



Soleil

Le **Soleil** (*Sol* en latin, *Helios* ou Ἥλιος en grec) est l'étoile centrale du *système solaire*, notre système planétaire. Il est composé d'hydrogène (74 % de la masse ou 92,1 % du volume) et d'hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume)². Autour de lui gravitent la Terre, 7 autres planètes, 5 planètes naines, des astéroïdes, des comètes et de la poussière. Le Soleil représente à lui seul 99,86 % de la masse du système solaire ainsi constitué (Jupiter représente plus des 2/3 de tout le reste).

L'énergie solaire transmise par rayonnement, rend possible la vie sur Terre par apport de chaleur et de lumière, permettant la présence d'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement du Soleil est aussi responsable des climats et de la plupart des phénomènes météorologiques observés sur notre planète.

La densité thermique à la surface de la Terre est (en moyenne) à 99,97 % d'origine solaire. Les 0,03 % restants proviennent de la chaleur issue de la Terre elle-même. Comme pour tous les autres corps, ces flux thermiques sont continuellement émis dans l'espace, sous forme de rayonnement infrarouge ; la Terre restant ainsi en « quasi-équilibre ».

Le Soleil fait partie d'une galaxie constituée de matière interstellaire et d'environ 200 à 400 milliards d'étoiles : la Voie lactée. Il se situe à 15 parsecs du plan équatorial du disque, et est distant de 8 600 parsecs (environ 25 000 années-lumière) du centre galactique.

Soleil		
<div></div>		
<div></div>		
Le Soleil vu de la surface de la Terre au travers d'un objectif.		
Données observées		
Demi-grand axe de la Terre (1 ua)		149 597 870 km
Magnitude apparente		−26,8
Magnitude absolue		4,83
Caractéristiques orbitales		
Distance du centre de la Voie lactée		2,50×10 ¹⁷ km (8 700 pc)
Période galactique		2,26×10 ⁸ années
Vitesse		217 km/s
Caractéristiques physiques		
Diamètre moyen		1 392 000 km
Aplatissement aux pôles		9×10 ^{−6}
Surface		6,09×10 ¹² km ²
Volume		1,41×10 ¹⁸ km ³
Masse (<i>M</i> _☉)		1,9891×10 ³⁰ kg
Masse volumique	moyenne	1 408 kg·m ^{−3}
	au centre	150 000 kg·m ^{−3}
Gravité à la surface		273,95 m·s ^{−2}
Vitesse de libération		617,54 km/s

Le demi-grand axe de l’orbite de la Terre autour du Soleil (improprement appelé "distance de la Terre au Soleil") 149 597 870 km, est la définition originale de l’unité astronomique (ua). Il faut 8 minutes (et une vingtaine de secondes) pour que la lumière du Soleil parvienne jusqu’à la Terre³.

Le symbole astronomique et astrologique du Soleil est un cercle avec un point en son centre : ☉.

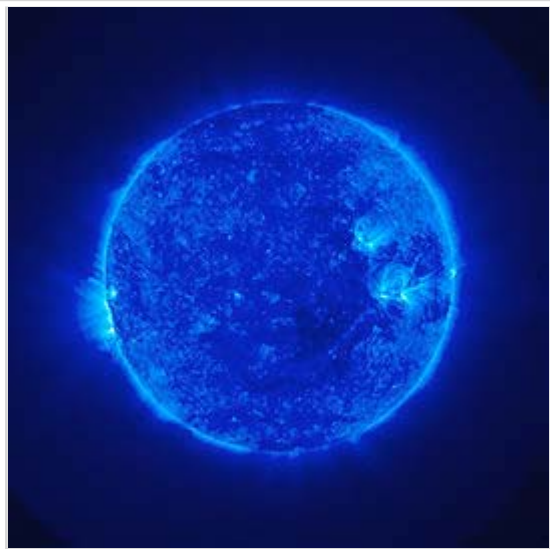
Sommaire

- 1 Présentation générale
- 2 Histoire naturelle
- 3 Structure et fonctionnement
 - 3.1 Le cœur ou noyau
 - 3.2 La zone de radiation
 - 3.3 La zone de convection
 - 3.4 La photosphère
 - 3.5 L’atmosphère solaire
 - 3.5.1 La chromosphère
 - 3.5.2 La couronne
 - 3.5.3 L’héliosphère
- 4 L’activité solaire
 - 4.1 Le champ magnétique solaire
 - 4.2 Les taches solaires
 - 4.3 Les éruptions solaires
 - 4.4 Effets terrestres de l’activité solaire
- 5 Le système solaire
- 6 Le Soleil et l'Homme
 - 6.1 Histoire des théories et de l'observation
 - 6.2 Les missions spatiales solaires
 - 6.3 Observation du soleil et dangers pour l’œil
 - 6.3.1 Observation à l’œil nu
 - 6.3.2 Observation avec un dispositif optique
 - 6.3.3 Les éclipses
 - 6.3.4 Lever et coucher du Soleil

Température	au centre	15,1 MK
	à la surface	5800 K
	couronne ¹	5 MK
Flux énergétique		3,826×10 ²⁶ W
Type spectral		G2 - V
Rotation		
Inclinaison de l’axe	/écliptique	7,25°
	/plan Galaxie	67,23°
Vitesse, latitude 0°		7 008,17 km·h ⁻¹
Période de rotation	latitude 0°	24 j
	latitude 30°	28 j
	latitude 60°	30,5 j
	latitude 75°	31,5 j
	moyenne	27,28 j
Composition de la photosphère		
(pourcentage en masse)		
Hydrogène		73,46 %
Hélium		24,85 %
Oxygène		00,77 %
Carbone		00,29 %
Fer		00,16 %
Néon		00,12 %
Azote		00,09 %
Silicium		00,07 %
Magnésium		00,05 %
Soufre		00,04 %

- 7 Symbolique
- 8 Notes et références
- 9 Voir aussi
 - 9.1 Articles connexes
 - 9.2 Liens externes

Présentation générale



Le Soleil tel que vu dans l'ultraviolet (image en « fausses couleurs »).

Le Soleil est une étoile naine jaune qui se compose de 74 % d'hydrogène, de 24 % d'hélium et d'une fraction d'éléments plus lourds. Le Soleil est de type spectral G2–V. « G2 » signifie qu'il est plus chaud (5 770 kelvins en surface environ) et plus brillant que la moyenne, avec une couleur jaune tirant sur le blanc. Son spectre renferme des bandes de métaux ionisés et neutres, ainsi que de faibles bandes d'hydrogène. Le suffixe « V » (ou « classe de luminosité ») indique qu'il évolue actuellement, comme la majorité des étoiles, sur la séquence principale du diagramme de Hertzsprung-Russell : il tire son énergie de réactions de fusion nucléaire qui transforment, dans son noyau, l'hydrogène en hélium, et se trouve dans un état d'équilibre hydrostatique, ne subissant ni contraction, ni dilatation continues.

Il existe dans notre galaxie plus de 100 millions d'étoiles de type spectral identique, ce qui fait du

Soleil une étoile somme toute assez banale, bien qu'il soit en fait plus brillant que 85 % des étoiles de la galaxie, qui sont en majorité des naines rouges⁴.

Le Soleil gravite autour du centre de la Voie lactée dont il est distant d'environ 25 à 28 000 années-lumière. Sa période de révolution galactique est d'environ 220 millions d'années, et sa vitesse de $217\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, équivalente à une année-lumière tous les 1400 ans (environ), et une unité astronomique tous les 8 jours⁵.

