

UPE

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2018 – ED SIE N° 531

Merci de tout renseigner ce qui est demandé

Date limite de candidature : 30 Septembre 2018

Directeur de thèse (impérativement HDR) : Hervé Cottin

Co encadrement : Noel Grand

Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant :

Encadrement au LISA et au sein du Centre Spatial Universitaire de l'UPEC. L'étudiant.e intégrera l'équipe projet IR COASTER. Des points d'avancement seront régulièrement effectués avec le directeur de thèse, et au sein de l'équipe.

Titre en français : Photochimie et évolution de molécules organiques complexes dans le système solaire. Vers de nouvelles plates-formes d'exposition dans les environnements extraterrestres.

Titre en anglais : Photochemistry and evolution of complex organic matter in the Solar System.
Towards new exposure platforms in space environments.

Mots clés en français (2 minimum et jusqu'à 6) : Exobiologie, Astrochimie, Photochimie, Cubesat

Mots clés en anglais (2 minimum et jusqu'à 6) : Astrobiology, Astrochemistry, Photochemistry, Cubesat

Présentation détaillée du projet doctoral en français :

Le projet de thèse que nous proposons s'articulera autour trois axes. L'un sera traité au cours des premiers mois de la thèse, et les deux suivants seront menés en parallèle sur 2.5 ans avec environ 50% du temps pour chacun de ces deux axes. :

- 1) Le premier « chantier » de thèse consistera à finaliser l'interprétation des données de l'expérience PSS (Photochemistry on the Space Station), qui s'est déroulée sur la plate-forme européenne EXPOSE à l'extérieur de la Station Spatiale Internationale (2014-2016). Au début de la thèse, toutes les mesures sur les échantillons gérés par le LISA auront été exécutées (spectroscopie IR, UV, VUV, chromatographie en phase gazeuse...). Il restera toutefois du travail concernant la modélisation du transfert radiatif dans les échantillons pour modéliser correctement la cinétique d'évolution des échantillons en utilisant les outils déjà disponibles au LISA et développés dans le cadre de la thèse de Kafila Saiagh (2011-2014). Il s'agira d'un travail d'exploitation des données, qui constituera une bonne entrée en matière dans le domaine pour le début de thèse (6 mois)
- 2) Un deuxième axe du projet, qui débutera après la finalisation du premier, sera un travail en laboratoire, avec le dispositif SEMAPHORE Cométaire du LISA (lampe VUV simulant la photolyse par le rayonnement solaire jusqu'à 115 nm, comme dans le milieu interplanétaire) et le dispositif MOMIE (lampe UV simulant la photolyse par le rayonnement jusqu'à 190 nm, comme à la surface Mars), pour suivre l'évolution de matériau macromoléculaire organique analogue à celui qui a été récemment observé dans les particules de la comète 67P

par la sonde Rosetta. Nous considérerons la situation où ce matériau est éjecté sur des particules cométaires et soumis au rayonnement VUV du Soleil (SEMAPHORE Cométaire), et le cas où ces particules sont tombées à la surface de Mars et photolysées au travers du filtre atmosphérique Martien (MOMIE). Cette phase organique macromoléculaire détectée par Rosetta semble être l'une des formes majoritaires sous laquelle le carbone est stocké dans les comètes. C'est donc sous cette forme que le carbone est transporté et transféré vers les surfaces planétaires, dont Mars. Le doctorant travaillera sur des échantillons d'IOM fournis par des laboratoires partenaires comme l'IPAG (E. Quirico, François Régis Orthous D'Aunay), et le Muséum National d'Histoires Naturelle (Laurent Rémusat), mais aussi des analogues de laboratoire synthétisés à partir du dispositif OREGOC du LISA (production de matériau organique réfractaire à partir de la photolyse d'analogues de glaces cométaires).

- 3) En parallèle à ce travail expérimental, l'étudiant participera au développement d'un instrument spatial dédié à des expériences d'irradiations de molécules organiques en phase solide, similaires à celles étudiées en laboratoire, avec une instrumentation embarquée pour analyse in situ des échantillons **par spectrométrie infrarouge**. Cet instrument pourrait constituer une « nano-charge utile », qui pourrait être installée sur un nano-satellite type CubeSat en orbite polaire (ce type d'orbite plaçant l'instrument hors du champ magnétique terrestre pendant une fraction notable du temps). Il s'agit là de la première étape d'un projet plus ambitieux de station d'exposition en orbite appelé VITRINE, qui est en phase 0 au CNES. VITRINE combinerait d'une part l'analyse in-situ embarquée dans le domaine infrarouge (IR-COASTER projet porté par le LISA et sur lequel le doctorant travaillera) et la possibilité de préparer des échantillons glacés analogues de glaces cométaires et interstellaires, projet porté par le PIIM à Marseille). Concrètement, le doctorant travaillera avec le département technique du LISA pour tester un prototype de laboratoire de l'instrument, avec les mêmes échantillons qu'il utilisera pour la partie d'étude fondamentale décrite ci-dessus.

