

---

# Accélération et rayonnement de particules dans le champ des étoiles à neutrons

DIRECTEUR DE THÈSE : JÉRÔME PÉTRI, ENSEIGNANT-CHERCHEUR  
OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE, 11 RUE DE L'UNIVERSITÉ, 67000 STRASBOURG  
TEL : +33 3 68 85 23 97 ; E-MAIL : [JEROME.PETRI@ASTRO.UNISTRA.FR](mailto:JEROME.PETRI@ASTRO.UNISTRA.FR)

Produit final de l'évolution stellaire, les étoiles à neutrons restent des astres énigmatiques tant du point de vue de leur structure interne que de leur environnement électrodynamique. Ces astres se manifestent majoritairement comme des pulsars, émettant un rayonnement pulsé, visible des ondes radio jusqu'aux très hautes énergies et dont l'origine reste mal comprise (Lyne & Graham-Smith 2006). Certaines étoiles à neutrons hébergent un champ magnétique d'une intensité colossale de l'ordre du champ magnétique critique  $B_c=4,4 \cdot 10^9$  T, champ pour lequel les processus d'électrodynamique quantique deviennent significatifs. Il ne fait aucun doute qu'une intense activité électromagnétique associée à des processus d'accélération et de rayonnement de particules à des énergies ultra-relativistes entretient le fonctionnement de ces étoiles. Dans ces champs, la période cyclotron est d'une dizaine d'ordres de grandeur inférieure à l'échelle de temps sur laquelle évolue le plasma. Elle n'est pas résolue pour des codes de simulations numériques utilisant des algorithmes classiques.

L'objectif de cette thèse est d'élucider quelques unes des problématiques associées à l'électrodynamique de la magnétosphère et de ses propriétés radiatives en simulant des champs réalistes. On se propose d'étudier les processus d'accélération et de rayonnement des particules composant le plasma jusqu'à des facteurs de Lorentz de  $\gamma=10^{10}$  (Pétri 2019). On emploiera un nouvel algorithme d'intégration de la force de Lorentz (Pétri 2017) (Pétri 2018) capable de capturer ces mouvements ultra-relativistes. Cette caractéristique est incontournable pour suivre fidèlement l'électrodynamique des charges. On mesurera l'efficacité des processus d'accélération et de rayonnement des paires électrons/positrons, des protons et des ions dans cette onde électromagnétique de grande amplitude. Les trajectoires ainsi que la dynamique de ces charges seront finement analysées (Finkbeiner et al. 1989) (Thielheim 1993). Les outils d'investigation à disposition seront principalement analytiques, semi-analytiques et numériques. L'étudiant(e) aura à sa disposition un algorithme de résolution de l'équation du mouvement pour la force de Lorentz relativiste dans un champ électromagnétique quelconque. Il/elle calculera les fonctions de distribution des paires électron/positron, des protons et des ions ainsi que le rayonnement synchrotron et de courbure associé afin de les comparer aux observations de pulsars en rayons gamma au-delà du MeV et jusqu'au TeV.

Dans une 1ère partie, on dégagera une compréhension de la physique des plasmas en champ magnétique fort et une connaissance des processus d'émission haute énergie : rayonnement de courbure, synchrotron et inverse Compton. Dans une 2ème partie, on développera un code de simulations numériques pré-existant: implémentation des modules de calcul des fonctions de distribution et des trajectoires des particules et extraction des courbes de lumière aboutissant à une confrontation avec les données radio et haute énergie.

Finkbeiner B, Herold H, Ertl T, Ruder H. 1989. *Astronomy and Astrophysics*. 225:479–87  
Lyne AG, Graham-Smith F. 2006. *Pulsar Astronomy*. Cambridge University Press  
Pétri J. 2017. *J. Pl. Ph.* 83:705830206  
Pétri J. 2018. *Journal of Computational Physics*  
Pétri J. 2019. *Mon Not R Astron Soc.* 484(4):5669–91  
Thielheim KO. 1993. *The Astrophysical Journal*. 409:333–44