Dans cette révolution galactique, le Soleil, comme les autres étoiles du disque, a un mouvement oscillant autour du plan galactique : l'orbite galactique solaire présente des ondulations sinusoïdales perpendiculaires à son plan de révolution. Le Soleil traverserait ce plan tous les 30 millions d'années environ, d'un côté puis de l'autre — sens Nord-Sud galactique, puis inversement — et s'en éloignerait au maximum de 230 années-lumière environ, tout en restant dans le disque galactique. La masse du disque galactique attire les étoiles qui auraient un plan de révolution différent de celui du disque galactique⁶.

Le Soleil tourne également sur lui-même, avec une période de 27 jours terrestres environ. En réalité, n'étant pas un objet solide, il subit une rotation différentielle : il tourne plus rapidement à l'équateur (25 jours) qu'aux pôles (35 jours). Le Soleil est également en rotation autour du barycentre du système solaire, ce dernier se situant à un peu plus d'un rayon solaire du centre de l'étoile (hors de sa surface !), en raison de la masse colossale de Jupiter (environ un millième de la masse solaire).

Histoire naturelle

Le Soleil est une étoile âgée de 4,57 milliards d'années, soit à peu près la moitié de son chemin sur la séquence principale⁷. On admet généralement qu'il s'est formé sous l'effet des ondes de choc produites par une (ou plusieurs) supernova(e) sur une nébuleuse dont elle(s) étai(en)t même peut-être issue(s).

Dans son état actuel, le cœur du Soleil transforme à chaque seconde plus de 4 millions de tonnes de matière (de masse) en énergie qui est transmise aux couches supérieures de l'astre et émise dans l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique (lumière, rayonnement solaire) et de flux de particules (vent solaire).

Durant les 7,6 milliards d'années⁸ à venir, le Soleil épuisera petit à petit ses réserves d'hydrogène ; sa brillance augmentera d'environ 7 % par milliard d'années, suite à l'augmentation du rythme des réactions de fusion par la lente contraction du cœur.

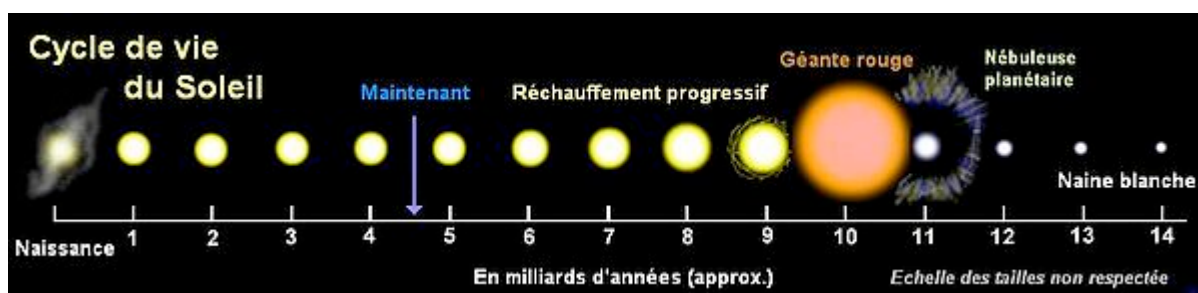
Lorsqu'il sera âgé de plus de 12 milliards d'années, l'équilibre hydrostatique sera rompu. Le noyau se contractera et s'échauffera fortement tandis que les couches superficielles, dilatées par le flux thermique croissant et ainsi partiellement libérées de l'effet gravitationnel, seront progressivement repoussées : le Soleil se dilatera et se transformera en géante rouge. Au terme de ce processus, le diamètre du Soleil sera environ 100 fois supérieur à l'actuel ; il dépassera l'orbite de Mercure et de Vénus. La Terre, si elle subsiste encore, ne sera plus qu'un désert calciné.

C'est durant cette phase de gonflement que son cœur en contraction arrivera aux environs de 100 millions de kelvins, initiant les réactions de fusion de l'hélium (voir : réaction triple-alpha). La cendre (d'hélium) deviendra elle-même carburant, le cœur du Soleil sera lancé dans un second cycle de fusion. Néanmoins cet allumage sera brutal (voir : flash de l'hélium), le réarrangement des couches du Soleil fera diminuer son diamètre jusqu'à ce qu'il se stabilise à une taille de plusieurs fois (jusqu'à 10 fois) sa taille actuelle, soit d'environ 10 millions de km de diamètre. Il sera devenu une sous-géante.

Son cœur fusionnera l'hélium principalement en carbone (et du carbone et de l'hélium en oxygène), alors qu'une couronne externe du cœur fusionnera l'hydrogène en hélium. La masse du Soleil est insuffisante pour qu'il explose en supernova. Environ 200 millions d'années plus tard, lorsque le cœur aura transformé tout l'hélium central en carbone et oxygène, le noyau s'effondrera de nouveau sur lui-même tandis que les couches superficielles seront de nouveau repoussées : le Soleil deviendra de nouveau une géante rouge, d'au moins la taille de l'orbite terrestre actuelle.

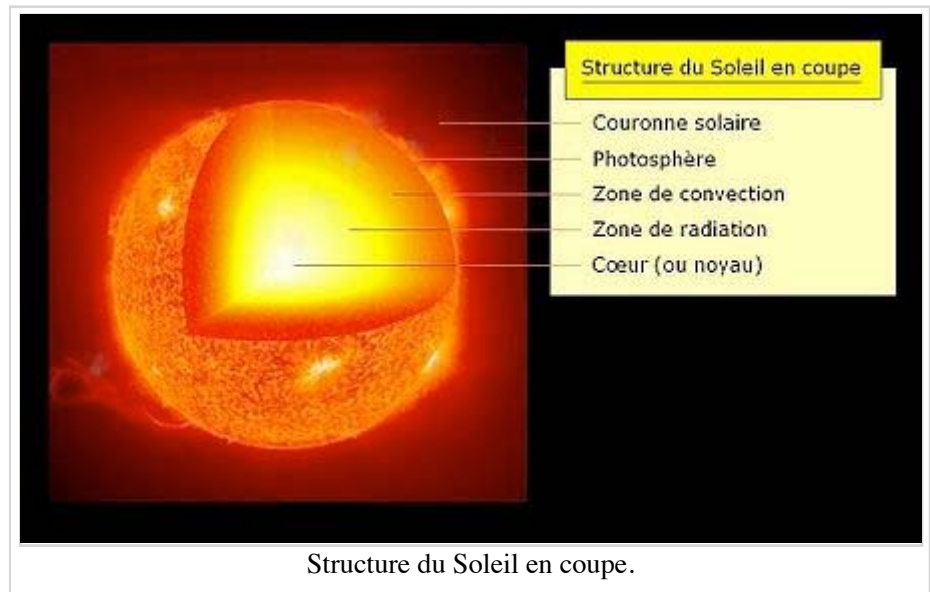
Enfin, les couches externes seront éjectées dans l'espace et donneront naissance à une nébuleuse planétaire. Les restes du cœur interne de l'étoile s'effondreront pour former une naine blanche d'une taille comparable à la Terre, qui pourra briller encore plusieurs milliards d'années au cours desquelles elle se refroidira lentement avant de s'éteindre définitivement, et devenir une naine noire.

Ce scénario est caractéristique des étoiles de faible à moyenne masse^{9,10} ; de $\sim 0,5$ à $\sim 4 M_{\odot}$.



Structure et fonctionnement

Bien que le Soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul plus de 99 % de la masse du système solaire. Sa forme est presque parfaitement sphérique, avec un aplatissement aux pôles estimé à neuf millièmes¹¹, ce qui signifie que son diamètre polaire est plus petit que son diamètre équatorial de seulement dix kilomètres.



