

SOHO révèle les secrets du Soleil

KENNETH LANG

L'Observatoire solaire et héliosphérique SOHO est un nouvel engin spatial qui étudie le Soleil sans relâche depuis février 1996. Ses observations révèlent la vie secrète de notre étoile.

De loin, le Soleil ne semble pas très compliqué : c'est seulement une sphère de gaz uniforme et lisse. Toutefois, un examen détaillé montre que l'étoile est en constante agitation, ce qui entretient maints mystères fondamentaux. Par exemple, les astrophysiciens ne comprennent pas comment le Soleil engendre son champ magnétique, principal responsable de l'activité solaire et, notamment, des éruptions imprévisibles qui provoquent des orages magnétiques et des pannes d'électricité sur la Terre. Ils ignorent également pourquoi ce magnétisme se concentre dans les taches solaires, ces zones sombres aussi grandes que la Terre et des milliers de fois plus aimantées. De surcroît, les astrophysiciens n'expliquent pas les variations de l'activité solaire, avec une période de onze ans environ.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du Soleil et mieux prédire son impact sur notre planète, l'Agence spatiale européenne et la NASA ont lancé, le 2 décembre 1995, une sonde de deux tonnes nommée SOHO, acronyme anglais d'observatoire solaire et héliosphérique. Le 14 février 1996, le satellite a atteint une position stable par rapport au Soleil : le point de Lagrange interne, situé à environ un pour cent de la distance Terre-Soleil. En ce point, les attractions que la Terre et le Soleil exercent sur la sonde se compensent, et SOHO tourne autour du Soleil en même temps que la Terre. Alors que le Soleil était périodiquement caché à la vue des satellites précédents, qui étaient en orbite autour

de la Terre, SOHO observe le Soleil en permanence avec ses douze instruments sensibles. Chaque jour, les instruments transmettent, via les antennes du réseau spatial de la NASA, des milliers d'images au Centre opérationnel SOHO, dans le Maryland.

Là, des astrophysiciens du monde entier travaillent ensemble, observant le Soleil nuit et jour dans une pièce sans fenêtres. Lorsque les premières images arrivèrent, le Soleil était dans la phase la plus calme de son cycle de onze ans. Comme SOHO contient suffisamment de carburant pour demeurer en opération pendant encore une dizaine d'années au moins, il suivra l'évolution de l'activité solaire durant un cycle complet, jusqu'au prochain maximum solaire, qui se produira à la fin du siècle. Déjà, SOHO nous a gratifiés de découvertes surprenantes.

Les profondeurs du Soleil

Afin de comprendre les cycles du Soleil, les astronomes cherchent à en sonder les profondeurs qui engendrent le magnétisme. Comment accéder à ces régions invisibles ? En étudiant les vibrations du Soleil. À la manière d'une gigantesque cloche, le Soleil vibre. Les astronomes étudient ses vibrations en observant les mouvements de sa surface visible, la photosphère. Ces oscillations, dont l'amplitude atteint des dizaines de kilomètres et la vitesse quelques centaines de mètres par seconde, sont associées à des ondes sonores qui se propagent à l'intérieur de l'astre. Ces ondes sont piégées dans le Soleil,

parce qu'elles n'ont pas, dans le vide quasi absolu de l'espace, de support de propagation. Lorsqu'elles se réfléchissent contre la surface et replongent dans le Soleil, elles perturbent les gaz (ionisés, les gaz chauds du Soleil forment un plasma), les soulevant et les abaissant lentement avec une période d'environ cinq minutes.

L'œil ne perçoit pas les vibrations engendrées, mais les détecteurs de SOHO y sont sensibles. La caméra Doppler-Michelson (MDI) et l'enregistreur d'oscillations globales de basses fréquences (GOLF) mesurent la vitesse des oscillations superficielles avec une précision supérieure à un millimètre par seconde. Un troisième instrument surveille un autre effet des ondes sonores : lorsque ces ondes interagissent avec le gaz des régions solaires émettrices de lumière, l'astre tout entier clignote comme un stroboscope géant. À bord de SOHO, le système VIRGO (variabilité de la luminosité solaire et oscillations gravitationnelles) enregistre ces variations d'intensité qui ne représentent que des fractions de l'éclat moyen du Soleil.

