



ED 398 Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée universitaire 2020-2021

1. Modalités d'encadrement

Unité(s) de recherche au sein de laquelle le doctorat est réalisé : **[Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, IMPMC, UMR7590 Sorbonne Université-CNRS-MNHN, Case Courrier 115, 4 place Jussieu, 75005 Paris]**

Directeur de l'unité : **[Fiquet Guillaume, DR CNRS]**

Directeur(s)* de thèse (HDR ou équivalent) : **[Beyssac Olivier, DR CNRS]**

Co-directeur* de thèse (HDR ou équivalent) : **[Zanda Brigitte, MDF HDR MNHN]**

Co-encadrant (non HDR) : **[nom, prénom, fonctions, unité de rattachement]**

Responsabilités spécifiques de chaque encadrant :

Olivier Beyssac sera en charge des aspects minéralogiques de la thèse avec en particulier la formation du doctorant aux techniques de spectroscopie (Raman, luminescence, infrarouge) et de diffraction.

Brigitte Zanda sera responsable des aspects pétrologiques de la thèse avec en particulier la formation du doctorant à la caractérisation pétrologique des météorites martiennes avec les outils de microscopie.

Les deux encadrants seront impliqués dans l'interprétation et la discussion intégrée de l'ensemble des résultats. Ils seront responsables de la formation géochimique (par exemple LA-ICP-MS) et de l'utilisation d'autres techniques de caractérisation (par exemple FIB-Met pour travailler à l'échelle nanométrique) dans le cadre de la thèse. Pour ceci, ils s'appuieront sur des collaborations au sein de l'équipe ROCKS de l'IMPMC dont ils font partie (Roger Hewins, Violaine Sautter, Sylvain Bernard) ou extérieures au laboratoire (Munir Humayun de Florida State University pour la géochimie, l'UMET de Lille pour le MET).

*** Si un seul directeur de thèse est déclaré, il endosse 100% de la responsabilité de la thèse au regard de l'ED. Si 2 directeurs sont déclarés, ils partagent cette responsabilité à 50%. Le taux de responsabilité maximal est fixé à 300%. Les co-encadrants n'entrent pas dans le décompte, quel que soit leur rôle effectif**

2. Titre : **Croûte ancienne de Mars: étude pétrologique et géochimique de la météorite Black Beauty**

3. Adresse courriel du contact scientifique : olivier.beyssac@upmc.fr

4. Description du projet de thèse [champ libre 1 page max].

La géologie Martienne a connu récemment une véritable révolution avec la découverte d'une croûte primitive différenciée sur la base d'observations minéralogiques orbitales et *in situ* par le rover MSL Curiosity (Sautter et al. Nature Geoscience 2015), de reconstitutions géologiques à grande échelle (Bouley et al. Nature Geoscience 2020), mais aussi par la découverte exceptionnelle d'une météorite représentant une brèche du régolithe de Mars et appelée *Black Beauty* (Humayun et al. Nature 2013). Au sein d'une matrice complexe finement cristallisée, *Black Beauty* (aussi connue comme NWA7533 et NWA7034) présente des clastes ayant des lithologies très diverses montrant l'existence de magmas variés jusqu'à des composants très différenciés dont une grande partie est datée à plus de 4 milliards d'années (Hewins et al. MAPS 2017), époque à laquelle Mars ressemblait à la Terre d'alors avec de l'eau à sa surface et peut-être l'initiation de la vie. En l'absence d'évidence de tectonique des plaques sur cette planète, les processus géodynamiques à l'œuvre derrière cette différenciation géochimique demeurent inconnus !

Cette thèse visera à réaliser une étude détaillée minéralogique, pétrologique et géochimique de *Black Beauty* afin de mieux comprendre les processus de formation et d'évolution de la croûte primitive martienne. L'équipe ROCKS, notamment Brigitte Zanda, est impliquée depuis le début dans la saga *Black Beauty* et a à sa disposition une belle collection d'échantillons et préparations de cette météorite. Certains d'entre eux ont été bien étudiés (Hewins et al. MAPS 2017) et constitueront une solide base de référence, mais l'acquisition récente de nouveaux échantillons ouvre la perspective à de nouvelles découvertes en termes de diversité pétrologique et géochimique des clastes en raison de l'hétérogénéité intrinsèque de cette brèche. Ainsi, une nouvelle base de données des éléments majeurs, et si nécessaire de certains éléments traces, sera réalisée afin de documenter la différenciation chimique des clastes, notamment les clastes les plus différenciés, rares mais présents dans nos échantillons. L'étude pétrologique détaillée concernera les différents minéraux, en particulier les phases accessoires qui sont d'excellents traceurs des processus géochimiques (zircons, phosphates, sulfures). Ces phases seront étudiées par spectroscopies Raman et de luminescence, microscopies électroniques, microsondes et LA-ICP-MS pour caractériser leur structure et leur composition en majeurs, traces et volatile. Ces techniques à haute-résolution spatiale permettront de cartographier *in situ* de possibles zonations. Dans le cas des zircons, différentes générations seront recherchées et une attention particulière sera prêtée à leur degré de métamictisation par spectroscopie Raman. Par comparaison avec des zircons terrestres, y compris les plus anciens (hadéens, disponibles dans nos collections), des informations précieuses seront cherchées sur l'histoire thermique et l'altération (au sein du magma ou par des fluides hydrothermaux) de ces minéraux et des roches les contenant. Dans le cas des phosphates et des zircons, l'étude détaillée de la structure et de la luminescence, y compris la distribution spatiale par cartographie hyperspectrale, permettront de chercher des générations multiples avec des répercussions espérées sur notre compréhension de la composition des magmas et leur teneur en volatile. En combinant la microscopie (MEB, FIB-MET si nécessaire), l'analyse chimique à haute-résolution (MEB/MET-EDX, microsonde électronique) avec la spectroscopie Raman et de luminescence (y compris la cartographie), une exploration des phases microcristallines présentes dans la matrice et des clastes de petite dimension de la brèche sera conduite. La comparaison de la matrice avec les clastes majeurs pourrait apporter des informations pertinentes sur les chocs, l'altération *in situ* sur Mars ou tardive ou bien les interactions fluide-roche subis par *Black Beauty* tout au long de son histoire extraordinairement complexe.

