

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Elaboration d'un modèle probabiliste de la distribution spatio-temporelle des ondes VLF de la magnétosphère interne de la Terre.

Référence : **PHY-DPHY-2025-14**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2025

Date limite de candidature : Juin 2025

Mots clés

Magnétosphère interne, ondes VLF magnétosphériques, interaction onde-particule, modèle probabiliste

Profil et compétences recherchées

Ingénieur d'école à dominante aérospatiale ou astrophysique ou M2 recherche en physique des plasmas

Environnement spatial, Physique des plasmas, Physique appliquée, Modélisation statistique, Programmation fortran 90 et Python

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La magnétosphère interne de la Terre est une région de très grand intérêt pour la recherche en physique spatiale. Ce milieu est peuplé par différentes structures physiques dont l'évolution est modulée par les perturbations magnétiques, électriques dans la magnétosphère. Parmi ces structures, on trouve des plasmas froids comme la plasmasphère, des plasmas de plus haute énergie comme les ceintures de radiation, ou encore des ondes électromagnétiques à différentes gammes de fréquence. Toutes ces structures interagissent entre elles provoquant une dynamique globale complexe, intense et fortement corrélée à l'activité solaire.

L'unité ERS (Environnement Radiatif Spatial) du département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPHY) de l'ONERA s'attelle à l'étude de cet environnement multi-physique et multi-échelle. Elle s'est spécialisée depuis plusieurs décennies dans la modélisation par un code physique de la dynamique des ceintures de radiation. Ce plasma chaud de la magnétosphère interne, typique des planètes magnétisées, résulte du piégeage électromagnétique des particules chargées de haute énergie (jusqu'à 10 MeV pour les électrons, centaines de MeV pour les protons) dans une cavité magnétique de forme toroïdale. Le code physique, nommé Salammbô, repose sur une équation de diffusion dont les termes sont représentatifs des différents processus physiques mis en jeu.

En particulier, l'interaction résonnante entre les électrons piégés des ceintures et les ondes de type VLF (Very Low Frequency) se propageant dans la magnétosphère interne, joue un rôle crucial dans l'établissement de l'équilibre global des ceintures. Bien modéliser ces interactions nécessite une représentation fine de la distribution spatiale et temporelle des ondes VLF. Cette tâche est très ardue du fait de la nature même du signal d'onde (balayant des niveaux d'intensités sur plusieurs ordres de grandeurs) en plus de la difficulté de reconstruire sa distribution spatiale et temporelle à partir de mesures éparses. L'unité ERS a pu au fil du temps et à travers plusieurs projets internes ou internationaux, améliorer ses modèles d'ondes VLF. Cela a permis à Salammbô de disposer d'une plage de confiance en énergie englobant un large pan des particules des ceintures.

L'objectif de la thèse s'inscrit donc en continuité des travaux de l'unité sur les ondes VLF et vise l'élaboration d'un nouveau modèle de distribution spatio-temporelle. Le besoin pour un nouveau modèle est légitimé par la mise à disposition de nouvelles sources de données d'ondes qualitatives issues de missions spatiales récentes. De plus, les besoins de l'application de d'assimilation de données avec Salammbô, nécessite une refonte totale de l'estimation actuelle des incertitudes issues des coefficients de diffusion et par extension des incertitudes issues du modèle d'onde.

Une première partie du travail consistera donc en une étude statistique approfondie sur les données d'ondes à disposition de l'unité. Elle permettra de fixer les bases du nouveau modèle en spécifiant sa granularité (modèle par type d'onde, par fréquence ou par région). Une attention particulière sera portée sur l'étude de la dépendance temporelle de ces ondes afin d'identifier un proxy pouvant piloter efficacement leur dynamique. En deuxième partie, on s'attachera à l'élaboration d'un modèle de covariance permettant de reconstruire à tout instant la distribution des ondes et leurs incertitudes en assurant un bon compromis entre la précision de ce modèle et sa fonctionnalité. Enfin, on s'attachera en fin de thèse à évaluer l'apport de ce nouveau modèle sur l'estimation des coefficients de diffusion de Salammbô en comparant les résultats obtenus grâce à ces nouveaux coefficients avec des mesures in-situ d'orages géomagnétiques remarquables.

Collaborations envisagées

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Physique, instrumentation, environnement, espace

Lieu (centre ONERA) : TOULOUSE

Contact : Nour DAHMEN

Tél. : 05 62 25 28 52 Email : nourallah.dahmen@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Angélica SICARD

Laboratoire : DPHY/ERS

Tél. : 05 62 25 28 81

Email : angelica.sicard@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>