamais décrites auparavant dans ces verres libyques, mais qui ont déjà fait leur preuve dans d'autres contextes d'impacts tels que les tectites australasiennes (*Seydoux-Guillaume et al., 2024 et 2025*). En combinant diverses techniques d'analyses poussées de l'échelle micrométrique (microscopie optique, à balayage et microsonde électronique) à nanométrique (microscopie électronique en transmission et sonde atomique tomographique), nous tenterons d'extraire le maximum d'information de ces inclusions (structure, chimie, âges) pour raconter leur

histoire (géologique et thermique) ainsi que celle des verres qui les contient, et ainsi apporter des informations nouvelles quant à leur origine et la source du cratère.

Références: Folco et al. 2019- chapter in the book *The Geology of Egypt*, November 2019, DOI:10.1007/978-3-030-15265-9 ; Cavosie et Koeberl, 2019, *Geology*, <https://doi.org/10.1130/G45974.1>; Seydoux-Guillaume et al., 2024 et 2025, *Geology*, <https://doi.org/10.1130/G52522.1>

Cartographie régionale du système hydrothermal de l'île volcanique de Milos (Grèce)

Encadrant(s)/ Supervisor(s): J.-E. Martelat (LGLTPE Lyon UCB) et T. Cavailhes (EPOC Bordeaux)

Contact : jean-emmanuel.martelat@univ-lyon1.fr www.martelat.free.fr

<https://outcrop-analogue.com/>

Thématique/mots-clés (Keywords): Imagerie visible et thermique, cartographie, explosion hydrothermale

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite : Etudiant.e de master géosciences motivé par la géologie, la volcanologie et la cartographie à terre et en mer. Un intérêt pour les systèmes d'information géographique (QGIS) est souhaité.

Résumé/Abstract: Les domaines volcaniques actifs sont souvent associés à de l'hydrothermalisme (bains chauds, sols chauds, fumerolles, minéralisations de sulfures et sulfates parfois d'intérêt économique). Ces systèmes ne sont pas sans risques (e.g. les explosions anormales de geysers au parc de Yellowstone). Nous nous intéressons aux relations entre tectonique, sismicité, hydrothermalisme, érosion et glissement de terrain à différentes échelles d'espace et de temps. Nous travaillons sur l'île grecque de Milos (stratovolcan pliocène) qui montre une forte activité hydrothermale et tectonique : déplacements verticaux actuels, sismicité récente (Mw 5.3, 1992), plusieurs explosions hydrothermales (la plus récente datée à 200 BC). Grâce à des missions de terrains, la réalisation d'images aériennes depuis 2019 et l'étude d'image satellites Pléiades (depuis 2010) nous caractérisons régionalement les chemins de transfert hydrothermaux (minéralisations colorées, anomalies de T°C ainsi qu'à des effets sur les écosystèmes : absence de végétation CF. fig. 1).

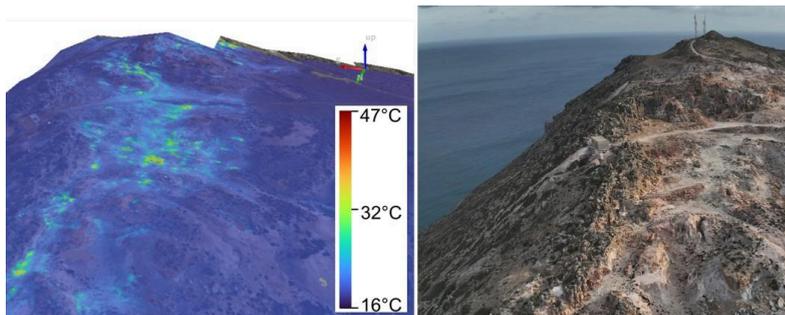


Fig. 1. A gauche, modèle numérique de terrain avec image thermique infrarouge. A droite, vue correspondante (Antennes de Kalamos, dôme rhyolitique).

