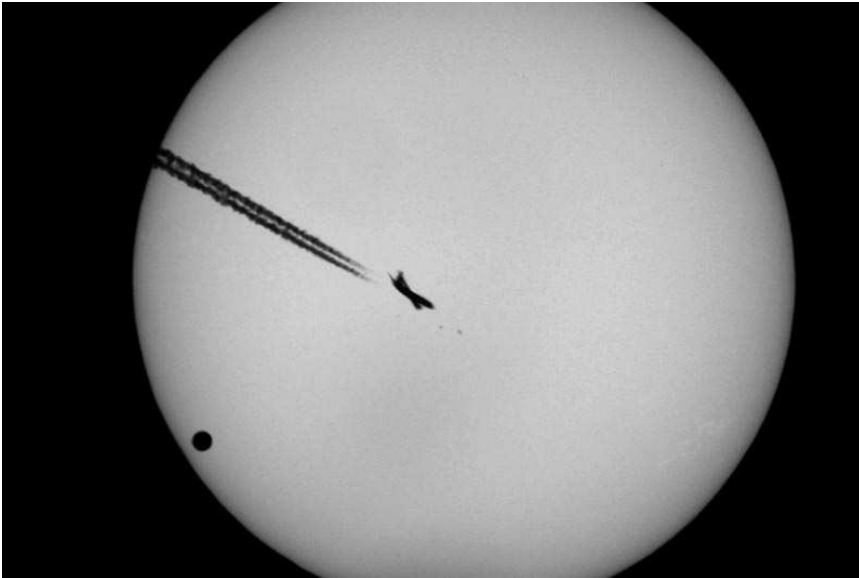


Le Soleil : principales caractéristiques

Le Soleil est une étoile ordinaire de type spectral G (de séquence principale) parmi les 200 milliards que compte notre Galaxie. Etant proche de nous (8 mn lumière, $150 \cdot 10^6$ km), il présente un diamètre apparent sur le ciel d'un demi-degré ce qui permet de l'étudier en détails.



Le passage de Vénus (en bas à gauche) devant le Soleil le 8 Juin 2004 donne une idée de la dimension du Soleil. Un avion a coupé le faisceau au moment du cliché !

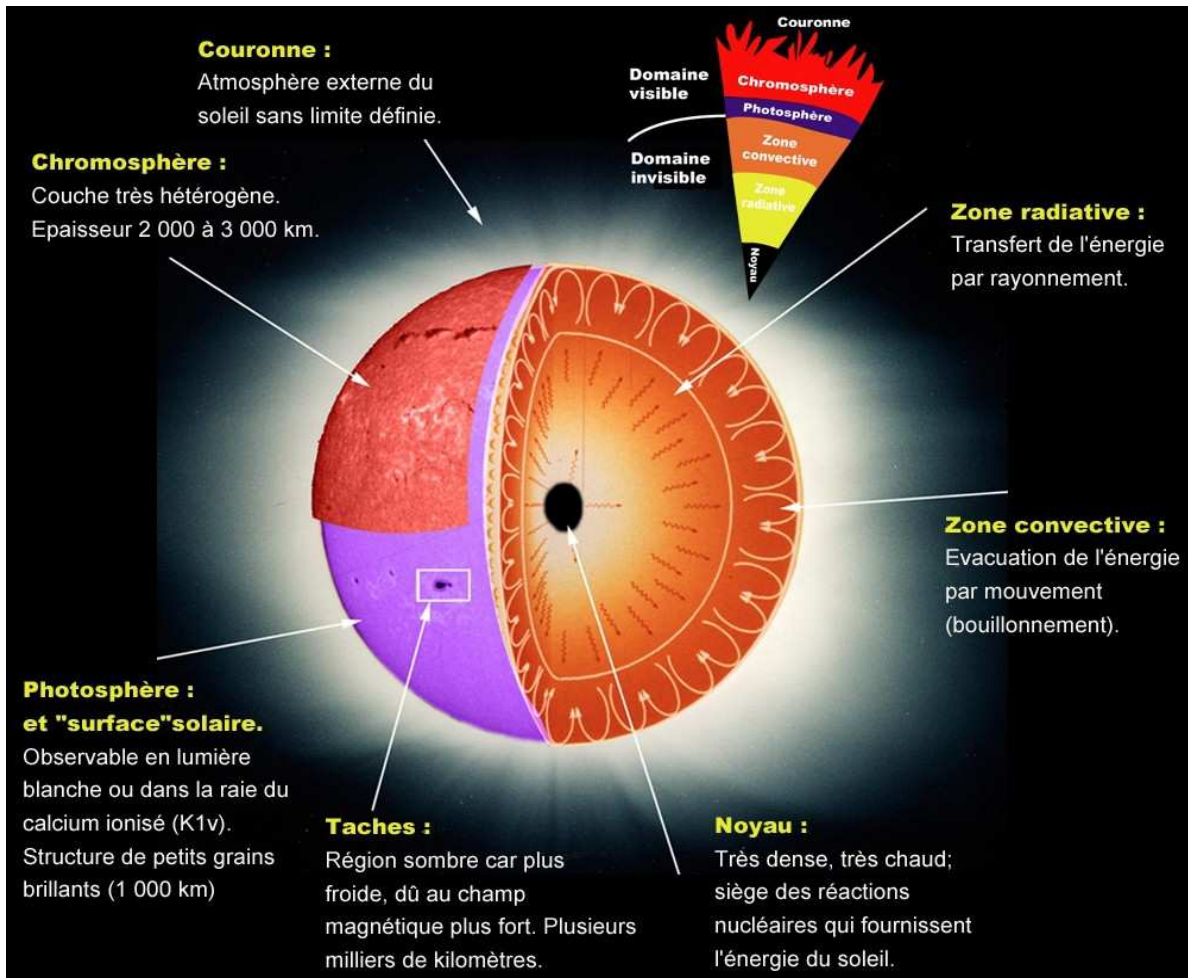
Agé de 5 milliards d'années, le Soleil tourne lentement autour du centre galactique en 240 millions d'années. Il est constitué d'une sphère de gaz chaud de diamètre 1400000 km et de masse $2 \cdot 10^{30}$ kg. Il est composé de 90% d'hydrogène et de 10% d'hélium. Tous les autres éléments (métaux) sont présents mais en trace. Le Soleil tourne sur lui même plus vite à l'équateur (26 jours) qu'aux pôles (31 jours).