Contrairement aux objets telluriques, le Soleil n'a pas de limite extérieure bien définie : la densité de ses gaz chute de manière à peu près exponentielle à mesure qu'on s'éloigne de son centre. Par contre sa structure interne est bien définie, comme décrite plus bas. Le rayon du Soleil est mesuré de son centre jusqu'à la photosphère. La photosphère est la couche en-dessous de laquelle les gaz sont assez condensés pour être opaques et au-delà de laquelle ils deviennent transparents. La photosphère est ainsi la plus volontiers visible à l'œil nu. La majeure partie de la masse solaire se concentre à 0,7 rayon du centre. La structure interne du Soleil n'est bien sûr pas observable directement, et le Soleil lui-même étant radio-opaque, aucun instrument visuel ne peut percer sa composition interne. Mais de la même façon que la sismologie a permis, par l'étude des ondes produites par les tremblements de terre, de déterminer la structure interne de la Terre, l'héliosismologie utilise les pulsations solaires pour mesurer et visualiser indirectement la structure interne du Soleil. La simulation informatique est également utilisée comme outil théorique pour sonder les couches les plus profondes.

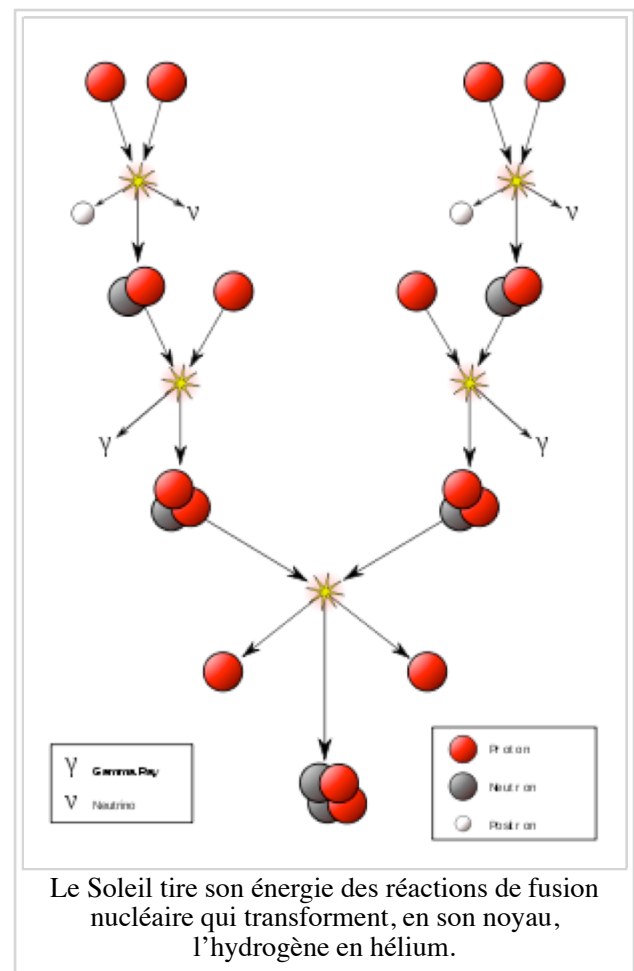
Le cœur ou noyau

On considère que le cœur du Soleil s'étend du centre à environ 0,25 rayon solaire. Sa masse volumique est supérieure à $150\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (150 fois la densité de l'eau sur Terre) et sa température approche les 15 millions de kelvins (ce qui contraste nettement avec la température de surface du Soleil, qui avoisine les 5800 kelvins). C'est dans le cœur que se produisent les réactions thermonucléaires exothermiques (fusion nucléaire) qui transforment, dans le cas du Soleil, l'hydrogène en hélium (voir aussi : chapitre « Le Soleil » de l'article Réaction nucléaire).

Environ $3,4 \times 10^{38}$ protons (noyaux d'hydrogène) sont convertis en hélium chaque seconde, libérant l'énergie à raison de 4,26 millions de tonnes de matière « consommées » par seconde, produisant 383 yottajoules (383×10^{24} joules) par seconde, soit l'équivalent de l'explosion de $91,5 \times 10^{15}$ tonnes de TNT.

Le taux de fusion nucléaire est proportionnel à la densité du noyau, de façon que la fusion nucléaire au sein du cœur est un processus auto-régulé : toute légère augmentation du taux de fusion provoque un réchauffement et une dilatation du cœur qui réduit en retour le taux de fusion. Inversement, toute diminution légère du taux de fusion refroidit et densifie le cœur, ce qui fait revenir le niveau de fusion à son point de départ.

Le cœur est la seule partie du Soleil qui produise une quantité notable de chaleur par fusion : le reste de l'étoile tire sa chaleur uniquement de l'énergie qui en provient. La totalité de l'énergie qui y est produite doit traverser de nombreuses couches successives jusqu'à la photosphère, avant de s'échapper dans l'espace sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules.



Les photons de haute énergie (rayons X et gamma) libérés lors des réactions de fusion mettent un temps considérable pour atteindre la surface du Soleil, ralentis par l'interaction avec la matière et par le phénomène permanent d'absorption et de réémission à plus basse énergie dans le manteau solaire. On estime que le temps de transit d'un photon du cœur à la surface se situe entre 17 000 et 50 millions d'années¹². Après avoir traversé la couche de convection et atteint la photosphère, les photons s'échappent dans l'espace, en grande partie sous forme de lumière visible. Chaque rayon gamma produit au centre du Soleil est finalement transformé en plusieurs millions de photons lumineux qui s'échappent dans l'espace. Des neutrinos sont également libérés par les réactions de fusion, mais contrairement aux photons ils interagissent peu avec la matière et sont donc libérés immédiatement. Pendant des années, le nombre de neutrinos produits par le Soleil était mesuré plus faible d'un tiers que la valeur théorique : c'était le *problème des neutrinos solaires*, qui a été récemment résolu (en 1998) grâce à une meilleure compréhension du phénomène d'oscillation du neutrino.

La zone de radiation

La zone de radiation ou zone radiative se situe approximativement entre 0,25 et 0,7 rayon solaire. La matière solaire y est si chaude et si dense que le transfert de la chaleur du centre vers les couches les plus extérieures se fait par la seule radiation thermique. L'hydrogène et l'hélium ionisés émettent des photons qui voyagent sur une courte distance avant d'être réabsorbés par d'autres ions. Dans cette zone, il n'y a pas de convection thermique car bien que la matière se refroidisse en s'éloignant du cœur, le gradient thermique reste inférieur au gradient thermique adiabatique. La température y diminue à 2 millions de kelvins.

La zone de convection

La zone de convection ou zone convective s'étend de 0,7 rayon solaire du centre à la surface visible du Soleil. Elle est séparée de la zone de radiation par une couche épaisse d'environ 3000 kilomètres, la tachocline, qui d'après les études récentes pourrait être le siège de puissants champs magnétiques et jouerait un rôle important dans la dynamo solaire. Dans la zone de convection la matière n'est plus ni assez dense ni assez chaude pour évacuer la chaleur par radiation : c'est donc par convection, selon un mouvement vertical, que la chaleur est conduite vers la photosphère. La température y passe de 2 millions à ~5800 kelvins. La matière parvenue en surface, refroidie, plonge à nouveau jusqu'à la base de la zone de convection pour recevoir la chaleur de la partie supérieure de la zone de radiation, etc. Les gigantesques cellules de convection ainsi formées sont responsables des granulations solaires observables à la surface de l'astre. Les turbulences survenant dans cette zone produisent un effet dynamo responsable de la polarité magnétique nord-sud à la surface du Soleil.

La photosphère

La photosphère est une partie externe de l'étoile qui produit entre autres la lumière visible. Elle est plus ou moins étendue : de moins de 0,1 % du rayon pour les étoiles naines, soit quelques centaines de kilomètres ; à quelques dizaines de pourcent du rayon de l'étoile pour les plus géantes, ce qui leur donnerait une apparence *floue* contrairement au Soleil aux bords nets.

