

# Le Soleil

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



Le Soleil fait partie de la Voie Lactée. Il se situe à environ 28 000 années-lumière du centre. Et il tourne autour du centre de la galaxie en 240 millions d'années, en passant soit au-dessus soit au dessous du plan galactique.

# La Voie Lactée

~ 100.000 Années-Lumière

Bras du Sagittaire

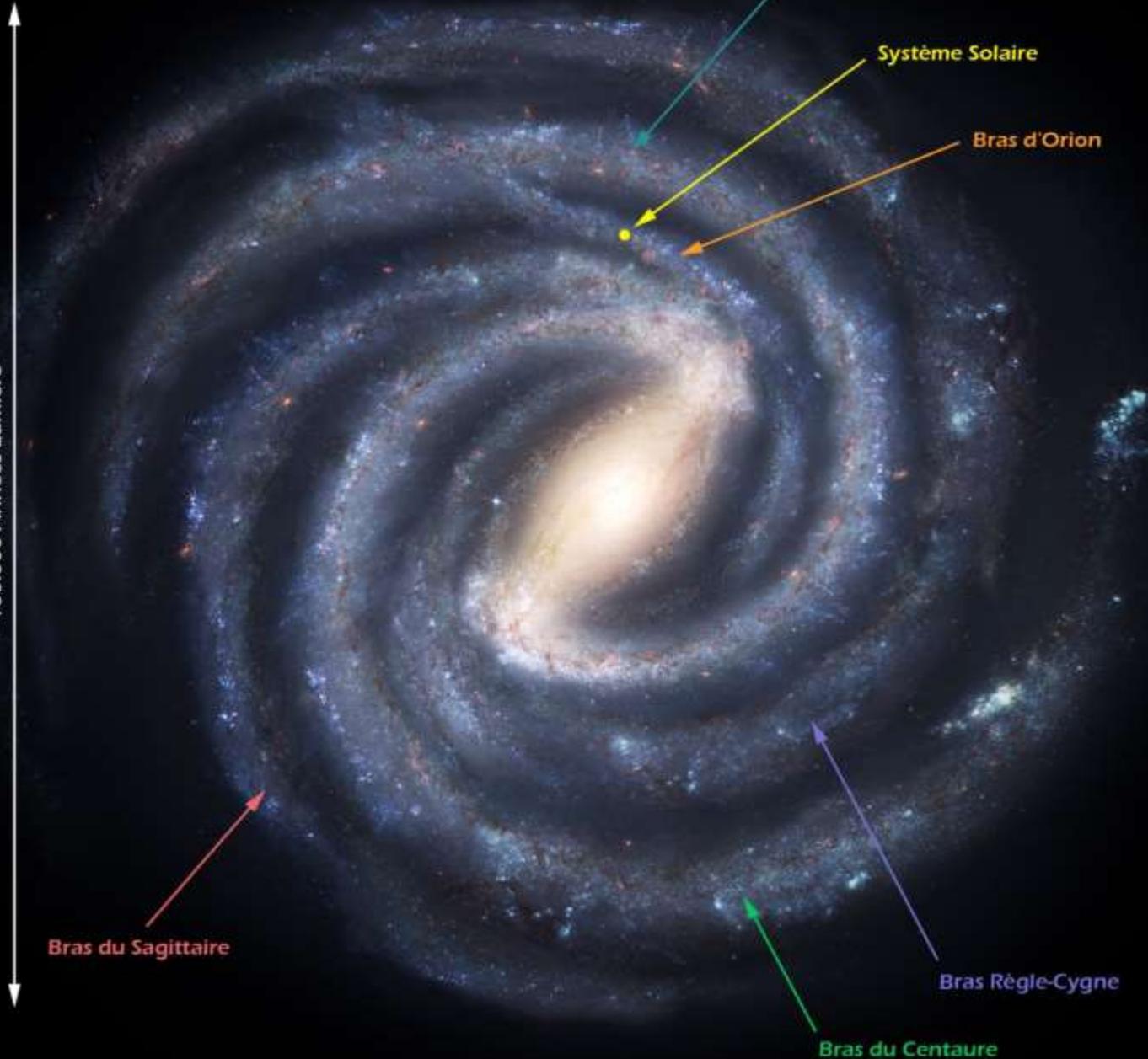
Bras de Persée

Système Solaire

Bras d'Orion

Bras Règle-Cygne

Bras du Centaure



# Quelques données numériques

## Données observées

|   |                |
|---|----------------|
| Demi-grand axe de l'orbite de la Terre (1 ua) | 149 597 870 km |
| Magnitude apparente                           | -26,74         |
| Magnitude absolue                             | 4,83           |

## Caractéristiques orbitales

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Distance du centre de la Voie lactée | 2,50×10 <sup>17</sup> km<br>(8 700 pc) |
| Période galactique                   | 2,26×10 <sup>8</sup> années            |
| Vitesse                              | 217 km/s                               |

## Caractéristiques physiques

|  |   |                           |
|--|---|---------------------------|
| Diamètre moyen                                     | 1 392 684 km                            |                           |
| Rayon équatorial                                   | 696 342 km                              |                           |
| Circonférence équatorial                           | 4,379×10 <sup>6</sup> km                |                           |
| Surface  | 6,0877×10 <sup>12</sup> km <sup>2</sup> |                           |
| Volume   | 1,412×10 <sup>18</sup> km <sup>3</sup>  |                           |
| Masse (M <sub>⊙</sub> )                            | 1,9891×10 <sup>30</sup> kg              |                           |
| Masse volumique                                    | moyenne                                 | 1 408 kg/m <sup>3</sup>   |
|  | au centre                               | 150 000 kg/m <sup>3</sup> |
| Gravité à la surface                               | 273,95 m/s <sup>2</sup>                 |                           |
| Vitesse de libération                              | 617,54 km/s                             |                           |
| Température  | au centre                               | 15,1 °MK                  |
|  | à la surface                            | 5 750 °K                  |
|  | couronne                                | 5 °MK                     |
| Flux énergétique                                   | 3,826×10 <sup>26</sup>                  |                           |
| Métalllicité (% de + lourd que H <sup>2</sup> &He) | Z = 0.0122=1,22%                        |                           |

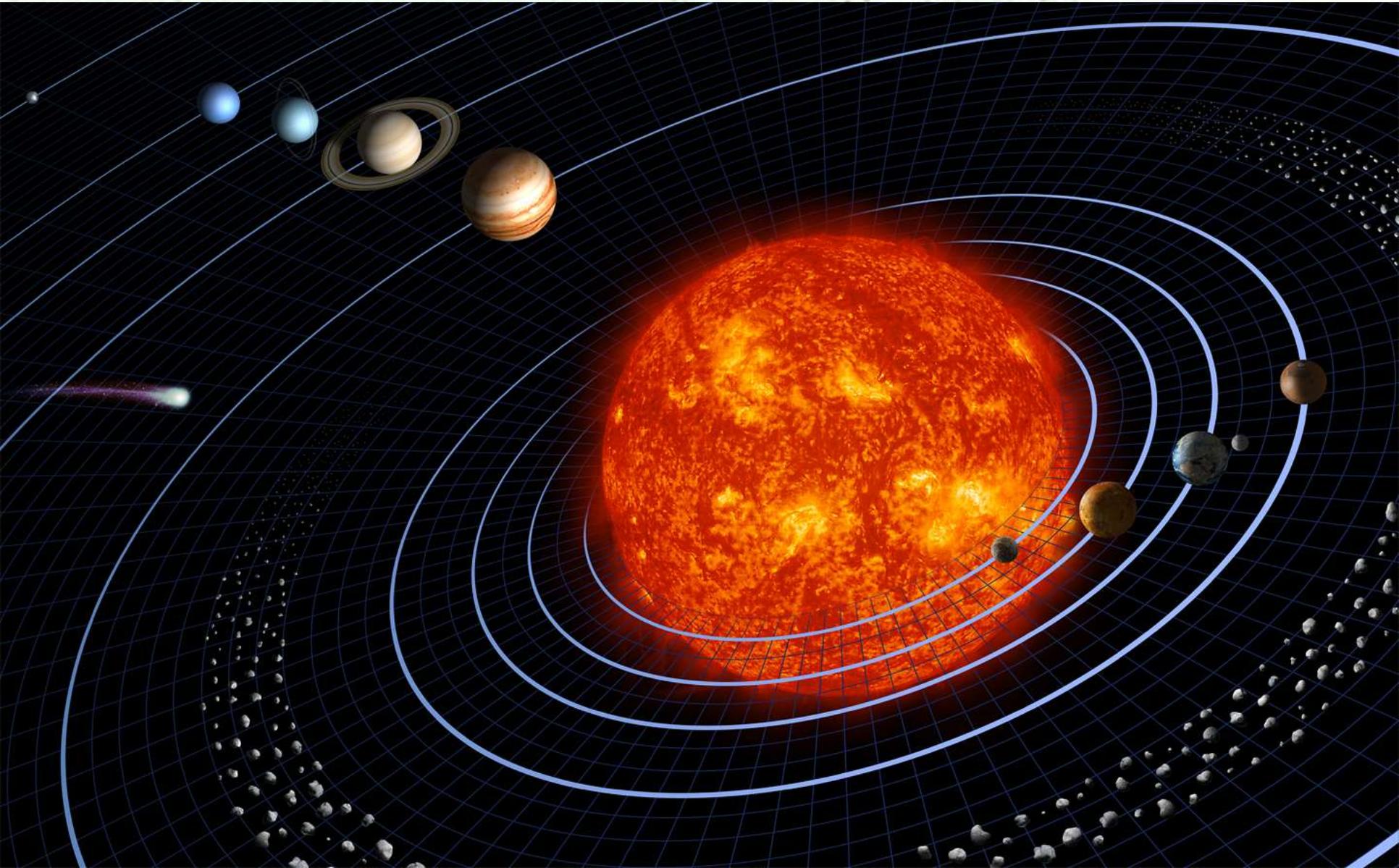
## Rotation

|                      |               |               |
|----------------------|---------------|---------------|
| Inclinaison de l'axe | /écliptique   | 7,25°         |
|                      | /plan Galaxie | 67,23°        |
| Vitesse, latitude 0  |               | 7 008,17 km/h |
| 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       |

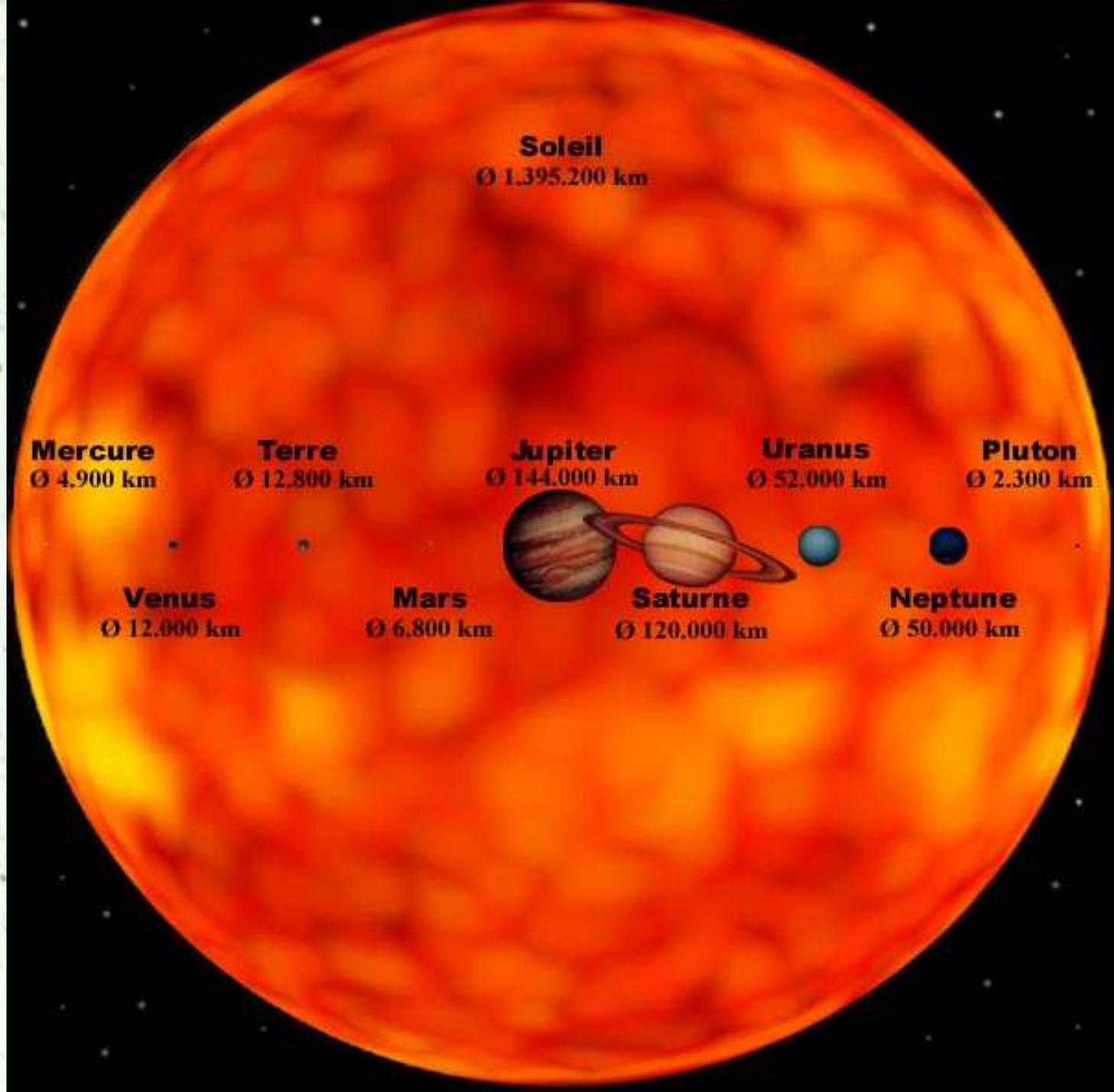
## Composition photosphérique (en masse)