C'est au centre du Soleil que des réactions thermonucléaires de fusion transmutent l'Hydrogène en Hélium en produisant l'énergie et le rayonnement de notre étoile (4 millions de tonnes disparaissent par seconde en énergie selon la loi $E = m C^2$!). Ces réactions sont confinées dans un milieu où la densité est élevée (150 fois celle de l'eau) et la température atteint $15 \cdot 10^6$ K. L'énergie produite traverse lentement le Soleil pour atteindre les couches superficielles et est ensuite émise sous forme de lumière. La surface visible du Soleil (la photosphère, couche épaisse de 300 km seulement) est à une température de 5750 K et émet la lumière blanche naturelle.

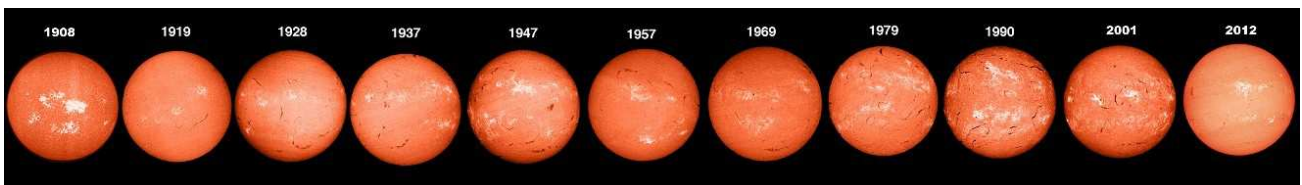
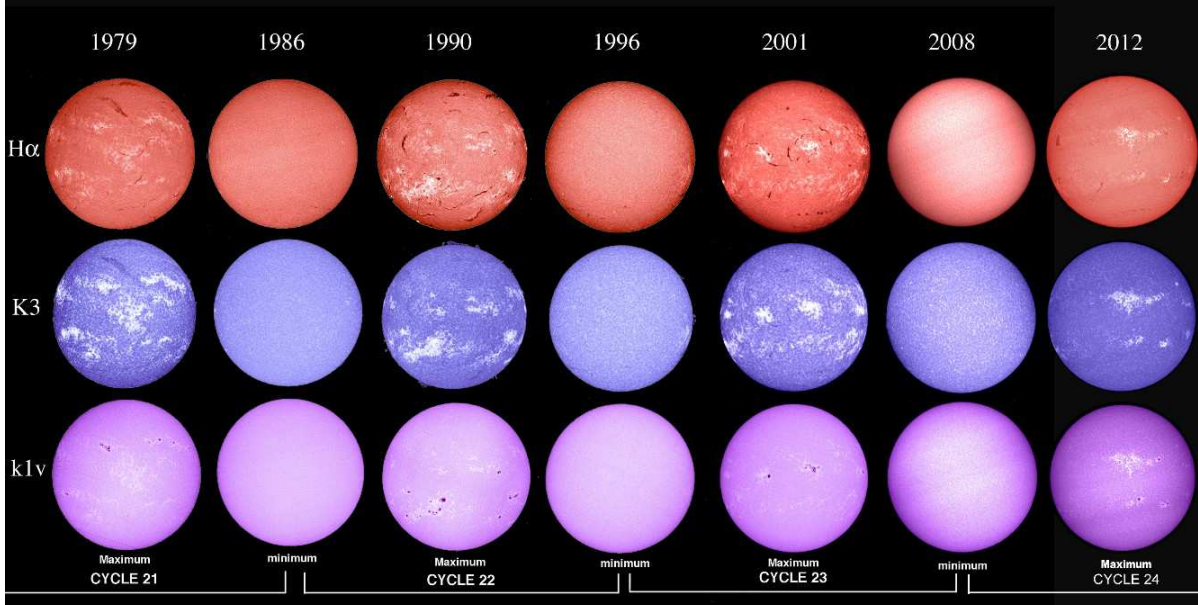
Avec un instrument d'observation, on découvre des taches, qui sont des régions un peu plus « froides » (4000 K) qui présentent un champ magnétique très important (0.1 T). Le magnétisme est responsable de la plupart des phénomènes visibles dans