La lumière qui y est produite contient toutes les informations sur la température, la gravité de surface et la composition chimique de l'étoile. Pour le Soleil, la photosphère a une épaisseur d'environ 400 kilomètres. Sa température moyenne est de 6 000 K. Elle permet de définir la température effective qui pour le Soleil est de 5 781 K.

Sur l'image de la photosphère solaire on peut voir l'assombrissement centre-bord qui est une des caractéristiques de la photosphère. L'analyse du spectre de la photosphère solaire est très riche en information en particulier sur la composition chimique du Soleil.



La photosphère vue à travers un filtre.

L'atmosphère solaire

Au-delà de la photosphère la structure du Soleil est généralement connue sous le nom d'*Atmosphère solaire*. Elle comprend trois zones principales : la chromosphère, la couronne et l'héliosphère. La chromosphère est séparée de la photosphère par la *zone de température minimum* et de la couronne par une *zone de transition*. L'héliosphère s'étend jusqu'aux confins du système solaire où elle est limitée par l'héliopause. Pour une raison encore mal élucidée, la chromosphère et la couronne sont plus chaudes que la surface du Soleil. Bien qu'elle puisse être étudiée en détail par les télescopes spectroscopiques, l'atmosphère solaire n'est jamais aussi accessible que lors des éclipses totales de Soleil.

La chromosphère

La *zone de température minimum* qui sépare la photosphère de la chromosphère offre une température suffisamment basse (~ 4000 kelvins) pour qu'on y trouve des molécules simples (monoxyde de carbone, eau), détectables par leur spectre d'absorption. La chromosphère proprement dite est épaisse d'environ 2000 kilomètres. Sa température augmente graduellement avec l'altitude, pour atteindre un maximum de 100 000 kelvin à son sommet. Son spectre est dominé par des bandes d'émission et d'absorption. Son nom, qui vient de la racine grecque *chroma* (couleur), lui a été donné en raison du flash rose soutenu qu'elle laisse entrevoir lors des éclipses totales de Soleil.

La couronne

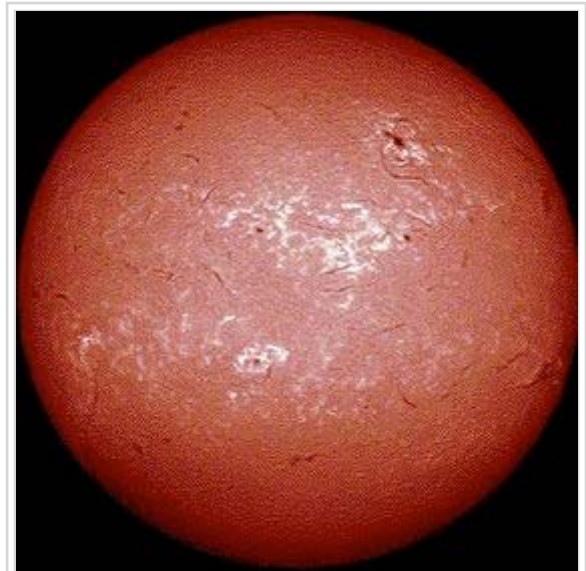
La *zone de transition* entre la chromosphère et la couronne est le siège d'une élévation rapide de température, qui peut approcher 1 million de kelvins. Cette élévation est liée à une transition de phase au cours de laquelle l'hélium devient totalement ionisé sous l'effet des très hautes températures. La zone de transition n'a pas une altitude clairement définie. Grossièrement, elle forme un halo surplombant la chromosphère sous l'apparence de spicules et de filaments. Elle est le siège d'un mouvement chaotique et permanent. Difficile à percevoir depuis la Terre malgré l'utilisation de coronographes, elle est plus aisément analysée par les instruments spatiaux sensibles aux rayonnements ultraviolets extrêmes du spectre.

La couronne solaire est composée à 73 % d'hydrogène et à 25 % d'hélium. Les températures sont de l'ordre du million de degrés.

Bien plus vaste que le Soleil lui-même, la couronne solaire elle-même s'étend à partir de la zone de transition et s'évanouit progressivement dans l'espace, mêlée à l'héliosphère par les vents solaires. La couronne inférieure, la plus proche de la surface du Soleil, a une densité particulière comprise entre $1 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ et $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$, soit moins d'un milliardième de la densité particulière de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer. Sa température, qui peut atteindre les 5 millions de kelvins, contraste nettement avec la température de la photosphère. Bien qu'aucune théorie n'explique encore complètement cette différence, une partie de cette chaleur pourrait provenir d'un processus de reconnexion magnétique.

L'héliosphère

Débutant à environ 20 rayons solaires (0,1 ua) du centre du Soleil, l'héliosphère s'étend jusqu'aux confins du système solaire. On admet qu'elle débute lorsque le flux de vent solaire devient plus rapide



La chromosphère vue en analyse spectrale H α .



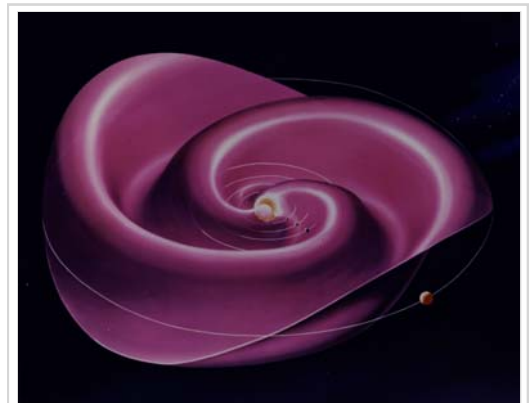
Les éclipses totales de Soleil (ici celle du 11 août 1999) sont la seule occasion de visualiser directement la couronne (en blanc) et la chromosphère (en rose).

que les ondes d'Alfvén (le flux est alors dit *superalfvénique*) : les turbulences et forces dynamiques survenant au-delà de cette frontière n'ont pas d'influence sur la structure de la couronne solaire, car l'information ne peut se déplacer qu'à la vitesse des ondes d'Alfvén. Le vent solaire se déplace ensuite en continu à travers l'héliosphère, donnant au champ magnétique solaire la forme d'une spirale de Parker jusqu'à sa rencontre avec l'héliopause, à plus de 50 ua du Soleil. En décembre 2004, Voyager 1 est devenue la première sonde à franchir l'héliopause. Chacune des deux sondes Voyager a détecté d'importants niveaux énergétiques à l'approche de cette frontière¹³.

L'activité solaire

Le champ magnétique solaire

Le Soleil est une étoile magnétiquement active. Toute la matière solaire se trouvant sous forme de gaz et de plasma en raison des températures extrêmement élevées, le Soleil pivote plus rapidement à l'équateur (25 jours environ pour un tour) qu'aux pôles (35 jours pour un tour). Cette rotation différentielle des latitudes solaires donne au champ magnétique solaire une forme de spirale en perpétuelle rotation, les lignes de champ se trouvant emmêlées les unes aux autres au cours du temps. Cet enchevêtrement serait au moins en partie responsable du cycle solaire, phénomène périodique s'étalant sur 11,2 années en moyenne avec une alternance de minima et de maxima tous les onze semestres environ. Au terme d'un cycle de l'activité solaire, la polarité du champ magnétique s'est inversée par rapport à la fin du précédent : le cycle magnétique solaire a donc une période double (environ 22 ans) de celle du cycle d'activité. Les manifestations les plus spectaculaires en période d'intense activité magnétique sont l'apparition de taches solaires et de protubérances.



Vue d'artiste du champ magnétique solaire.

