

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DPHY-2025-18**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : TOULOUSE

Département/Dir./Serv. : DPHY/ERS

Tél. : 05 62 25 27 47

Responsable(s) du stage : Vincent MAGET

Email : [vincent.maget@onera.fr](mailto:vincent.maget@onera.fr)

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Modélisation, Ceintures de radiation, physique des particules chargées de haute énergie

Type de stage :  Fin d'études bac+5  Master 2  Bac+2 à bac+4  Autres

**Intitulé : Modélisation de la dynamique protons des ceintures de radiation terrestres et analyse des performances par comparaison multi-satellites**

Sujet : Les ceintures de radiation terrestres constituent un environnement radiatif naturel très dynamique, hostile à la plupart des satellites artificiels, et dont la modélisation physique demeure aujourd'hui encore imparfaite. Cette dynamique est généralement décrite par des codes numériques résolvant une équation de diffusion. Du fait des forts gradients dans l'espace de la fonction de distribution et de l'intense dynamique des ceintures de radiation, la modélisation réalisée des interactions physiques doit être très précise.

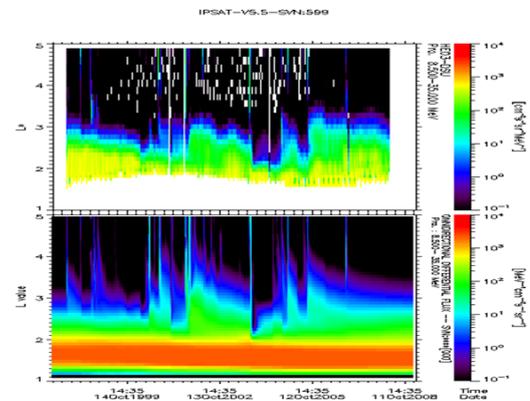
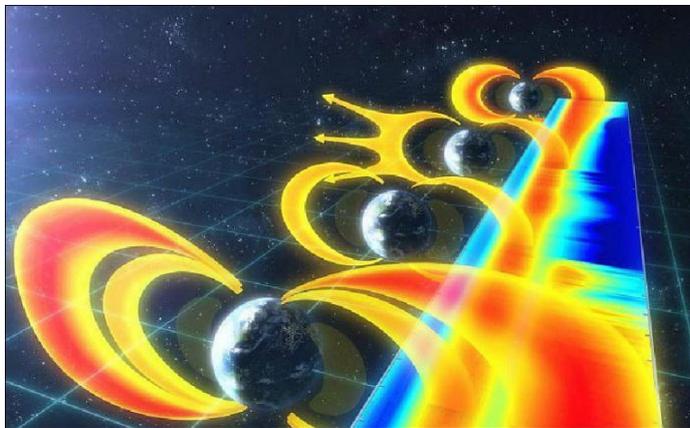


Illustration (gauche) de la dynamique des ceintures de radiation (credit: Andy Kale, <https://www.eoportal.org/satellite-missions/van-allen-probes#mission-status>), (droite) comparaison entre le code ONERA Salammbô-proton (bas) et les mesures du satellite HEO3 (haut) pour la gamme d'énergies 8,5 - 35 MeV.

Le code Salammbô 3D protons développé et perfectionné depuis de nombreuses années au sein du département DPHY de l'ONERA a acquis aujourd'hui une maturité reconnue internationalement. Il repose sur un schéma numérique de type explicite, différences finies. Les interactions principales sont déjà prises en compte : sources (CRAND, injections de particules), pertes (blindage géomagnétique, pertes par traversée de la magnétopause, échange de charges), diffusions des particules piégées (diffusion radiale, interaction coulombiennes et nucléaires). Cependant, la dynamique de ces interactions, souvent chaotique (modes non diffusifs), limite la précision de notre modélisation.

En parallèle de cette modélisation physique, nous disposons également d'une large base de données de mesures in-situ nous permettant de valider et/ou d'améliorer notre modélisation. Ces données sont déjà prétraitées et ont un format uniformisé de sorte à pouvoir facilement être exploitées pour les besoins de nos recherches.

L'objectif de ce stage consiste donc à analyser par comparaison à des mesures en vols la précision de notre modélisation pour différentes conditions de météorologie spatiale. L'étudiant(e) se focalisera dans un premier temps sur la prise en main du code Salammbô protons et de sa physique. Ensuite, des simulations seront réalisées pour quantifier l'évolution des incertitudes de modélisation par rapport aux observations. A partir de ces résultats, l'objectif final sera d'isoler le ou les processus physiques responsables de ces incertitudes et de les améliorer.

L'étudiant(e) s'appuiera sur des travaux amont mettant en évidence deux processus principaux à améliorer : les pertes dans la région interne des ceintures de radiation protons, et le piégeage effectif des protons issus d'éruptions solaires.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

**Méthodes à mettre en œuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de synthèse      |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation     |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

**Durée du stage :** Minimum : 4 Maximum : 6

Période souhaitée : mars - septembre

**PROFIL DU STAGIAIRE**

Connaissances et niveau requis :  
Master 2 en sciences avec dominantes Mathématiques Appliquées ou Physique des particules (plasma, nucléaire, ...).  
Une bonne connaissance en physique statistique et physique spatiale est un plus.

Ecoles ou établissements souhaités :  
ISAE  
Ecole polytechnique  
ENS  
Master 2 Physique des plasmas  
Master 2 Méthodes numériques  
Master 2 Physique spatiale