l'atmosphère solaire. On pense qu'il est généré par des mouvements de charges dans les couches situées sous la surface en liaison avec la rotation différentielle de l'étoile (effet dynamo).

Au dessus de la photosphère, la température remonte pour atteindre environ 8000 K dans la chromosphère, couche de 2000 km d'épaisseur, qui n'est visible qu'avec une instrumentation spécialisé. On y observe des zones très brillantes (facules) mais aussi des filaments (sombres) de matière froide piégée par des champs magnétiques. Au-dessus de la chromosphère, pour des raisons encore mal expliquées, la température remonte à plus de 10^6 K. C'est la couronne. Les coronographes en haute montagne et surtout les satellites qui sont au dessus de notre atmosphère permettent d'observer la couronne solaire très ténue.

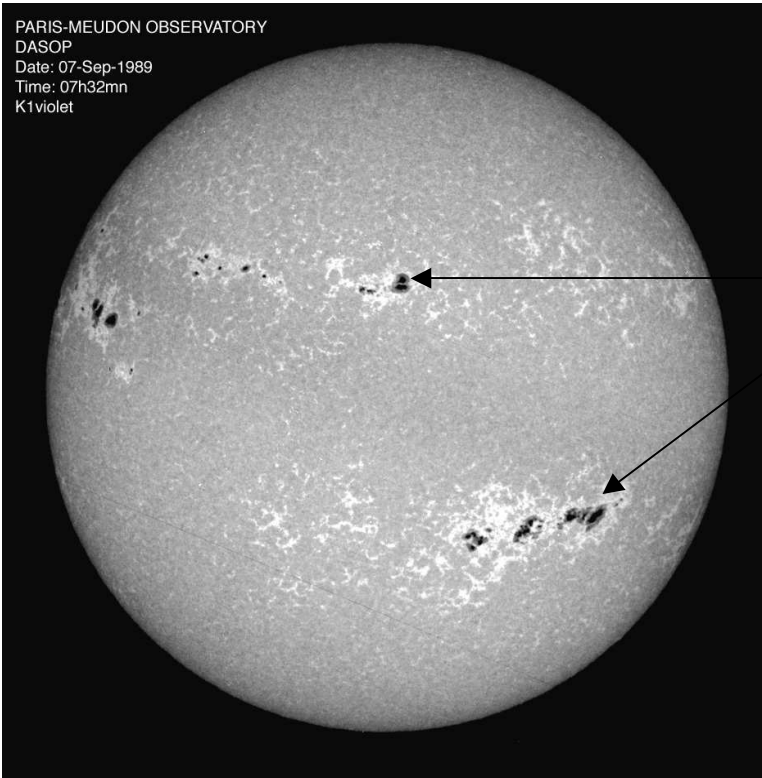
Les diverses manifestations de l'activité solaire (surface tachée, filaments, éruptions, éjections de masse coronale) sont modulées par un cycle de 11 ans.



