

## **SUJETS DETAILLES CI-DESSOUS :**

### **TEER**

**Evolution des paleotaux de dénudation à haute résolution temporelle: apport des terrasses alluviale et analyse d'une coupe haute résolution au Tianshan (Chine)**

**Encadrants:** Julien Charreau, PH Blard, Jérôme Lavé

**Comment fait-on du sable de rivière ?**

**Encadrant :** Jérôme Lavé (CRPG, Nancy)

**Histoire néogène de la construction de l'Himalaya vue par la thermochronologie détritique.**

**Encadrants :** Jérôme Lavé, Raphaël Pik, Sébastien Lénard (CRPG, Nancy)

### **CYCLA**

**Datation par  $^3\text{He}$  cosmogénique et interprétation climatique des moraines du volcan Cerro Lipez (Altiplano, Bolivie)**

**Encadrants:** P.-H. Blard et J. Lavé (CRPG, Nancy)

### **MAGMA**

**Etude sur la dégradation des pots des fours verriers**

**Encadrants :** Laurent Tissandier (CRPG), Daniel Coillot (Ingénieur Baccarat)

**Caractérisation isotopique en Germanium des MORB et OIB**

**Encadrante:** Béatrice Luais

## **Caractérisation isotopique en Mercure des MORB et OIB**

**Encadrante:** Evelyn Füri

## **Etude des dunites et de la section mantellique de l'ophiolite d'Oman.**

**Encadrement:** D. Jouselin

## **COSMO**

### **“Caractérisation de l’azote piégé dans le régolithe lunaire”.**

**Encadrante:** Evelyn Füri

## **Reliques or not reliques - Lien entre la composition chimique et isotopique des olivines des chondres des météorites primitives**

**Encadrants:** Yves Marrocchi ([yesm@crpg.cnrs-nancy.fr](mailto:yesm@crpg.cnrs-nancy.fr)) et Johan Villeneuve

## **Caractérisation isotopique de la matière organique nébulaire synthétique par microsonde ionique**

**Encadrants:** B. Marty, J. Villeneuve, D. Beckaert, E. Deloule

## **Evolution des paleotaux de dénudation à haute résolution temporelle: apport des terrasses alluviales et analyse d'une coupe haute résolution au Tianshan (Chine)**

**Encadrants:** Julien Charreau, PH Blard, Jérôme Lavé

Sujet: Au Quaternaire, le climat est caractérisé par un refroidissement majeur associé à l'installation des cycles glaciaires. En réponse, la dénudation continentale est supposée s'être accélérée affectant en retour la tectonique via l'isostasie et le climat lui-même via le cycle du CO<sub>2</sub>. Ces processus d'interactions complexes restent mal compris car notre connaissance des taux de dénudation dans le passé est discutable puisque basée sur des bilans de volume sédimentaire critiquables. Ainsi, notre groupe a mis au point une méthode basée sur la mesure des isotopes cosmogéniques dans les sédiments fluviaux Néogène. Cette approche nous a permis de quantifier les taux de dénudation depuis 8Ma sur plusieurs bassins versants en Asie suggérant, que dans cette région, l'impact des glaciations Quaternaire sur la dénudation reste limité. Néanmoins, la résolution temporelle des études que nous avons jusqu'à lors réalisées se limite à quelque centaine de milliers d'années. Or pour mieux appréhender l'impact possible des cycles glaciaires sur les taux de dénudation, il est nécessaire de réaliser des études similaires mais à plus haute résolution temporelle.

Pour cela deux axes de recherches sont proposés:

- analyse des terrasses alluviales. Il existe dans la littérature de nombreuses datations de terrasses alluviales qui s'appuient sur la mesure en profondeur de la concentration en isotope cosmogénique. Ces profils en profondeur permettent de déterminer la concentration en isotope cosmogénique au moment du dépôt et ainsi de calculer les taux d'érosion dans le passé. Toutes ces terrasses datées représentent donc autant d'enregistrement des taux d'érosion à des échelles de temps courtes (<100ka). Une partie du travail consistera donc à recalculer les taux d'érosion à partir des données de la littérature. On se concentrera plus particulièrement sur des terrasses analysées autour du Tianshan lors de la thèse de Dimtri Siant Carlier soutenue en décembre 2015.

