



Les instruments de SOHO

Des centaines d'astrophysiciens de toutes nationalités étudient le Soleil à l'aide de 12 instruments embarqués sur SOHO. Trois dispositifs sondent l'intérieur du Soleil, six mesurent l'atmosphère solaire, et trois examinent le vent solaire.

plus froids s'enfoncent ; toutefois, de nombreux écoulements sont étonnamment peu profonds. Les astronomes ont également étudié les déplacements horizontaux à une profondeur d'environ 1 400 kilomètres et ils ont superposé les cartes de ces déplacements aux cartes du champ magnétique également obtenues par l'instrument MDI. Ils ont trouvé que le champ magnétique est particulièrement intense dans les régions où convergent les écoulements de gaz, sous la surface. Ainsi, le gaz bouillonnant rassemble probablement les lignes de champ magnétique et les concentre, surmontant la pression magnétique antagoniste qui devrait disperser ces concentrations locales.

SOHO révèle également la structure de l'atmosphère externe du Soleil et, en particulier, de la couronne. La bordure nette du disque solaire est illusoire : elle n'indique que le rayon au-delà duquel le gaz solaire devient transparent. La couronne, invisible, s'étend jusqu'aux planètes et présente l'un des paradoxes les plus intrigants de la physique solaire : bien que la température de la photosphère ne soit égale qu'à 5 500 °C, la partie de la couronne qui est au-dessus est à une température supérieure à un million de degrés. Comme la chaleur ne peut migrer d'une région froide vers une région plus chaude (le deuxième principe de la thermodynamique serait violé, ainsi que le bon sens), un mécanisme inconnu doit transporter de l'énergie de la photosphère, ou d'une région inférieure, jusqu'à la couronne. Quelle forme d'énergie ? L'énergie cinétique et l'énergie magnétique peuvent passer d'une zone froide à une zone chaude : des volutes de gaz et des mouvements du champ magnétique pourraient transporter cette énergie.

Pour étudier la couronne et identifier son mystérieux mécanisme de chauffage, les physiciens observent

INSTRUMENT	EXPÉRIENCE	RESPONSABLE PRINCIPAL
GOLF	Le dispositif pour la mesure des oscillations globales de basses fréquences mesure la vitesse des oscillations globales au sein du Soleil	Alan Gabriel, Institut d'astrophysique spatiale, France
VIRGO	L'instrument pour l'étude de la variabilité de la luminosité solaire et des oscillations de gravité mesure les fluctuations de l'éclat du Soleil, ainsi que la quantité d'énergie émise	Claus Fröhlich, Observatoire physico-météorologique de Davos et Centre mondial du rayonnement, Suisse
SOI/MDI	La caméra Doppler-Michelson pour l'étude des oscillations mesure la vitesse des oscillations produites par les sons piégés dans le Soleil	Philip Scherrer, Université Stanford, États-Unis
SUMER	L'instrument de mesure du rayonnement ultraviolet émis par le Soleil fournit des données sur la température, la densité et la vitesse de divers gaz dans la chromosphère et la couronne	Klaus Wilhelm, Institut d'aéronomie Max Planck, Allemagne
CDS	Le spectromètre de diagnostic coronal mesure la température et la densité des gaz dans la couronne	Richard Harrison, Laboratoire Rutherford Appleton, Royaume-Uni
EIT	Le télescope à imagerie en ultraviolet lointain donne des images du disque complet de la chromosphère et de la couronne	Jean-Pierre Delaboudinière, Institut d'astrophysique spatiale, France
UVCS	Le spectromètre à coronographe ultraviolet mesure la température et la vitesse des atomes d'hydrogène, d'oxygène et d'autres ions dans la couronne	John Kohl, Observatoire d'astrophysique Smithsonian, États-Unis
LASCO	Le coronographe spectroscopique à grande ouverture fournit des images qui révèlent l'activité, la masse, la quantité de mouvement et l'énergie de la couronne	Guenter Brueckner, Laboratoire de recherches de la marine, États-Unis
SWAN	Grâce à l'expérience de mesure des anisotropies du vent solaire, on étudie les variations spatiale et temporelle du vent solaire	Jean-Loup Bertaux, Service d'aéronomie du CNRS, France
CELIAS	Le système d'analyse des charges, éléments et isotopes quantifie la masse, la charge, la composition et la distribution d'énergie des particules du vent solaire	Peter Bochsler, Université de Berne, Suisse
COSTEP	L'analyseur de particules suprathermiques et énergiques détermine la répartition d'énergie des protons, des ions hélium et des électrons	Horst Kunow, Université de Kiel, Allemagne
ERNE	L'expérience «noyaux et électrons de haute énergie et relativistes» mesure la répartition d'énergie et la composition isotopique des protons, d'autres ions et des électrons	Jarmo Torsti, Université de Turku, Finlande