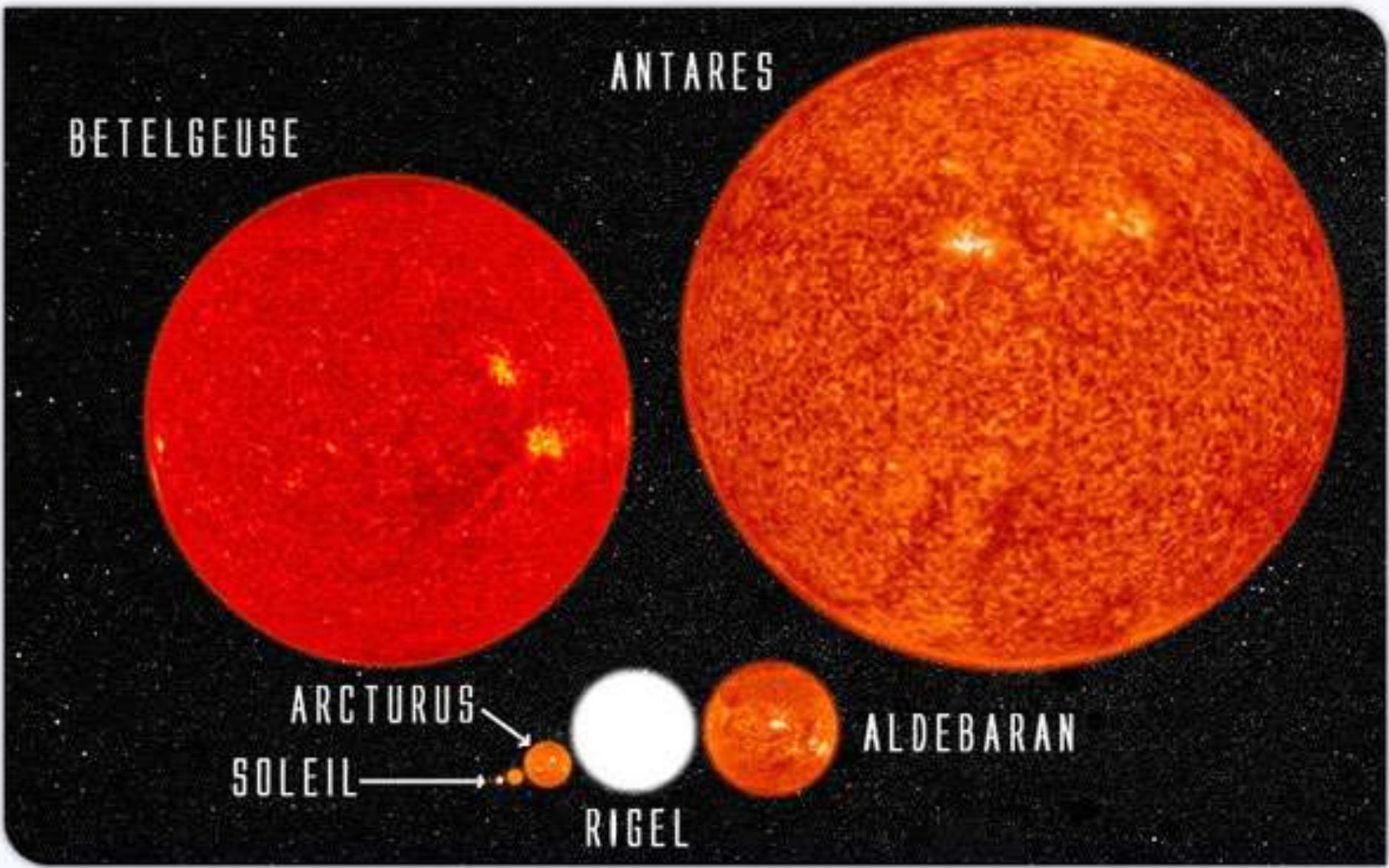
|           |         |
|-----------|---------|
| Hydrogène | 73,46 % |
| Hélium    | 24,85 % |
| Oxygène   | 0,77 %  |
| Carbone   | 0,29 %  |
| Fer       | 0,16 %  |
| Néon      | 0,12 %  |
| Azote     | 0,09 %  |
| Silicium  | 0,07 %  |
| Magnésium | 0,05 %  |
| Soufre    | 0,04 %  |

Le Soleil est au centre de notre système solaire c'est l'étoile la plus proche de la Terre, dont elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres.



Taille relative du Soleil et des planètes





Le Soleil est une naine jaune situé dans la séquence principale.

Soleil actuel

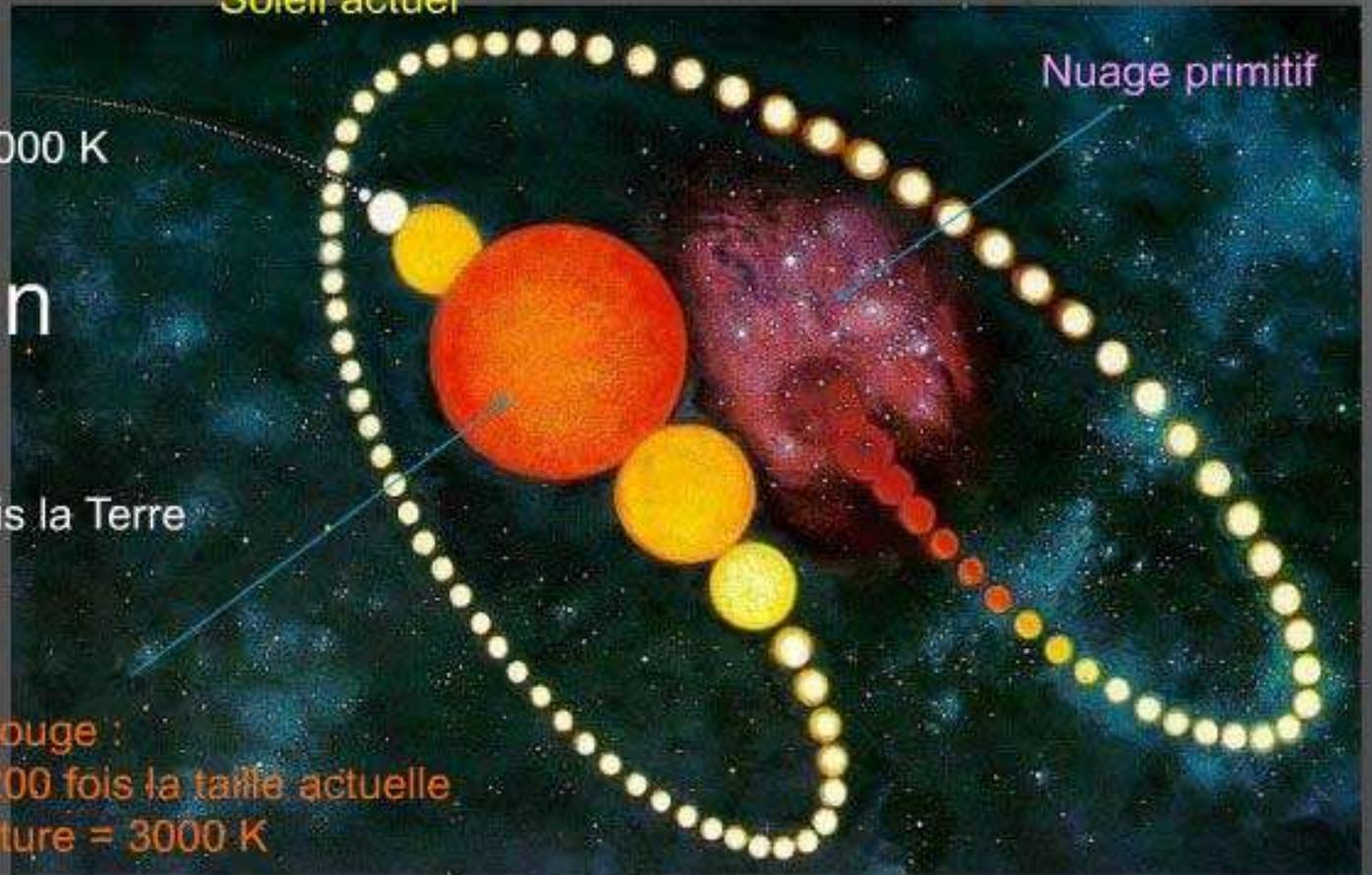
Naine blanche :  
Taille = Terre  
Température = 50 000 K

