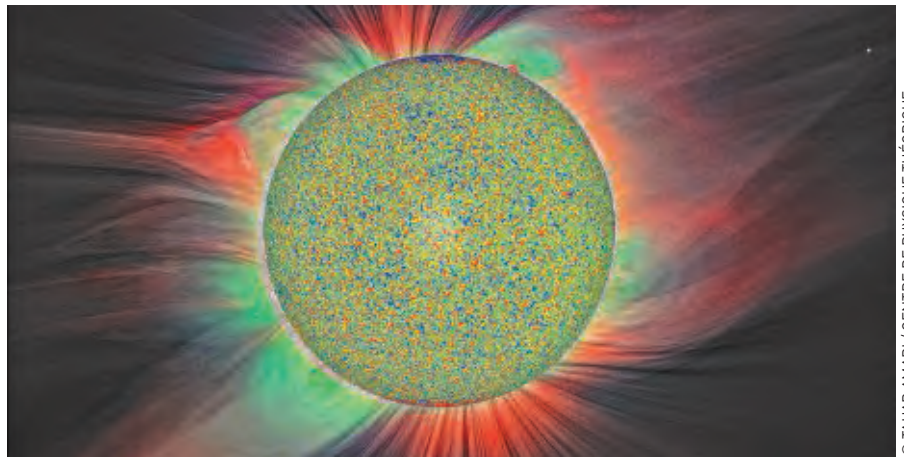




TAHAR AMARI directeur de recherches au CNRS, Centre de physique théorique, École polytechnique

POURQUOI L'ATMOSPHÈRE DU SOLEIL EST PLUS CHAUDE QUE SA SURFACE

Comment la température de l'atmosphère du Soleil peut-elle atteindre jusqu'à un million de degrés, alors que celle de la surface de l'étoile est d'environ 6000 °C? En simulant l'évolution d'une partie de l'intérieur et de l'extérieur du Soleil, des chercheurs ont identifié les mécanismes apportant l'énergie capable de chauffer l'atmosphère solaire. Une couche située sous la surface du Soleil, qui se comporte comme une casserole en ébullition, créerait un champ magnétique à petite échelle comme réserve d'énergie qui, une fois sorti de l'étoile, chaufferait les couches successives de l'atmosphère solaire *via* des réseaux de racines, telle une mangrove. Ce chauffage de l'atmosphère, nécessaire à la création du vent solaire qui remplit l'héliosphère, concernerait de nombreuses autres étoiles.



La surface solaire et son champ magnétique majoritairement « poivre et sel », en dehors des régions des grandes taches solaires, à partir des données du satellite SDO de la NASA.

© TAHAR AMARI / CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE ET S. HABBAL / M. DRUCKMÜLLER.

LA TEMPÉRATURE du Soleil, qui atteint environ 15 millions de degrés en son cœur, décroît progressivement pour chuter à 6000 degrés à sa « surface ». Elle devrait alors logiquement continuer à décroître dans l'atmosphère. Pourtant, elle atteint environ 10 000 degrés dans la chromosphère et plus d'un million de degrés dans la couronne. Quelle est la source d'énergie capable de fournir et de maintenir l'atmosphère à de telles températures? Une question qui représente un des grands problèmes de l'astrophysique depuis environ un siècle, d'autant plus importante qu'elle est associée à la source du vent solaire qui parvient jusqu'à la Terre. S'il paraissait acquis qu'une partie de l'énergie de l'intérieur du Soleil parvenait à atteindre ces couches externes, le mécanisme restait mystérieux. Ces

chercheurs se sont concentrés sur le champ magnétique à petite échelle, d'aspect « poivre et sel » en dehors des taches.

UNE CASSEROLE DE MAGMA BOUILLONNANT

Des modèles numériques performants et les calculateurs du Centre de physique théorique (CNRS/École polytechnique) et de l'Idris du CNRS ont permis d'effectuer une simulation pendant quelques heures à partir d'un modèle constitué de plusieurs couches, l'une interne et les autres atmosphériques.

Les chercheurs ont alors constaté que la couche fine sous la surface du Soleil se comporte en fait comme une « casserole » de petite épaisseur contenant un plasma en ébullition, chauffée par le bas et formant des « bulles » associées à des granules. Ce potage de plasma en ébullition est alors

« Un des grands problèmes de l'astrophysique depuis environ un siècle »

responsable d'un phénomène dynamo qui amplifie et maintient le champ magnétique: ce dernier, en sortant vers la surface, prend une apparence poivre et sel et forme aussi des concentrations moins nombreuses, de plus grosse taille, de durée de vie plus longue et baptisées « méso-taches » solaires, le tout concordant avec les observations.