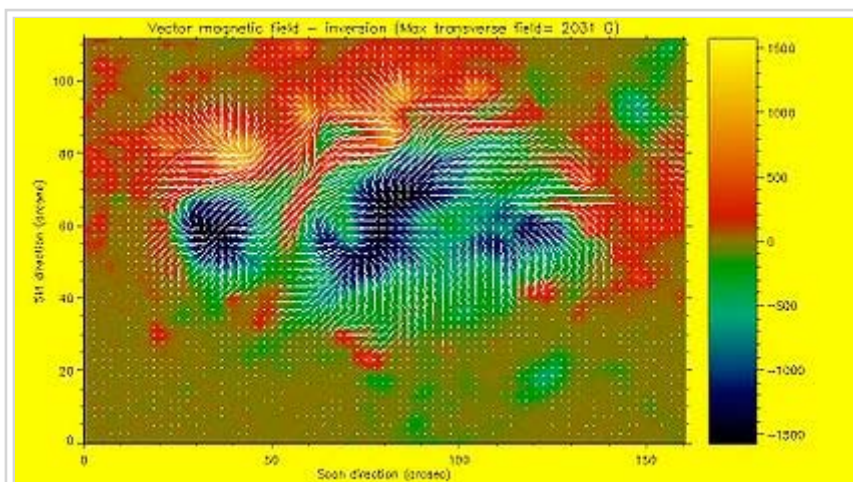
Les taches solaires

Bien que tous les détails sur la genèse des taches solaires ne soient pas encore élucidés, il a été démontré qu'elles sont la résultante d'une intense activité magnétique au sein de la zone de convection, tellement puissante qu'elle freine la convection et limite l'apport thermique en surface à la photosphère. Elles sont ainsi moins chaudes de 1500 à 2000 kelvins que les régions voisines, ce qui suffit à expliquer pourquoi elles nous apparaissent, en contraste, bien plus sombres que le reste de la photosphère. Cependant si elles étaient isolées du reste de la photosphère, les taches solaires, où règne malgré tout une

température proche des 4 000 kelvins, nous sembleraient 10 fois plus brillantes que la pleine lune, soit davantage qu'un arc électrique. La sonde spatiale SoHO a permis de démontrer que les taches solaires répondent à un mécanisme proche de celui des cyclones sur Terre. On distingue deux parties au sein de la tache solaire : la zone d'ombre centrale (environ 4 000 kelvins) et la zone de pénombre périphérique (environ 4 700 kelvins). Le diamètre des taches solaires les plus petites est habituellement plus de deux fois supérieur à celui de la Terre. En période d'activité il est parfois possible de les observer à l'œil nu sur le Soleil couchant, avec une protection oculaire adaptée.

La surveillance des taches solaires est un excellent moyen pour contrôler l'activité solaire et prédire ses répercussions terrestres. Une tache solaire a une durée de vie moyenne de deux semaines. L'astronome allemand Heinrich Schwabe, au XVIII^e siècle, fut le premier à tenir une cartographie méthodique des taches solaires, ce qui lui permit d'évaluer leur périodicité. Les études ultérieures ont fixé leur période à 11,2 années, chaque demi-période étant alternativement caractérisée par un maximum d'activité (où les taches se multiplient) et un minimum d'activité. Le dernier maximum d'activité a été enregistré en 2001, avec un groupe de taches particulièrement marqué (image). Le prochain minimum d'activité est prévu pour le premier semestre de 2007¹⁶.

Les éruptions solaires



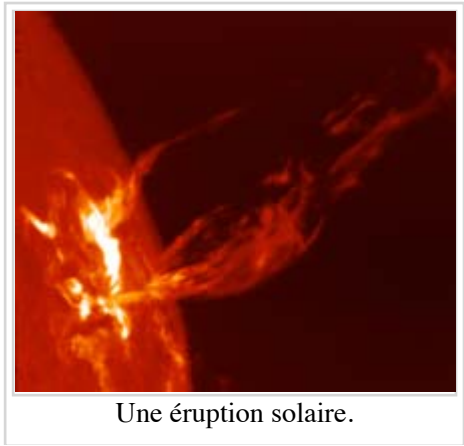
Le champ magnétique au niveau d'un groupe de taches froides de la photosphère solaire (intensité exprimée en Gauss). Les niveaux de couleur décrivent la composante du champ magnétique le long de la ligne de visée. Les traits blancs illustrent la composante du champ perpendiculaire à la ligne de visée. Image obtenue à partir d'observations du télescope solaire THEMIS¹⁴ et traitée par BASS 2000¹⁵.

Effets terrestres de l'activité solaire



Les aurores polaires sont une manifestation spectaculaire de l'activité solaire.

Les effets terrestres de l'activité solaire sont multiples, le plus spectaculaire est le phénomène des aurores polaires (également appelée aurore boréale dans l'hémisphère Nord et aurore australe dans l'hémisphère Sud).



Une éruption solaire.

La Terre possède une magnétosphère qui la protège des vents solaires, mais lorsque ceux-ci sont plus intenses, ils déforment la magnétosphère et des particules radioactives solaires la traversent en suivant les lignes de champs. Ces particules excitent ou ionisent les particules de la haute atmosphère. Le résultat de ces réactions est la création de nuages ionisés qui reflètent les ondes dont la lumière, ce qui provoque la formation des aurores polaires.

Les vents solaires peuvent également perturber les moyens de communications et de navigations utilisant des satellites, en-effet les satellites à basse altitude peuvent être endommagés par l'ionisation de l'ionosphère.

Le système solaire

À lui seul, le Soleil représente 99,86 % de la masse totale du système solaire, les 0,14 % restants incluant les planètes (surtout Jupiter), dont la Terre.

Rapport de la masse du Soleil aux masses des planètes

Mercure	6 023 600	Jupiter	1 047
Vénus	408 523	Saturne	3 498
Terre et Lune	328 900	Uranus	22 869
Mars	3 098 710	Neptune	19 314

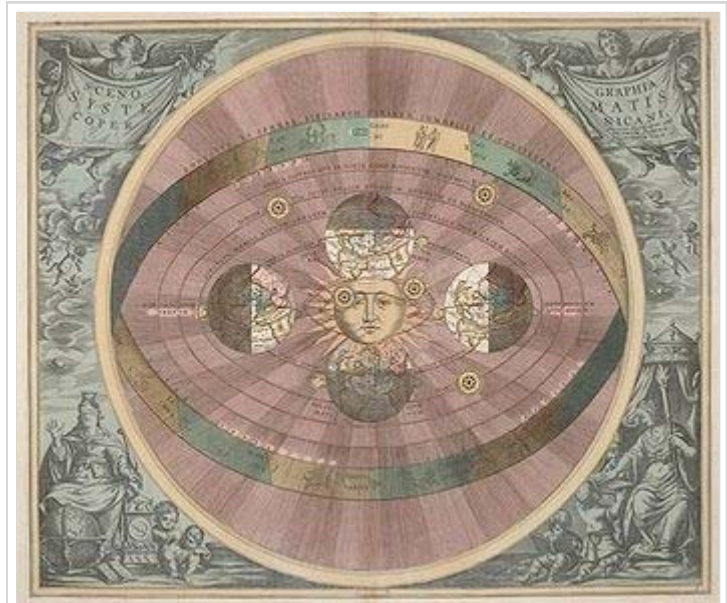
Le Soleil et l'Homme

Histoire des théories et de l'observation

Le philosophe grec Anaxagore fut un des premiers occidentaux à proposer une théorie scientifique sur le Soleil, avançant qu'il s'agissait d'une masse incandescente plus grande que le Péloponnèse et non le charriot d'Hélios. Cette audace lui valut d'être emprisonné et condamné à mort, même s'il fut plus tard

libéré grâce à l'intervention de Périclès.