# L'évolution du Soleil

Masse = 330 000 fois la Terre

Géante rouge :  
Taille = 200 fois la taille actuelle  
Température = 3000 K

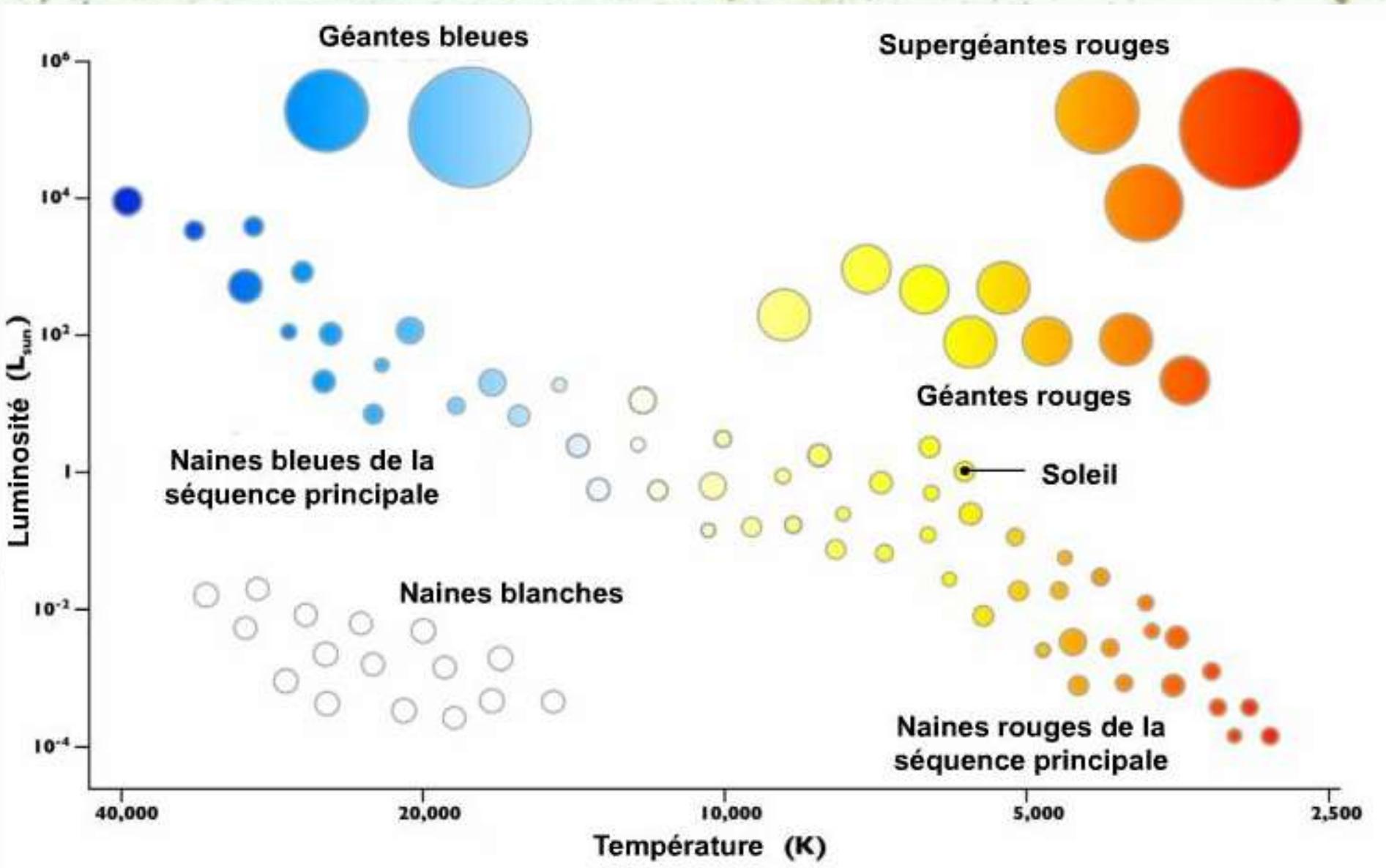
Nuage primitif



## Cycle de vie du Soleil

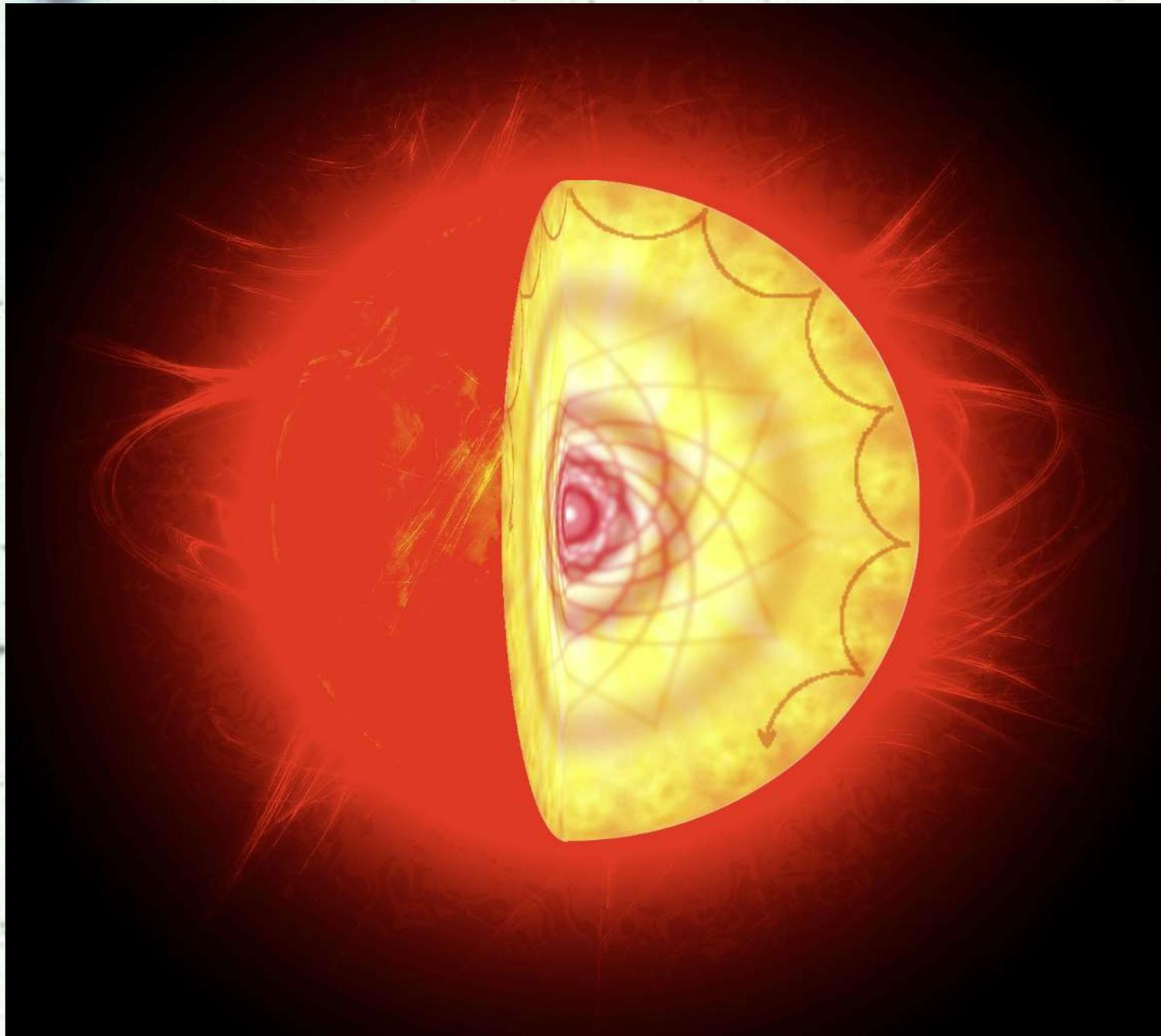


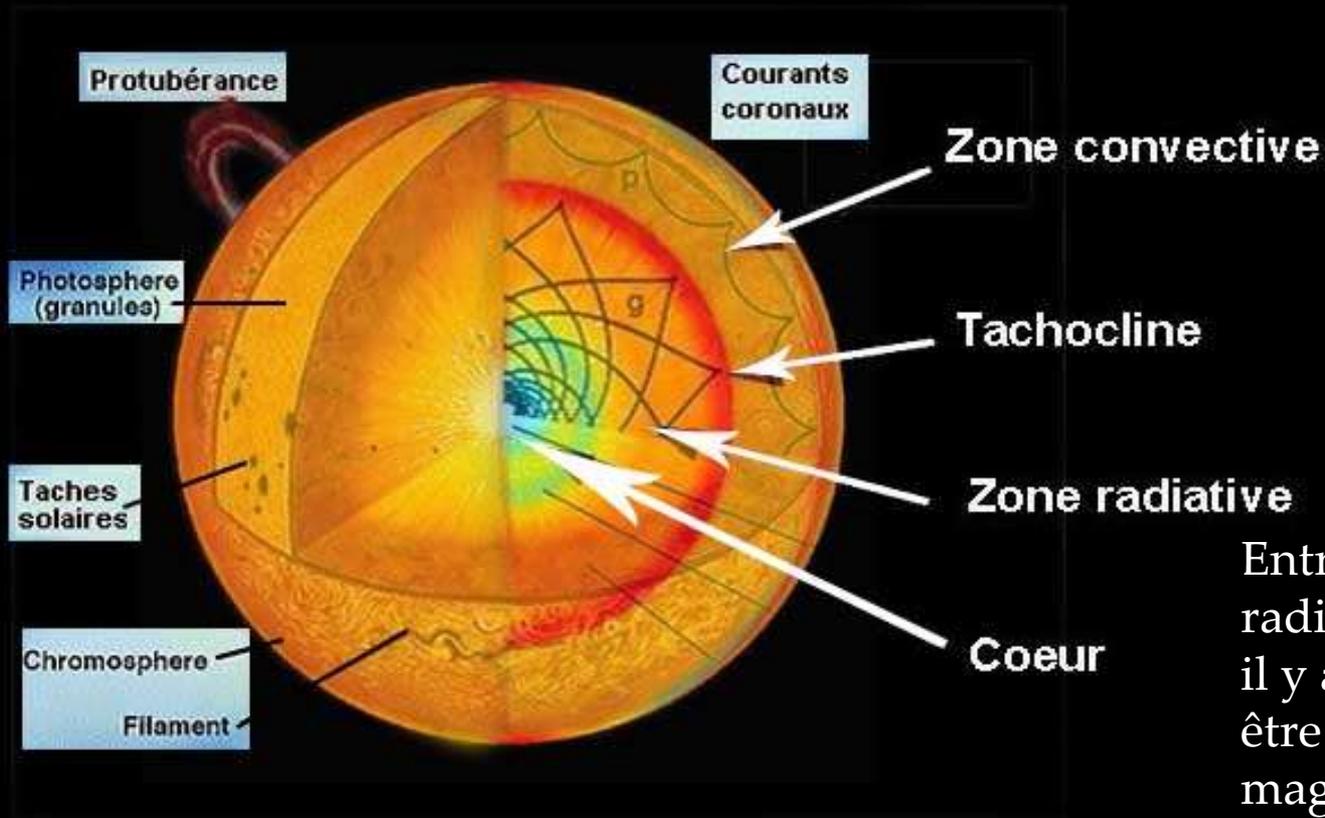
Le Soleil est aujourd'hui relativement calme car en équilibre dans la séquence principale



## Structure du Soleil

Le Soleil est presque parfaitement sphérique puisque la différence entre son diamètre polaire et équatorial n'est que de **10 kilomètres**.



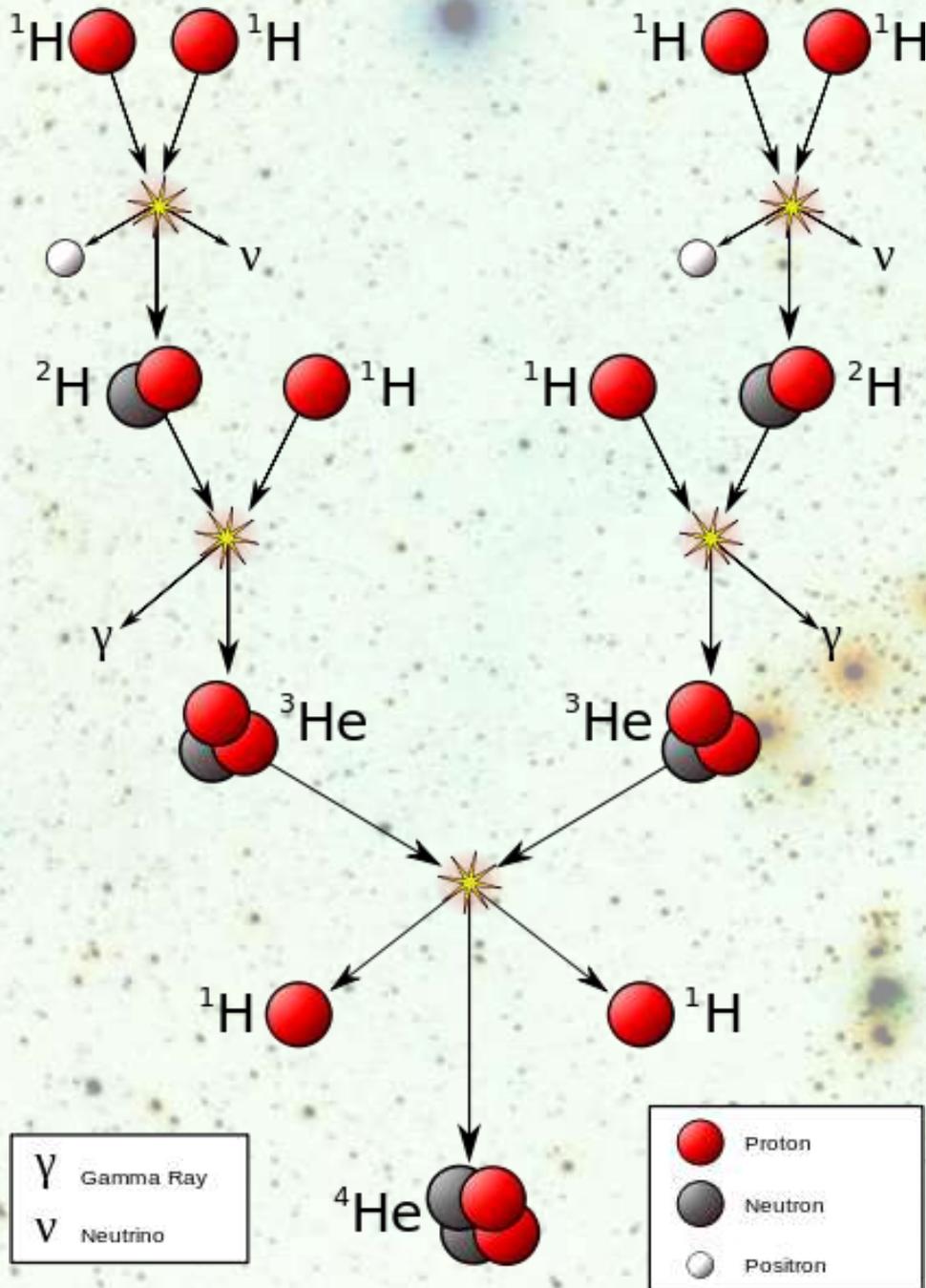


Entre les zones radiatives et convectives, il y a la **tachocline**, peut-être le siège du champ magnétique du Soleil.