- analyse d'un profil haute résolution au Tianshan. En septembre 2012 notre groupe a prélevé une vingtaine d'échantillons à haute résolution temporelle (20Ka) sur une coupe déjà analysée pour l'évolution à long terme (coup de la Jingou He, Chine). L'objectif de ce projet de master sera donc de réaliser l'analyse de ces échantillons haute résolution afin de mieux discuter de l'impact des cycles glaciaires sur l'évolution des taux de dénudation du Tianshan (Chine).

## 1. Comment fait-on du sable de rivière ?

Encadrant : Jérôme Lavé (CRPG, Nancy)

La question paraît triviale et pourtant peu d'études modernes ont tenté d'y répondre de manière quantitative. Pendant longtemps, sur la base d'études expérimentales anciennes, de nombreux chercheurs ont considéré que le mécanisme principal opérant sur la granulométrie des sédiments de rivière était le tri sélectif. Si celui-ci permet d'expliquer la décroissance vers l'aval des tailles de sédiment, il ne permet pas pourtant d'expliquer pourquoi un paysage de montagne partant de matériel grossier (plus de 50% du matériel >2mm), issu des glissements de terrain, va produire en général plus de 90% de silts et de sables à la sortie de ce paysage en érosion. Le mécanisme de production de sable le plus logique apparaît être l'abrasion et la fragmentation de la charge sédimentaire au cours du transport alluvial dans les torrents. Il n'existe pas d'étude néanmoins qui documente la granulométrie des produits de l'abrasion, ni les variables qui pourraient contrôler cette granulométrie, et ce en dépit de toutes les implications majeures sur la manière dont on interprète le contenu et la provenance d'un sable de rivière dans les études de géomorphologie, de géochimie ou de thermochronologie détritique (par défaut il est fait l'hypothèse simplificatrice que le sable est directement hérité des versants et que le réseau hydrographique se comporte comme une zone de transfert neutre).

Dans le cadre du stage, il est proposé d'examiner cette question au travers d'une étude expérimentale utilisant deux dispositifs (canaux annulaires où fluide et galets peuvent circuler à des vitesses allant de 0.3 à 3 m/s) dédiés à l'étude de l'érosion fluviale. Il est en particulier proposé à l'étudiant de mener deux types d'expériences pour quantifier la production et l'évolution granulométrique des fractions sableuses au cours du transport de la charge sédimentaire.

Dans un premier temps, l'étudiant effectuera sur la base d'un protocole déjà bien établi une série d'expériences pour évaluer la granulométrie des produits de l'abrasion de galets transportés, et ce en faisant varier la lithologie, la vitesse de transport, et le diamètre des galets.

Dans un deuxième temps, il s'agira d'étudier si les grains de sables peuvent également subir une abrasion ou une fragmentation qui va les faire diminuer en taille. Pour cela, il s'agira de tester en faisant varier les caractéristiques des expériences plusieurs mécanismes possibles d'abrasion : par collisions entre grains de sables, par collision sur des galets ou blocs immobiles au fond du chenal, ou encore par fragmentation quand du sable est broyé entre deux galets entrant en collision.

Au cours de son stage l'étudiant pourra acquérir principalement des compétences sur la manière d'effectuer des mesures expérimentales, et de définir un protocole expérimental. Il aura la possibilité également de construire un modèle interprétatif des données obtenues, dont la finalité sera de prédire comment se produit et évolue la charge sableuse dans les rivières naturelles suivant leur contexte, et de comparer ces prédictions à des données d'isotopes cosmogéniques particulièrement sensibles à ces phénomènes étudiés d'évolution de la charge sableuse.

## **2. Titre : Histoire néogène de la construction de l'Himalaya vue par la thermochronologie détritique.**

Encadrants : Jérôme Lavé, Raphaël Pik, Sébastien Lénard (CRPG, Nancy)

La chaîne himalayenne représente probablement l'orogénèse la plus spectaculaire à la surface de notre globe. Elle est également une région où la tectonique et le climat sont suspectés d'avoir interagi de manière forte via l'érosion. D'une part la chaîne himalayenne associée au plateau tibétain a probablement affecté la structure de l'atmosphère et favorisé le régime de mousson Sud-Est Asiatique marqué par d'intenses précipitations de juin à septembre sur le flanc sud de l'Himalaya. En retour ces précipitations conduisent à une érosion très intense des reliefs himalayens (plusieurs mm/an), générant via les systèmes fluviaux du Gange et du Brahmapoutre le plus important flux d'érosion de la planète. Ce transfert de masse agit sur la morphologie de la chaîne via la répartition de la déformation et du soulèvement tectonique.