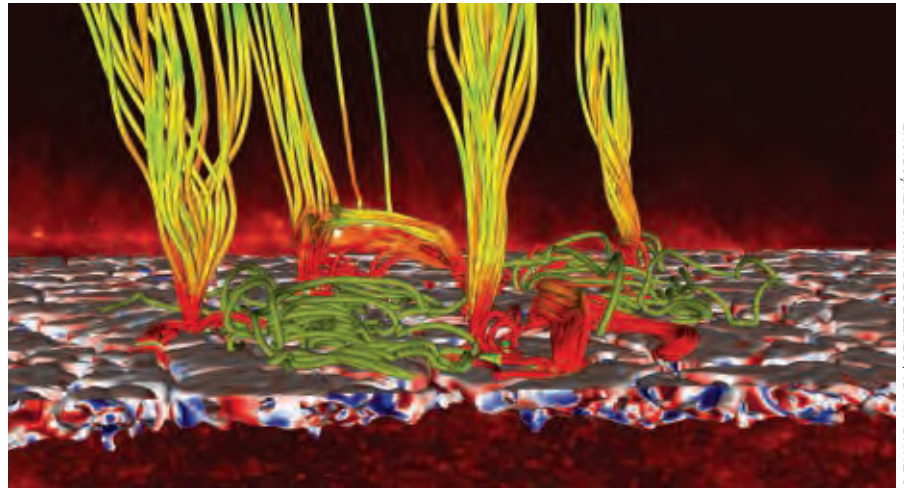
DES RACINES DE MANGROVE

Les scientifiques ont également découvert qu'une organisation semblable à une mangrove apparaît autour des méso-taches solaires: des « racines chromosphériques » enchevêtrées plongent entre les granules, entourant des « troncs d'arbres magnétiques » qui s'élèvent dans la couronne et sont associés au champ magnétique à plus grande échelle.

Leurs calculs ont montré que, dans la chromosphère, le chauffage de l'atmosphère est assuré par de multiples microéruptions survenant dans les racines de la mangrove porteuses de courants électriques très importants, au rythme des « bulles » de la casserole sous-jacente. Ils ont également découvert que des événements éruptifs plus importants et moins nombreux existent au voisinage des méso-taches mais ne permettent pas de chauffer la couronne plus haute et à plus grande échelle.

DIVERS CANAUX D'ÉNERGIE

Cette dynamique éruptive engendre alors des ondes « magnétiques » le long des troncs, un peu comme un son sur une corde pincée, en se propageant le long de



Modèle complet illustrant la fine casserole de plasma en ébullition, proche de la surface solaire, responsable de la génération du champ magnétique poivre et sel en surface (bleu-rouge), qui en émergeant crée toute une végétation rappelant une mangrove, permettant le chauffage des divers couches de l'atmosphère solaire.

celle-ci. Ces ondes transportent alors l'énergie vers la couronne plus haute et leur dissipation progressive chauffe celle-ci. Leurs calculs montrent aussi qu'en retombant vers la surface, la matière éjectée forme des tornades, elles-mêmes observées. Des jets de plasma fins, proches de ces arbres, sont également produits et représentent les spicules¹ découverts récemment. Autant de phénomènes, observés jusqu'ici individuellement et non expliqués, qui sont divers canaux d'énergie issus de la « casserole de plasma

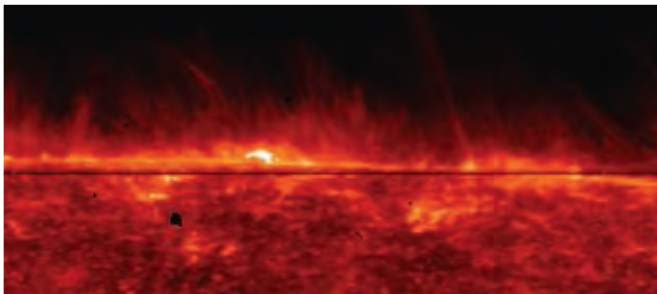
bouillonnant », et non la source unique invoquée.

Les chercheurs ont constaté que le flux d'énergie de leurs mécanismes correspond à celui requis par toutes les études pour maintenir le plasma de l'atmosphère solaire à sa température: 4 500 W/m² dans la chromosphère et

300 W/m² dans la couronne. ■

« Dans la chromosphère, le chauffage de l'atmosphère est assuré par de multiples microéruptions »

1. Jet fin de matière issu de la chromosphère et arrivant dans la couronne.



La surface du Soleil selon les données de la mission spatiale IRIS de la NASA, avec en fond la structure dynamique de l'atmosphère chauffée.



Modélisation de l'atmosphère solaire montrant à haute résolution la formation de courants électriques importants qui s'élèvent telles des flammes.