Enfin, *Black Beauty* est notre unique morceau de régolithe martien disponible dans nos laboratoires et à ce titre doit nous servir à préparer les futures missions martiennes. Trois spectromètres Raman partiront vers Mars en 2020/2022 à bord des rovers Rosalind Franklin de la mission ExoMars de l'ESA et Perseverance de la mission Mars2020 de la NASA. Nous proposons de réaliser une base de données de spectres Raman et de luminescence pour chaque phase minérale décrite dans *Black Beauty* qui servira de référence pour ces instruments. En particulier, nous disposons au laboratoire d'un instrument analogue à SuperCam qui effectue de la spectroscopie Raman résolue en temps ouvrant de nouvelles possibilités pour la caractérisation des minéraux, en particulier la possibilité de réaliser des spectres irréaliables en Raman conventionnel pour certaines phases.

5. Compétences et connaissances requises [champ libre 1/2 page max.]

Le ou la candidate devra avoir un goût avancé pour la planétologie, en particulier une bonne connaissance globale de la pétrologie et de la géochimie des planètes telluriques. Il devra aussi avoir des bases solides en physique et en chimie afin de bien comprendre les techniques de caractérisation qu'il utilisera et les données ainsi générées, mais aussi pour les mettre en œuvre dans l'interprétation de ses résultats.

Il/elle devra avoir un goût prononcé pour la pétrologie y compris pour l'observation fine des microtextures au microscope optique et électronique. Il/elle devra avoir une forte appétence pour le travail de laboratoire et l'analyse : préparation d'échantillons rares et précieux, utilisation d'outils sophistiqués de caractérisation ... Il/elle devra être rigoureux et prêt à s'immerger dans un sujet multidisciplinaire allant de la planétologie à la pétrologie en passant par la physico-chimie des matériaux.

Enfin, l'ensemble des processus de traitement des données et la modélisation se faisant dans un environnement numérique, une formation en langage informatique (MATLAB ou Python) est un plus important.

Le ou la candidate devra avoir un bon niveau en anglais.

6. Conditions matérielles de réalisation du projet de recherche

Financement spécifiques obtenus pour le projet : **[Oui]**, si oui lesquels ? **[Des financements internes y compris de l'ANR ont permis l'acquisition récente de nouveaux échantillons de Black Beauty qui seront étudiés dans le cadre de cette thèse. De plus l'accès aux différentes techniques analytiques disponibles à l'IMPMC ou via des collaborations en place est totalement sécurisé.]**

Financement des missions nécessaires pour la réalisation du projet : **[Oui]**, si oui lesquels et pour quelles missions ? **[Les missions du doctorant pour participer à des congrès et/ou des écoles seront prises en charge par les financements internes de l'équipe ROCKS. Des financements complémentaires seront demandés à l'INSU si nécessaire.]**

Accès à des bases de données spécifiques : **[Oui/Non]**, si oui lesquelles ? **[Champ libre]**

Accès à des ressources documentaires spécifiques : **[Oui/Non]**, si oui lesquelles ? **[Champ libre]**

Accès à des plateformes : **[Oui]**, si oui lesquels ? **[Laboratoire Raman ; plateforme de diffraction, spectroscopie et microscopie de l'IMPMC]**

Accès à des grands instruments : **[Oui/Non]**, si oui lesquels ? **[A voir si nécessaire]**

Autres : **[Champ libre]**

7. Précisions sur les objectifs de valorisation des travaux issus du projet de recherche : [champ libre]

Exemples : projet de brevet, types de revues/colloques envisagés/réalisés, actions de vulgarisation scientifique envisagés/réalisés, etc.

L'étudiant participera à des congrès internationaux comme la MetSoc, la Goldschmidt ou le LPSC en fonction des sessions proposées. De plus, il sera envoyé à des écoles si celles-ci s'avérait intéressantes/nécessaires à sa formation.

Nous espérons des publications dans des revues internationales (MAPS, Chemical Geology, EPSL, GCA ?) sur les sujets suivants :

- Etude des phases accessoires de Black Beauty, en particulier phosphates et zircons.
- Différenciation géochimique de la croûte martienne : évidences et processus.
- Base de données de spectroscopie Raman et de luminescence sur les phases minérales majeures et accessoires de Black Beauty.

Visa de la Direction de l'Unité

Guillaume FIQUET
IME Directeur



Commentaires éventuels : Cette thèse s'inscrit parfaitement dans les thématiques de recherche de l'unité. Avis très favorable