Depuis sa formation au début du Miocène, si on connaît à peu près bien l'évolution tectono-métamorphique de la chaîne, on connaît beaucoup moins bien l'évolution de sa géométrie (largeur, hauteur), celle de l'érosion qui l'affectait, et le rôle qu'ont pu avoir les variations du régime de mousson au cours de cette période, notamment à la transition plio-pléistocène.

Pour répondre à cette question, nous disposons depuis peu d'un enregistrement sédimentaire dans les molasses plissées au front de la chaîne himalayenne (au sud du bassin de la Narayani qui draine les Annapurnas) qui vient d'être daté par magnétostratigraphie. Pour pouvoir remonter à l'histoire de l'érosion de ce segment central de l'Himalaya, il est proposé de mener une étude de thermochronologie détritique : il s'agit de dater à intervalle régulier dans la série une population de 50 à 100 grains de zircons en (U,Th)/He par échantillon et d'identifier la manière dont évoluent les populations d'âges au cours du temps. Dans les sables de la rivière actuelle, le pic de cette distribution se situe vers 2Ma tandis que les zircons les plus jeunes présentent un âge de 1Ma, tout cela en bon accord avec les âges mesurés par thermochronologie in situ en amont dans le bassin versant de la Narayani. Ces âges jeunes dans cet environnement sont la garantie de pouvoir suivre avec une bonne résolution temporelle (~1 Ma) les changements d'érosion qui ont pu affecter la chaîne.

Dans le cadre de ce sujet, l'étudiant aura l'occasion de se former à la méthode de datation (U,Th)/He sur zircon (tri des zircons, montage et mesures sur spectromètre gaz rares), et notamment de participer au développement d'une évolution récente de la méthode concernant la mesure directe de l'U, Th de chaque grain par fusion laser couplé à une ICPMS. Durant son stage, l'étudiant participera aussi activement à la réflexion générale sur l'évolution néogène de la chaîne vue par ses données et celles complémentaires basées sur la mesure des isotopes cosmogéniques ( $^{10}\text{Be}$  et  $^{26}\text{Al}$ ) dans le quartz des sédiments, combinée à un suivi géochimique et isotopique de la provenance des sédiments (travail de thèse de S. Lénard).

***Datation par  $^3\text{He}$  cosmogénique et interprétation climatique des moraines du volcan Cerro Lipez (Altiplano, Bolivie)***

Encadrants: P.-H. Blard et J. Lavé (CRPG, Nancy)

Les chaînes de montagne jouent un rôle majeur dans les circulations atmosphériques et donc sur le climat. Par exemple, une chaîne de montagne comme les Andes est suspectée d'avoir un rôle majeur sur le cycle hydrologique du continent sud-américain, engendrant même des effets rétroactifs non-linéaires importants sur le climat global (Leduc et al., Nature, 2007). Cependant l'amplitude de ces mécanismes reste encore mal connus pour les climats du passé, et ce en raison d'un déficit de données paléoclimatiques en domaine continental, en particulier de données de paleoprécipitations.

La reconstruction couplée des positions des glaciers et des niveaux de lac représente une méthode originale et efficace pour reconstruire les paleotempératures et la variabilité spatiale des précipitations (projet ANR Galac, thèse de Léo Martin, 2016) dans les zones de montagne comme celle des Andes centrales.

Ce sujet de Master aura pour but de dater par  $^3\text{He}$  cosmogénique les moraines qui se sont formées sur le volcan Cerro Lipez, dans le sud de l'Altiplano bolivien. Les échantillons prélevés lors d'une mission de terrain en 2013 sont disponibles au CRPG. Pour effectuer ce travail de datation, l'étudiant devra tamiser les échantillons et isoler les pyroxènes pour ensuite effectuer l'analyse des isotopes  $^3\text{He}$  et  $^4\text{He}$  au sein du laboratoire gaz rares du CRPG (fusion sous ultravide des minéraux, spectrométrie de masse). Les concentrations en  $^3\text{He}$  cosmogénique seront ensuite converties en âges d'exposition à l'aide d'un calculateur développé au CRPG.

