Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

**TITRE du SUJET : Compositions multi-isotopiques du fer et de l'oxygène pour le traçage de biosignatures dans les magnétites terrestres et martiennes**

Directeur : **BUSIGNY Vincent, fonction (MCF P7, HDR), busigny@ipgp.fr**

Equipe d'accueil : **IPGP- Equipe de Géochimie des isotopes stables – UMR7154**

Financement : **Contrat doctoral sans mission d'enseignement**

*Plus de renseignement voir : http://ed560.ipgp.fr, Rubrique : Offres_de_thèse*
*Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

Développement du Sujet (1 à 2 pages) :

L'identification de traces vie primitive dans l'enregistrement géologique Archéen est compliquée par leur rareté, l'histoire post-dépôt des roches sédimentaires, et le fait que les premiers organismes vivants étaient microscopiques (Archées et Bactéries) et n'ont pas laissé de traces fossiles évidentes. Les biominéraux, associés à des résidus de matières organiques, représentent probablement les meilleures évidences d'activité microbienne ancienne. La magnétite ($Fe_3O_4$) est un minéral présent dans les vieilles roches terrestres et extra-terrestres, et peut être formée par des processus abiotiques mais également par des processus biologiques impliquant différents groupes de microorganismes. Parmi ces derniers, les bactéries magnétotactiques (MTB) produisent des cristaux de nano-magnétites intracellulaires, dont la précipitation est contrôlée génétiquement. Bien que ces magnétites puissent figurer parmi les plus anciennes traces de biominéralisation sur Terre, elles n'ont jamais été étudiées dans des roches Archéennes. Dans ce projet de thèse, nous proposons d'utiliser de nouveaux traceurs chimiques (éléments traces) et isotopiques (Fe et O) développés lors de cultures en laboratoire (Amor et al., 2015, 2016, 2018) pour identifier des magnétofossiles (fossiles de MTB) dans des roches sédimentaires anciennes terrestres et extraterrestres.

Trois types d'échantillons seront analysés pendant la thèse :

(1) Le premier sera une séquence de sédiments pélagiques déposés dans l'océan Indien lors du MECO (Middle Eocene Climatic Optimum ; âge ~40Ma) et qui contient des magnétofossiles inclus dans une matrice essentiellement carbonatée. Cette séquence relativement récente et déjà bien contrainte par des données magnétiques servira de base pour développer des techniques d'analyses et tester notre capacité à identifier des magnétofossiles par des critères géochimiques.

(2) Le second type d'échantillon sera une séquence carbonatée de la formation de Tumbiana, déposée en Australie il y a 2.7 Ga. Dans cette séquence, les stromatolites du Meenthena Carbonate Member contiennent des grains de magnétites, considérés comme d'éventuels magnétofossiles

d'après de simples critères de forme et de taille (e.g. Kopp et Kirschvink, 2008). Il s'agira ici d'appliquer les méthodes géochimiques développées lors de la tâche 1.

(3) La troisième cible étudiée sera la météorite Martienne ALH84001, dans laquelle des magnétites ont été interprétées comme dérivant de bactéries magnétotactiques (McKay et al., 1996 ; Thomas-Keptra et al., 2000). Cette hypothèse a été très débattue dans la littérature mais aucune étude n'a menée à une conclusion ferme sur la question (*e.g.* Jimenez-Lopez et al., 2012). Une étude géochimique détaillée devrait permettre d'apporter des contraintes fortes sur l'origine biologique ou abiotique des magnétites. En particulier, l'analyse conjointe des associations de sidérite et magnétite de cette météorite nous permettrait de nous affranchir de l'incertitude sur la composition du fluide ayant précipité ces minéraux et de tester la biogénicité de la magnétite.

**Objectifs de la thèse**

Les objectifs de cette thèse seront de développer une technique d'analyse novatrice des isotopes du fer et de l'oxygène de magnétites contenues dans une matrice rocheuse. Une technique d'extraction séquentielle, éventuellement couplée à une séparation magnétique, sera mise en place. Les analyses isotopiques seront effectuées à l'IPGP par MC-ICPMS pour le fer et IRMS pour l'oxygène. Des analyses *in situ* par nano-SIMS pourront être menées en complément à l'Université de Lauzane, en collaboration avec Johanna Marin-Carbone. Les trois cibles géologiques choisies (Phanérozoïque, Archéen et Martien) ont en commun leur minéralogie simple constituée principalement de magnétites dans une matrice carbonatée. La technique développée pour les magnétofossiles du Phanérozoïque pourra être directement appliquée aux échantillons Archéens et Martiens.

Ce projet bénéficiera d'un soutien financier issu de l'ANR *SIGMAG* (2018-2022) et l'Institut Universitaire de France (2017-2022) pour les analyses, les missions et les conférences associées.

**References**

Amor M., Busigny V., Durand-Dubief M., Tharaud M., Ona-Nguema G., Gélabert A., Alphandéry E., Menguy N., Benedetti M., Chebbi I., Guyot F. (2015) A chemical signature of magnetotactic bacteria. Proceeding of the National Academy of Science 112, 1699-1703.

Amor M., Busigny V., Louvat P., Gélabert A., Cartigny C., Durand-Dubief M., Ona-Nguema G., Alphandéry E., Chebbi I., Guyot F. (2016) Mass-dependent and -independent signature of Fe isotopes in magnetotactic bacteria. Science 352, 705-708.

Amor M., Busigny V., Louvat P., Tharaud M., Gélabert A., Cartigny P., Carlut J., Isambert A., Durand-Dubief M., Ona-Nguema G., Alphandery E., Chebbi I., Guyot F. (2018) Iron uptake and magnetite biomineralization in the magnetotactic bacterium Magnetospirillum magneticum strain AMB-1: An iron isotope study. Geochimica et Cosmochimica Acta 232, 225-243.

Jimenez-Lopez C., Rodriguez-Navarro C., Rodriguez-Navarro A., Perez-Gonzalez T., Bazylinski D.A., Lauer H.V., Romanek C.S. (2012) Signatures in magnetites formed by (Ca,Mg,Fe)$CO_3$ thermal decomposition: Terrestrial and extraterrestrial implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 87, 69-80.

Kopp R. E., Kirschvink J. L. (2008) The identification and biogeochemical interpretation of fossil magnetotactic bacteria. *Earth Science Reviews* 86, 42-61.

McKay D. S., Gibson J. E. K., Thomas-Keprta K. L., Vali H., Romanek C. S., Clemett S. J., Chiller X. D. F., Maechling C. R. and Zare R. N. (1996) Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001. *Science* 273, 924–930.

Thomas-Keprta K.L., Bazylinski D.A., Kirschvink J.L., Clemett S.J., McKay D.S., Wentworth S.J., Vali H., Gibson Jr. E.K., Romanek C.S. (2000) Elongated prismatic magnetite crystals in ALH84001 carbonate globules: potential Martian magnetofossils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 4049-4081.