A l'intérieur du Soleil, se trouve un noyau qui occupe 15 % du Soleil, à une température de 14 millions de degrés.

Au dessus du noyau se trouve une **zone radiative** d'une épaisseur d'environ 25 000 km, très dense qui représente 98 % de la masse du Soleil.

A 500 000 km du centre du Soleil, où la densité n'est plus que de 0.2 g/cm<sup>3</sup>, il y a une zone de convection de 200 000 km



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 kg/m<sup>3</sup>** (**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 5 800 kelvins). C'est là que se produisent les réactions thermonucléaires exothermiques (fusion nucléaire) qui transforment, dans le cas du Soleil, l'hydrogène en hélium.

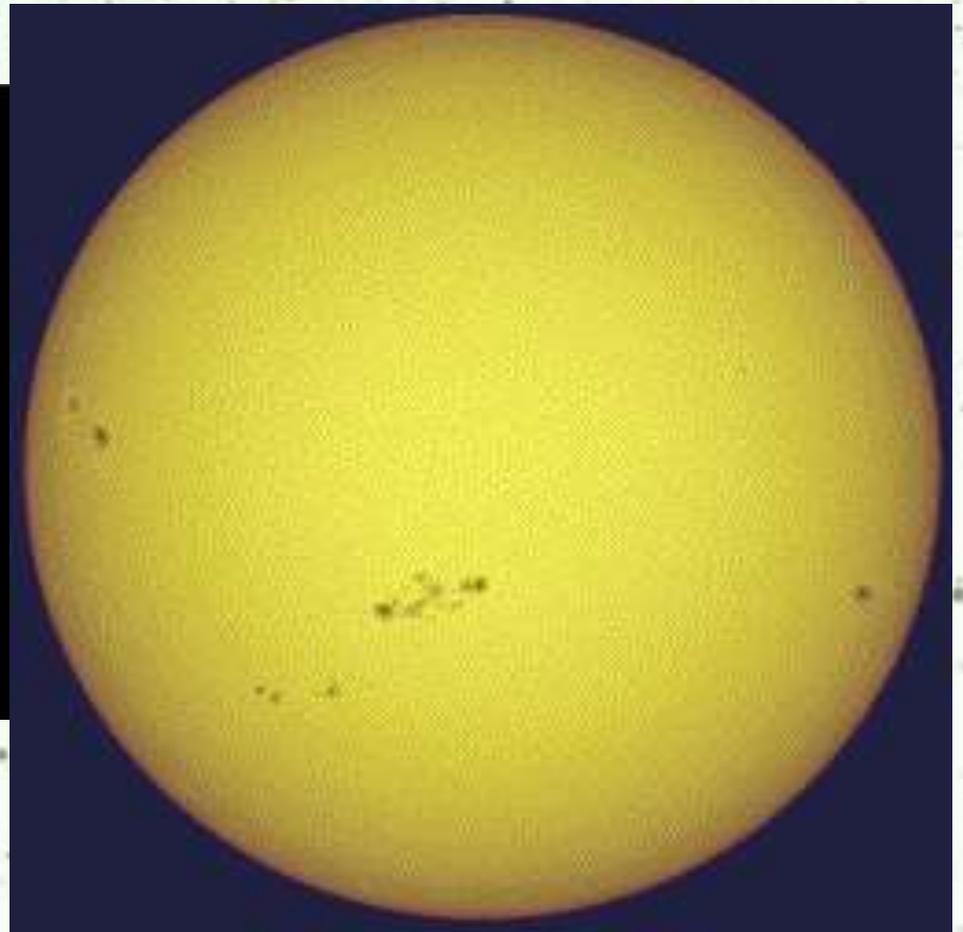
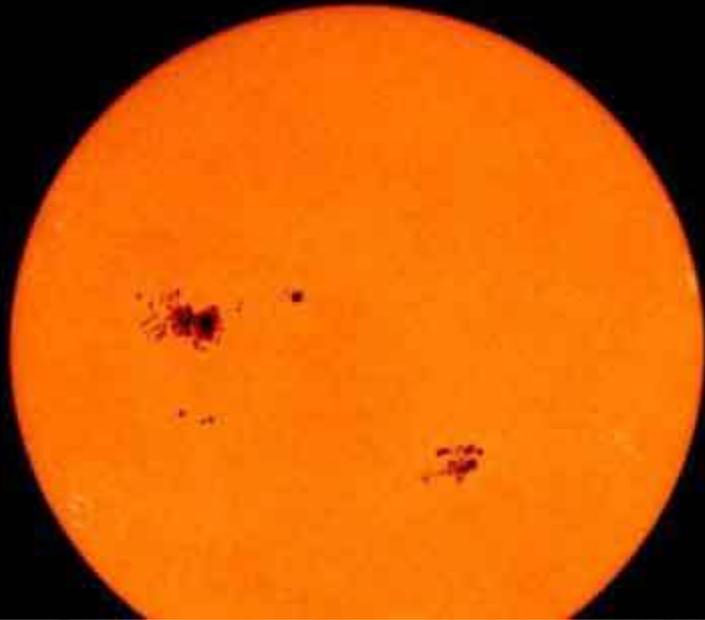
On a vu ce qui se passe à l'intérieur du Soleil mais d'où vient sa lumière ?

En fait comme on le voit

**Un photon mettra jusqu'à un million d'années à atteindre la « surface ».**

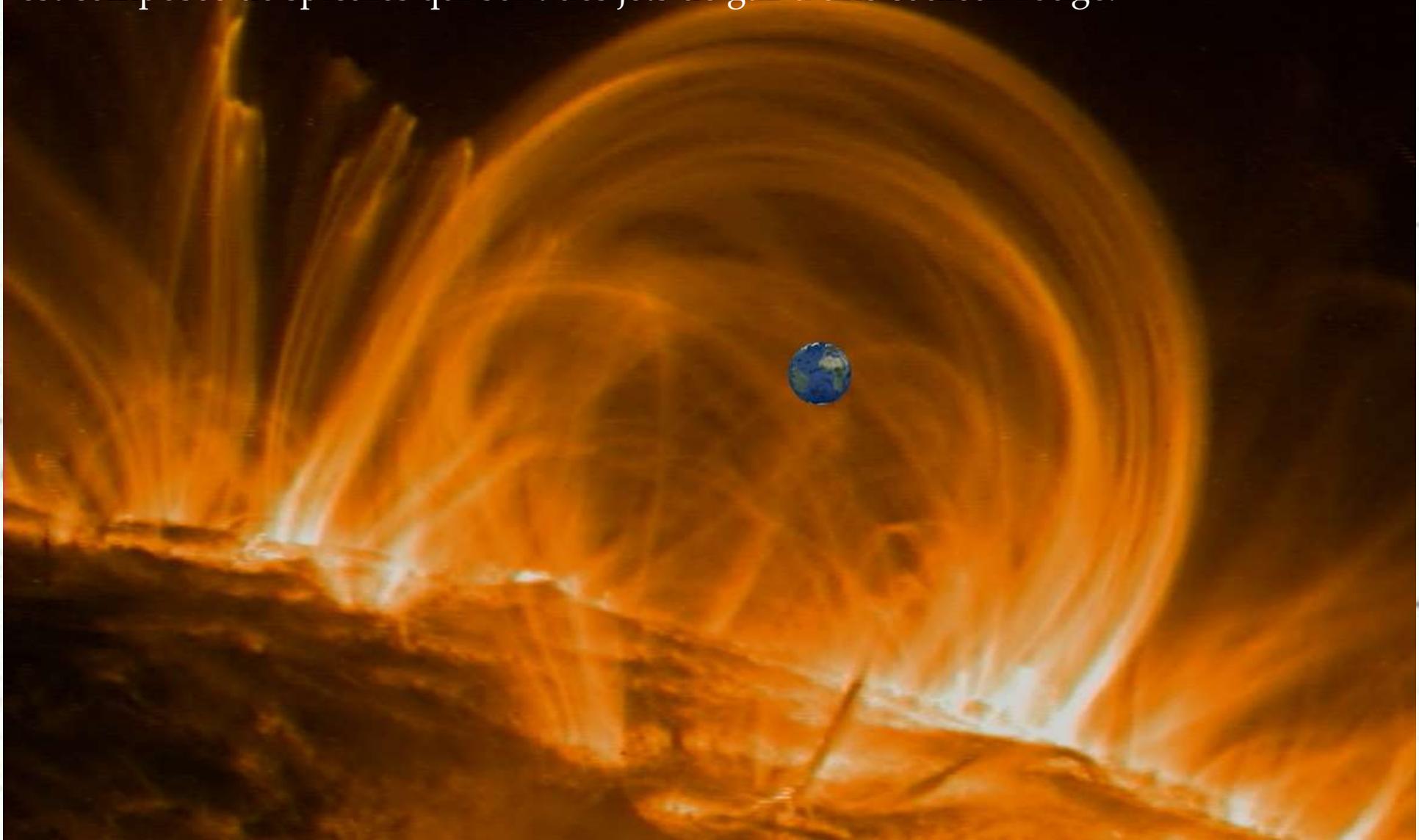
La **photosphère** est la **surface visible du Soleil** qui a environ 500 km d'épaisseur , où la densité n'est plus que de  $10^{-7}$  g/cm<sup>3</sup>, dix mille fois inférieure à la densité de l'air qui règne sur Terre en bordure de mer, une valeur comparable au vide, et une température de 6 000 °C.

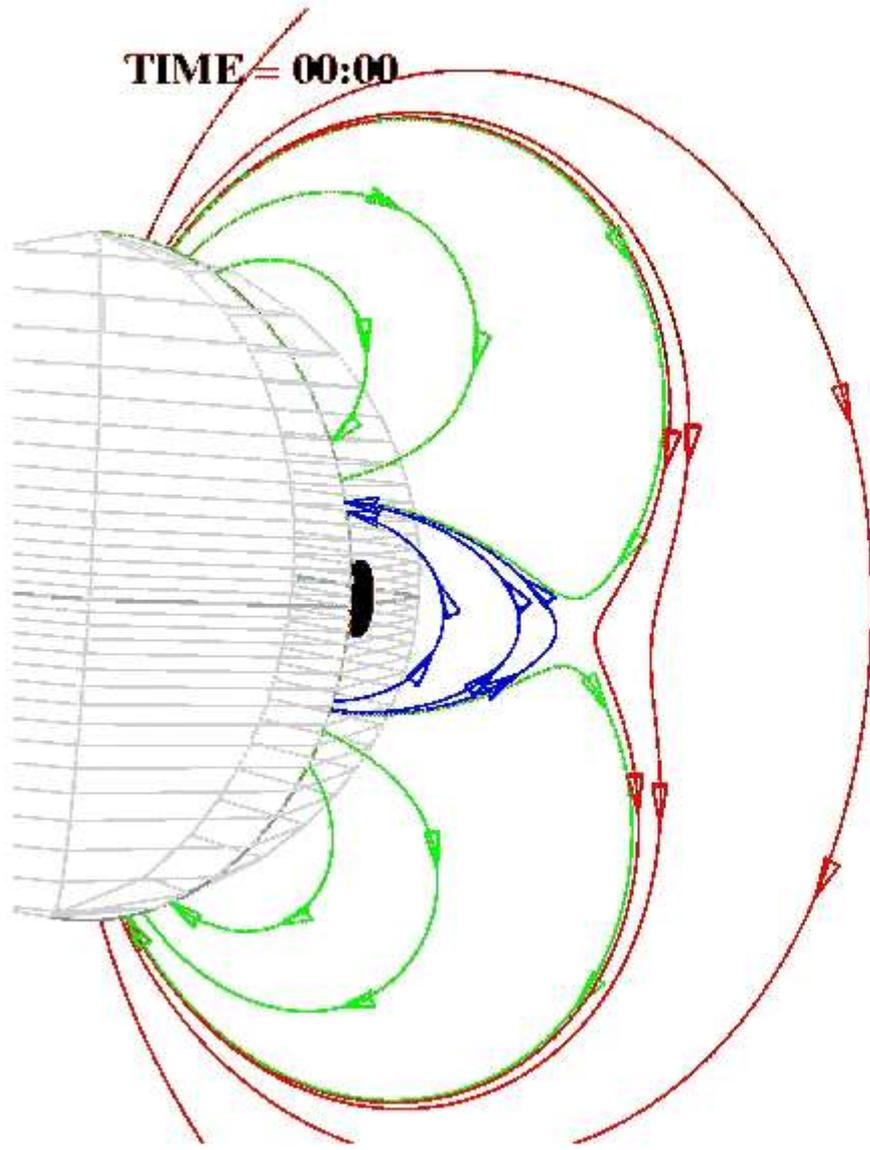
C'est là qu'on voit les taches, qui sont produites par le champ magnétique.



