



TAHAR AMARI directeur de recherches au CNRS, Centre de physique théorique, École polytechnique

COMPRENDRE ET PRÉVOIR LES ÉRUPTIONS SOLAIRES

Les éruptions solaires sont précédées par l'apparition de taches solaires, elles-mêmes associées à une structure particulière de champs magnétiques dite « corde magnétique ». Ces travaux, menés en particulier par le Centre de physique théorique de l'École polytechnique, ouvrent la voie à la prévision des tempêtes solaires qui affectent la Terre.

LES ÉRUPTIONS SOLAIRES sont des événements qui ont lieu dans l'atmosphère du Soleil. Elles se caractérisent par des émissions de lumière et de particules ainsi que, pour celles à très grande échelle, par l'éjection d'une bulle de plasma. Comprendre l'origine de ces phénomènes est intéressant à plusieurs niveaux. En premier lieu, ces éruptions représentent un exemple proche de nous et bien observé de phénomènes physiques se produisant dans tout l'Univers. Mais c'est surtout en raison de leur impact sur l'environnement terrestre que l'étude et la prévision des éruptions constituent un enjeu important.

« *Le champ magnétique joue un rôle prépondérant* »

Elles génèrent en effet des perturbations multiples qui touchent, entre autres, les générateurs électriques au sol, les satellites et les systèmes GPS et de communication.

UNE STRUCTURE EN PLUSIEURS COUCHES

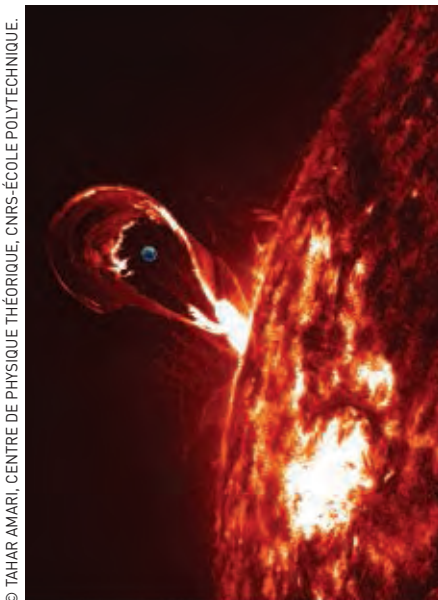
L'atmosphère solaire est structurée en plusieurs couches dont la photosphère, qui équivaut à la surface du Soleil, et la couronne, zone la plus externe où se produisent les éruptions. Il existe, au niveau de ces couches, un champ magnétique qui joue un rôle

prépondérant dans les éruptions solaires. Jusqu'ici, les observations n'avaient cependant pas permis de comprendre exactement le mécanisme et les structures impliqués, notamment parce qu'il est difficile de mesurer le champ magnétique en tout point de la couronne très chaude et peu dense.

UNE FORMATION EN QUELQUES JOURS

Une éruption survenue dans la nuit du 12 au 13 décembre 2006 a permis une avancée importante.

La région du Soleil concernée était observée par le satellite japonais *Hinode* au moment de l'éruption et dans les jours la précédant. Des données sur le champ magnétique de la photosphère, plus froide et plus dense que la couronne, ont pu être recueillies par le satellite et ont permis aux chercheurs de calculer l'évolution de l'environnement magnétique dans la couronne durant ce laps de temps.



© TAHAR AMARI, CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE, CNRS-ÉCOLE POLYTECHNIQUE.



© TAHAR AMARI, CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE, CNRS-ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

À gauche : éruption solaire typique. À droite : modélisation de la corde magnétique pendant l'éruption. Sur les deux images, la Terre a été ajoutée pour illustrer l'échelle gigantesque de ce phénomène.

À partir de calculs réalisés à l'IDRIS (CNRS), les scientifiques ont montré qu'une structure caractéristique, en forme de corde magnétique, apparaît progressivement dans les jours précédant l'éruption. Elle est complètement formée la veille du phénomène.

Ce résultat est tout à fait en accord avec les observations faites au niveau de la photosphère et de la couronne: la formation de la corde magnétique concorde avec l'évolution de taches solaires dans la région de l'éruption.

Leurs calculs mettent également en lumière que l'énergie de cette corde magnétique augmente au fur et à mesure de son émergence depuis l'intérieur du Soleil.