Les oscillations de surface résultent de l'effet combiné d'environ dix millions d'ondes sonores, qui se propagent chacune selon un chemin particulier unique. Ainsi, pour caractériser physiquement toute l'étoile – de la zone convective bouillonnante, qui s'étend sur 28,7 pour cent du rayon à partir de la surface, jusqu'au cœur, en passant par la zone radiative – les astronomes cherchent à déterminer avec précision la fréquence de toutes les ondes (voir la figure 2).

La vitesse de chaque onde sonore dépend de la température et de la composition des régions solaires qu'elle traverse. Les scientifiques de la mission SOHO prédisent la vitesse du son à l'aide d'un modèle numérique. Ils utilisent les petites différences entre la vitesse du son calculée et celle qui est mesurée pour affiner le modèle et établir la variation radiale de température, de densité et de composition du Soleil.

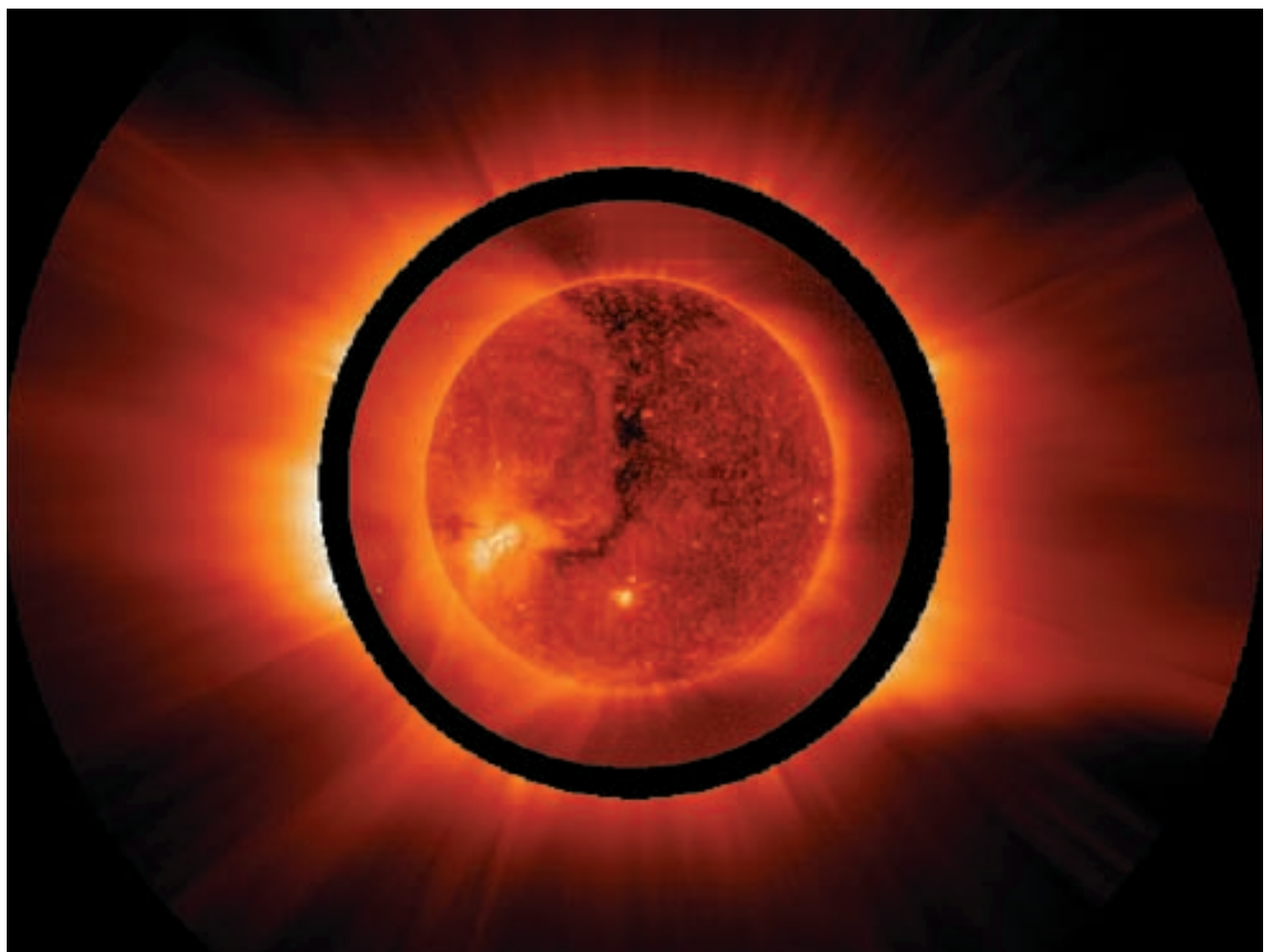
Après plus d'un an de fonctionnement, GOLF est l'instrument le plus performant pour sonder le cœur du Soleil, siège des réactions nucléaires. Il a déjà détecté plus de 100 types d'ondes acoustiques pénétrant dans les 20 pour cent les plus centraux du Soleil. À l'aide de ces mesures, on déduit la vitesse du son dans la partie centrale avec une précision relative meilleure que un pour dix mille, et on pourra ainsi calculer les profils de densité et de rotation dans le cœur nucléaire.