Le nombre de taches varie en suivant un cycle de 11 ans : le cycle de Schwabe

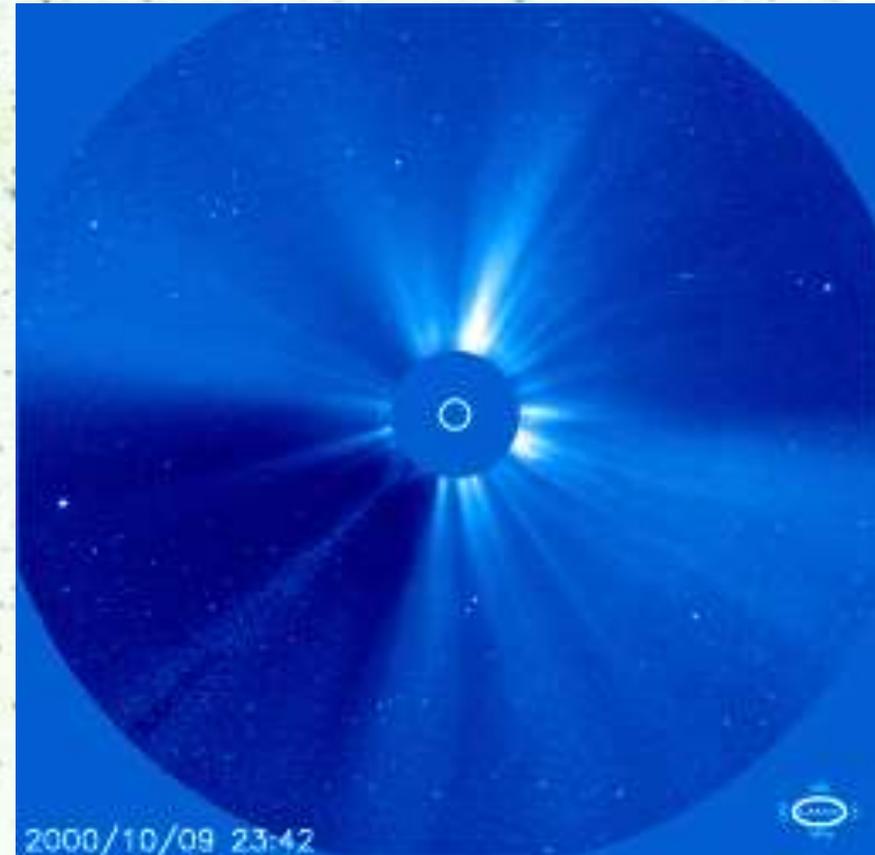
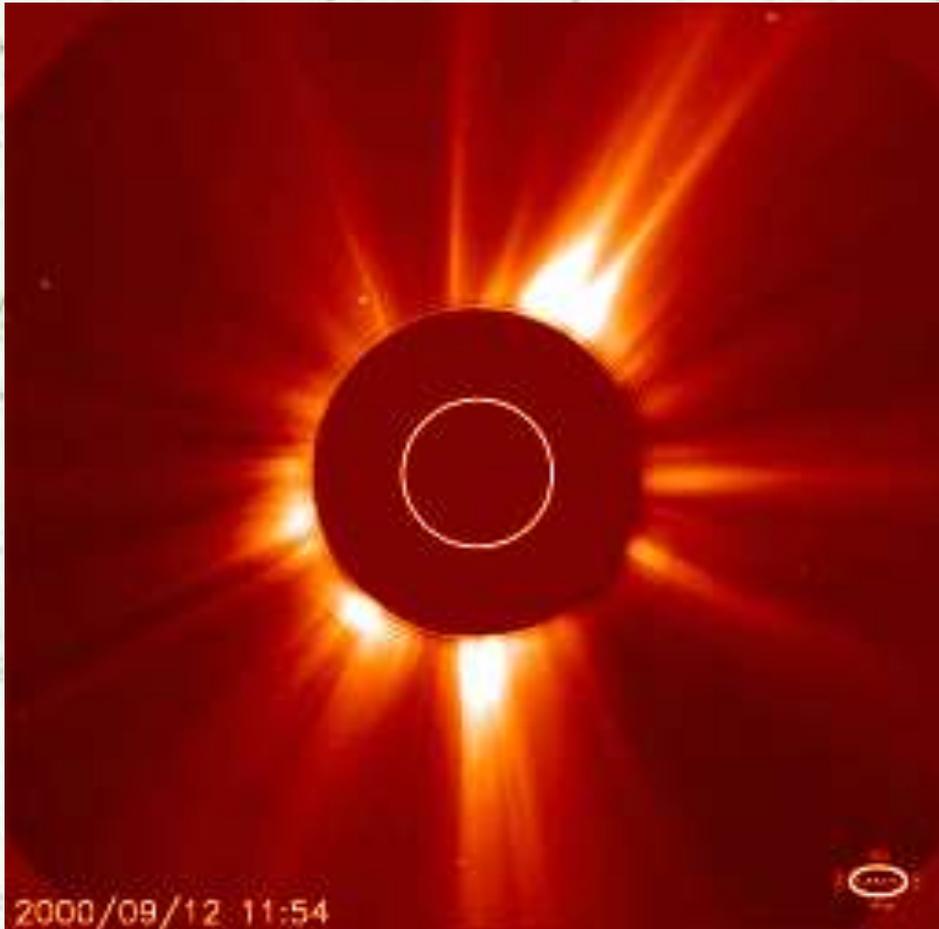
Au-dessus de la photosphère, se trouve la **chromosphère** pouvant atteindre 10 000 km de hauteur, et où se produisent les éruptions solaires. Sa température varie entre 10 000 °C juste au-dessus de la photosphère pour atteindre 1 million de degrés quelques 10 000 km plus haut où elle fusionne avec la basse **couronne**. Elle est composée de spicules qui sont des jets de gaz d'une couleur rouge.





Modèle animé d'éruption solaire avec éjection de matière (CME), qui montre une simulation des équations de la MHD dépendant du temps.

Puis, au-dessus de la chromosphère, se trouve la **couronne solaire** qui s'étend très loin dans l'espace. Sa température varie entre 1 et 2 millions de degrés. C'est ce qu'on voit lors d'une éclipse totale.