L'objectif de ce stage est de caractériser le cadre tectonique et thermique actif de Milos notamment dans sa partie Sud-Ouest. Ce type de travail n'a jamais été réalisé à l'échelle régionale. Nous combinerons la cartographie sur images aux données de terrain et de la littératures (e.g. flux de CO₂). Nous essaierons de contraindre au mieux le système hydrothermal à différentes échelles (anomalies thermiques localisées, en linéament, en structure circulaire, anomalies diffuse). Le travail sera qualitatif mais aussi quantitatif,

surfaces précises, localisation précise (positionnement de type PPK), diagramme T°C-altitude. Nous disposons également de données en mer (colonnes de gaz, coupes sismiques, topographie) qui pourront compléter le travail de cartographie à terre.

Ce travail apportera des données nouvelles sur la géométrie du système hydrothermal et ses effets sur les sols et les failles (e.g. scellement versus glissement).

Références: <http://martelat.free.fr/francais/Mapping-Martelat2022Cities11.pdf>

<https://campagnes.flotteoceanographique.fr/campagnes/18002999/>

Les intrusions et éruptions d'Ardèche comme marqueur de l'inversion tectonique de la marge Cévenole entre l'Oligocène et l'actuel.

Encadrant(s)/ Supervisor(s):

Stage au Laboratoire de Géologie de Lyon

Magmatisme, volcanologie : Andrea DI MURO (Physicien CNAP, LGL-TPE)

andrea.di-muro@univ-lyon1.fr

Géologie structurale : Philippe Hervé LELOUP (D.R CNRS, LGL-TPE)

herve.leloup@univ-lyon1.fr

Imagerie – analyse 3D : Pascal Allemand (Professeur, LGL-TPE)

Thématique/mots-clés (Keywords):

Volcanisme ; Coulée volcanique, Dyke, Coirons, Ardèche, Massif central, Inversion tectonique, Tectonique récente, Cartographie 3D.

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite.

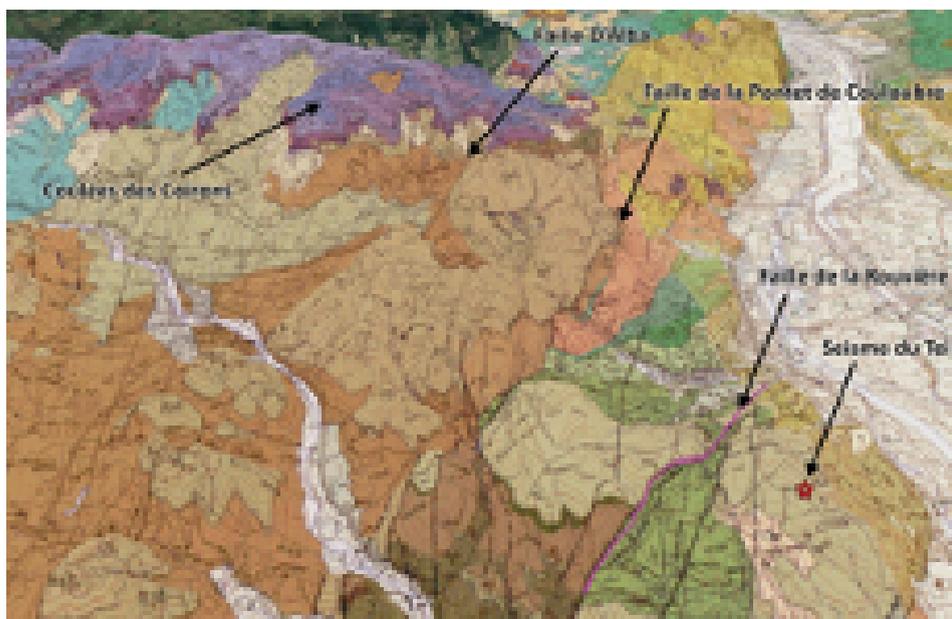
Bases de volcanologie, bases d'analyses structurales, appétence à combiner données de terrain de télédétection et de géochimie.