Au XVI^e siècle, Copernic émit la théorie que la Terre tournait autour du Soleil, renouant par là avec l'hypothèse formulée par Aristarque de Samos au troisième siècle avant Jésus Christ. Au début du XVII^e siècle Galilée inaugura l'observation télescopique du Soleil, observa les taches solaires, se doutant qu'elles se situaient à la surface de l'astre et que ce n'étaient pas des objets passant entre le Soleil et la Terre¹⁷. Près de cent ans plus tard, Newton décomposa la lumière solaire au moyen d'un prisme, révélant le spectre visible¹⁸, tandis qu'en 1800 William Herschel découvrit les rayons infrarouges¹⁹. Le XIX^e siècle vit des avancées considérables, en particulier dans le domaine de l'observation spectroscopique du Soleil sous l'impulsion de Joseph von Fraunhofer, qui observa les raies d'absorption du spectre solaire, auxquelles il donna son nom.



Rompant avec le géocentrisme, Copernic proposa la théorie héliocentrique qui plaçait le Soleil au centre de l'Univers. Galilée et Kepler approfondirent ses travaux.

La source de l'énergie solaire fut la principale énigme des premières années de l'ère scientifique moderne. Dans un premier temps plusieurs théories furent proposées, mais aucune ne s'avéra vraiment satisfaisante. Lord Kelvin proposa un modèle suggérant que le Soleil était un corps liquide qui se refroidissait graduellement en rayonnant à partir d'une réserve de chaleur stockée en son centre²⁰. Kelvin et Helmholtz tentèrent d'expliquer la production d'énergie solaire par la théorie connue sous le nom de mécanisme de Kelvin-Helmholtz. Malheureusement, l'âge estimé du Soleil d'après ce mécanisme n'excédait pas 20 millions d'années, ce qui était très inférieur à ce que laissait supposer la géologie. En 1890, Joseph Norman Lockyer, le découvreur de l'hélium, proposa une théorie météoritique sur la formation et l'évolution du Soleil²¹.

Il fallut attendre 1904 et les travaux d'Ernest Rutherford pour qu'enfin une hypothèse plausible soit offerte. Rutherford supposa que l'énergie était produite et entretenue par une source de chaleur interne et que la radioactivité était à la source de cette énergie²². En démontrant la relation entre la masse et l'énergie ($E=mc^2$), Albert Einstein apporta un élément essentiel à la compréhension du générateur d'énergie solaire. En 1920 Sir Arthur Eddington proposa la théorie selon laquelle le centre du Soleil était le siège de pressions et de températures extrêmes, permettant des réactions de fusion nucléaire qui transformaient l'hydrogène en hélium, libérant de l'énergie proportionnellement à une diminution de la masse²³. La prépondérance de l'hydrogène dans le soleil fut confirmée en 1925 par Cecilia Payne-Gaposchkin. Ce modèle théorique fut complété dans les années 1930 par les travaux des astrophysiciens Subrahmanyan Chandrasekhar et Hans Bethe, qui décrivirent en détail les deux principales réactions nucléaires productrices d'énergie au cœur du Soleil^{24,25}. Pour finir en 1957, un article intitulé *Synthèse des Éléments dans les Étoiles*²⁶ apporta la démonstration définitive que la plupart des éléments rencontrés dans l'Univers se sont formés sous l'effet de réactions nucléaires au cœur d'étoiles telles que le Soleil.

Les missions spatiales solaires



Vue d'artiste du satellite
SolarMax.

Il observa la couronne solaire et
les taches solaires de 1984 à 1989.

Les premières sondes conçues pour observer le Soleil depuis l'espace interplanétaire furent lancées par la NASA entre 1959 et 1968 : ce furent les missions *Pioneer 5*, 6, 7, 8 et 9. En orbite autour du Soleil à une distance similaire à celle de l'orbite terrestre, elles permirent les premières analyses détaillées du vent solaire et du champ magnétique solaire. *Pioneer 9* resta opérationnelle particulièrement longtemps et envoya des informations jusqu'en 1987²⁷.

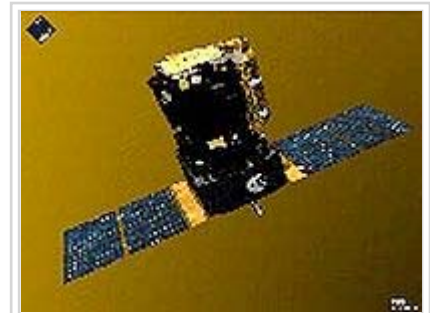
Dans les années 1970, deux missions apportèrent aux scientifiques des informations capitales sur le vent solaire et la couronne solaire. La sonde germano-américaine *Helios 1* étudia le vent solaire depuis la périhélie d'une orbite plus petite que celle de Mercure. La station américaine *Skylab*, lancée en 1973, comportait un module d'observation solaire baptisé *Apollo*

Telescope Mount et commandé par les spationautes embarqués dans la station. Skylab fit les premières observations de la zone de transition entre la chromosphère et la couronne et des émissions ultraviolettes de la couronne solaire. La mission permit également les premières observations d'éjections de masse coronale et de trous coronaux, phénomènes dont on sait aujourd'hui qu'ils sont intimement liés au vent solaire.

En 1980 la NASA lança le satellite *Solar Maximum Mission* (plus connu sous le nom de *SolarMax*), conçu pour l'observation des rayons gamma, X et ultraviolets émis par les éruptions solaires dans les périodes de forte activité solaire. Malheureusement quelques mois après son lancement, un dysfonctionnement électronique plaça le satellite en mode *standby*, et l'appareil resta inactif les trois années suivantes. En 1984 toutefois la mission *STS-41-C* du programme *Space Shuttle Challenger* intercepta le satellite et permit une réparation et un relancement. *SolarMax* put alors réaliser des milliers d'observations de la couronne solaire et des taches solaires jusqu'à sa destruction en juin 1989²⁸.

Le satellite japonais *Yohkoh* (*Rayon de Soleil*), lancé en 1991, observa les éruptions solaires aux longueurs d'onde des rayons X. Les données rapportées par la mission permirent aux scientifiques d'identifier différents types d'éruptions, et démontra que la couronne au-delà des régions de pics d'activité était bien plus dynamique et active qu'on l'avait supposé auparavant. *Yohkoh* suivit un cycle solaire entier mais tomba en panne à la suite d'une éclipse annulaire de Soleil le 14 décembre 2001. Il fut détruit en rentrant dans l'atmosphère en 2005²⁹.

Une des plus importantes missions solaires à ce jour est la *Solar and Heliospheric Observatory* ou SoHO, lancée conjointement par l'Agence spatiale européenne et la NASA le 2 décembre 1995. Prévue au départ pour deux ans, la mission SoHO est toujours active. Elle s'est avérée si performante qu'une mission de prolongement baptisée *Solar Dynamics Observatory* est envisagée pour 2008. Localisée au point de Lagrange entre la Terre et le Soleil (auquel la force d'attraction de ces deux corps célestes est égale), SoHO envoie en permanence des images du Soleil à différentes longueurs d'onde. En plus de cette observation directe du Soleil, SoHO a permis la découverte d'un grand nombre de comètes, principalement de très petites comètes effleurant le Soleil et détruites lors de leur passage, les comètes rasantes³⁰.



Le "quasi"-satellite (lagrangien) SoHO.

Lancé en 1995, la mission d'exploration solaire SoHO est l'une des plus importantes du genre.

Elle est toujours en fonction en 2006.

Toutes les observations enregistrées par ces satellites sont prises depuis le plan de l'écliptique. En conséquence, ils n'ont pu observer en détail que les seules régions équatoriales du Soleil. En 1990 cependant la sonde *Ulysses* a été lancée pour étudier les régions polaires du Soleil. Elle fit d'abord route vers Jupiter et utilisa son assistance gravitationnelle pour se séparer du plan de l'écliptique. Par chance elle fut idéalement placée pour observer, en juillet 1994, la collision entre la comète Shoemaker-Levy 9 et Jupiter. Une fois sur l'orbite prévue, *Ulysses* étudia le vent solaire et la force du champ magnétique à des latitudes solaires élevées, découvrant que le vent solaire aux pôles était plus lent que prévu ($750 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ environ) et que d'importantes ondes magnétiques en émergeaient, participant à la dispersion des rayons cosmiques³¹.