Le travail de thèse sera co-encadré par Hervé Cottin (PR UPEC) et Noël Grand (IR CNRS).

Présentation détaillée du projet doctoral en anglais :

The thesis project that we propose will be articulated around three axes. One will be addressed during the first months of the thesis, and the next two will be conducted in parallel over 2.5 years with about 50% of the time for each of these two axes. :

- 1) The first thesis "project" will consist in finalizing the interpretation of the PSS (Photochemistry on the Space Station) experiment, which took place on the European EXPOSE platform outside the Space Station. International (2014-2016). At the beginning of the thesis, all the measurements on the samples managed by LISA will have been performed (IR spectroscopy, UV, VUV, gas chromatography ...). However, there is still work to be done on the modeling of radiative transfer in samples to properly model the evolution kinetics of the samples using the tools already available at LISA and developed as part of Kafila Saiagh's thesis (2011-2014). It will be a work of exploitation of the data, which will constitute a good entry in matter in the field for the beginning of thesis (6 months)
- 2) A second axis of the project, which will begin after the finalization of the first, will be a laboratory work, with the LISA SEMAPHORE Cométaire device (VUV lamp simulating photolysis by solar radiation up to 115 nm, as in the interplanetary medium) and the MOMIE device (UV lamp simulating radiation photolysis up to 190 nm, as at the Mars surface), to follow the evolution of organic macromolecular material similar to that recently observed in particles of the comet 67P by the Rosetta probe. We will consider the situation where this material is ejected on cometary particles and subjected to the VUV radiation of the Sun (SEMAPHORE Cometary), and the case where these particles fell on the surface of Mars and photolyzed through the Martian atmospheric filter (MOMIE). This macromolecular organic phase detected by Rosetta appears to be one of the major forms under which carbon is stored in comets. It is in this form that carbon is transported and transferred to planetary surfaces, including Mars. The PhD student will work on IOM samples provided by partner laboratories such as IPAG (E. Quirico, François Régis Orthous D'Aunay), and the National Museum of Natural Histories (Laurent Remusat), but also laboratory analogues synthesized from the OREGOC device of LISA (production of refractory organic material from the photolysis of cometary ice

analogues).

3) In parallel with this experimental work, the student will participate in the development of a space instrument dedicated to solid-phase organic molecule irradiation experiments, similar to those studied in the laboratory, with on-board instrumentation for in situ analysis of samples by infrared spectrometry. This instrument could constitute a "nano-payload", which could be installed on a nano-satellite type CubeSat in polar orbit (this type of orbit placing the instrument out of the Earth's magnetic field for a significant fraction of the time). This is the first step in a more ambitious project called VITRINE, which is in phase 0 at CNES. VITRINE would combine on the one hand the in-situ embedded analysis in the infrared domain (IR-COASTER project carried by the LISA and on which the doctoral student will work) and the possibility of preparing ice-cream samples similar to cometary ice and interstellar, project carried by the PIIM in Marseille). In concrete terms, the PhD student will work with the LISA technical department to test a laboratory prototype of the instrument, with the same samples that he will use for the fundamental study part described above.

Contexte :

Le rayonnement ultraviolet solaire est le principal moteur de l'évolution chimique dans le système solaire. De nombreux programmes expérimentaux au sol sont consacrés à l'étude de la photochimie de molécules en phases gazeuses, solides ou encore de molécules volatiles condensées à très basse température. Néanmoins, de tels travaux sont considérablement enrichis et leur extrapolation aux environnements extraterrestres facilitée s'ils peuvent être confrontés à des expériences similaires menées dans l'espace, avec exposition au spectre solaire étendu, tout particulièrement dans le domaine des courtes longueurs d'onde, inférieures à 200 nm, difficilement reproductible en laboratoire. La compréhension de l'évolution chimique dans des environnements astrophysiques contenant de la matière organique (comètes, astéroïdes, météorites, Titan, milieu interstellaire) ou susceptibles d'en contenir (Mars) requiert de telles études.

Il existe à l'heure actuelle des dispositifs d'exposition en orbite terrestre : BIOPAN sur les capsules automatiques FOTON, et EXPOSE-E et -R sur la Station Spatiale Internationale (ISS). Elles permettent la photolyse d'une grande quantité d'échantillons simultanément et ont déjà été utilisées par le passé par des équipes françaises (le CBM-CNRS Orléans et le LISA-CNRS/UPEC/UPD principalement). Ces outils présentent toutefois des limitations qui restreignent significativement leur champ d'application :

- 1) Il n'est pas possible de suivre cinétiquement l'évolution de l'échantillon au cours de l'exposition, seuls deux points de données sont disponibles : la composition de l'échantillon avant le lancement, et la composition après le retour,
- 2) Les dispositifs actuels sont placés en orbite basse (<500km), à un niveau où la majeure partie des particules solaires et cosmiques ont déjà été filtrées par le champ magnétique terrestre.
- 3) Il est à l'heure actuelle impossible d'effectuer des expériences d'exposition sur des échantillons maintenus à basse température (glaces simples ou mélanges entre ~10 et 77 K). Ce type d'expériences est pourtant très répandu en laboratoire pour mieux comprendre la chimie des glaces interstellaires et cométaires, et celle des surfaces des satellites glacés des planètes géantes.