Australie le 14 novembre 2012

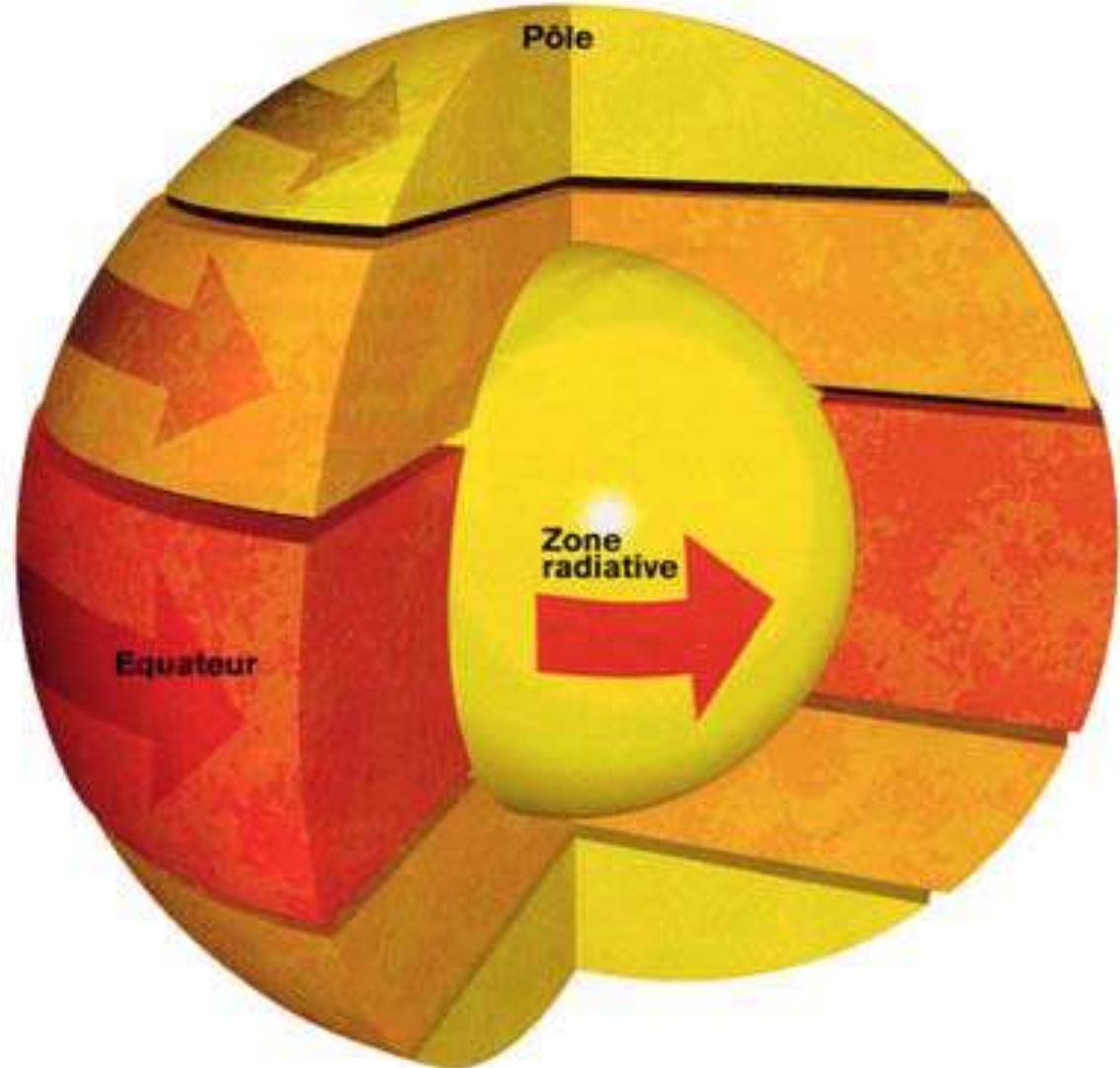


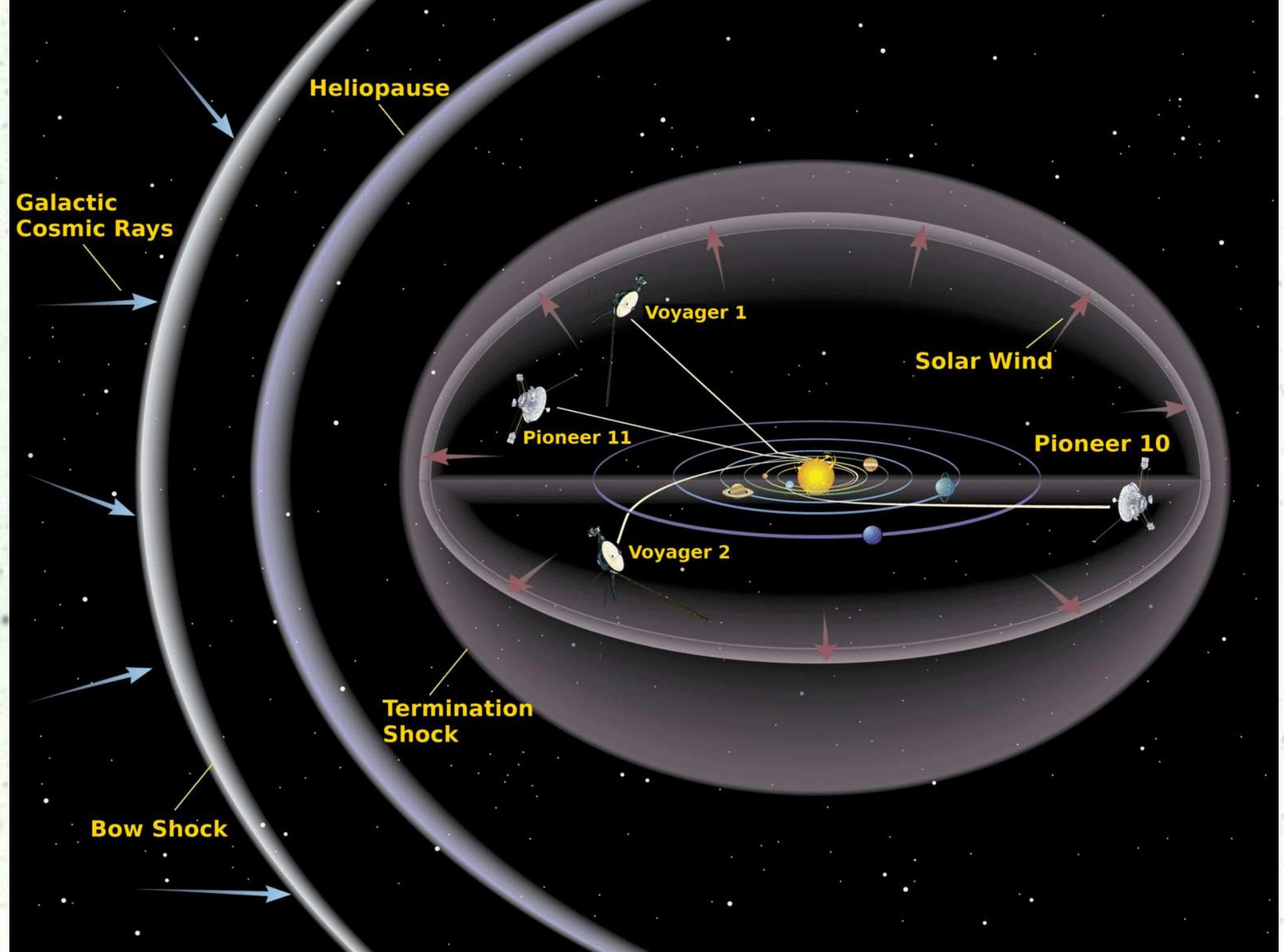
En plus de la chaleur et de la lumière, le Soleil émet aussi un flot de particules chargées (principalement des électrons et des protons) appelé vent solaire qui se propage à travers le système solaire à la vitesse de 450 km/s et jusqu'à 750km/h en venant des pôles..

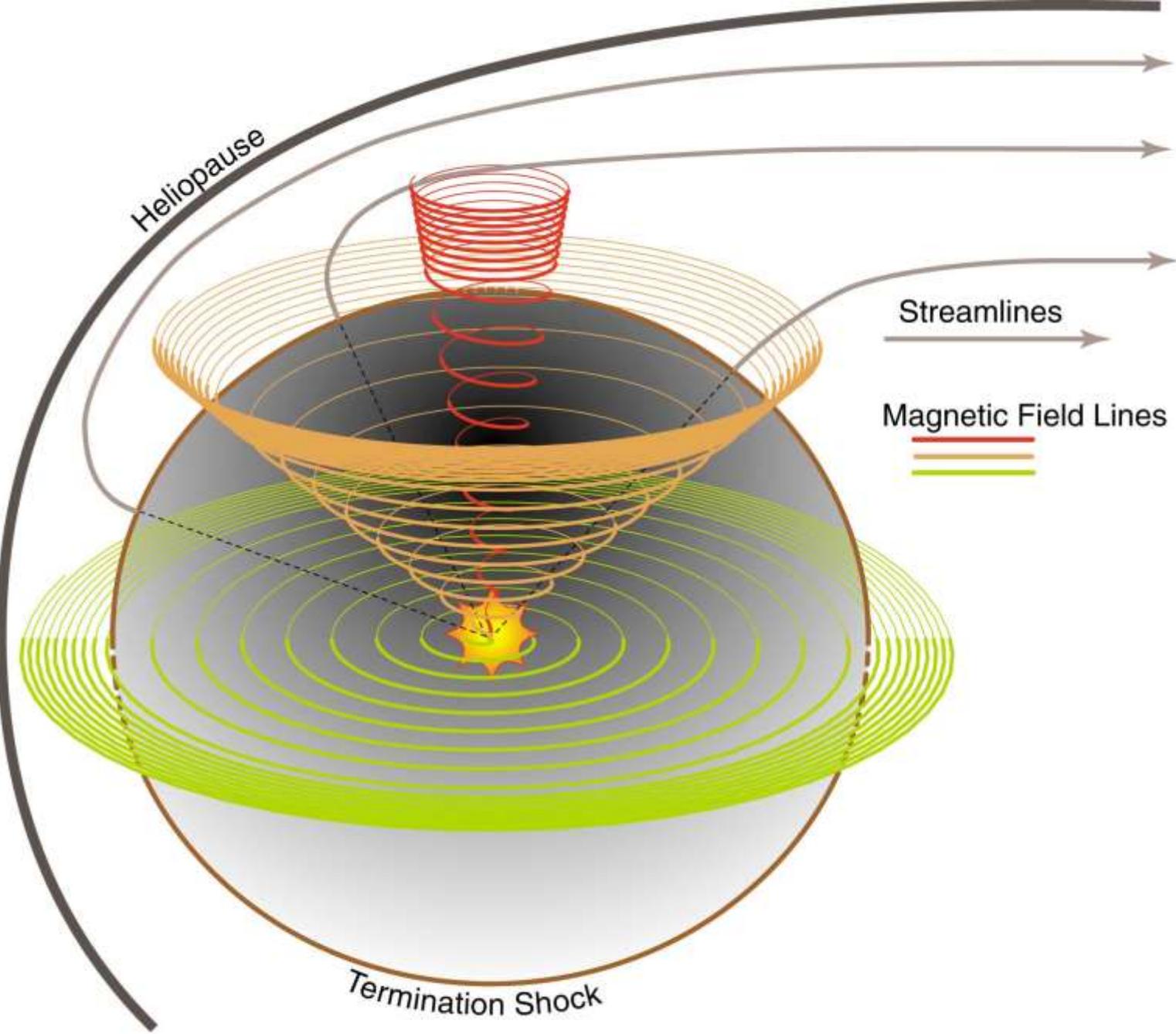


## Magnétisme du Soleil

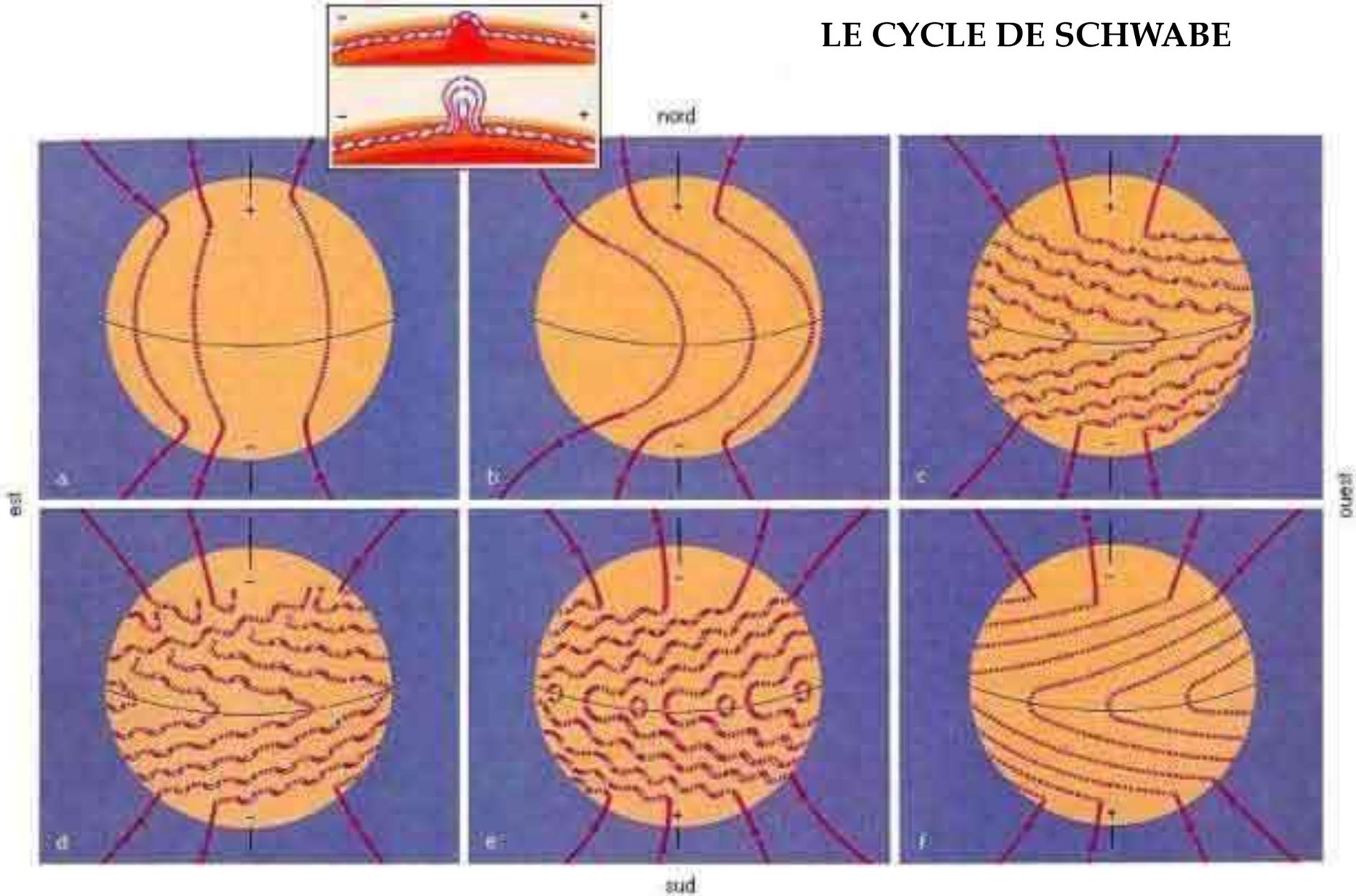
Le déplacement de particules chargées tels les électrons et les ions est ce qui produit le champ magnétique solaire. Il naîtrait à la limite entre la zone radiative et la zone de convection, qu'on appelle parfois « tachocline ».



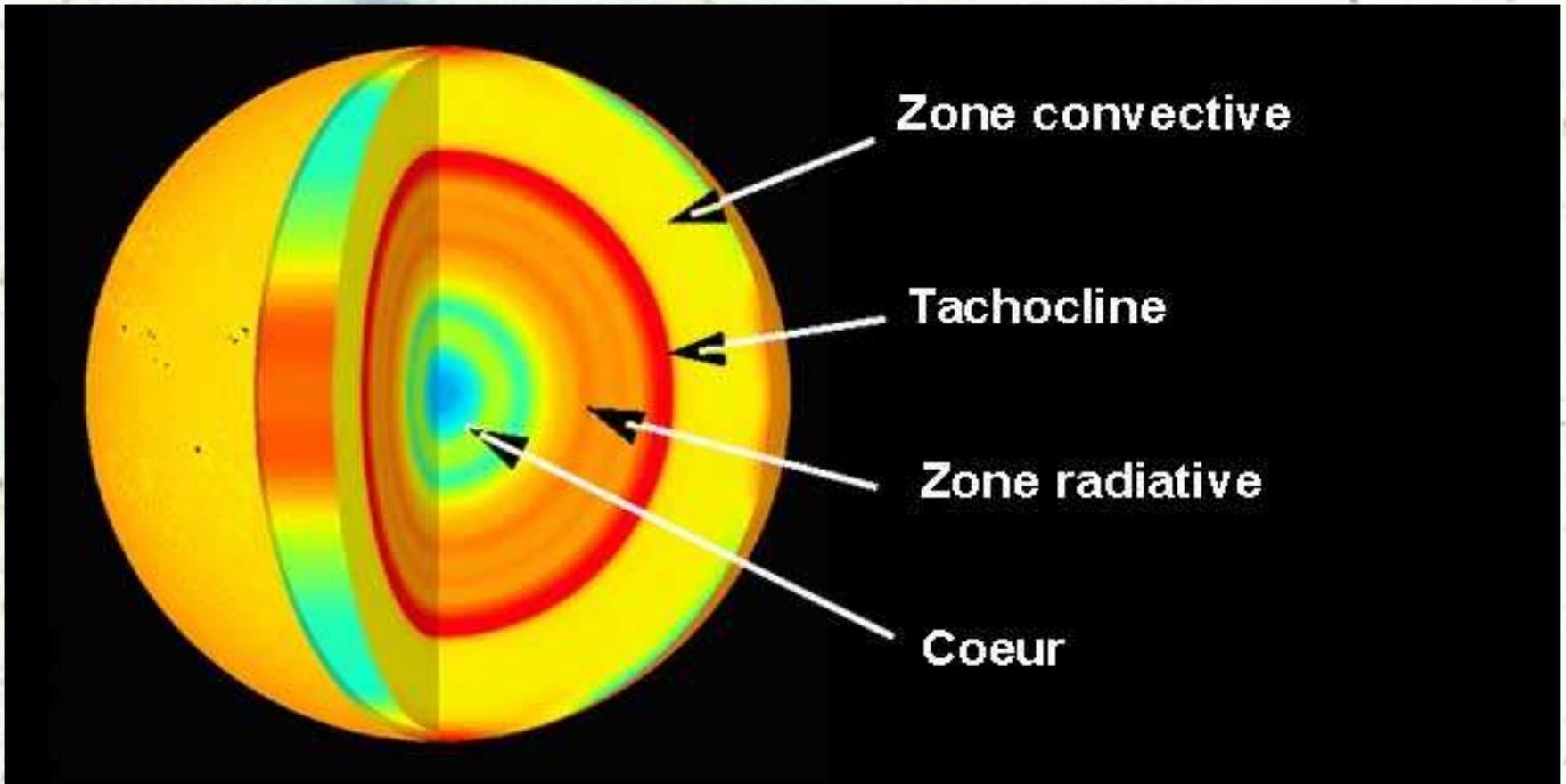




# LE CYCLE DE SCHWABE



La rotation différentielle, induit une déformation des lignes de champ qui vont induire un changement de sens des lignes de flux magnétique et un changement de polarité.