La mission *Genesis* fut lancée par la NASA en 2001 dans le but de capturer des parcelles de vent solaire afin d'obtenir une mesure directe de la composition de la matière solaire. Elle fut sévèrement endommagée lors de son retour sur Terre, le 10 septembre 2004, mais une partie des prélèvements a pu être sauvée et est actuellement en cours d'analyse.

La mission STEREO (*Solar TERrestrial RELation Observatories*) lancée le 25 octobre 2005 par la NASA a permis pour la première fois l'observation tridimensionnelle de notre étoile depuis l'espace. Composée de deux satellites quasiment identiques, cette mission doit permettre une meilleure compréhension des relations Soleil-Terre, en particulier en permettant l'observation des CME (Éjections de Masse Coronale) jusqu'à l'environnement électromagnétique terrestre.

Observation du soleil et dangers pour l'œil

Observation à l'œil nu

Regarder le Soleil à l'œil nu, même brièvement, peut être douloureux et même dangereux.

Un coup d'œil vers le Soleil entraîne des cécités partielles et temporaires (taches sombres dans la vision). Lors de cette action, environ 4 milliwatts de lumière frappent la rétine, la chauffant un peu, et éventuellement la détériorant. La cornée peut également être atteinte.

L'exposition générale à la lumière solaire peut aussi être un danger. En effet, au fil des années, l'exposition aux UV jaunit le cristallin ou réduit sa transparence et peut contribuer à la formation de cataractes.

Observation avec un dispositif optique

Regarder le Soleil à travers les dispositifs optiques grossissants — par exemple des jumelles, un téléobjectif, une lunette astronomique ou un télescope — dépourvus de filtre adapté (filtre solaire) est extrêmement dangereux et peut rapidement provoquer des dommages irréparables à la rétine, au cristallin et à la cornée.

Avec des jumelles, environ 500 fois plus d'énergie frappe la rétine, ce qui peut détruire les cellules rétinales quasiment instantanément et entraîner une cécité permanente.

Une méthode pour regarder sans danger le Soleil est de projeter son image sur un écran en utilisant un télescope avec oculaire amovible (les autres types de télescopes peuvent être détériorés par ce traitement).

Les filtres utilisés pour observer le Soleil doivent être spécialement fabriqués pour cet usage. Certains filtres laissent passer les UV ou infrarouges, ce qui peut blesser l'œil. Les filtres doivent être placés sur la lentille de l'objectif ou l'ouverture, mais jamais sur l'oculaire car ses propres filtres peuvent se briser sous l'action de la chaleur.

Les films photographiques surexposés — et donc noirs — ne sont pas suffisants pour observer le Soleil en toute sécurité car ils laissent passer trop d'infrarouges. Il est recommandé d'utiliser des lunettes spéciales en Mylar, matière plastique noire qui ne laisse passer qu'une très faible fraction de la lumière.

Les éclipses

Les éclipses solaires partielles sont particulièrement dangereuses car la pupille se dilate en fonction de la lumière globale du champ de vision et non selon le point le plus brillant présent dans le champ. Durant une éclipse, la majeure partie de la lumière est bloquée par la Lune, mais les parties non cachées de la photosphère sont toujours aussi brillantes. Dans ces conditions, la pupille se dilate pour atteindre 2 à 6 millimètres et chaque cellule exposée au rayonnement solaire reçoit environ 10 fois plus de lumière qu'en regardant le Soleil sans éclipse ! Ceci peut endommager ou même tuer ces cellules ce qui crée de petits points aveugles dans la vision³².

Les éclipses sont encore plus dangereuses pour les observateurs inexpérimentés et les enfants car il n'y a pas perception de douleur lors de ces destructions de cellules. Les observateurs peuvent ne pas se rendre compte que leur vision est en train de se faire détruire.

Lever et coucher du Soleil

Durant l'aube et l'aurore, le rayonnement solaire est atténué par la diffusion de Rayleigh et la diffusion de Mie dues à un plus long passage dans l'atmosphère terrestre, à tel point que le Soleil peut être observé à l'œil nu sans grand danger. En revanche, il faut éviter de le regarder lorsque sa lumière est atténuée par des nuages ou la brume, car sa luminosité pourrait croître très rapidement dès qu'il en sortirait. Un temps brumeux, les poussières atmosphériques et la nébulosité sont autant de facteurs qui contribuent à atténuer le rayonnement.



Symbolique

Le Soleil est un symbole très puissant pour les hommes. Il occupe une place dominante dans chaque culture.

D'une façon générale, il est un principe masculin, actif. Toutefois, certains peuples nomades d'Asie centrale le considéraient comme un principe féminin (la Mère soleil) ; c'est aussi le cas des Japonais, pour qui le Soleil est le kami Amaterasu, la grande déesse, sœur de Tsukuyomi, le kami de la Lune. Même dans la langue allemande le Soleil est féminin selon son article (*die* Sonne). Dans la mythologie nordique, les enfants de Mundilfari et Glaur sont Sol (déesse du Soleil) et Máni (dieu de la Lune), une idée que J. R. R. Tolkien a importée dans son œuvre.

Souvent, le Soleil représente le pouvoir. Cet astre donne la vie. Si le Soleil venait à disparaître, ou même si ses rayons ne nous parvenaient plus, la vie s'éteindrait sur Terre, d'où le symbole de vie (donneur de vie).

Dans l'Égypte antique, Râ (ou Rê) est le dieu Soleil (il était l'un des dieux les plus importants, voire le plus important) et Akhénoton en fera son dieu unique sous le nom d'Aton. Dans le Panthéon grec c'est Apollon, fils de Zeus et de la titane Létô. Citons aussi Hélios qui est la personnification du Soleil lui-même. Les Aztèques l'appelaient Huitzilopochtli, dieu du Soleil et de la guerre, le maître du monde. S'il n'est pas associé à un dieu, des gens l'ont associé à eux-mêmes comme le roi de France Louis XIV surnommé le Roi-Soleil (couronné de Dieu). La famille impériale japonaise se targue de descendre d'Amaterasu, déesse du Soleil.

En alchimie, le symbole du Soleil et de l'or est un cercle avec un point au centre : ☉. Il représente l'intérieur avec tout ce qui gravite autour. En astronomie comme en astrologie, le symbole est le même.

Contrairement à l'apparence la plus souvent positive du Soleil, il peut aussi constituer un symbole de la torture et la dureté de la vie pour l'être humain qui lui est en proie sans protection, comme par exemple dans *L'Étranger* d'Albert Camus.