CYCLES DE 11 ANS

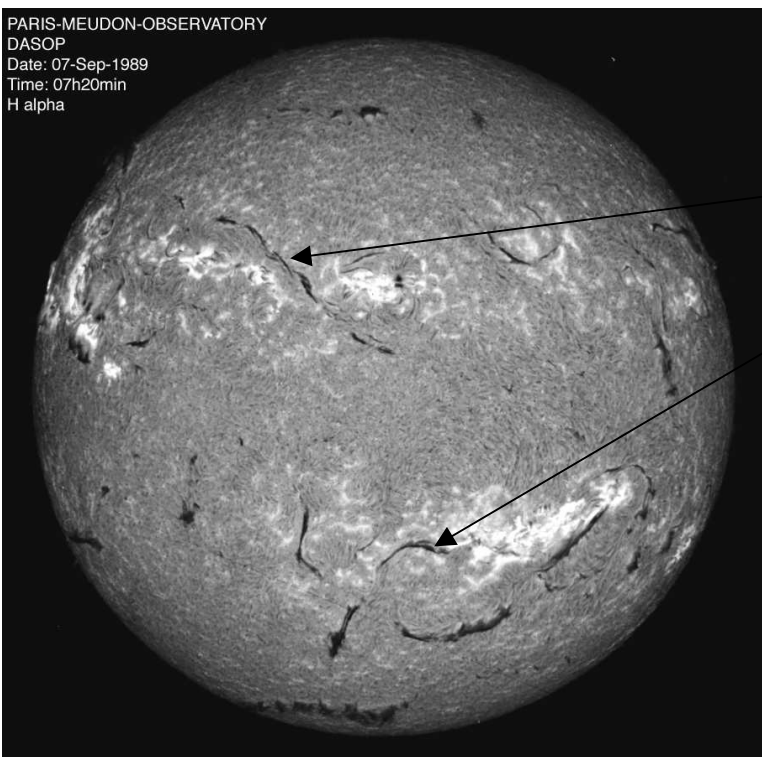
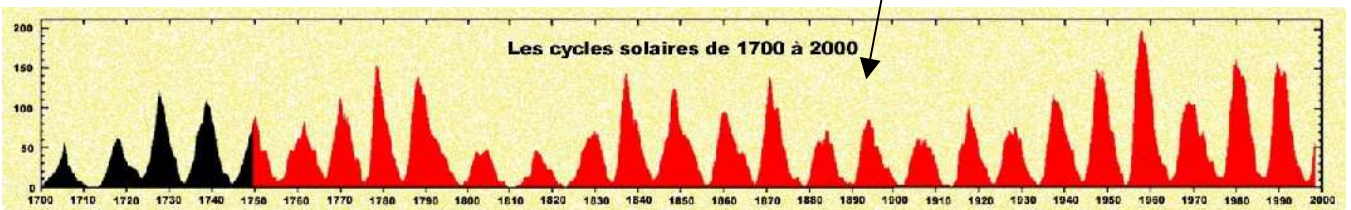


Des structures solaires vues au spectrographe ...



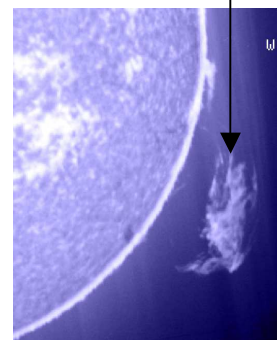
La photosphère

Les taches sont des régions de champ magnétique intense (0.1 Tesla) qui émerge de la surface solaire. Elles sont entourées de zones brillantes plus chaudes appelées facules où les champs magnétiques sont également présents. La surface tachée suit un cycle de 11 ans : c'est le cycle d'activité solaire avec ses maxima qui donnent naissance à une recrudescence des phénomènes dynamiques et éruptifs.

