

---

# Réseaux de neurones informés par la physique appliqués à la ceinture de radiation d'électron externe de la Terre : évaluation dans le cadre d'une expérience-jumelle

Emerick Laborde\*<sup>1</sup>, Gautier Nguyen<sup>1</sup>, Antoine Brunet<sup>1</sup>, and Nourallah Dahmen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ONERA, Université de Toulouse [Toulouse] – ONERA, Communauté d'universités et établissements de Toulouse, Centre National d'Etudes Spatiales - CNES (Toulouse, France) – France

## Résumé

Les réseaux de neurones informés par la physique (PINNs) sont apparus comme un outil puissant pour la modélisation directe et inverse des systèmes physiques. Des travaux récents (Camporeale et al., 2022) ont démontré leur potentiel pour reconstruire les coefficients de diffusion et de perte à partir d'observations in situ du flux de particules dans les ceintures de radiation terrestres. Le problème est toutefois mal posé et l'inférence précise de ces coefficients est rendue difficile par l'hétérogénéité et l'anisotropie des coefficients de transports ainsi que par les échelles de temps étendues qui caractérisent les ceintures de radiation.

Dans cette étude, nous évaluons quantitativement la capacité des PINNs à reconstruire le coefficient de diffusion radiale et de perte gouvernant la dynamique des électrons dans les ceintures de radiation. L'approche repose sur le cas unidimensionnel de l'équation de Fokker-Planck, qui décrit l'évolution radiale de la densité de particule d'électron sous l'effet des processus de diffusion et de perte induits par les variations de l'activité géomagnétique. Dans le cadre d'une expérience-jumelle, des données synthétiques de densité de particule d'électron sont générées puis échantillonnées le long d'une trajectoire satellitaire afin d'entraîner le PINN et d'évaluer sa capacité à récupérer les paramètres physiques de transport sous-jacents.

Nos résultats montrent que les PINNs peuvent estimer les paramètres clés gouvernant la diffusion radiale dans les ceintures de radiation et capturer leur variabilité temporelle et radiale globale. Cependant, les pics localisés prononcés et les variations rapides sont lissés, probablement en raison de la disposition des observations et de la régularisation du réseau de neurone.

Malgré ces limitations, le modèle reconstruit de manière cohérente le rapport entre les termes de diffusion et de perte, préservant ainsi l'équilibre global du transport.

---

\*Intervenant