Le développement en cours d'IR-COASTER permettra de répondre aux limitations 1) et 2) citées ci-dessus.

Méthode :

Traitement des données : étude de spectre, cinétique chimique, transfert radiatif

Photochimie expérimentale : dispositifs existants au LISA

IR-COASTER : tests de fonctionnements du dispositif, et suivi des étapes d'intégration

Résultats attendus :

Finalisation du traitement des données de l'expérience PSS
Etude de l'évolution d'échantillons d'IOM soumis à une photolyse UV
Développement de la nanocharge utile IR-COASTER

Références bibliographiques :

- Cottin, H., Kotler, J.M., Billi, D., Cockell, C., Demets, R., Ehrenfreund, P., Elsaesser, A., d'Hendecourt, L., van Loon, J.J.W.A., Martins, Z., Onofri, S., Quinn, R.C., Rabbow, E., Rettberg, P., Ricco, A.J., Slenzka, K., de la Torre, R., de Vera, J.-P., Westall, F., Carrasco, N., Fresneau, A., Kawaguchi, Y., Kebukawa, Y., Nguyen, D., Poch, O., Saiagh, K., Stalport, F., Yamagishi, A., Yano, H. and Klamm, B.A. (2017) Space as a Tool for Astrobiology: Review and Recommendations for Experimentations in Earth Orbit and Beyond. Space Science Reviews 209, 83-181.
- Cottin, H., Noblet, A., Guan, Y.Y., Poch, O., Saiagh, K., Cloix, M., Macari, F., Jérôme, M., Coll, P., Raulin, F., Stalport, F., Szopa, C., Bertrand, M., Chabin, A., Westall, F., Chaput, D., Demets, R. and Brack, A. (2012) The PROCESS experiment: an astrochemistry laboratory for solid and gaseous organic samples in low Earth orbit. Astrobiology 12, 412-425.
- Cottin, H., Saiagh, K., Nguyen, D., Grand, N., Bénilan, Y., Cloix, M., Coll, P., Gazeau, M.-C., Fray, N., Khalaf, D., Raulin, F., Stalport, F., Carrasco, N., Szopa, C., Chaput, D., Bertrand, M., Westall, F., Mattioda, A., Quinn, R., Ricco, A., Santos, O., Baratta, G., Strazzulla, G., Palumbo, M.E., Postollec, A.L., Dobrijevic, M., Coussot, G., Vigier, F., Vandenabeele-Trambouze, O., Incerti, S. and Berger, T. (2015) Photochemical studies in low Earth orbit for organic compounds related to small bodies, Titan and Mars. Current and future facilities. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège 84, 60-73.

Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du projet de recherche : Les travaux de thèse proposés ne nécessitent pas de conditions de sécurité spécifique et seront financés sur les crédits IR-COASTER du CNES alloués au LISA

Ouverture Internationale éventuelle : OUI, Brésil, ESA

Collaborations envisagées éventuelles : OUI, CNES, Air Liquide, LATMOS

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,.... :

Les travaux de thèse devront aboutir à la publication de plusieurs articles scientifiques à comité de lecture et le doctorant présentera sous la forme de présentations orales ou de posters ces résultats dans des congrès nationaux et internationaux

Caractère confidentiel des travaux :

NON

Financement du projet doctoral : Demande en cours auprès du CAPES & CNPq (Brésil)
(Type de financement prévu, sollicité ou acquis (si cotutelle le préciser)) : Réponse fin Mai

Profil et compétences recherchées en français : Chimie, expérience dans l'instrumentation spatiale

Profil et compétences recherchées en anglais : Chemistry, work in space instrumentation

Avez-vous un candidat et souhaitez-vous lui réserver ce projet ?

OUI

Si OUI souhaitez-vous mettre son adresse mail ? : OUI (mafecerini@gmail.com)

(NB : En indiquant le mail de votre candidat, vous attribuez ce sujet exclusivement à la personne qui s'identifiera avec ce mail. Il ne pourra candidater sur ce sujet qu'après la mise en ligne du sujet par l'école doctorale. Le sujet sera visible sur internet dans la liste des sujets de l'école doctorale, mais il n'y aura pas de bouton candidater. Votre candidat devra se créer un compte (lien en haut de la liste des sujets) pour

candidater sur le sujet.)