

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

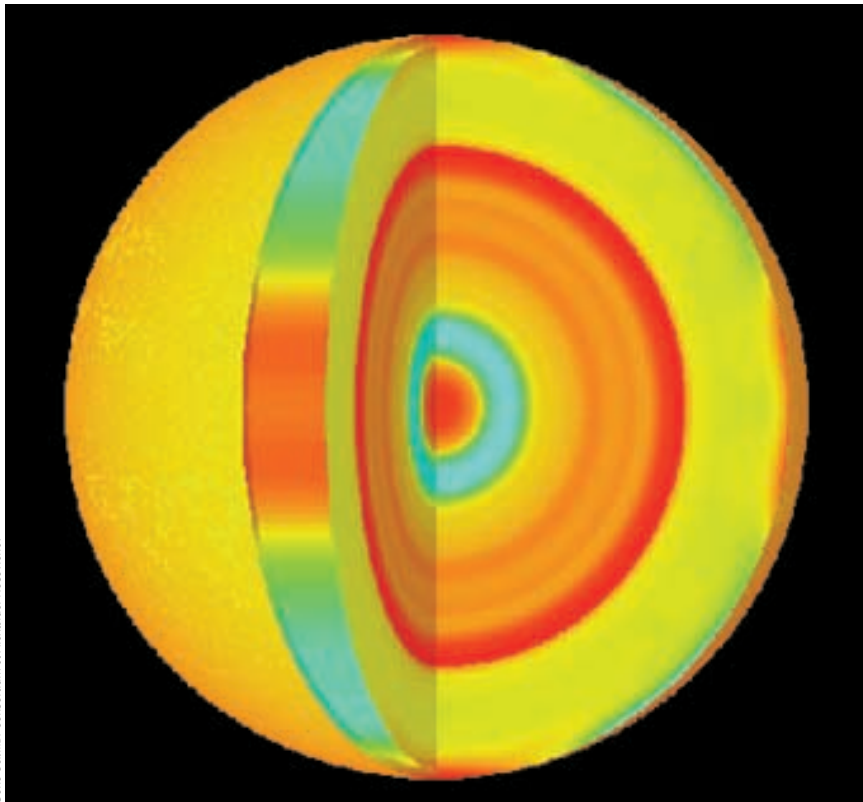
pour rayonner intensément à ces longueurs d'onde, elle forme un fond sombre sous la lumière du gaz chaud. De la Terre, les rayonnements de la couronne sont invisibles parce qu'ils

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).

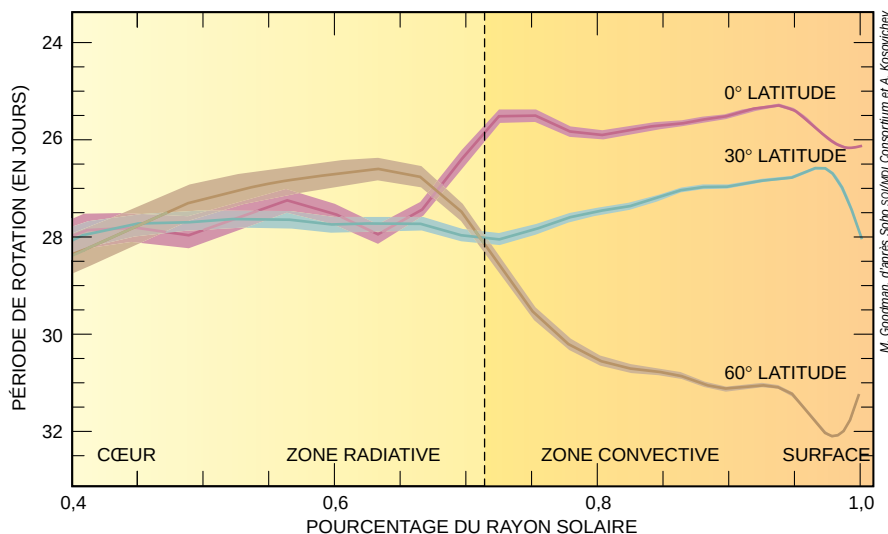
Pour identifier des structures dont la température est comprise entre 6 000 et deux millions de degrés, SOHO se fonde sur les raies spectrales. Ces raies s'obtiennent lorsqu'on sépare les diverses longueurs d'onde des rayonnements détectés. Les instruments de SOHO établissent des cartes de la température 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



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*).



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.

diffusée par les électrons de la couronne. Ses premières observations, durant la période de faible activité solaire, avaient révélé une couronne simple, symétrique, stable, avec des trous prononcés au Nord et au Sud. Ces trous coronaux sont des régions étendues, peu denses et froides, qui émettent très peu d'ultraviolets lointains et peu de rayons X.

En revanche, de minces jets de matière étaient éjectés des régions équatoriales. Le champ magnétique du Soleil façonne ces jets. À leur base, la matière chargée est fortement concentrée dans des boucles magnétiques enracinées dans la photosphère. Plus haut dans la couronne, les jets s'amincissent et s'étendent dans l'espace sur des dizaines de millions de kilomètres : la matière y est confinée à des températures d'environ deux millions de degrés, à l'intérieur de frontières magnétiques allongées, créant une nappe de gaz chaud qui entoure le Soleil.