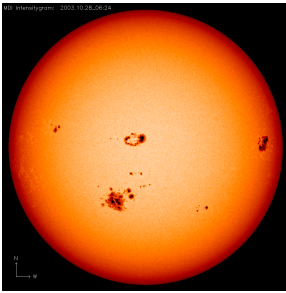


La chromosphère

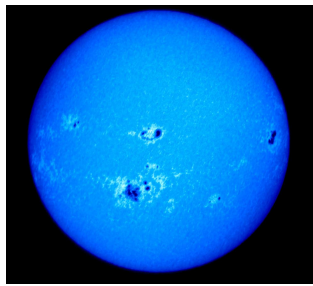
Les filaments (qui apparaissent en protubérances au bord solaire) sont constitués de plasma dense de type chromosphérique (8000 K) en suspension dans la couronne chaude (10^6 K) sous l'influence de champs magnétiques qui les soutiennent contre la gravité.



La spectroscopie permet d'explorer l'atmosphère solaire

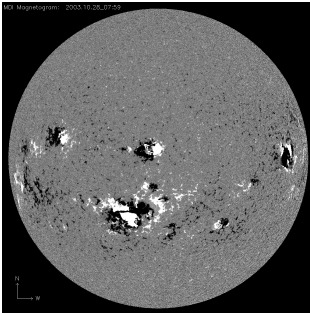


Photosphère en NiI et CaII

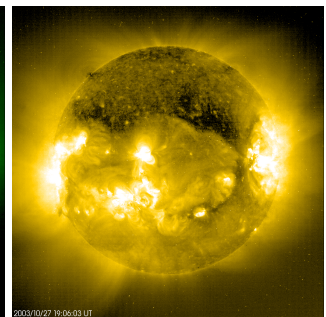
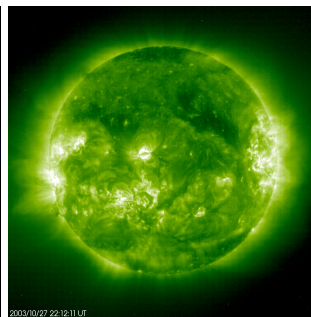
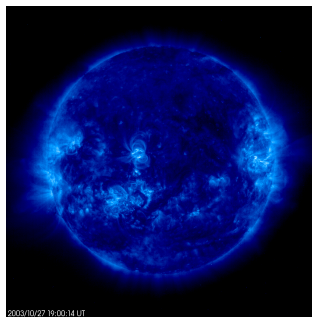
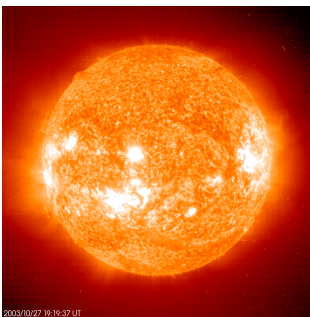


Chromosphère en H α

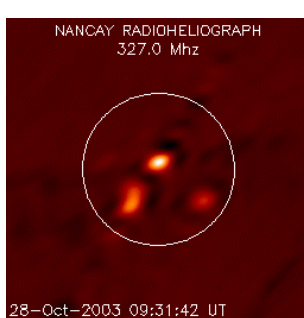
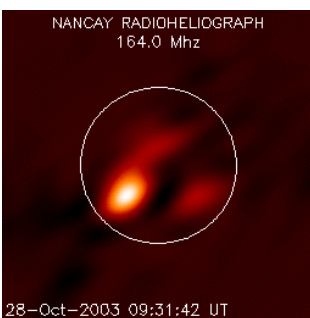
Les raies spectrales d'absorption du spectre de la lumière visible révèlent les basses couches de l'atmosphère dont la température varie entre 4500 et 8000 degrés, la photosphère et la chromosphère (Observatoires de Meudon et instrument MDI/SOHO)



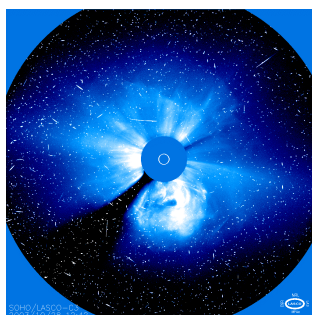
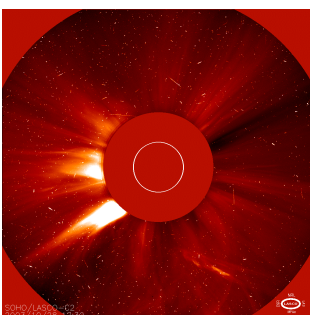
L'effet Zeeman sur les raies spectrales permet de mesurer les champs magnétiques dans la photosphère du soleil, qui sont à l'origine de l'activité de l'étoile (raie NiI, MDI/SOHO)