les rayonnements ultraviolets et X, car la matière chaude, comme celle de la couronne, émet la plus grande partie de son énergie à ces longueurs d'onde. Comme la photosphère est trop froide

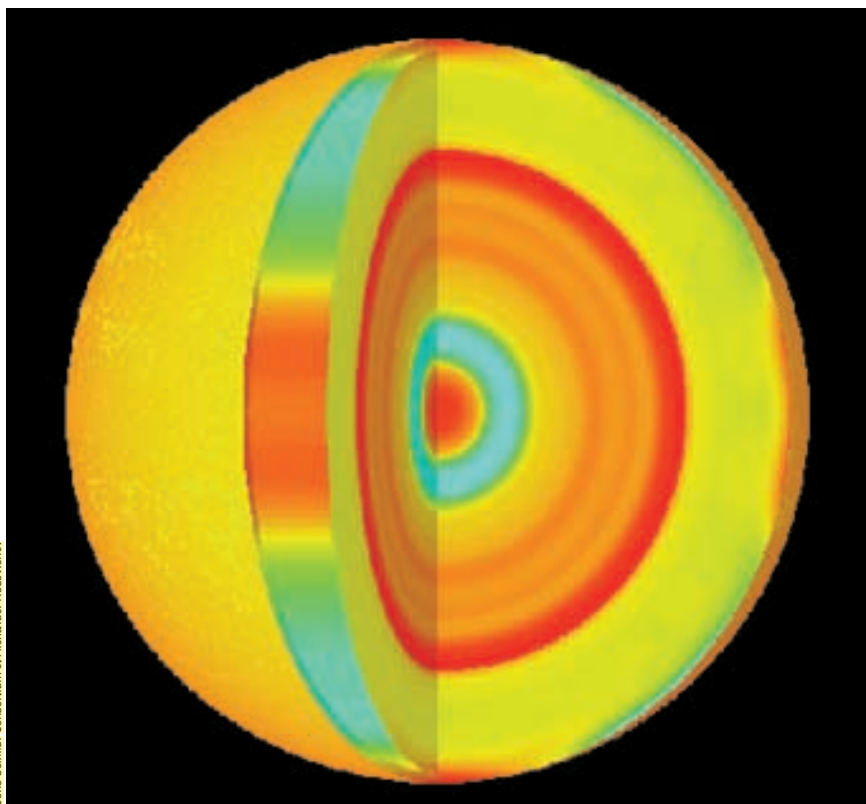
pour rayonner intensément à ces longueurs d'onde, elle forme un fond sombre sous la lumière du gaz chaud. De la Terre, les rayonnements de la couronne sont invisibles parce qu'ils

sont absorbés par l'atmosphère terrestre. SOHO, lui, mesure le rayonnement ultraviolet au moyen de quatre instruments : le télescope à imagerie en ultraviolet lointain (EIT), le détecteur de rayonnements ultraviolets émis par le Soleil (SUMER), le spectromètre de diagnostic coronal (CDS) et le spectromètre à coronographe ultraviolet (UVCS).

Pour identifier des structures dont la température est comprise entre 6 000 et deux millions de degrés, SOHO se fonde sur les raies spectrales. Ces raies s'obtiennent lorsqu'on sépare les diverses longueurs d'onde des rayonnements détectés. Les instruments de SOHO établissent des cartes de la température en identifiant les raies spectrales émises par les ions qui se sont formés : les atomes plus chauds perdent plus d'électrons par collision, et deviennent ainsi plus ionisés ; les émissions de ces différents ions, à des longueurs d'onde différentes, révèlent ainsi la température du milieu. De surcroît, on calcule la vitesse de la matière qui se déplace dans ces régions en mesurant les décalages Doppler des longueurs d'onde.