## Composition interne du Soleil

Aujourd'hui la composition chimique du Soleil est de 75% d'hydrogène et 25% d'hélium en masse (92.1% d'hydrogène et 7.8% d'hélium en nombre d'atomes); il contient également quelques métaux (0.1%).

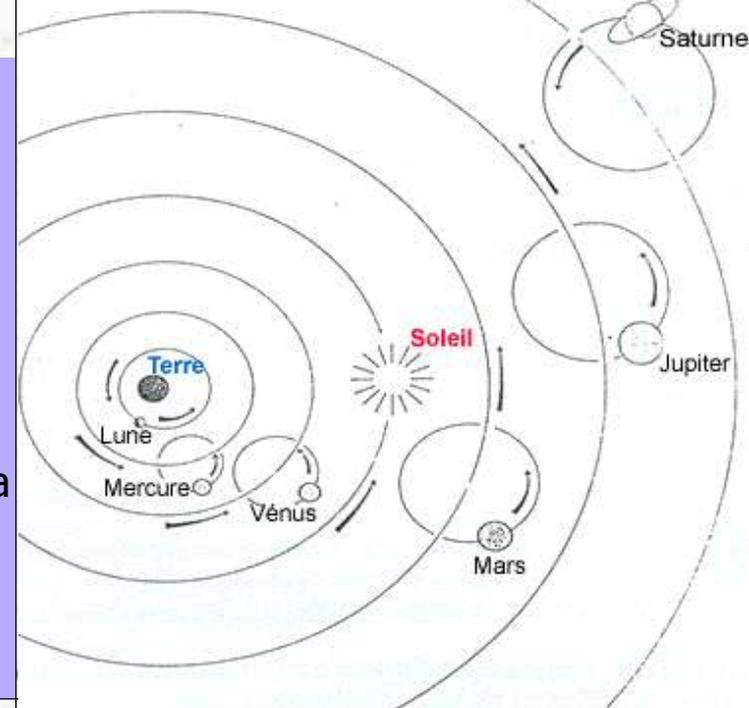
## Un peu d'histoire :

| Date  | Théories  | Observations  | Instruments  |
|-------|---|---|--|
| -2000 |   | <b><u>CHINE</u></b><br>1er témoignage de l'observation d'une éclipse de Soleil. |  |
| -1000 |   |   | <b><u>EGYPTE</u></b><br>Le plus ancien cadran solaire connu.       |
| -800  | <b><u>BABYLONE</u></b><br>1ères prédictions empiriques des dates d'éclipses de Soleil et de Lune grâce à l'utilisation du saros (-750).   |   | première observation plausible d'une tache solaire en <b>Chine</b> |
| -300  | <b><u>Aristarque de Samos Le premier à penser à un système héliocentrique (-310/-230)</u></b><br><br>Aux alentours -280, Aristarque de Samos met au point un moyen de calculer les distances relatives de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre. Après ses observations, il serait le premier à penser à un système Héliocentrique. |   |  |

## Claude Ptolémée (98/168) en 127

100

L'astronome et géographe Claude Ptolémée fait ses premières observations à Alexandrie. Ses recherches l'amènent à exposer, en s'appuyant sur les mathématiques, un système géocentrique du monde. Selon lui, la Terre est fixe et au centre de l'univers. Le système mis au point par l'astronome restera en vigueur jusqu'au XVIe siècle.

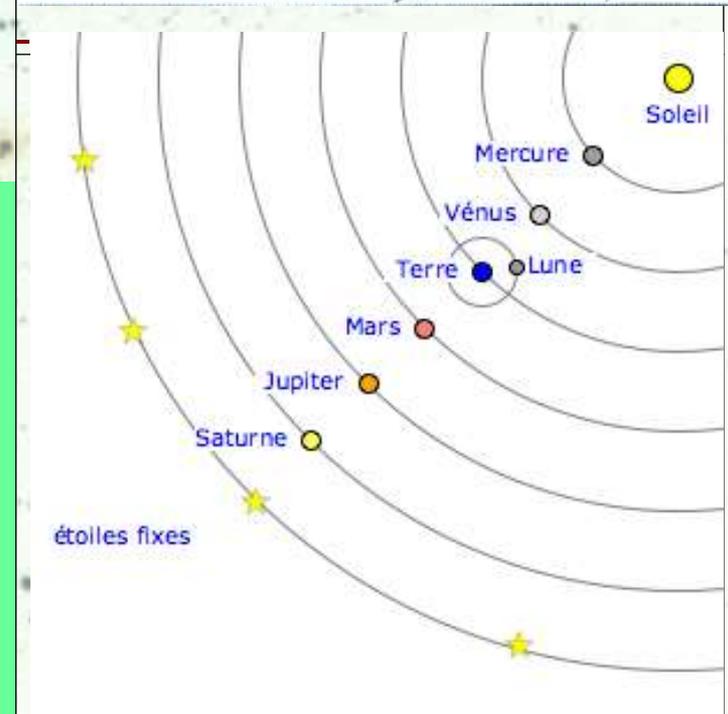


1400

## Nicolas Copernic(1473/1543) 1512 - 1543

1500

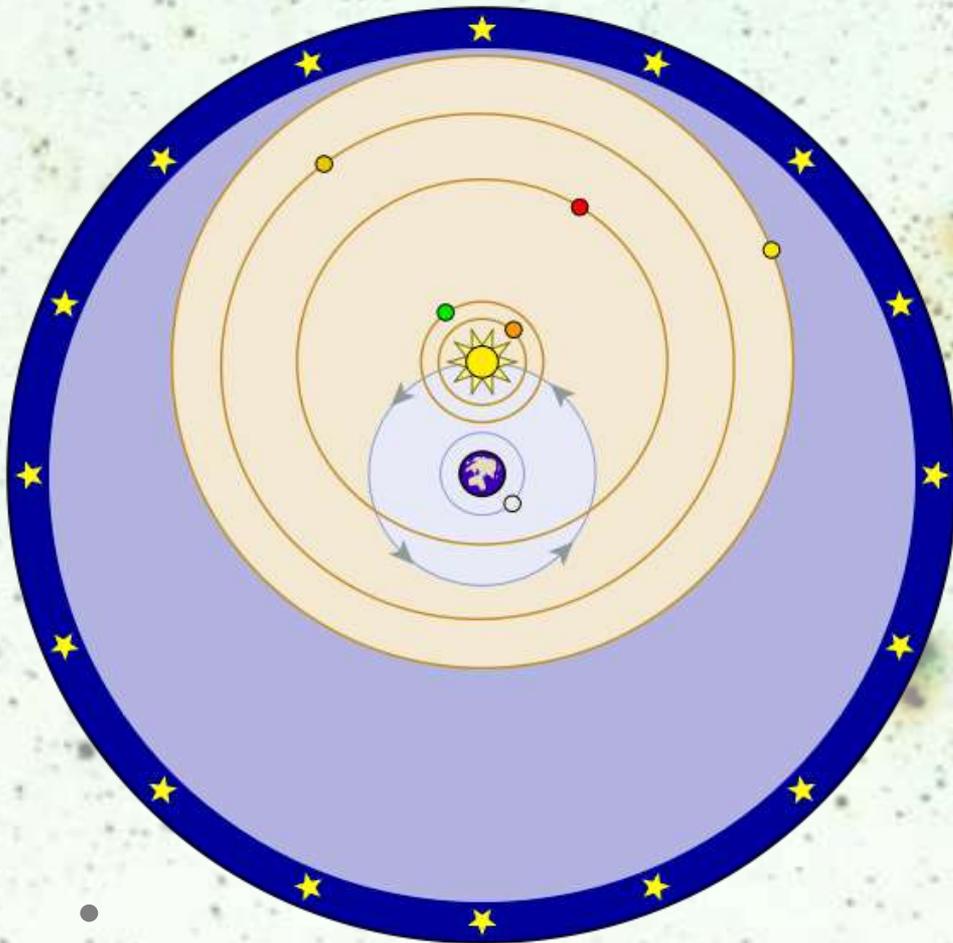
Copernic commence à rédiger son œuvre majeure, "Révolution des sphères célestes". Il avance que la Terre tourne sur elle-même et autour du soleil, que la Lune est un satellite de la Terre, et que les planètes font une rotation autour du Soleil (héliocentrisme). Il faudra attendre près de 200 ans pour que le système héliocentrique, substitue au monde clos du Moyen Age l'Univers illimité de l'époque moderne.



1550

**Tycho Brahé** (1546/1601) 1576-février

Construction de l'observatoire Uraniborg sur l'île de Ven, catalogue d'étoiles,  
Tycho Brahé ne sera pas tout à fait en accord avec la théorie de Copernic sur l'héliocentrisme, car selon lui, la Terre reste au centre de l'univers et ce sont les autres planètes qui tournent autour du Soleil.



Dans ce modèle géo-héliocentrique de Tycho Brahe, les objets célestes sur les orbites en bleu (**Lune** et **Soleil**) tournent autour de la Terre. Les objets sur les orbites en orange (**Mercure**, **Vénus**, **Mars**, **Jupiter** et **Saturne**) tournent autour du Soleil. À la périphérie se trouvent les étoiles

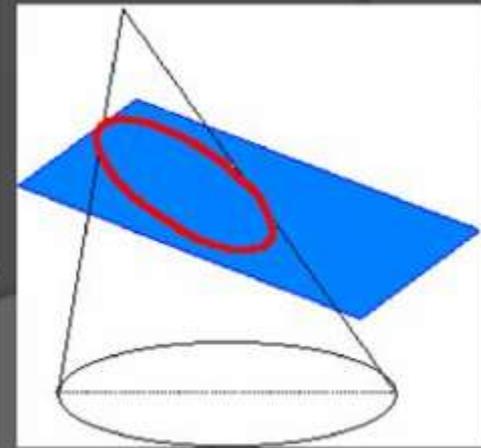
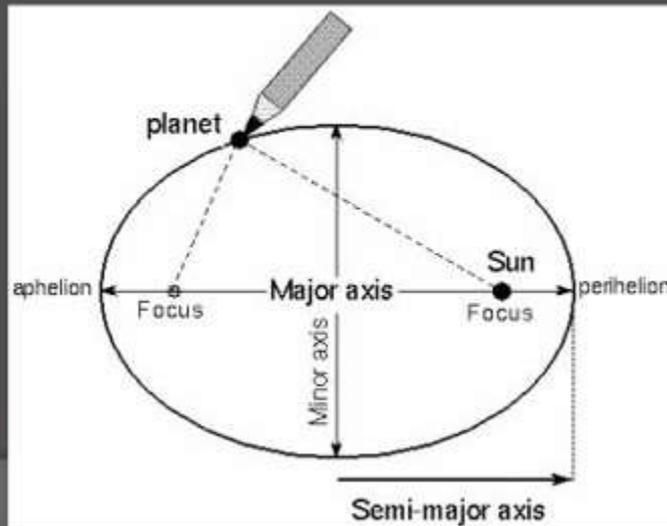
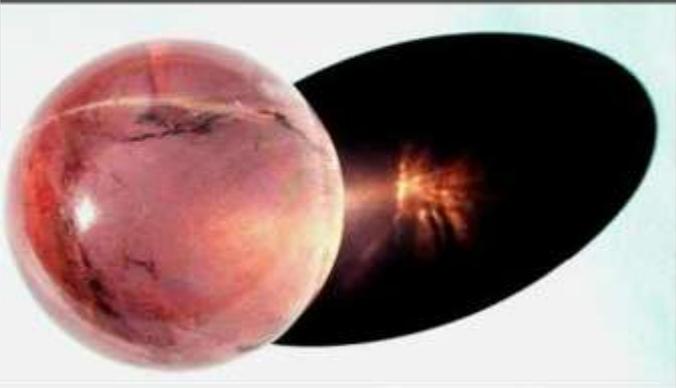
# Johannes Kepler

(1571/1630) 1609

C'est en se penchant sur l'étude de l'orbite de Mars qu'il découvre ses deux premières lois. Dix ans plus tard, l'astronome formulera une troisième loi dans "Harmonice Mundi" ("Harmonie du monde" 1600 1619). Ses démonstrations sur le mouvement des corps célestes serviront de base aux travaux de Newton.

