

Développement d'une source d'ionisation pour l'exploration des milieux planétaires faiblement denses par spectrométrie de masse et d'énergie

F. Leblanc & J.J. Berthelier

LATMOS, UVSQ

Le 10/04/2014

Un co-financement (1/2 bourse) sur ce sujet de thèse a été demandé au CNES en septembre 2013 et a été pré-selectionné par le CNES en décembre 2013. La deuxième partie du financement demandé a été récemment obtenu (LABEX ESEP).

Les candidats intéressés doivent soumettre un dossier de candidature en toute urgence au CNES pour obtenir définitivement la demi-bourse CNES.

1. Sujet de thèse

Titre : Développement d'une source d'ionisation pour l'exploration des milieux planétaires faiblement denses par spectrométrie de masse et d'énergie

Résumé : Le LATMOS travaille depuis plusieurs années sur un projet de spectromètre neutre et ion de masse et énergie dédié à la mesure des environnements faiblement denses (les exosphères planétaires). Ce spectromètre de masse et énergie associe une optique électrostatique originale à une source d'ionisation basée sur des techniques d'ionisation innovantes.

L'optique électrostatique du spectromètre de masse a été étudiée lors d'une R&T financée par le CNES (RS09/SU-0003-040, « Spectromètre de masse neutre (HNA) ou NIMEIS (Neural and Ion Mass and Energy Imaging Spectrometer) ») qui s'est terminée au début 2013. Un modèle numérique et un prototype complet de cet instrument ont été réalisés et sont en cours d'amélioration et de tests. Les performances de NIMEIS en matière de résolution en masse et d'énergie devraient être conformes à nos attentes et nous permettre de fournir un diagnostic original sur les exosphères planétaires. Ces résultats ont été notamment réalisés dans le cadre de la thèse de Joël Becker (soutenue en septembre 2013). J. Becker poursuit ce travail dans le cadre d'un contrat post-doctorant d'un an jusqu'en septembre 2014.

La source d'ionisation d'un spectromètre de masse neutre dédiée à des environnements faiblement denses (densité inférieure à 10^{10} particules/cm³, $\sim 10^{-7}$ mbar) se doit d'être très efficace afin de permettre une ionisation optimale. La technique la plus classique en exploration spatiale est basée sur un filament chauffée qui éjecte des électrons qui vont ioniser les particules neutres dans un volume prédéfini. Cette technique fortement consommatrice en puissance induit également le dégazage des parois autour du filament et génère donc une atmosphère résiduelle qui risque de parasiter la mesure. C'est pourquoi nous avons entrepris depuis 3 ans de développer une source d'ionisation utilisant des nano-tubes de carbone comme émetteurs d'électrons. Les nano-tubes de carbone permettent

l'émission d'électrons avec une bien meilleure efficacité (réduisant d'autant la puissance consommée) et surtout sans chauffage. Là aussi, un modèle numérique et des prototypes pour l'extraction ont été développés et sont en cours de tests dans le cadre de deux R&T CNES (R-S11/SU-0003-052 « Développement et test d'une source d'ionisation de grande luminosité et basse consommation » et « Développement et test d'une source d'ionisation utilisant des nano-tubes de carbone comme émetteurs » R-S13/SU-0003-052) dont la deuxième se terminera à la mi-2014. Un dispositif complet de la source d'ionisation devrait être finalisé d'ici mi 2014.

La dernière étape de ce travail est donc d'assembler ces deux éléments en chambre à vide. Ce travail devrait pouvoir commencer en 2014. Nous souhaiterions donc proposer un sujet de thèse qui aurait pour objectif de poursuivre la mise au point de cet assemblage, les tests et la modélisation. Cette thèse devrait donc nous permettre de finaliser l'étude de faisabilité de NIMEIS et de sa source d'ionisation.

2 Plan de recherche et calendrier

Cette thèse s'organisera en quatre jalons principaux :