Résumé/Abstract:

Le séisme du Teil (11/11/2019 M 4.9) s'est produit le long de la faille de la Rouvière, une ancienne faille normale Oligocène de la marge Cévenole réactivée en faille inverse en périphérie de la collision alpine. Il est cependant difficile de quantifier l'âge et l'intensité de cette réactivation (inversion tectonique). En Ardèche, les failles normales parallèles à celle de la Rouvière se prolongent vers le Nord où elles sont en partie scellées par les coulées volcaniques des Coirons, qui sont parmi les événements volcaniques récents du massif central (< 8 Ma). Ces coulées semblent associées à l'intrusion de dykes de direction NW-SE, une direction compatible avec la compression actuelle.

D'une part l'analyse spatiale et de terrain de la géométrie de la base des coulées au travers des failles, notamment celles de Pontet de Couloubre et d'Alba, permettra de quantifier leurs décalages et de préciser leur jeu. D'autre part l'étude des dykes (terrain, géochimie, géochronologie) permettra de préciser leur géométrie, et leur relation avec les coulées, et potentiellement de dater l'inversion tectonique.

Ceci a des implications importantes pour comprendre les relations possibles entre tectonique et activité magmatique et volcanique du Massif-Central, mais aussi pour estimer la probabilité de réactivation de ces failles localisées à proximité d'installations industrielles sensibles.



La faille de Lagnieu - Pont de Beauvoisin, un décrochement sénestre actif ?

Encadrant(s)/ Supervisor(s):

Le stage s'effectuera entre le LGL-TPE (Lyon-Villeurbanne) et l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) localisée à Fontenay aux Roses

P.H. Leloup (LGL-TPE, D.R. CNRS) herve.leloup@univ-lyon1.fr

Muriel Rocher (ASNR)

Thématique/mots-clés (Keywords):

Faillle active, décrochement, Jura, Rhône

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite.

Bases d'analyse structurale, de géologie de terrain, et d'analyse morphologique.

Résumé/Abstract:

Le sud du Jura est marqué par une zone de failles NW-SE de plus de 50 km de long, depuis Lagnieu jusqu'à Pont de Beauvoisin, (L-PB F). Cette zone de failles sépare le Jura plissé du Jura tabulaire (Ile Crémieu) et est interprétée comme une zone transformante sénestre d'âge Néogène, avec un décalage qui pourrait atteindre 55 km, mais dont la seule expression serait des chevauchements à vergence sud-ouest [Philippe, 1994]. Sur la base d'une étude structurale, Rocher et al. [2004] proposent qu'au moins un des segments de la L-PB soit une faille sénestre active au Néogène (Faille de Villebois). La L-PB F est par ailleurs aujourd'hui suivie par le cours du Rhône qui a pu être influencé par la tectonique récente (Déflexion de 37 km). Au cœur du Jura plusieurs décrochement sénestre parallèles à la L-PB F. sont clairement actifs, comme le montrent les tremblements de terre d'Epagny [1996/07/15, *ML* 5.3; Thouvenot et al., 1998] sur la faille de la Vuache, et de Chautagne [1822/02/18, *MSK* VII-VIII] sur la faille de Culoz [Chapron et al., 1999]. Il se pose donc la question si la L-PB F est un décrochement sénestre actif ou non, et si oui à quel taux.

Ce stage de M2 se propose de réexaminer les arguments géologiques et morphologiques pour déterminer le potentiel sismique de la L-PB F. L'étude sera basée sur l'analyse des cartes géologiques, des profils sismiques et des images satellites, aériennes et lidar, complétée par une mission de terrain qui s'attachera à la recherche de failles, notamment celles affectant les sédiments récents.

Ces résultats seront confrontés aux cartes de sismicité et de déformation GNSS et/ou Insar.

Références :

Chapron, E., Beck, C., Pourchet, M., & Deconinck, J. F. (1999). 1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bourget (NW Alps). *Terra Nova*, 11(2-3), 86-92.

