

Soutenance de thèse

Guillaume BERNOUX soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA PSI et intitulée «*Apprentissage profond pour la prévision de l'activité géomagnétique*»

Le 6 juillet 2022 à 10h00, Auditorium de l'ONERA Toulouse

devant le jury composé de

Mme Angelica SICARD	Ingénieure de recherche ONERA	Directrice de thèse
Mme Dominique FONTAINE	Directrice de recherche Laboratoire de Physique des Plasmas	Rapporteuse
M. Benoît LAVRAUD	Directeur de recherche Laboratoire d'Astrophysique Bordeaux	Rapporteur
Mme Miho JANVIER	Astronome adjoint I.A.S	Co-directrice de thèse
M. Antoine BRUNET	Ingénieur de recherche ONERA	Co-encadrant de thèse
Mme Carine BRIAND	Astronome LESIA	

Résumé : 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.

Mots-clés : météorologie de l'espace, ceintures de radiations, imagerie solaire, apprentissage automatique, magnétosphère, vent solaire

Summary: The study of Sun–Earth interactions, in particular through the solar wind–magnetosphere coupling, is at the core of space weather related issues. In this work we focus on the forecasting of geomagnetic indices within a few days, which can be used to drive the Earth's radiation belts models. During the last decade, many studies have shown that artificial neural networks can predict these indices in a very efficient way, based on measurements of the solar wind near the Earth. In our work, we first propose a new model for the prediction of the geomagnetic index Dst, consisting of a neural network with recurrent layers. This new model produces better probabilistic forecasts than the current state of the art for prediction horizons shorter than 6 hours. In order to make our model more operationally useful, we adapt it for the prediction of the new geomagnetic index Ca, designed to better account for the geoeffectiveness of geomagnetic events from the perspective of the electron radiation belts. By conducting a comprehensive evaluation of our model, we show that it loses its usefulness in an operational context for prediction horizons longer than a few hours. Based on this observation, and facing the limits shown by the current physical models of solar wind propagation, we study the use of solar imaging to directly forecast the geomagnetic index Kp from 2 to 7 days ahead. To do so, we build SERENADE, the first geomagnetic index forecasting model driven only by images of the Sun. This model is a neural network with a complex architecture combining layers of different nature. We show that our model performs at least as well as some simple empirical models (and yet currently the most efficient) for forecasting the daily maximum of Kp. We show that our model, although still immature for an operational context, is able to account for the geoeffectiveness of some solar events directly from solar imagery alone. By identifying the limitations of our model and their causes, our results open the way to a data-driven modeling of the Sun–Earth interactions as a complement to the current physical mode

Keywords: space weather, radiation belts, solar imaging, machine learning, magnetosphere, solar wind