

## Invitation à la soutenance de thèse

### EXTENSION DE LA MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DES CEINTURES DE RADIATION TERRESTRES AUX BASSES ENERGIES

*Extension of Earth's radiation belt dynamics modelling to low energy particles*

Rabia KIRAZ

**04 Décembre 2025, à 14h00**

ONERA – Centre de Toulouse, Auditorium  
2 avenue Marc Pélegrin, 31400 Toulouse

Lien visioconférence : [Lien ZOOM](#)

#### Devant le jury composé de :

|                    |                                                        |                       |
|--------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| Viviane PIERRARD   | Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) | Rapporteure           |
| Edith BOTEK        | Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) | Rapporteure           |
| Olivier LE CONTEL  | Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP)              | Examineur             |
| Angélique WOELFFLÉ | DGA                                                    | Examinatrice          |
| Vincent MAGET      | DPHY, ONERA                                            | Directeur de thèse    |
| Benoît LAVRAUD     | Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux (LAB)          | Co-directeur de thèse |
| Nour DAHMEN        | DPHY, ONERA                                            | Encadrant             |

#### Résumé

Depuis le début de l'ère spatiale, les ceintures de radiations ont suscité un vif intérêt chez les scientifiques et les acteurs de l'exploration spatiale. En raison de leur nature énergétique et dynamique, elles présentent des risques pour les engins spatiaux et les êtres humains. Il est donc essentiel de comprendre les processus physiques et la dynamique globale de ces ceintures. Le Département Physique, Instrumentation, Environnement et Espace (DPHY) de l'ONERA développe depuis 1990 la famille de codes physiques Salammbô pour simuler la dynamique des protons et des électrons piégés dans les ceintures de radiations. La version 4D du code, Salammbô 4D, intègre le Temps Magnétique Local (MLT en anglais) pour modéliser le transport des particules de basse énergie par les champs électriques magnétosphériques autour de la Terre. Dans ce contexte, l'objectif principal de cette thèse a été d'améliorer la modélisation de la dynamique des électrons de basse énergie (10-100 keV) des ceintures, en particulier lors d'orages géomagnétiques.

Tout d'abord, une nouvelle modélisation de la frontière de la magnétosphère a été développée pour mieux décrire les pertes rapides par traversée de la magnétopause. Ensuite, une nouvelle description du champ électrique de convection a été intégrée à l'aide du modèle numérique UNH-IMEF. Ce dernier repose sur des observations des satellites Cluster et permet un pilotage de l'amplitude du potentiel électrique par les paramètres du vent solaire. Une nouvelle estimation de l'interaction résonante avec les ondes de plasma de très basse fréquence a également été implémentée. En plus d'avoir une description plus fine en MLT, cette nouvelle description des ondes adopte une dépendance dynamique à la géo-efficacité des événements solaires. Enfin, une nouvelle condition limite numérique fondée sur les observations des satellites THEMIS a été intégrée, pour mieux représenter les inhomogénéités longitudinales lors des épisodes d'injections de particules depuis la couche de plasma. Pour chacune de ces briques d'amélioration, des tests unitaires ont été effectués afin d'isoler leur impact élémentaire sur la représentation physique de Salammbô 4D.

Ces développements ont enfin été validés à travers le cas de l'orage géomagnétique de mars 2015, en comparant les flux simulés aux mesures in situ du satellite RBSP B le long de sa trajectoire réelle. Les résultats confirment les constatations précédentes et mettent en évidence les effets combinés de chaque amélioration sur la modélisation globale. En particulier, la version améliorée du code Salammbô 4D représente mieux la distribution des électrons de 30 keV en période calme et en phase de relaxation de l'orage. Cette étude contribue à une meilleure compréhension de la physique régissant la dynamique des électrons de basse énergie et ouvre des perspectives pour améliorer la prévision de l'environnement radiatif dans le cadre des applications de la météorologie de l'espace.

## Mots clés

Ceintures de radiation, Temps magnétique local, Champ électrique de convection, Magnétopause