

Complément 5.2

RAYONNEMENTS SOLAIRES

On voit le Soleil comme une source de lumière, de chaleur et accessoirement comme une lampe à bronzer. Mais notre étoile émet bien plus que la petite partie visible de la lumière ; il émet dans tout le spectre électromagnétique, des ondes radios aux rayonnements dits ionisants (X et gamma), et il émet ou éjecte aussi des particules issues du cœur nucléaire (neutrinos) ou de ses couches superficielles (électrons et ions).

Les émissions électromagnétiques

Quand on parle de spectre électromagnétique solaire, on ne pense souvent qu'à sa partie visible, éventuellement au proche ultraviolet et au proche infrarouge, qui à eux trois concentrent, il est vrai, l'essentiel de l'énergie rayonnée sur quelques micromètres de longueur d'onde (98% de l'énergie rayonnée est transportée par les photons de longueurs d'onde comprises entre 250nm et 4μm).

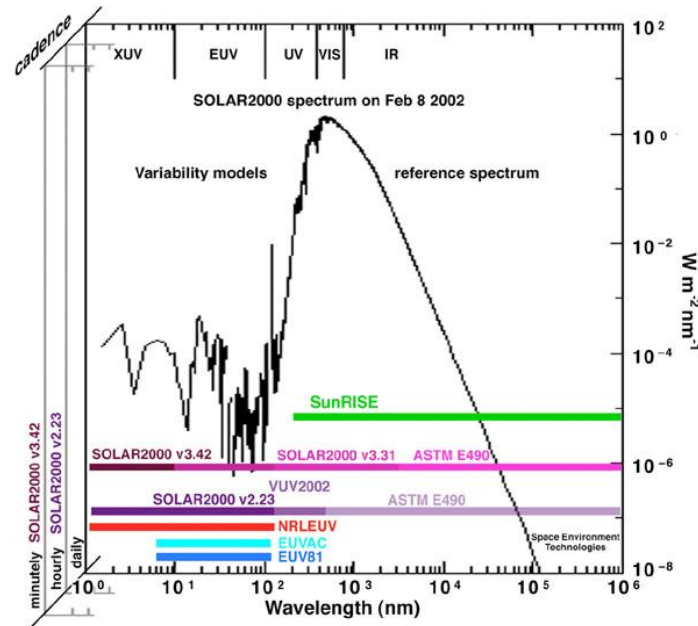


Fig. 1 : spectre électromagnétique solaire de quelques nanomètres (X mou) au millimètre (limite entre l'infrarouge lointain et le domaine radio) (crédit : Space Environment Technologies ; <http://www.spacewx.com/solar2000.html>)

Pourtant, on le sait, l'émission concerne tout le spectre (Fig. 1) et il est vaste !

Il est important de comprendre une différence fondamentale dans les processus d'émission de ces rayonnements. Les rayonnements ultraviolet, visible et infrarouge, la grosse majorité des photons émis donc, sont des émissions dites thermiques, dues à la température du Soleil (voir *Le corps noir*). Ce sont des composantes stables dans le temps, celles-là même qui font de la puissance rayonnée par le Soleil (sa luminosité $L_{\odot} = 3,83 \cdot 10^{26}$ W) une constante. Pour être complet, un rayonnement thermique en UV extrême et X mou se produit dans la chromosphère et la basse couronne qui sont des couches localement très chaudes. Cette composante de plus grande énergie est hautement variable avec le cycle solaire.

Arrêtons-nous un instant sur les ultraviolets. On distingue 3 catégories selon leur domaine de longueurs d'ondes dans le vide : les UVA entre 315 et 400 nm sont responsables du bronzage ; les UVB entre 280 à 315 nm sont responsables des coups de soleil ; et les UVC entre 100 à 280 nm qui sont potentiellement plus nocifs encore mais qui sont efficacement stoppés par l'atmosphère (par photodissociation de l'ozone comme les UVA et UVB, et du dioxygène).

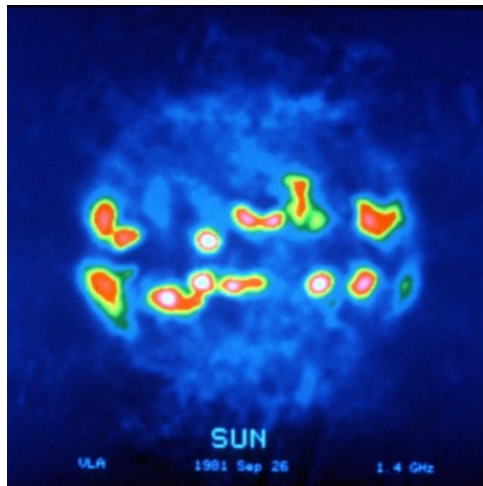
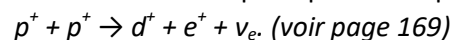


Fig. 2 : Le Soleil vue dans le domaine radio par le Very Large Array. Seules les zones actives sont intensément émettrices (crédit : NRAO/NSF).

Et puis il y a les rayonnements non thermiques qui concernent les très courtes longueurs d'ondes (X durs et gamma) d'un côté du spectre, et les très grandes longueurs d'ondes (radio) de l'autre côté du spectre. Ces rayonnements sont produits par des processus autres que ceux produits par des corps chauds (d'où leur nom) comme des réactions nucléaires, des collisions de particules ou des annihilations particules-antiparticules pour l'émission de gamma ; et des accélérations de particules ou des interactions ondes-particules pour les émissions radio (Fig. 2). Ces rayonnements non thermiques sont produits dans l'environnement du Soleil, chromosphère et couronne, lors d'événements violents et leur occurrence suit donc étroitement le cycle solaire (voir *Cycle solaire et activité magnétique*).

