

Prédiction de la dynamique des ceintures de radiation à partir de l'indice magnétosphérique alpha

Marina GRUET (marina.gruet@onera.fr)

Sous la direction de :

CNES : Guy ROLLAND

ONERA : Angélica SICARD, Sandrine ROCHEL, Nathalie BARTOLI

Notre Soleil envoie en permanence dans l'Espace des particules sous la forme d'un vent solaire...

... nocif pour l'être humain et ses technologies, même si la magnétosphère, notre bouclier magnétique naturel, nous protège des principaux effets.

Les satellites situés au point de Lagrange L1 enregistrent le comportement du vent solaire en temps réel : densité (n), champ magnétique (B), vitesse (fs)

Des magnétomètres au sol enregistrent les perturbations associées aux particules du vent solaire et nous fournissent des indices magnétiques

Météorologie spatiale :
Connexion entre paramètres du vent solaire et indices magnétiques
ou Comment prédire l'état et les changements de la magnétosphère en observant le comportement du Soleil ?

L'indice magnétique est l'indice am [1]. C'est un indice global et tri-horaire, défini en nT, rendant compte de l'apport global d'Energie associé au vent solaire dans la magnétosphère

Méthode : recours à l'Intelligence Artificielle avec les réseaux de neurones (neural network)

Capacité de calcul d'une machine

Capacité d'apprentissage d'un être humain

Les réseaux de neurones sont des modèles statistiques, capable d'apprendre grâce à une base d'apprentissage et d'effectuer des prédictions suite à un entraînement.

Principaux enjeux

- Trouver le réseau de neurones le mieux adapté pour notre problématique car il en existe une multitude
- Adapter ce réseau en fonction des données existantes, pour optimiser l'apprentissage. C'est la clé pour obtenir les meilleures performances

MultiLayer Perceptron MLP

Statique - On lui applique une dynamique en considérant un historique du vent solaire et l'indice calculé en sortie par le réseau

Temps de calcul : secondes

Time Delay neural network TDNN

Dynamique - Contient une fenêtre temporelle, appelée fenêtre de spécialisation, contenant les informations du passé

Temps de calcul : minutes

Non linear autoregressive with exogenous inputs network NARX

Dynamique - Contient une mémoire embarquée alimentée par les paramètres du vent solaire, et par la sortie du réseau

Temps de calcul : dizaines de minutes

Le TDNN est le seul réseau basé uniquement sur les paramètres du vent solaire, ce qui est à souligner car les indices magnétiques ne sont pas définitifs avant une certaine durée. Cependant, l'indice magnétique apporte une information précieuse, car l'état de la magnétosphère est dépendant de son état passé.

Résultats : comparaison de performances et application sur la prédiction d'un événement solaire extrême

Pour évaluer les performances de prédiction d'un réseau, on utilise des paramètres statistiques extraits de la matrice de confusion (ci-après).

→ Les prédictions sont classées en fonction des valeurs réelles

	Réalité : TRUE	Réalité : FALSE
Prédiction : TRUE	True positive (bien prédit)	False positive (fausse alarme)
Prédiction : FALSE	False negative (manqué)	True negative (bien manqué)

Probabilité de détection : $POD = \frac{true\ positive}{true\ positive + false\ negative}$

Taux de fausses alarmes : $FAR = \frac{false\ positive}{true\ positive + false\ positive}$

Quelle fraction des événements ayant vraiment eu lieu ont correctement été prédits ?

Quelle fraction d'événements prédits n'a en réalité pas eu lieu ?

MLP

TDNN

NARX

Performances des réseaux en termes de POD et FAR pour chaque niveau d'activité

Le NARX est le réseau qui offre les meilleures performances à tout niveau d'activité, avec une POD > à 0,96 et un FAR < 0,05.

TDNN et MLP ont des performances similaires → faire un choix entre le MLP qui prend en compte l'indice magnétique en entrée mais qui est moins coûteux en temps de calcul que le TDNN qui n'est basé que sur les paramètres du vent solaire

Le réseau NARX est celui qui suit le mieux les variations de l'événement. Le MLP offre de bonnes performances, surestime parfois quand le pic d'activité monte. Le TDNN fluctue davantage car il n'a pas en entrée l'information sur l'état de perturbation de la magnétosphère pour se stabiliser.

Prédictions effectuées par les différents réseaux comparés à l'événement réel de Juillet 2004

Perspective : programmation d'un nouveau modèle ... d'un module de traitement en temps réel ... et de réseaux multi-sorties

Long Short Term Memory network LSTM

Dynamique - Le réseau LSTM est basé sur les réseaux d'Elmann.

Ce sont des réseaux ayant la capacité de connecter par eux-mêmes les informations des instants précédents aux instants actuels.

Les LSTM ont en plus la possibilité d'apprendre des dépendances à long termes → La dynamique de la magnétosphère varie sur des échelles allant de la seconde à plusieurs jours

Comme le TDNN, ne prend en entrée que les paramètres du vent solaire

Tout les réseaux fonctionnent de façon optimale grâce à des données du vent solaire fournies par une base optimisée et traitée OMNI (NASA).

Afin d'optimiser le réseau et l'adapter en temps réel, il est intéressant de traiter les données fournies directement par les satellites situés au point de Lagrange L1 comme ACE.

→ En cas d'événements extrêmes, les capteurs sont perturbés et les données manquantes, ce qui peut perturber le réseau de neurones.

Ce module doit alors pouvoir s'adapter pour palier à ce problème

Secteur MLT (Temps Magnétique Local) : secteurs fixes par rapport au soleil, le secteur midi étant toujours face au soleil.

Afin de mieux étudier la propagation d'un événement, il peut être défini en terme de secteur MLT. Les événements démarrent souvent côté nuit et se propagent le long de ces différents secteurs → possible de travailler sur les perturbations associées à chaque secteur car des indices au sectoriels ont été défini [2]. Le réseau de neurones permettrait alors de fournir une sortie pour chaque secteur et d'anticiper l'impact de l'événement sur les secteurs suivants.

[1] Website ISGI Unistra, <http://isgi.unistra.fr/>. Geomagnetic indices are calculated and made available by ISGI Collaborating Institutes from data collected at magnetic observatories. We thank the involved national institutes, the INTERMAGNET network and ISGI

[2] Chambodut, A., A. Marchaudon, M. Menvielle (2013), The K-derived MLT sector geomagnetic indices, Geophysical Research Letters, 40(18), 4808-4812