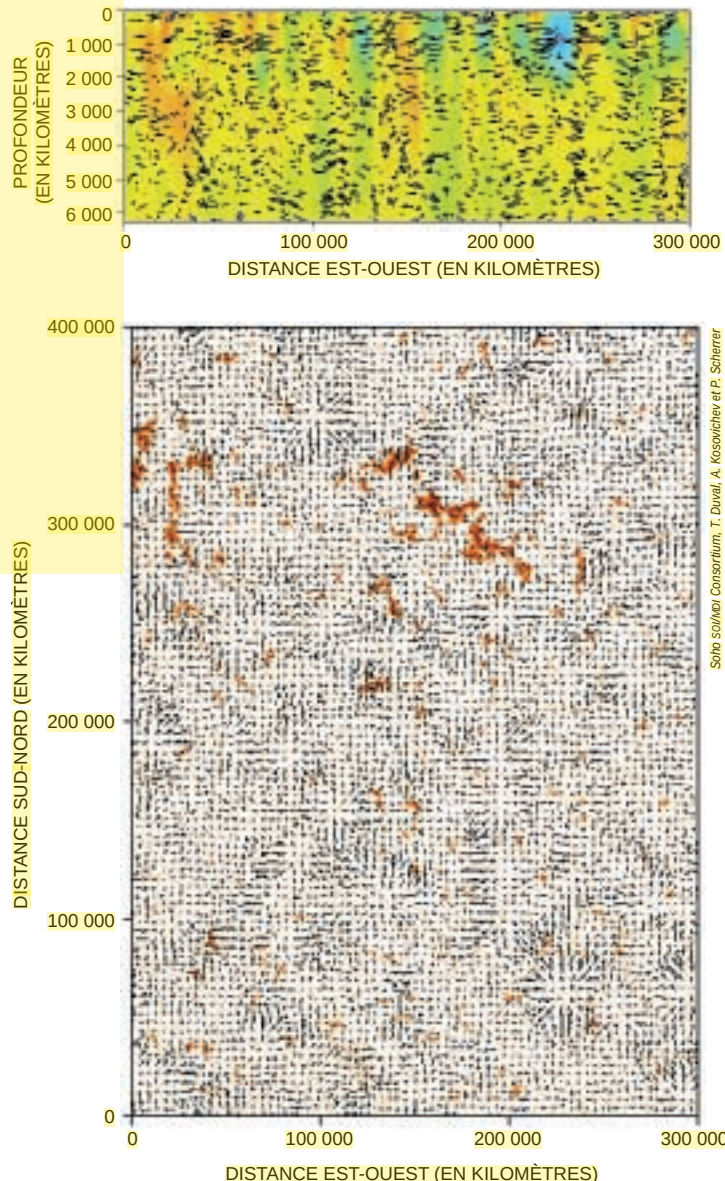
Dans les jets, la matière semble s'échapper continuellement le long des champs magnétiques ouverts. Parfois, les coronographes enregistrent des concentrations denses de matière qui se superposent aux jets, comme si des feuilles flottaient à la surface d'un cours d'eau. D'autres fois, de gigantesques éruptions coronales perturbent l'écoulement. Ces éruptions projettent des milliards de tonnes de gaz brûlant dans l'espace interplanétaire à des vitesses de plusieurs centaines de kilomètres par seconde. Cette matière atteint souvent la Terre en deux ou trois jours.

Grâce à LASCO, on a découvert que des éruptions équatoriales étaient émises de deux régions opposées du Soleil, à intervalles de quelques heures.

De la matière est-elle simultanément éjectée tout autour du Soleil ou bien seulement dans ces deux directions ? Les coronographes n'ont, hélas, qu'une vision latérale du Soleil et ne peuvent ainsi voir la matière qui s'éloigne ou s'approche de la Terre.

En se fondant sur les observations, nous pensons tout de même que ces éjections sont des perturbations globales qui s'étendent tout autour du Soleil. De vastes régions du Soleil semblent agitées de convulsions lors

des éruptions coronales, du moins lors du minimum du cycle d'activité de onze ans. De plus, quelques jours avant les éruptions, le coronographe a détecté un sursaut de luminosité de la nappe, ce qui indique qu'il s'y accumule de la matière. La pression de cette matière supplémentaire croît probablement jusqu'à ce que la nappe s'ouvre sous la forme d'une éruption. Ce mécanisme est probablement lié à une réorganisation globale du champ magnétique solaire.



5. LA MATIÈRE s'écoule à la fois verticalement et horizontalement dans le Soleil. Ses mouvements et sa température peuvent être visualisés à l'aide de la caméra Doppler-Michelson (MDI), à bord de SOHO. La coupe verticale (en haut) montre des variations d'écoulement et de température dans une zone de 8 000 kilomètres sous la surface du Soleil. Les dégradés de couleur indiquent une variation de température du froid (en bleu) au chaud (en rouge). On a mesuré (en bas), à une profondeur de 1 400 kilomètres, la température et on l'a comparée aux champs magnétiques de surface (taches marrons). Dans les deux cas, les petits segments noirs indiquent la direction et les vitesses relatives de la matière, qui atteignent une vitesse maximale de un kilomètre par seconde.

Vents solaires et au-delà

L'atmosphère chaude et agitée du Soleil s'étend dans toutes les directions, emplissant en permanence le Système solaire de vent solaire, composé d'électrons et d'ions, dont le déplacement s'accompagne d'un champ magnétique. Dans la couronne, l'énergie d'agitation thermique, qui s'accompagne d'une tendance à la dispersion de la matière, est supérieure à l'énergie potentielle gravitationnelle due au Soleil, ce qui permet l'éjection de matière. Ce vent est en permanence alimenté par du gaz qui provient de zones situées sous la couronne. Des mesures effectuées par diverses sondes spatiales antérieures ont montré que le vent est composé de particules rapides et de particules lentes. Les particules rapides se déplacent à environ 800 kilomètres par seconde, tandis que les particules lentes n'ont que la moitié de cette vitesse.

On ignore d'où part la composante lente et pourquoi la composante rapide est plus rapide, mais SOHO devrait fournir des réponses : la composante lente est associée à des régions équatoriales du Soleil, aujourd'hui observées par LASCO et UVCS. La