Notes et références

- ↑ Valeur maximale.
- ↑ Sur YouTube : euronews - space - Le soleil, ses cycles, ses tâches et ses explorateurs (<http://www.youtube.com/watch?v=xktVs9C2qk&feature=dir>)
- ↑ CEA - Jeunes - Thèmes - La physique - Le Soleil (http://www.cea.fr/jeunes/themes/la_physique/le_soleil)
- ↑ (en) Voir site : space.com (http://www.space.com/scienceastronomy/060130_mm_single_stars.html)
- ↑ (en) Kerr, F. J., Lynden-Bell D. (1986). *Review of galactic constants* (http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1986MNRAS.221.1023K&data_type=PDF_HIGH&type=PRINTER&filetype=.pdf) . Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **221** : 1023-1038.
- ↑ Il est à noter que c'est une situation gravitationnelle très différente que celle en cours dans le système solaire, où la masse du Soleil peut être considéré (en première approximation) comme la source unique du champ gravitationnel.
- ↑ (en) Bonanno, A., Schlattl, H.; Paternò, L. (2002). [pdf] "The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS" (http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0204/0204331.pdf) . Astronomy and Astrophysics 390 : 1115-1118.
- ↑ (fr) Laurent Sacco, « L'apocalypse dans 7,6 milliards d'années ? » (http://www.futura-sciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/apocalypse-dans-76-milliards-dannees_14762-1/) » sur *http://www.futura-sciences.com*, 28 février 2008, Futura-Sciences. Consulté le 8 juillet 2008
- ↑ (en) Pogge, Richard W. (1997). New Vistas in Astronomy (<http://www-astronomy.mps.ohio-state.edu/Vistas/>) . *The Once & Future Sun (lecture notes)*. *New Vistas in Astronomy*. Consulté le 7 décembre 2005.
- ↑ (en) Sackmann, I.-Juliana, Arnold I. Boothroyd ; Kathleen E. Kraemer (11 1993). *"Our Sun. III. Present and*

Future" (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?1993ApJ%2E%2E%2E418%2E%2E457S&db_key=AST&high=24809&nosetcookie=1) . Astrophysical Journal 418 : 457.

11. ↑ **(en)** Godier, S., Rozelot J.-P. (2000). "The solar oblateness and its relationship with the structure of the tachocline and of the Sun's subsurface" (<http://aa.springer.de/papers/0355001/2300365.pdf>) [**pdf**] . Astronomy and Astrophysics 355 : 365-374.
12. ↑ **(en)** Lewis, Richard (1983). The Illustrated Encyclopedia of the Universe. Harmony Books, New York, 65.
13. ↑ **(en)** European Space Agency (15 mars 2005). The Distortion of the Heliosphere: our Interstellar Magnetic Compass (<http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=16394>) . Consulté le 22 mars 2006.
14. ↑ Page officielle du télescope THEMIS (<http://www.themis.iac.es/>)
15. ↑ Page officielle de la base de données solaires BASS 2000 (<http://bass2000.bagn.obs-mip.fr/>)
16. ↑ **(en)** sec.noaa.gov (<http://www.sec.noaa.gov/SolarCycle/>) – Le cycle solaire actuel.
17. ↑ **(en)** Galileo Galilei (1564 - 1642) (http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/galilei_galileo.shtml) . BBC. Retrieved on 2006-03-22.
18. ↑ **(en)** Sir Isaac Newton (1643 - 1727) (http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/newton_isaac.shtml) . BBC. Consulté le 22 mars 2006.
19. ↑ **(en)** Herschel Discovers Infrared Light (http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_bio.html) . Cool Cosmos. Consulté le 22 mars 2006.
20. ↑ **(en)** Thomson, Sir William (1862). "On the Age of the Sun's Heat" (http://zapatopi.net/kelvin/papers/on_the_age_of_the_suns_heat.html) . Macmillan's Magazine 5 : 288-293.
21. ↑ **(en)** Lockyer, Joseph Norman (1890). The meteoritic hypothesis; a statement of the results of a spectroscopic inquiry into the origin of cosmical systems (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1890QB981.L78.....>) . London and New York : Macmillan and Co.
22. ↑ **(en)** Darden, Lindley (1998). The Nature of Scientific Inquiry. (<http://www.philosophy.umd.edu/Faculty/LDarden/sciinq/>)
23. ↑ **(en)** Studying the stars, testing relativity: Sir Arthur Eddington (2005-06-15). (http://www.esa.int/esaSC/SEMDYPXO4HD_index_0.html)
24. ↑ **(en)** Bethe, H. (1938). "On the Formation of Deuterons by Proton Combination". Physical Review 54 : 862-862.
25. ↑ **(en)** Bethe, H. (1939). "Energy Production in Stars". Physical Review 55 : 434-456.
26. ↑ **(en)** E. Margaret Burbidge ; G. R. Burbidge ; William A. Fowler ; F. Hoyle (1957). "Synthesis of the Elements in Stars" (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1957RvMP...29..547B>) . Reviews of Modern Physics 29 (4): 547-650.
27. ↑ **(en)** Pioneer 6-7-8-9-E. Encyclopedia Astronautica (<http://www.astronautix.com/craft/pio6789e.htm>) . Consulté le 22 mars 2006.
28. ↑ **(en)** St. Cyr, Chris ; Joan Burkepile (1998). Solar Maximum Mission Overview (http://web.hao.ucar.edu/public/research/svosa/smm/smm_mission.html) . Consulté le 22 mars 2006.
29. ↑ **(en)** Japan Aerospace Exploration Agency (2005). Result of Re-entry of the Solar X-ray Observatory "Yohkoh" (SOLAR-A) to the Earth's Atmosphere (http://www.jaxa.jp/press/2005/09/20050913_yohkoh_e.html) . Consulté le 22 mars 2006.
30. ↑ **(en)** SoHO Comets. (<http://sungrazer.nrl.navy.mil/>) Consulté le 25 avril 2009.
31. ↑ **(en)** Ulysses — Science — Primary Mission Results. NASA (http://ulysses.jpl.nasa.gov/science/mission_primary.html) . Consulté le 22 mars 2006.
32. ↑ F. Espenak, « Eye Safety During Solar Eclipses — adapted from NASA RP 1383 Total Solar Eclipse of 1998 February 26, April 1996, p. 17 (<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/SEhelp/safety.html>) », NASA. Consulté le 22 mars 2006

Voir aussi

Articles connexes

- Le symbole ☀
- Astronomie
- Coucher de soleil
- Éclipse
- Énergie solaire
- Fin du monde
- Héliosismologie
- Météorologie de l'espace

- Réaction nucléaire - Le Soleil
- 18 Scorpii, une étoile de la constellation du Scorpion considérée comme une quasi-jumelle du Soleil.
- Système Solaire

Liens externes

- **(fr)** Les effets du Soleil et les moyens de s'en protéger (<http://www.soleil.info/sante/se-protoger/info-conseil/>) *La Sécurité Solaire*.
- **(fr)** Heure de lever et de coucher du Soleil pour tous les endroits du monde. (<http://ptaff.ca/soleil/>)
- **(fr)** Le système solaire - Le Soleil. (<http://www.le-systeme-solaire.net/modules.php?name=syssol&page=soleil>)
- **(fr)** Document vidéo : *Flammes du Soleil* (<http://www.cerimes.education.fr/index.php?page=fiches&op1=view,877,10,7,,,,>) (durée : 10 minutes).
- **(en)** Le Soleil vu par les amateurs, bases de données solaires en images. (<http://solardatabase.free.fr>)
- **(en)** Le Soleil en direct via SoHO. (http://www.space.com/spacewatch/sun_cam.html)
- **(en)** Le Soleil aujourd'hui dans différentes longueurs d'onde (http://www.esa.int/esaCP/ASESO2AKOYC_Protecting_0.html) (images SoHO).
- **(fr)** Soleil : les derniers secrets de notre étoile. 1^{er} épisode (<http://www.cieletespaceradio.fr/index.php/2007/05/02/119-soleil-les-derniers-secrets-de-notre-etoile-1-3>) ; 2^e épisode (<http://www.cieletespaceradio.fr/index.php/2007/05/02/120-soleil-les-derniers-secrets-de-notre-etoile-2-3>) ; 3^e épisode (<http://www.cieletespaceradio.fr/index.php/2007/05/02/121-soleil-les-derniers-secrets-de-notre-etoile-3-3>) ; Ciel & Espace radio, Jean-Paul Zahn.

Ce document provient de « <http://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil> ».

Dernière modification de cette page le 20 août 2009 à 10:29.

Droit d'auteur : Les textes sont disponibles sous licence Creative Commons paternité partage à l'identique ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques.

Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.