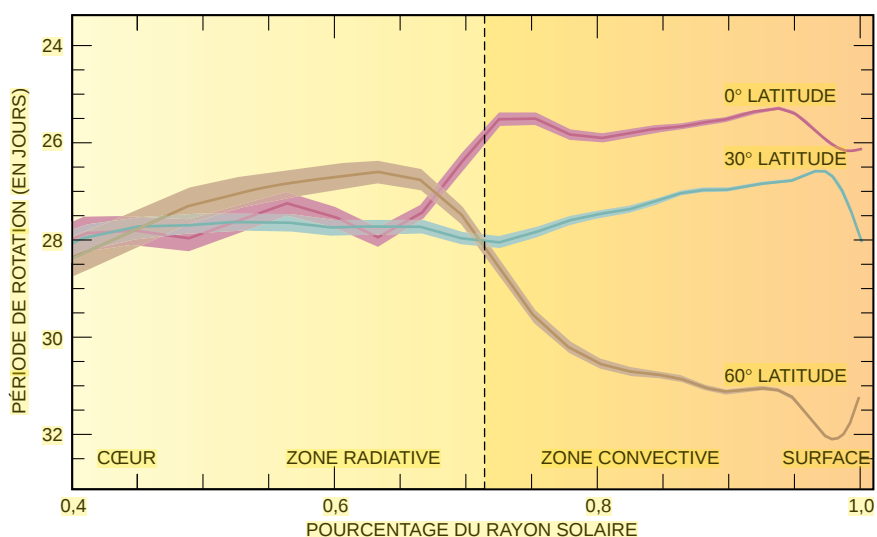
Le rayonnement ultraviolet montre que le Soleil est un corps turbulent, même au minimum d'activité du cycle de onze ans, ce qui expliquerait pourquoi la couronne est si chaude. Cette idée est apparue quand on a observé que le rayonnement ultraviolet du Soleil semblait provenir de petites régions brillantes localisées. SOHO a mesuré que ces points chauds présents en permanence se forment à une température de un million de degrés et semblent associés à de petites boucles magnétiques de gaz chaud que l'on trouve partout sur le Soleil, y compris aux pôles Nord et Sud. Certaines de ces boucles explosent, éjectant de la matière à des vitesses de plusieurs centaines de kilomètres par seconde. Les astrophysiciens de l'équipe SOHO étudient maintenant le rôle que jouent ces points brillants dans le mécanisme de chauffage coronal.

Afin d'étudier les variations qui se produisent dans la partie supérieure de l'atmosphère du Soleil, on utilise l'UVCS et le coronographe spectroscopique à grande ouverture (LASCO). Les deux instruments contiennent des disques qui occultent l'éclat de la photosphère solaire. LASCO détecte la lumière solaire visible



SoHo solar Consortium et Alexander Kosovichev

3. À PARTIR DES VITESSES DU SON, dans le Soleil, on détermine la densité et la température qui règnent dans différentes parties de notre étoile. Les zones rouges correspondent à des vitesses du son supérieures à celles d'un modèle solaire de référence (*en jaune*). Inversement, les zones bleues dénotent des vitesses du son inférieures. La brusque diminution de la vitesse du son à la frontière du cœur du Soleil résulterait d'instabilités qui y mélangent la matière, mais dont on ignore l'origine. Dans la zone convective, les vitesses de rotation observées diffèrent de la théorie selon la latitude (*tranche colorée vue de face*).



M. Goodman, d'après SoHo solar Consortium et A. Kosovichev

4. LA VITESSE DE ROTATION INTERNE du Soleil à 0, à 30 et à 60 degrés de latitude a été déterminé à l'aide de la caméra Doppler-Michelson (MDI). À la base de la zone convective, les régions polaires tournent plus lentement que les régions équatoriales. En dessous, la rotation semble plus uniforme, bien que les astrophysiciens n'aient pas encore déterminé les vitesses de rotation dans le cœur même du Soleil.