- modélisation de l'interface entre source d'ionisation et NIMEIS. Il s'agira de coupler deux modèles SIMION de la source d'ionisation et de NIMEIS afin d'optimiser l'entrée des ions formés dans la source dans l'optique électrostatique de NIMEIS. Ce travail sera en partie réalisé en 2013-2014 mais devra être repris afin de bien comprendre les difficultés et enjeux d'une telle interface. Cette phase sera aussi l'occasion pour l'étudiant de se familiariser avec le contexte scientifique de cette thèse et le travail déjà réalisé. Durée approximative de cette phase 6 mois.
- définition, fabrication et tests de cette interface : il s'agira d'aider les ingénieurs mécaniques et électroniciens du LATMOS à définir les différents éléments et à les monter. Des tests seront alors réalisés sur l'ensemble NIMEIS-source d'ionisation afin de valider le modèle et l'interface. L'objectif de ce travail est d'avoir un modèle fonctionnel de l'ensemble. Durée approximative 4 mois.
- modélisation du fonctionnement de NIMEIS dans un environnement réaliste: ce travail a pour objectif de réaliser un modèle du fonctionnement de la source d'ionisation dans une atmosphère planétaire (par exemple la haute atmosphère martienne). Nous avons développé plusieurs outils numériques qui nous permettent de décrire précisément le flux de particules neutres susceptibles d'entrer dans la source. L'efficacité de la source d'ionisation dans ce cas de figure (en fonction de l'énergie de la particule entrante, des densités partielles...) doit être évaluée. Un modèle numérique devra donc être réalisé (probablement un modèle de type COMSOL ou fortran/C) qui nous permettra de connaître précisément notre capacité de mesure avec un tel dispositif et d'envisager des améliorations de la source d'ionisation. Durée approximative : 10 mois.
- tests de la source d'ionisation dans des conditions réalistes de fonctionnement : cette dernière partie aura pour objectif de réaliser des premiers étalonnages de NIMEIS avec sa source d'ionisation avec des gaz de différentes énergies. Le LATMOS ne disposant pas de moyens de tests pour cela, il existe cependant à Bern (Suisse) ou au South West Research Institute (San Antonio USA) une instrumentation susceptible d'être utilisable pour cela. Cette dernière partie consistera donc à préparer et à réaliser des tests de fonctionnement afin de valider nos choix et modèles. Durée approximative : 10 mois.

3 Directeur de thèse

Nom : Leblanc Prénom François
Qualité : Directeur de recherche
Adresse : LATMOS, UMR 8190, UPMC, 4 place Jussieu, 75005 Paris
Téléphone : 0144273753
Email : francois.leblanc@latmos.ipsl.fr

Domaine de recherche : planétologie

Responsabilité scientifique : Responsable du projet NIMEIS (R&T CNES, 2009-2014) et du projet source d'ionisation (R&T CNES 2011, 2013)

Publications

- Leblanc F., E. Chassefière, Gillmann C. and D. Breuer, 'Mars' atmospheric ^{40}Ar : A tracer for past crustal erosion, *Icarus*, 218, 561-570, 2012.
- Leblanc F., Chaufray J.Y., Doressoundiram A., Berthelier J.J., Mangano V. and P. Borin, Mercury Exosphere, III Energetic characterization of its sodium component, *Icarus* 223, 2 963-974, doi: 10.1016/j.icarus.2012.08.025, 2013.
- Becker J., H. Nguyen Tuan, S. Lee, F. Leblanc, J.-J. Berthelier, and F. Cipriani Efficient Electron Source for a Mass Spectrometer Onboard a Spacecraft: Multi-scale Simulation of Electron Emission from an Array of Carbon Nanotube Columns, *Nanotechnology*, 24 46 465303, 2013.
- Wang Y.-C., J. G. Luhmann, F. Leblanc, X. Fang, R. E. Johnson, Y. Ma, W.-H. Ip, L. Li, Modeling of the O⁺ pickup ion sputtering efficiency dependence on solar wind conditions for the Martian atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 2014, doi: 10.1002/2013JE004413, 2013.
- Lillis R.J., D. A. Brain, S. W. Bougher, F. Leblanc, J. G. Luhmann, J. Grebowsky, J. Fox, J. Deighan, X. Fang, R. Modolo, J. Wang, Y. Lee, C. Dong, L. Andersson, T. Cravens, N. Schneider, I. Stewart, R. Yelle, J. Clarke, Y. Ma, B. Jakosky, D.L. Mitchell, A.F. Nagy, Characterizing atmospheric escape from Mars with MAVEN, today and in the ancient past, *Space Science Review*, Submitted, 2013

Cette thèse sera aussi encadrée par J.J. Berthelier, DR émérite au LATMOS (jean-jacques.berthelier@latmos.ipsl.fr).

4 Laboratoire d'accueil pour la thèse

Nom du laboratoire : LATMOS, UMR 8190
Nom du directeur : Daniele Hauser (jusqu'au 1/03/14) puis Philippe Keckhut
Site : <http://www.latmos.ipsl.fr/>
Adresse : 11 Boulevard D'Alembert 78280 Guyancourt France
Téléphone : 0180285023
Email : Daniele.Hauser@latmos.ipsl.fr et philippe.keckhut@latmos.ipsl.fr

5. Ecole doctorale de rattachement

Nom et numéro de l'école doctorale de rattachement :
Astronomie et astrophysique d'île de France – ED 127

Directeur de l'école doctorale : Jacques LE BOURLOT

Qualité : Professeur

Adresse : Observatoire de Paris-Meudon, 5 Place Jules Janssen 92195 Meudon

Téléphone : 01 45 07 74 13 Email : ecole-doctorale.astro@obspm.fr

6 Etablissement d'enseignement supérieur de rattachement de l'école doctorale

Nom de l'établissement : UPMC

Président : [Jean Chambaz](#)

Adresse : 4 place jussieu, 75005 Paris

Téléphone : 01 44 27 44 27