Larroque, C., Baize, S., Albaric, J., Jomard, H., Trévisan, J., Godano, M., ... & Peix, F. (2021). Seismotectonics of southeast France: from the Jura mountains to Corsica. *Comptes Rendus. Géoscience*, 353(S1), 105-151.

Philippe, Y. (1994). Transfer zone in the Southern Jura thrust belt (Eastern France): Geometry, development, and comparison with analogue modeling experiments. In *Hydrocarbon and petroleum geology of France* (pp. 327-346). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Rocher, M., Cushing, M., Lemeille, F., & Baize, S. (2004). L'île Crémieu (Jura, France), un plateau calcaire épargné par la tectonique?. *Comptes Rendus Geoscience*, 336(13), 1209-1218.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Tapponnier, P., Thomas, J. C., Le Brun, B., Ménard, G., ... & Hatzfeld, D. (1998). The ML 5.3 Epagny (French Alps) earthquake of 1996 July 15: a long-awaited event on the Vuache Fault. *Geophysical Journal International*, 135(3), 876-892.

Reconstitutions paléoclimatiques d'Asie centrale à l'Holocène à partir des biomarqueurs lipidiques des carottages de la mer d'Aral (Ouzbékistan)

Superviseurs : G. Ménot (LGLTPE, Lyon, guillemette.menot@ens-lyon.fr), L. Dugerdil (ISEM, Montpellier, lucas.dugerdil@ens-lyon.fr), S. Joannin (ISEM, Montpellier, sebastien.joannin@umontpellier.fr)

Prérequis : géochimie organique, R, Inscape

Mots-clés : paléoclimat, brGDGTs, paléoenvironnement, Holocène, zones arides

Les reconstitutions paléoclimatiques régionales et globales sont utilisées pour tester les modèles climatiques comme ceux proposés par le GIEC et par les archéologues pour contextualiser l'évolution des sociétés humaines et des technologies. Elles reposent sur divers *marqueurs* ou *proxies* (ex. : pollen, brGDGTs, cernes d'arbres, variations du niveau des lacs, isotopes de l'oxygène) qui présentent chacun leurs avantages et inconvénients. Pour la température, les biomarqueurs lipidiques (plus particulièrement les glycéro-dialkylglycérol tétraéthers ramifiés, appelés aussi brGDGTs) présentent un marqueur nouveau et innovant.

Dans les zones semi-arides d'Eurasie, les archives sédimentaires sont moins nombreuses et peu propices aux reconstitutions paléoclimatiques (lacs temporaires, niveau important de salinité et d'alcalinité possibles). La mer d'Aral, de par sa taille, est une des rares archives capables de rendre compte des changements climatiques holocènes à l'échelle régionale de l'Asie centrale.

L'objectif de ce stage est donc de déterminer les variations paléoclimatiques (principalement températures et aridité) lors du Pléistocène supérieur et de l'Holocène. Ces variations seront utiles pour comprendre le contexte des occupations humaines depuis l'âge du Bronze (5.5-3.5 ka) en lien avec les changements climatiques régionaux voire globaux.

Ce sujet reposera sur l'étude suivante :

- analyses sédimentologiques et géochimiques d'une carotte sédimentaire couvrant environ 15 000 ans (prélevée en mai 2023, XRF et datations C14 acquises)
- prélèvements et extractions des biomarqueurs lipidiques (extraction du contenu lipidique, séparation des GDGTs, passage du spectromètre de masse (LC-MS) et intégration des résultats)
- compréhension des cofacteurs altérant la qualité du signal climatique (indices ACE et IR pour l'effet de la salinité, CBT pour l'alcalinité, somme des 6 méthyls pour l'aridité...)
- discussion des résultats brGDGTs et sélection du choix de calibration à appliquer pour convertir le signal brGDGTs en signal climatique (principalement la température annuelle moyenne de l'air).
- comparaison des résultats avec les analyses polliniques en cours en Ouzbékistan.

Le stage aura lieu au LGL-TPE avec un déplacement d'une semaine à L'ISEM (Montpellier) pour les prélèvements sédimentaires.