En parallèle, un travail de cartographie permettra de calculer l'évolution des lignes d'équilibre des glaciers du Cerro Lipez en fonction du temps. Un modèle numérique sera ensuite utilisé pour convertir la position de ces anciennes moraines en un signal paléoclimatique. Les résultats seront intégrés aux autres enregistrements paléo-glaciaires obtenus sur l'Altiplano pour produire des cartes régionales de paléoprécipitations à différentes périodes climatiques clefs (Dernier Maximum Glaciaire, événement de Heinrich 1, Dryas Récent).

## ***Etude des dunites et de la section mantellique de l'ophiolite d'Oman.***

Encadrement: D. Jousselin

La croûte océanique se construit sur une étroite fissure vers laquelle doit se canaliser le liquide issu de la fusion du manteau. Comment ce liquide migre dans le manteau reste très incertain. Alors que les harzburgites composent l'essentiel du manteau des ophiolites, elles sont en déséquilibre géochimique avec les basaltes de la croûte océanique. A contrario, les dunites sont en équilibre avec les basaltes. Cette observation a conduit à un modèle où le liquide de fusion migre dans des conduits de dunite. Ce modèle ne tient cependant pas compte de la distribution des dunites. L'ophiolite d'Oman a préservé en son sein un axe de dorsale sous lequel on ne trouve pas de dunite verticale; les dunites semblent plus présentes au sommet, et à la base de la section mantellique, où elles sont toujours orientées horizontalement. Suite à une campagne de terrain dans l'ophiolite d'Oman, le projet consiste en l'étude pétro-structurale d'échantillons de plusieurs logs de la section mantellique. On s'attachera en particulier à définir la proportion de dunite selon la hauteur dans le log, étudier les lithologies associées aux dunites (harzburgite appauvrie, harzburgite imprégnée en clinopyroxène...), et le style de la déformation. Ces observations doivent permettre de distinguer différents types de dunite, et apporter des contraintes sur leur formation et leur association à l'accrétion océanique, des phénomènes tardifs liés à la mise en place de l'ophiolite, ou d'autres contextes à définir.

## ***Etude sur la dégradation des pots des fours verriers***

Encadrants :

- Laurent Tissandier     IE CRPG
- Daniel Coillot         Ingénieur Baccarat

Lors du process verrier de fabrication manuelle d'articles en cristal (verre riche en oxyde de plomb PbO), les matières premières sont introduites dans un "pot" au sein d'un four pouvant en contenir plusieurs. Chauffées vers 1400°C pendant plusieurs heures, ces matières premières vont fondre et s'homogénéiser pour former un bain liquide dans lequel les maitres verriers vont venir "cueiller" la paraison afin de réaliser leurs œuvres. Durant ce cycle, des interactions entre le cristal en fusion et les parois du pot vont avoir lieu entraînant une corrosion de l'encaissant et limitant d'autant sa durée d'utilisation. De plus, cette dégradation peut se manifester par le relargage épisodique et non prévisible de "pierres" (défauts solides) dans le bain de verre. Après la mise en forme, la présence de ces "pierres" au sein des objets façonnés va entraîner leur mise au rebut et par conséquent un manque à gagner pour l'entreprise. Cette non qualité, en moyenne de 200 pierres par tonne de cristal produit, représente, par exemple, 30% des défauts du process de fabrication four à pot chez Baccarat.

Cette étude aura pour but de mieux caractériser ces "pierres" et leur origine, et potentiellement de proposer un moyen de les réduire. Deux aspects seront donc traités: i) une première partie d'analyses des défauts et des produits de corrosion des pots, et ii) une partie expérimentale afin de mieux comprendre la cinétique et l'influence des différents paramètres (température, composition du verre, ...) sur cette corrosion.