Les émissions de neutrinos

Les réactions de fusion thermonucléaire qui ont lieu dans le cœur du Soleil donnent naissance à des particules de masse très faible : les neutrinos. La source principale est la première réaction du cycle proton-proton 1 (PP1) :



Les neutrinos ont la propriété de très peu interagir avec la matière (seulement via l'interaction faible) donc ils s'échappent du cœur du Soleil bien plus vite que les photons et ils sont difficilement détectables.

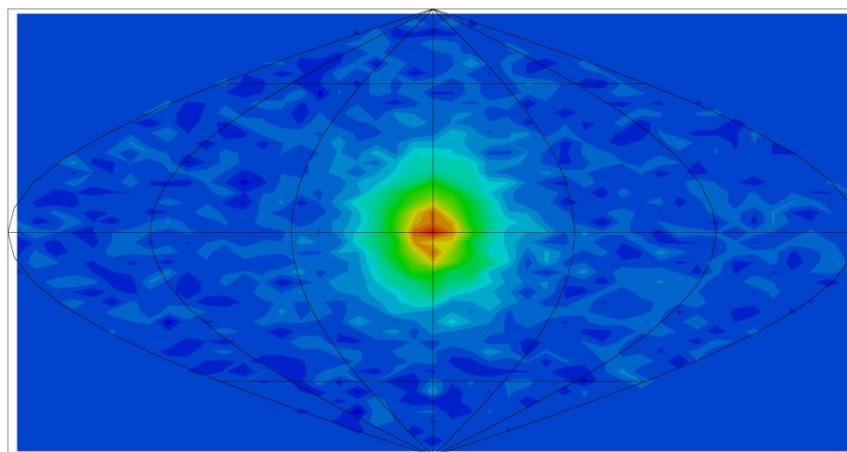


Fig. 3 : le Soleil "vu" en neutrinos par le Super-Kamiokande au Japon. (Crédit : JACSA).

Une des installations les plus performantes au monde pour détecter les neutrinos est le Super-Kamiokande, une cuve remplie d'eau pure et bardée de capteurs photosensibles qui vont détecter la très faible lumière issue des rares interactions entre les neutrinos et l'eau. La lumière est produite par effet Čerenkov qui se produit quand une particule se meut plus vite que la lumière dans un milieu donné. Il faut bien avouer que le Soleil « vu » en neutrinos (Fig. 3) n'est pas très impressionnant.

Mais l'observation des neutrinos solaires a soulevé un problème pendant près de 30 ans : on n'observait qu'environ la moitié des neutrinos que prédisait la théorie. La solution est venue de la physique quantique. Les neutrinos sont de trois types ou saveurs : électroniques (ν_e) comme ceux émis par le Soleil, muoniques (ν_μ) et tauiques (ν_τ). Par ailleurs, les physiciens ont fait deux découvertes d'importance : les neutrinos muoniques et tauiques sont quasiment indétectables par les moyens actuels et surtout, les neutrinos peuvent se transformer spontanément d'un type en un autre (on appelle cela, l'oscillation des neutrinos). Près de la moitié des neutrinos électroniques produits par le Soleil se transforment en d'autres saveurs entre le Soleil et la Terre et n'étaient pas détectés !

Les particules énergétiques solaires

Le Soleil émet aussi de sa propre matière sous la forme d'un vent de particules qu'on appelle vent solaire (Voir *Le vent solaire et le champ magnétique interplanétaire*). Nous ne retraisons pas ce sujet ici mais allons insister sur la composante à haute énergie des émissions de particules.

Parfois appelées particules cosmiques solaires car elles empiètent sur le domaine d'énergie des particules cosmiques, les particules énergétiques solaires sont des électrons ou des ions de très hautes énergies. La majorité ne dépasse pas le GeV (soit une vitesse de 0,875 c) mais les plus rapides peuvent atteindre voire dépasser les 10 GeV (0.996 c). Elles sont émises, ou plutôt accélérées, lors d'événements solaires violents comme les éruptions chromosphériques ou les éjections coronales de masses (voir *Événements extrêmes et météorologie de l'espace*).

Elles sont particulièrement surveillées car elles posent un problème de taille pour le fonctionnement des satellites en interagissant avec l'électronique à bord et la santé des spationautes en produisant des dommages potentiellement sévères sur les cellules et l'ADN.

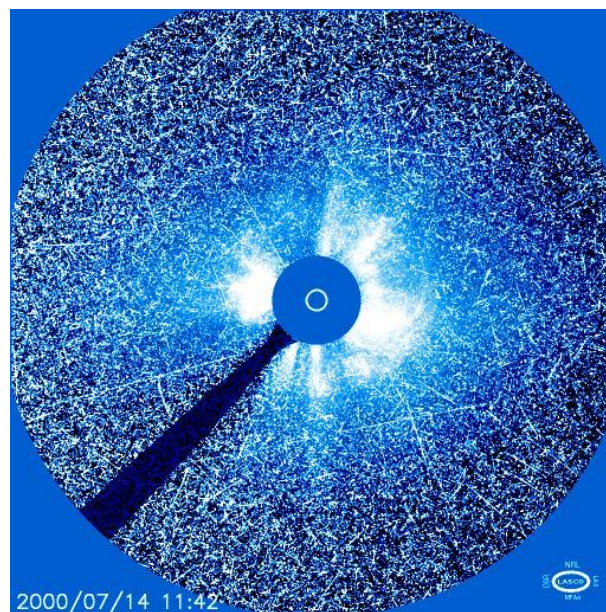


Fig. 4 : Particules énergétiques solaires (des protons surtout) émises pendant la CME de La Bastille, le 14 juillet 2000. Elles viennent saturer le détecteur du coronographe LASCO C2 à bord de SoHO (crédit : ESA/NASA).