Collaboration : Suzanne Leroy, LAMPEA, Aix-en-Provence

Financement : ANR STEPABILITY

Origine des fluides impliqués dans la formation des leucogranites himalayen

Encadrants Gweltaz Mahéo & Véronique Gardien

Mots clés : leucogranites, fluides en inclusion, géochimie, isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène, pétrologie, microthermométrie.

Les leucogranites sont des marqueurs de l'évolution thermique des croûtes continentales. En particulier, la chaîne himalayenne est connue pour l'abondance de granites formés suite à l'évolution thermique de croûte épaissie. Ces leucogranites présentent une grande diversité pétrologique et sont issus de réactions de fusions souvent en présence de fluides. L'objectif de ce stage est de contraindre la source de ces fluides afin de mieux comprendre l'origine des leucogranites himalayens ainsi que de reconstituer les transferts de fluides dans une zone orogénique.

Pour ce faire, ce projet s'appuie sur l'analyse de la composition isotopique (oxygène, hydrogène) des fluides en inclusion dans les phases magmatiques anhydres tels que le quartz et les feldspaths. Cette étude se fera dans le cadre d'une collaboration entre le LGLTPE et l'Institut des Sciences Analytiques de Lyon.

Contenu du stage :

Analyse pétrologique des leucogranites himalayens des collections du LGL-TPE (lames minces)

Préparation d'échantillons pour fabrication de lames épaisses pour la microthermométrie

Microthermométrie sur platine chauffante au LGL-TPE pour la caractérisation de la salinité des fluides et de leur température de piégeage.

Analyse spectrométrie Raman des fluides en inclusion pour préciser la nature des fluides

Sélection d'échantillons sur la base des études précédentes, broyage et séparation minérale.

Extraction des fluides en inclusion sur la ligne du LGL-TPE (R6)

Mesure de la composition isotopique des fluides (oxygène et hydrogène à l'ISA).

Interaction fluide-roche, déformation sismique et évolution de l'interface de subduction

Encadrants Samuel Angiboust & Taylor Ducharme (ENS de Lyon)

A l'aide d'outils **pétrologiques** (microscope optique et électronique, cathodoluminescence) et **géochronologiques** (datation Rb-Sr in situ par laser et NEOMA), il est proposé d'utiliser des fragments exhumés d'anciennes interfaces de subduction pour mieux comprendre les processus de circulation de fluides, et leur rôle sur les différents modes de déformation, des séismes aux glissements lents, ainsi que les échelles de temps sur lesquelles les événements observables dans les échantillons de roches se sont déroulées. Le détail des projets de recherche envisageables dans ces thématiques pourra être discuté avec les encadrants. Des compétences fortes en pétrologie et/ou géochimie et/ou géochronologie et la connaissance des spectromètres de masse seront un atout à la candidature. Financement possible via ANR COLDNOSE. contacter samuel.angiboust@ens-lyon.fr pour davantage d'informations.

Reconstitutions paléoclimatiques du Caucase à l'Holocène à partir des isotopes de l'oxygène des carbonates du Lac Sevan (Arménie)

Superviseurs : C. Colombié, (LGLTPE, Lyon, claud.colombie@univ-lyon1.fr), V. Gardien (LGTPE, Lyon), V. Perrier (LGLTPE, Lyon), T. Karan Žnidaršič (Université de Belgrade, Serbie), S. Joannin (ISEM, Montpellier)

Prérequis : sédimentologie, micropaléontologie, géochimie, R, Inskape

Mots clefs : microbialite, isotopes de l'oxygène, paléoenvironnement, paléoclimat, Holocène

Les reconstitutions paléoclimatiques régionales/globales sont utilisées pour tester les modèles climatiques comme ceux utilisés/proposés par le GIEC et par les archéologues pour contextualiser l'évolution des sociétés humaines et des technologies. Elles reposent sur divers proxies (ex : pollen, BrBGDT, cernes d'arbres, variations du niveau des lacs, isotopes de l'oxygène) qui présentent chacun leurs avantages et inconvénients. Pour la température, l'utilisation des isotopes de l'oxygène reste soumise à de nombreuses incertitudes (ex : effets vitaux, diagenèse, écologie des eaux du lac, évaporation) et nécessite de contraindre au mieux le cadre paléoenvironnemental de leur application.

