

Offre de thèse (3 ans) – Développement de l'extraction par fluide supercritique de la matière organique extraterrestre : météorites et analogues martiens

Contexte scientifique

L'analyse et l'identification de la matière organique sur d'autres objets du système solaire est l'un des objectifs principaux en exobiologie. De nombreux corps extraterrestres étudiés lors de missions ou d'observations par télescope ces dernières décennies ont révélé la présence de molécules organiques variées sur certains d'entre eux. Cependant, lors de l'analyse d'échantillons solides *in-situ*, l'extraction de la matière organique provenant de ces environnements extraterrestres constitue souvent le véritable verrou analytique. En effet, cette matière est parfois liée à une matrice minérale et en faible quantité, ce qui rend difficile son extraction, et par conséquent, sa détection et sa caractérisation.

Actuellement, l'extraction en laboratoire de la matière organique en provenance d'échantillons contenant de la matière organique (dont des échantillons extraterrestres tels que les météorites) s'effectue grâce à des protocoles d'extraction liquide-solide (et purification) plus ou moins longs et complexes. L'extraction par fluide supercritique (SFE) est une technique utilisée qui s'est fortement développée ces 10 dernières années. Les rendements obtenus sont proches voire meilleurs que ceux des techniques usuelles tout en limitant le risque de contamination et facilitant la manipulation. Les contaminations sont une des plus grandes problématiques actuelles de l'étude des échantillons extraterrestres. Par conséquent, cette technique semble particulièrement adaptée comme première étape d'étude de ces échantillons. Si la SFE est couramment utilisée dans certains domaines tels l'environnement, elle a en revanche été très peu utilisée dans le domaine du spatial^{1,2}. Chaque type d'échantillon a besoin d'une optimisation de nombreux paramètres (pression, température, cosolvants...). Cette optimisation peut s'effectuer grâce à l'utilisation de plans d'expérience³ et grâce à des tests sur des analogues et échantillons extraterrestres. Le projet SFERE vise tout d'abord à développer l'extraction par SFE de la matière organique extraterrestre pour le retour d'échantillon extraterrestre. Pour cela une première étape sera de montrer l'efficacité de cette technique sur des échantillons extraterrestres déjà collectés sur Terre et présentant une concentration en matière organique suffisante pour extraction : les météorites chondrites carbonnées⁴. Dans un second temps, l'extraction d'analogues de sol martien sera intéressante dans la perspective du retour d'échantillon de la mission MSR.

Sujet

Cette thèse est financée par une ANR JCJC dans le cadre du projet SFERE. L'étudiant.e recruté.e aura pour mission d'aider au développement de l'extraction de la matière organique extraterrestre par fluide supercritique (SFE) des chondrites carbonnées et d'analogues martiens.

Le travail de cette thèse se déroulera en deux phases. Tout d'abord l'optimisation de l'extraction par SFE de la matière organique de chondrites carbonnées sera menée. Ce travail nécessitera, en amont du travail de laboratoire, la création d'un plan d'expérience adapté par un.e post-doctorant.e qui travaillera en collaboration avec le.a doctorant.e, en s'inspirant du travail effectué par Devière et al. 2018³. Ce plan d'expérience permettra de réduire le nombre d'expériences à effectuer pour l'optimisation des nombreux paramètres de la SFE. La première étape menée par le.a doctorant.e sera par conséquent de choisir un analogue météoritique adapté. Puis les expérimentations seront effectuées sur la SFE nouvellement acquise du laboratoire et les extraits analysés au LISA par GC-MS. Par la suite, un traitement des données sera nécessaire afin de trouver les paramètres optimaux à l'extraction des chondrites carbonnées. Afin de valider nos paramètres, les taux d'extraction seront comparés aux techniques usuelles : Soxhlet, ASE et sonification. Finalement, la dernière étape sera d'extraire des échantillons de météorites présents dans les collections du

LISA : Murchison, Aguas Zarcas et Mukundpura. Une attention particulière sera portée à l'apparition éventuelle de sous-produits lors de l'ensemble des étapes.

La seconde phase de la thèse se focalisera sur l'extraction d'analogues de sol martien. Pour cela les mêmes étapes que pour la première phase seront développées avec une plus grande autonomie de la part de l'étudiant.e retenu.e. Cette phase est particulièrement importante puisque des échantillons devraient être ramenés de la planète rouge dans les années 30/40 et l'extraction par SFE pourrait devenir la solution préférentielle si l'optimisation se montre satisfaisante. L'étudiant.e sera aussi amené.e à faire les premiers essais de couplage SFE- SFC (chromatographie en fluide super critique) – MS sur ce type d'échantillons avec une attention au choix des colonnes afin d'étudier la chiralité des espèces présentes.

Le.a doctorant.e pourra participer au RED, école de la Société Française d'Exobiologie afin de se former de façon plus large à ce domaine interdisciplinaire. De plus, les résultats devront être présentés lors de congrès nationaux et internationaux et feront l'objet d'articles en anglais.

Profil recherché

- Bac+5 ou équivalent en chimie, de préférence chimie analytique
- Expérience préalable en l'une ou plusieurs techniques d'extraction
- Expérience en analyse par GC-MS
- Forte motivation et capacités de travail en équipe
- Une bonne maîtrise de l'anglais écrit et oral

Autres expériences :

- Connaissance des plans d'expérience
- Expérience en extraction supercritique
- Intérêt pour la diffusion grand public et la médiation
- Intérêt pour le spatial

Laboratoire d'accueil

Vous serez accueilli au 1^{er} octobre 2024 au sein de l'équipe « astrochimie et exobiologie » du Laboratoire InterUniversitaire des Systèmes Atmosphérique. Le LISA a une forte expertise dans le développement d'instrumentation spatiale reconnue au niveau international et participe à de nombreuses missions spatiales (Curiosity, ExoMars, Rosetta,...).

L'instrument SFE-SFC-MS sera réceptionné au premier semestre de l'année universitaire 2024-25 dans les nouveaux laboratoires au sein de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université Paris-Est Créteil, campus centre. Le laboratoire est facilement accessible en métro (ligne 8) et RER (ligne D).

Contacts

Merci de contacter les encadrants avant le 16 juin pour obtenir toute information supplémentaire et postuler avec un CV (y mettre 2 référents), une lettre de motivation et une lettre de référence.

Clara Azémard (clara.azemard@lisa.ipsl.fr) - Fabien Stalport (fabien.stalport@lisa.ipsl.fr) – Hervé Cottin (herve.cottin@lisa.ipsl.fr)

Bibliographie

1. Abrahamsson, V., Henderson, B. L., Zhong, F., Lin, Y. & Kanik, I. Online supercritical fluid extraction and chromatography of biomarkers analysis in aqueous samples for in situ planetary applications. *Anal. Bioanal. Chem.* **411**, 8091–8101 (2019).
2. Menlyadiev, M., Henderson, B. L., Zhong, F., Lin, Y. & Kanik, I. Extraction of amino acids using supercritical carbon dioxide for in situ astrobiological applications. *Int. J. Astrobiol.* **18**, 102–111 (2019).
3. Devière, T. *et al.* Supercritical Fluids for Higher Extraction Yields of Lipids from Archeological Ceramics. *Anal. Chem.* **90**, 2420–2424 (2018).
4. Sephton, M. A. Organic compounds in carbonaceous meteorites. *Nat. Prod. Rep.* **19**, 292–311 (2002).