Avec le télescope MDI, les différences entre les prévisions théoriques et les observations sont inférieures à 0,2 pour cent, mais les zones où l'on observe ces différences sont importantes : à la frontière du cœur producteur d'énergie et sous la zone convective. Dans ces zones, un mélange de matière expliquerait les différences.

Depuis plus de trois siècles, l'observation des taches solaires montre aux astronomes que la photosphère tourne plus vite à l'équateur, la vitesse décroissant régulièrement vers chaque pôle. Les données de SOHO montrent que cette répartition des vitesses de rotation persiste dans la zone convective. En revanche, la vitesse de rotation est identique pour tous les points situés à moins d'un tiers du rayon. La vitesse de rotation change donc brusquement à la base de la zone convective. Là, les zones périphériques de l'intérieur radiatif,

qui tournent à une vitesse constante, rencontrent la zone convective, qui tourne plus vite à l'équateur. Le cisaillement à l'interface serait la source du magnétisme solaire.

Le télescope MDI a également sondé les couches externes du Soleil. Affranchi des perturbations atmosphériques qui gênent les télescopes terrestres, ce télescope suit en direct des détails invisibles du sol. Il s'est révélé particulièrement efficace en héliosismologie spatio-temporelle, une technique de mesure des mouvements gazeux dans les couches situées juste au-dessous de la photosphère. La méthode est simple : avec le télescope, chaque minute, on mesure les faibles variations périodiques de la longueur d'onde de la lumière émise en des millions de points du Soleil, dus au décalage Doppler (la longueur d'onde du rayonnement émis par une source augmente ou diminue, respective-



SOHO est un Consortium et Soho UICs Consortium

1. DEUX INSTRUMENTS DU SATELLITE SOHO ont enregistré les données à partir desquelles on a créé cette image de l'atmosphère externe du Soleil, de la base de la couronne jusqu'à des millions de kilomètres au-dessus de la surface solaire. À l'extérieur de l'anneau

noir, le vent solaire est visible grâce aux ultraviolets émis par les ions oxygène. Le vent solaire est plus rapide quand il provient des trous coronaux qui apparaissent comme des régions sombres au pôle Nord (*en haut*) et au centre du disque solaire.