Dans les zones semi-arides d'Eurasie, les archives sédimentaires sont moins nombreuses et peu propices aux reconstitutions paléoclimatiques. Le Lac Sevan de par sa taille est une des rares archives capable de rendre compte des changements climatiques holocènes à l'échelle régionale et sub-régionale du Caucase. Par ailleurs, l'enregistrement sédimentaire est ponctué de dépôts carbonatés bioclastiques et microbialitiques qui permettent de tester localement l'utilisation des isotopes de l'oxygène comme proxy des températures.

L'objectif de ce stage est donc de déterminer les variations de température du lac au cours de l'Holocène moyen et supérieur (i.e. derniers 8 ka). Ces variations seront utiles pour comprendre l'histoire des occupations humaines depuis l'âge du Bronze (5.5-3.5 ka) en lien avec les changements climatiques régionaux voire globaux.

Ce sujet reposera sur l'étude sédimentologique, géochimique et micropaléontologique :

- d'un analogue de terrain et sa carotte associée (terrain en octobre 2024 + XRF + isotope de l'oxygène sur roches totales et coquilles)
- d'une carotte (forage en octobre 2024 + XRF + isotope de l'oxygène sur roche totale et coquilles)
- de microbialites (isotope de l'oxygène sur roche totale et inclusions fluides le long d'un transect à l'intérieur d'un échantillon couvrant les 5 derniers ka). Les mesures de T° sur les inclusions fluides seront faites à l'aide de la spectroscopie Brillouin.

Le stage aura lieu au LGL-TPE en collaboration avec :

Frédéric Caupin, ILM Université Lyon 1 pour la spectroscopie Brillouin

Eric Bonjour / Patrick Jame, ISA université Lyon 1 pour la composition isotopique de l'O et de l'H des inclusions

Financement : ANR STEPABILITY

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

Encadrants : Colombié, C. (MCF, LGL-TPE, Lyon 1, claud.colombie@univ-lyon1.fr) ; Leloup, P.-H. (DR, LGL-TPE, Lyon 1) ; Blaise, T. (MCF, GEOPS, Paris-Saclay)

Alors que les séries sédimentaires du Cénomanién 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 Cénomanién 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 cénomaniéniens 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.

Plan de recherche et calendrier :

Fév : analyses pétrographique et géochronologique des calcites de failles déjà échantillonnées (Paris-Saclay)

Mars : mise en forme de ces résultats géochronologiques et bibliographie

Avril : terrain pour échantillonner des failles cénomaniéniennes et mise en forme des données structurales

Mai : test/datation des calcites prélevées et traitement de l'ensemble des données acquises

Juin : rédaction du mémoire et préparation de la soutenance orale

Lieux du stage : LGL-TPE avec déplacements à l'Université Paris-Saclay ou de Montpellier pour la géochronologie U-Pb de la calcite et dans la région de Castellane pour mesures et échantillonnage.

Financement : RGF Chantier "Alpes et bassins périphériques"

Titre/Title

Organisations cellulaires des feuilles des plantes du Berriasien d'Angeac-Charente

Cellular patterns of plants from the Berriasian of Angeac-Charente

Encadrant(s)/ Supervisor(s) Bernard Gomez, Axel Montigny, Véronique Daviero-Gomez

Thématique/mots-clés (Keywords) palaeobotany, leaf cuticle, epidermal traits, Cretaceous

Pré-requis / Suitable formation level & prerequisite

Etudiant.e de master ayant des bases de paléontologie (éventuellement botanique) et un attrait fort pour la thématique paléobotanique.

