









**DEPARTEMENT PHYSIQUE INSTRUMENTATION
ENVIRONNEMENT ESPACE (DPHY)**

**DÉVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU CŒUR NUMÉRIQUE
POUR LE CODE DE CALCUL SALAMMBÔ DE MODÉLISATION
DES CEINTURES DE RADIATION TERRESTRES**

Soutenance de thèse de Nourallah DAHMEN

**17 décembre 2020 – 10 h 00
Auditorium de l'ONERA Toulouse**

Devant le jury :

-  Mme Viviane PIERRARD, Rapporteur, Institut Royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique
-  Mme Hélène BARUCQ, Rapporteur, INRIA Bordeaux
-  M. Pierre-Louis BLELLY, Examineur, IRAP Toulouse
-  M. Philippe HELLUY, Examineur, IRMA Strasbourg
-  M. Vincent MAGET, Directeur de thèse, ONERA/DPHY Toulouse
-  M. François ROGIER, Co-directeur de thèse, ONERA/DTIS Toulouse
-  M. Jérôme DRONIOU, Invité, Université de Monash (Australie)
-  M. Nicolas BALCON, Invité, CNES Toulouse

RESUME

Les ceintures de radiation sont des structures toroïdales de l'environnement spatial voisin de la Terre. Peuplées d'électrons et de protons de haute énergie, elles se caractérisent par une dynamique très variable, fortement couplée avec celle du vent solaire. Le code physique Salammbô, développé à l'ONERA depuis les années 90, restitue avec une grande fidélité cette dynamique en se basant sur un modèle d'équation de diffusion. Cependant, les processus multi-échelles et multi-physiques mis en jeu peuvent contraindre sa résolution numérique en impactant sa robustesse numérique et sa stabilité. L'objectif de ce travail de thèse a donc été la mise en œuvre d'un nouveau cœur numérique pour Salammbô, plus adapté aux spécificités de la physique mise en jeu. Du fait de la difficulté de construire une solution de référence permettant la validation des schémas numériques pour cette application particulière, il a fallu tout d'abord mettre en place une méthodologie basée sur des tests numériques représentatifs des caractéristiques de la physique étudiée. Cela a permis de confirmer le passage vers une discrétisation Volumes finis – Euler implicite qui apporte une meilleure gestion de la forte inhomogénéité spatiale des coefficients, une stabilité inconditionnelle et une résolution plus rapide. Suite à cela, la problématique de la prise en compte de la diffusion croisée, non retenue dans la version actuelle du code, a été traitée. On préconise en particulier l'adoption d'une résolution non-linéaire qui corrige la perte de représentativité physique de la solution. Avec les trois directions de diffusion implémentées et suite à une procédure de vérification numérique rigoureuse, on se retrouve à la fin avec un prototype de cœur numérique plus conservatif, inconditionnellement monotone, robuste vis-à-vis de la prise en compte de la diffusion croisée, et plus rapide. Enfin, cette mise à niveau du cœur numérique de Salammbô a été évaluée sur une simulation de l'orage magnétique survenu le 8 septembre 2017, qui rassemble différentes dynamiques caractéristiques des ceintures de radiations.