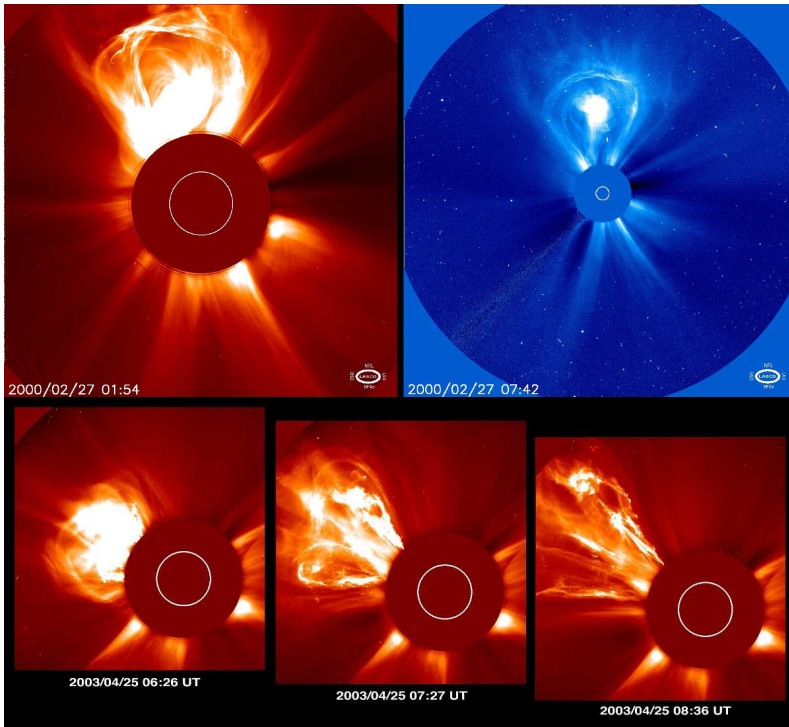
En UltraViolet, dans les raies d'atomes hautement ionisés de FeX à FeXIII, la basse couronne apparaît dans des températures qui vont de 80 000 à plus de 2 millions de degrés (instrument EIT/SOHO)



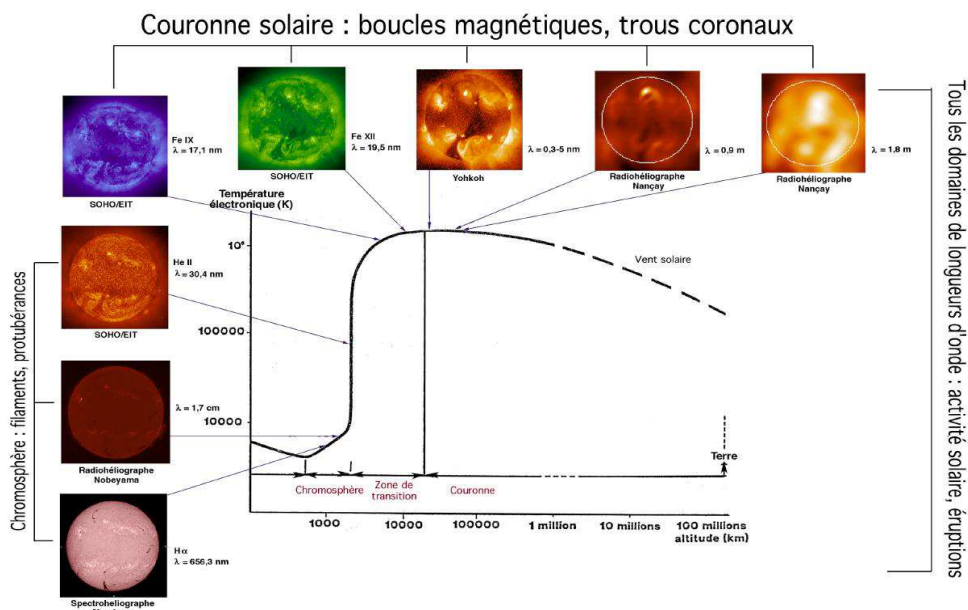
En ondes radioélectriques, on détecte le rayonnement des particules accélérées dans la couronne solaire (Radiohéliographe de Nançay, ondes



