

## Soutenance de thèse

**Damien HERRERA** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA PSI et intitulée « *Prise en compte du temps local dans la modélisation des ceintures de radiation terrestres* »

**Le 09 octobre 2017 à 14h00, auditorium ONERA**

devant le jury composé de

M. Dominique DELCOURT	Directeur de recherche Laboratoire de Physique des Plasmas	Rapporteur
Mme Bénédicte ESCUDIER	Professeur ISAE-SUPAERO	
M. Vincent MAGET	Ingénieur de recherche ONERA	Codirecteur de thèse
M. Fabrice MOTTEZ	Directeur de recherche LUTH, Observatoire de Paris	
Mme Viviane PIERRARD	Maître de recherches, Institut Royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique	Rapporteur

### Résumé

Depuis le début de l'ère spatiale avec le lancement du satellite Spoutnik 1 en 1957, les ceintures de radiation terrestres n'ont cessé de faire l'objet d'études du fait de leur dangerosité pour les satellites mais aussi pour l'être humain. En effet, lors d'une forte activité solaire, l'injection de particules dans cet environnement radiatif peut induire des flux jusqu'à 1000 fois plus élevés que par temps calme. Par conséquent, il est important d'en comprendre la physique ainsi que la dynamique au cours de ce que l'on appelle un orage géomagnétique. Dans ce but, le Département Physique Instrumentation Environnement et Espace (DPhIEE) de l'ONERA développe depuis maintenant plus de 20 ans la famille de modèles Salammbô reproduisant de façon robuste et en trois dimensions la dynamique des particules piégées dans ces ceintures. Néanmoins, bien que précis au-delà d'environ 100 keV, la physique et les hypothèses prises en compte dans ce modèle restent insuffisantes en deçà. En effet, à basses énergies, les ceintures de radiation ne peuvent plus être considérées comme homogènes autour de la Terre. L'objectif de cette thèse a donc été de prendre en compte une quatrième dimension, le temps magnétique local (MLT), afin de mieux reproduire l'évolution des structures fines lors d'un orage géomagnétique. La première partie s'est portée sur l'optimisation du schéma numérique. L'ajout d'une quatrième dimension induit, via l'apparition d'un terme d'advection, une forte diffusion numérique qu'il convient de limiter, tout en tenant compte du temps de calcul. L'équation statistique implémentée a alors été discrétisée selon un schéma de type Beam-Warming du second ordre couplé à un limiteur Superbee, garantissant une propagation satisfaisante de la distribution initiale. Une fois les problèmes numériques maîtrisés, les différents mécanismes physiques pilotant la dynamique des particules piégées ont été implémentés dans le code, avec une attention toute particulière sur la dépendance en MLT de l'interaction onde-particule. La prise en compte des champs électriques magnétosphériques fut également nécessaire. En effet, ils constituent l'un des moteurs principaux du mouvement des particules de basse énergie. Le modèle Salammbô 4D a ensuite été validé par comparaison avec le modèle 3D déjà existant sur une

simulation de l'orage magnétique de Mars 2015. Les résultats ont montré une bonne restitution de la dynamique des ceintures de radiation, avec en plus l'accès à la phase principale de l'orage. Cet événement a ensuite été modélisé à plus basse énergie pour constater la dynamique asymétrique des électrons piégés avec le rôle prépondérant du champ électrique de convection. La comparaison avec les données du satellite THEMIS a montré une bonne modélisation des différents processus physiques, notamment celui de « dropout » par traversée de la magnétopause. Enfin, la mise en place d'une condition aux limites dynamique modulée par les paramètres du vent solaire et dépendante du MLT ouvre de nombreuses perspectives.