DES POINTS CRITIQUES

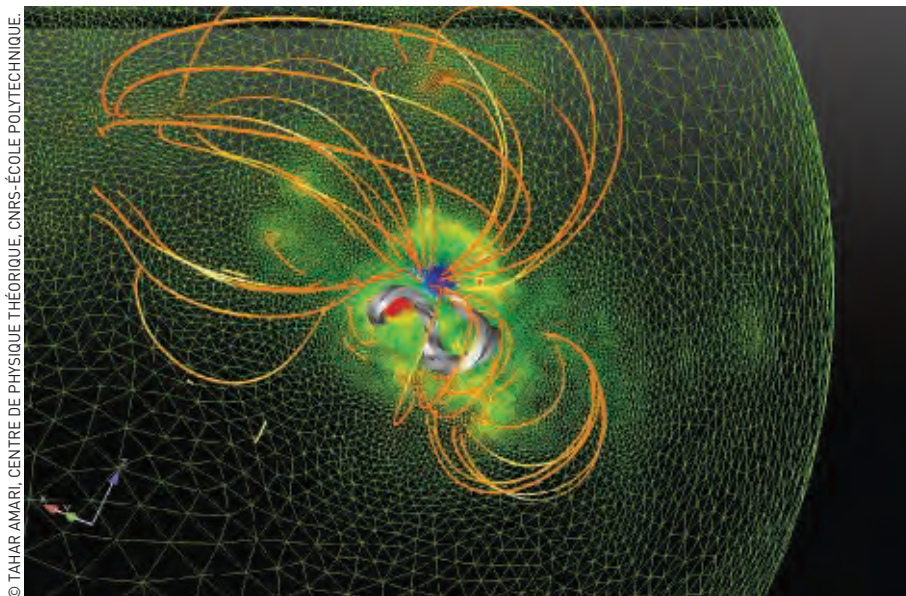
Grâce à une seconde série de simulations numériques, les chercheurs ont ensuite suivi l'évolution du champ magnétique dans la couronne une fois la corde présente. Leurs résultats montrent que cette structure est bien à l'origine de l'éruption et est même nécessaire pour son apparition: la transition vers l'événement éruptif n'est pas possible avant sa

« *Prévenir les conséquences sur Terre des tempêtes solaires* »

LA CORDE MAGNÉTIQUE

À l'aide de données recueillies par satellite et de modèles, les chercheurs du Centre de physique théorique (CNRS-École polytechnique) et du laboratoire Astrophysique, interprétation, modélisation (CNRS-CEA-université Paris-Diderot) ont pu suivre l'évolution du champ magnétique solaire dans une zone ayant un comportement éruptif. Leurs calculs mettent en évidence la formation d'un enchevêtrement de lignes de force magnétiques torsadées, appelé « corde magnétique », qui émerge de l'intérieur du Soleil et est associée à l'apparition d'une tache solaire, jouant un rôle important dans le déclenchement de l'éruption.

En caractérisant la transition vers l'éruption, ces travaux ouvrent la voie vers la prévision des tempêtes solaires qui affectent la Terre. Ils font la une d'un récent numéro de la revue *Nature*.



© TAHAR AMARI, CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE, CNRS-ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

Modèle du champ magnétique dans la région où est survenue une éruption majeure le 13 décembre 2006. Ce modèle est obtenu à l'aide de données du champ magnétique mesuré à la surface du Soleil et d'un code de calcul adaptatif à haute résolution. Il met en évidence la présence d'une corde magnétique (en gris) quelques heures avant l'éruption, maintenue à l'état d'équilibre par des arcades magnétiques (en orange).

formation. Cette transition a pu être caractérisée par plusieurs critères: un seuil énergétique et une altitude donnée au-delà de laquelle les arcades magnétiques qui retiennent la corde s'affaiblissent. Si

ces points critiques sont dépassés, il y a éruption solaire.

UNE MÉTÉOROLOGIE DE L'ESPACE

Ces travaux proposent une méthode qui pourra être utile pour la prévision des éruptions. En se fondant sur des données magnétiques accumulées en « temps réel » et une chaîne de modèles numériques adaptés, il sera à terme possible de prévoir la météorologie dans l'espace et de prévenir les conséquences sur Terre des tempêtes solaires. ■

Propos recueillis par Alice Tschudy

Ce texte est une adaptation de l'article original publié par la revue *Nature*: Tahar Amari, Aurélien Canou et Jean-Jacques Aly, «Characterizing and predicting the magnetic environment leading to solar eruptions», *Nature*, 23 octobre 2014.