## **Reliques or not reliques - Lien entre la composition chimique et isotopique des olivines des chondres des météorites primitives**

*Encadrant* : Yves Marrocchi ([yvesm@crpg.cnrs-nancy.fr](mailto:yvesm@crpg.cnrs-nancy.fr)) et Johan Villeneuve

*Méthodologie* : microscope optique, microscope électronique à balayage, sonde électronique, sonde ionique

*Projet* : Les chondres sont des sphères silicatées constituées principalement d'olivines et de pyroxènes. Ces objets se sont formés dans le disque d'accrétion il y a 4.56 Ga. Si la texture, la minéralogie et les compositions chimiques et isotopiques des chondres ont été décrites de manière exhaustive, le processus physique à l'origine des chondres ainsi que les conditions dans lesquelles il s'est déroulé, restent aujourd'hui largement débattus.

Des études menées au CRPG ont révélé que les échanges chimiques et isotopiques entre les chondres partiellement fondus et le gaz du disque sont un processus clef contrôlant la formation des chondres (Libourel *et al.*, 2006; Marrocchi et Libourel, 2013; Marrocchi & Chaussidon, 2015; Villeneuve *et al.*, 2015). Ces résultats suggèrent que les olivines sont des phases reliques héritées des précurseurs qui ont subi une dissolution lors de l'interaction avec le gaz du disque. Lors de cette interaction, le chondre partiellement fondu voit sa composition évoluer vers des compositions plus riches en SiO<sub>2</sub> permettant ainsi la dissolution de l'olivine et la précipitation du pyroxène. Cependant, de récentes études expérimentales (thèse de Camille Soulié au CRPG) suggèrent l'existence de deux générations d'olivines liées à la précipitation d'olivines secondaires lors des interactions avec le gaz avant que l'enrichissement en SiO<sub>2</sub> soit suffisant pour rentrer dans le champ de stabilité du pyroxène. Ces résultats posent la question du caractère relique/non relique des olivines des chondres et de la nécessité de trouver une méthode permettant de les différencier.

Ce sujet de M2 s'attachera donc à étudier des lames minces de météorites primitives afin de caractériser d'un point de vue minéralogique et chimique des chondres porphyriques. Une attention particulière sera portée à la détermination de la concentration en calcium et aluminium des olivines car ces éléments varient de manière significative. Une fois caractérisée d'un point de vue chimique, la composition isotopique en oxygène des olivines chondres sera déterminée par sonde ionique. L'ensemble des résultats seront intégrés afin de tester s'il existe une relation entre la composition chimique et isotopique des chondres et si ces éventuelles relations peuvent nous renseigner sur la nature relique ou non d'une olivine.

***Caractérisation isotopique de la matière organique nébulaire synthétique  
par microsonde ionique.***

Encadrants B. Marty, J. Villeneuve, D. Beckaert, E. Deloule

Les processus de formation du système solaire sont encore mal connus. Certains éléments légers tels que H, C, N, O présentent des variations isotopiques significatives, voire très importantes, dont les causes pourraient être liées à des processus d'ionisation dans la nébuleuse protosolaire. Nous investiguons l'origine de ces variations par des expériences de laboratoire. Dans le cadre de l'ERC Photonis, de la matière organique (MO) sera synthétisée expérimentalement en reproduisant les conditions de la nébuleuse protosolaire.

Pour pouvoir décrire correctement le mode de formation de cette MO, il est indispensable de pouvoir mesurer précisément sa composition chimique et la composition isotopique de ses composants majeurs (C, H, O, N).

De part sa très grande sensibilité, la microsonde ionique est un instrument bien adapté pour la mesure isotopique d'échantillons en quantité limitée, avec une bonne résolution spatiale. Ce sujet de master a donc pour but de développer la mesure isotopique des éléments C, H, O, N dans ces matières organiques (MOs). Le laboratoire a déjà une bonne expérience de la mesure de ces éléments dans différents types de matrice (silicate, carbonate, MO). Le travail consistera à:

- définir un ensemble de MOs de référence, avec des compositions proches de celles des échantillons de synthèse,
- établir des protocoles d'analyse pour la mesure isotopique de C, H, O et N adaptés à ces échantillons.
- Définir des courbes de calibration pour ces éléments et mesurer des échantillons produits expérimentalement au CRPG.

A la fin de ce projet, nous devrions donc disposer d'une part de protocoles analytiques établis pour plusieurs éléments de la MO, et d'autre part des premières cartographies isotopiques par microsondes ioniques de MOs produites expérimentalement, à comparer aux compositions déjà décrites dans les échantillons de météorites.