1<sup>re</sup> loi de Kepler :

« Les planètes du système solaire décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil occupe l'un des foyers »

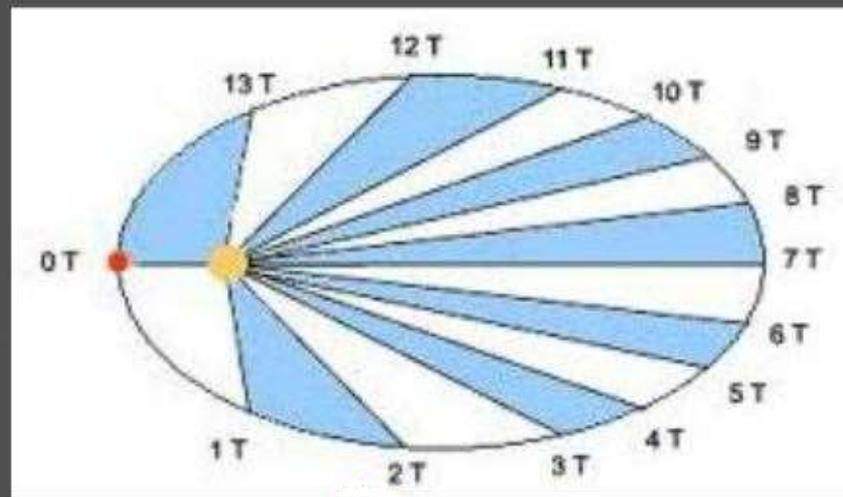
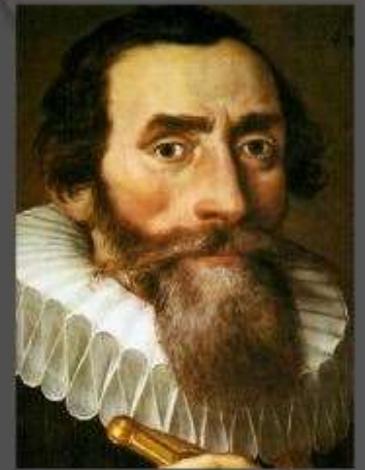


# La loi des aires

2<sup>e</sup> loi de Kepler :

« Les surfaces balayées en des temps égaux sont égales »

*Astronomia Nova (1609)*



T = unité de temps (heure, jour, semaine...)

Les planètes se déplacent d'autant plus rapidement qu'elles sont près du Soleil

## Galileo Galilei, dit Galilée

(1564/1642) 25 août 1609 22 juin 1633

1ère utilisation de la lunette (**1609**),

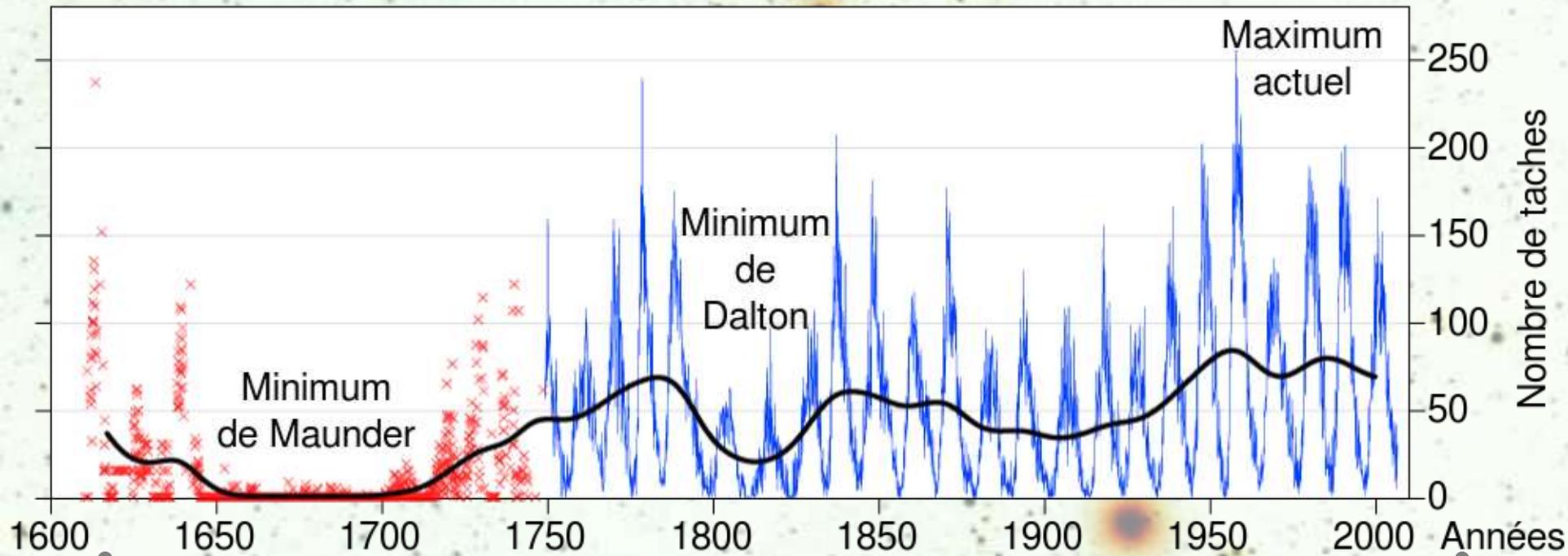
**1610** : Galilée observe les taches solaires avec son télescope.

en **1644**, Descartes énonce une théorie selon laquelle le Soleil est une étoile parmi bien d'autres.

**1645-1715** : période durant laquelle on observa peu de taches solaires ; on appelle cette période « **le minimum de Maunder** ».

## Evolution du nombre de taches solaires par an

× Observations sporadiques  
| Observations régulières



## Sir Isaac Newton

(1642/1727)

1650 Théorie de la décomposition de la lumière blanche (1669). Construction du premier télescope (1671). Base du calcul différentiel. Lois de l'attraction universelle (1687).

1845 première image du Soleil prise, par les physiciens français Hippolyte Fizeau et Léon Foucault

1852 première relation entre l'activité solaire et géomagnétique eu lieu en (première observation 1859 par l'astronome amateur Richard Carrington).

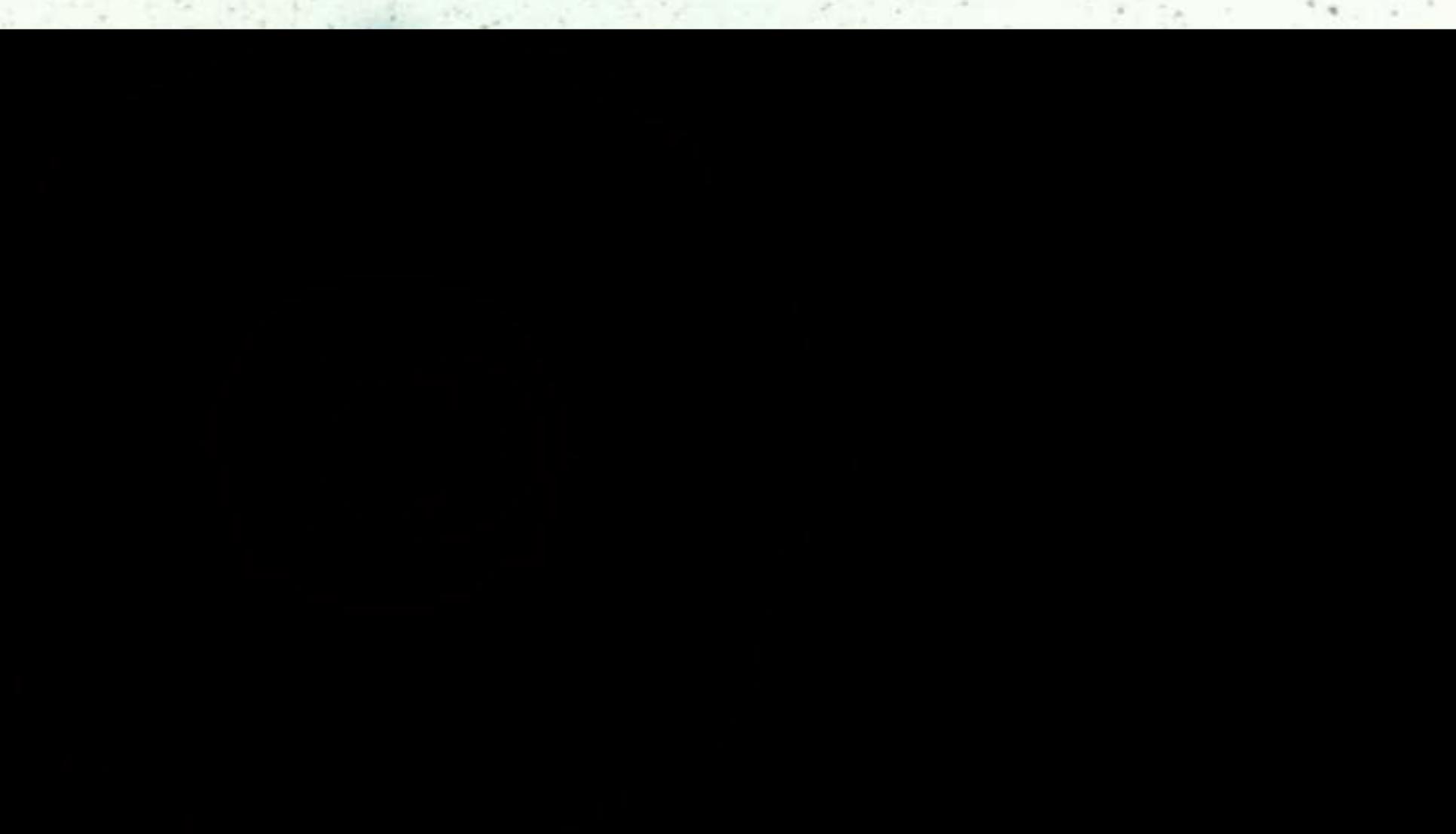
1860 L'observation de l'éclipse solaire totale de 1860 permet le premier enregistrement d'une éjection de masse coronale.

1908 premier enregistrement des champs magnétiques des taches solaires par l'astronome américain George Ellery Hale

1919 les lois de la polarité de Hale fournissent une preuve du cycle magnétique solaire.

1940 1942 fut observée pour la première fois une émission d'ondes radio solaires  
1946 fut faite la première observation de rayons ultraviolets (UV) solaires à l'aide d'une fusée sonde, et évaluée la température de la couronne à 2 millions de °C, à l'aide des raies spectrales.  
La première observation des rayons X solaires à l'aide d'une fusée sonde date de 1949.

1950... En 1954, on s'aperçoit que l'intensité des rayons provenant du Soleil varie sur un cycle solaire de 11 ans.  
Une première observation du vent solaire en 1963, par la sonde Mariner 2.  
et ça ne s'arrête pas là...



Et pour finir une vidéo faite par la Nasa qui est une compilation de quatre ans de SDO



## **Bibliographie**

<http://www.astrosurf.com/luxorion/index.htm>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-soleil.htm>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil>

<http://system.solaire.free.fr/soleil.htm>

[http://www.neufplanetes.org/systeme\\_solaire/sol.html](http://www.neufplanetes.org/systeme_solaire/sol.html)

<http://pgj.pagesperso-orange.fr/planetes/soleil.htm>

<http://www.le-systeme-solaire.net/soleil.html>

<http://system.solaire.free.fr/soleilactivite.htm>