Résumé/Abstract**Contexte et objectifs :**

Le gisement fossilifère à vertébrés d'Angeac-Charente (département de la Charente, Sud-Ouest de la France) livre également en abondance des débris fossiles de plantes exceptionnellement bien conservés dans des niveaux argileux du Berriasien (Crétacé inférieur). Après extraction par lavage à l'eau, puis tri à la loupe binoculaire, de nombreux restes végétaux sont identifiés, incluant des rameaux, des feuilles isolées et une grande abondance de cônes mâles et femelles. Une particularité de cet assemblage est l'absence apparente de correspondance entre les types de feuilles et ceux des cônes, suggérant une diversité végétale importante et/ou une dynamique de dépôt spécifique.

Ce stage vise à caractériser l'organisation cellulaire des cuticules de ces restes végétaux, en particulier au niveau de l'épiderme, afin de caractériser la diversité morphologique, histologique et taxonomique des plantes représentées dans ce paléoécosystème.

Programme de travail :

- Tri et sélection de spécimens végétaux (rameaux, feuilles, cônes) issus d'échantillons d'argiles préparés en amont (lavage, séchage, tri sous loupe binoculaire).
- Observation des cuticules au microscope à fluorescence et au microscope électronique à balayage.
- Identification des types cellulaires présents :
 - cellules épidermiques ordinaires
 - cellules subsidiaires

- cellules de gardes (« stomates »)
- Classification des types morphologiques de feuilles et de cônes sur la base des microstructures épidermiques observées.
- Établissement d'un tableau de comparaison (ou absence de correspondance) entre types foliaires et types de cônes (mâles/femelles).
- Cartographie des types cellulaires par morphotype afin de proposer une stratégie de comptage stomatique et cellulaire fiable (surface étudiée, nombre de champs, critères de sélection).
- Calculs des indices stomatiques pour certains types identifiés, et comparaison avec ceux du modèle *Frenelopsis*.

Compétences acquises :

- Techniques de préparation et d'analyse de cuticules fossiles
- Microscopie à fluorescence appliquée à la paléobotanique
- Approche morpho-histologique des plantes fossiles
- Raisonnement en taxonomie comparée et paléoécologie
- Méthodologie de quantification stomatique

Encadrement et environnement de recherche :

Le stage sera encadré par Bernard Gomez, Axel Montigny et Véronique Daviero-Gomez. Il s'inscrit dans un programme de recherche plus large consacré à la reconstitution des paléoenvironnements du Crétacé en Europe de l'Ouest.

Durée : 5 à 6 mois

Période : janvier/juin 2026

Title: Compositional heterogeneities as a potential source pulsations of activity / Les hétérogénéités de composition comme source potentielle de pulsations d'activité des panaches mantelliques

Supervisor(s) Maëlis Arnould, Jean-Philippe Perrillat, Alexandre Koessler

Keywords: mantle plume, numerical modeling, mantle convection, Reunion hotspot

Suitable formation level & prerequisites: Master student with solid bases in geophysics and numerical modeling.

Abstract:

Context and objectives :

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 (≤ 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 properties of potential heterogeneities entrained by mantle plumes will be carried. The intern will benefit from the automatic tracking of mantle plume characteristics (buoyancy and volume fluxes, amount of partial melt produced) developed by PhD student Alexandre Koessler in order to quantitatively assess model 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.

Program:

- Development of numerical models of mantle convection in 3D spherical patch with StagYY, with compositional heterogeneities.
- Automatic tracking of mantle plumes and their behaviour through time.

- Qualitative / quantitative comparison with observations of fluctuations of activity of hotspots, and in particular, La Réunion

Acquired skills:

numerical modeling, bibliography search, python coding and versioning, interpretation of numerical results, redaction of a scientific report

Supervision and working environment :

The internship will be co-supervised by Maëlis Arnould, Jean-Philippe Perrillat and Alexandre Koessler at La Doua, Université Lyon 1. It is part of the larger-scale project [Plum-BeatR](#) funded by ANR (the funds of the internship will come from this source).

Length : 5- 6 months

Period : January/June 2026