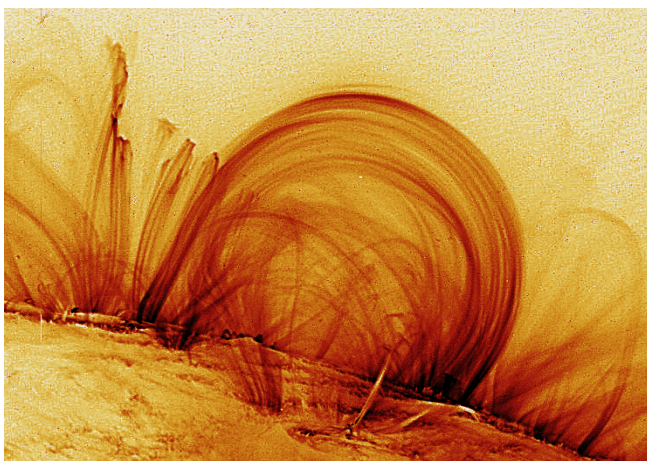
Les coronographes de SOHO, en lumière blanche, révèlent la couronne solaire à moyenne et grande distance (instrument LASCO/SOHO). Le disque du soleil est représenté par le cercle blanc et masqué par une « Lune artificielle ».



Depuis 1996, l'observatoire spatial SOHO (ESA/NASA) situé à 1,5 millions de km de la Terre, permet d'observer la couronne solaire en dehors des éclipses, en continu, 24 heures sur 24, à l'aide du coronographe, dont le principe a été inventé à l'Observatoire de Meudon par Bernard LYOT. Le disque solaire est masqué par une « Lune artificielle » que l'on voit sur les images (le cercle blanc correspond aux contours du soleil). La couronne est dynamique et éjecte de grandes masses de plasma dans le milieu interplanétaire, surtout en période de maximum d'activité du soleil.



La remontée de température dans la couronne solaire de $10^4 K$ à $2 \cdot 10^6 K$



Boucles de champ magnétique à la surface du Soleil, au dessus des taches, en UV, satellite TRACE, NASA

Quelques paramètres solaires essentiels

$M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg masse solaire

$R_S = 696000$ km rayon solaire

$g_S = 275 \text{ m/s}^2$ accélération de la pesanteur à la surface solaire

$L = 3.86 \cdot 10^{26}$ W luminosité solaire

1 UA = 149600000 km distance moyenne Terre/Soleil

$V_1 = 620$ km/s vitesse de libération

$T_e = 5800$ K température effective

Composition : H 92.1% et He 7.8%, autres éléments (O, C, N, Fe, Mg, Ca...) en trace (0.1%)

Photosphère solaire : 0 → 500 km d'altitude

Pression moyenne $P = 10^3$ Pa et variation de 0 à 500 km : $1.3 \cdot 10^4$ Pa → 10^2 Pa

T moyenne = 5000 K et variation de 0 à 500 km : 6400 K → 4170 K

Densité moyenne $N_H = 10^{22} \text{ m}^{-3}$ et variation de ρ de 0 à 500 km : $3 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-3}$ → $3 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^{-3}$

Chromosphère solaire : 500 km → 2000 km d'altitude

Pression moyenne $P = 1$ Pa et variation de 500 à 2000 km : 10^2 Pa → 10^{-2} Pa

T moyenne = 10000 K et variation de 500 à 2000 km : 4170 K → 10000 K

$n_H = 10^{19} \text{ m}^{-3}$ et variation de ρ de 500 à 2000 km : $3 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^{-3}$ → $1.8 \cdot 10^{-10} \text{ kg m}^{-3}$

Couronne solaire : 2000 km → milieu interplanétaire

Conductivité électrique $\sigma = 10^{-3} T^{3/2}$ MKSA, T en Kelvins (loi d'OHM $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$)

Conductivité thermique $k = 10^{-11} T^{5/2}$ MKSA, T en Kelvins (flux de chaleur $\mathbf{F} = -k \text{ grad } T$)

Basse couronne typique:

$n_p = n_e = 5 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$ $T = 1.5 \cdot 10^6$ K

$P = 2 \cdot 10^{-4}$ Pa

$\rho = 10^{-12} \text{ kg m}^{-3}$

à 1 UA (orbite terrestre):

$n_p = n_e = 10^7 \text{ m}^{-3}$ $T_p = 4 \cdot 10^4$ K

$T_e = 1.5 \cdot 10^5$ K

$\rho = 10^{-20} \text{ kg m}^{-3}$

vitesse du vent solaire: 400 km/s