



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

-----

**APPRENTISSAGE PROFOND POUR LA PREVISION DE  
L'ACTIVITE GEOMAGNETIQUE**

**Soutenance de thèse de Guillaume BERNOUX**

**06 juillet 2022 – 10H00  
Auditorium ONERA Toulouse**

**Devant le jury :**

- + Mme Dominique FONTAINE, Directrice de Recherche Laboratoire de Physique des Plasmas (Rapporteuse)**
- + M. Benoît LAVRAUD, Directeur de Recherche Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux (Rapporteur)**
- + Mme Carine BRIAND, Astronome LESIA (Examinatrice)**
- + Mme Angélica SICARD, Ingénieure de Recherche ONERA (Directrice de Thèse)**
- + Mme Miho JANVIER, Astronome Adjointe Institut d'Astrophysique Spatiale (Co-directrice de thèse)**
- + M. Antoine BRUNET, Ingénieur de Recherche ONERA (Co-encadrant de thèse)**
- + M. Olivier PANNEKOUCKE, Enseignant Chercheur INPT ENM/CNRM/CERFACS (Invité)**
- + M. Éric BUCHLIN, Chargé de Recherche Institut d'Astrophysique Spatiale (Invité)**

## RESUME

L'étude des interactions Soleil-Terre, en particulier par le biais du couplage entre le vent solaire et la magnétosphère, est au cœur des enjeux liés à la météorologie de l'espace. Nous nous intéressons à la question de la prédiction à quelques jours d'indices géomagnétiques, qui peuvent servir à piloter les modèles de ceintures de radiations terrestres. Au cours de la dernière décennie, de nombreuses études ont montré que les réseaux de neurones artificiels permettaient de prédire ces indices de manière particulièrement performante, à partir des mesures du vent solaire proche de la Terre.

Au cours de nos travaux, nous proposons d'abord un nouveau modèle de prédiction de l'indice géomagnétique Dst, composé d'un réseau de neurones possédant des couches récurrentes. Ce nouveau modèle produit des prédictions probabilistes plus performantes que l'état de l'art actuel pour des horizons de prédiction inférieurs à 6 heures. Afin de rendre notre modèle plus utile opérationnellement, nous l'adaptions pour la prédiction du nouvel indice géomagnétique Ca, conçu pour mieux rendre compte de la géoefficacité des événements géomagnétiques du point de vue des ceintures de radiations électroniques. En menant une évaluation complète de notre modèle, nous montrons qu'il perd de son utilité dans un contexte opérationnel pour les horizons de prédiction supérieurs à quelques heures.

Partant de ce constat, et face aux limites montrées par les modèles physiques de propagation du vent solaire actuels, nous étudions l'utilisation d'imagerie solaire pour prédire directement l'indice géomagnétique Kp de 2 à 7 jours en avance. Pour cela, nous construisons SERENADE, le premier modèle de prédiction d'un indice géomagnétique alimenté uniquement par des images du Soleil. Ce modèle est un réseau de neurones à l'architecture complexe combinant des couches de différentes natures. Nous montrons que notre modèle présente des performances au moins égalant celles des modèles empiriques simples (et pourtant actuellement les plus performants) de prédiction du maximum journalier de Kp. Nous mettons en évidence que celui-ci, bien qu'encore immature pour une utilisation en contexte opérationnel, est capable de rendre compte de la géoefficacité de certains événements solaires directement à partir de la seule imagerie solaire. En identifiant les limites de notre modèle et leurs causes, nos résultats ouvrent la voie à une modélisation par les données des interactions Soleil-Terre complétant les modèles physiques actuels.