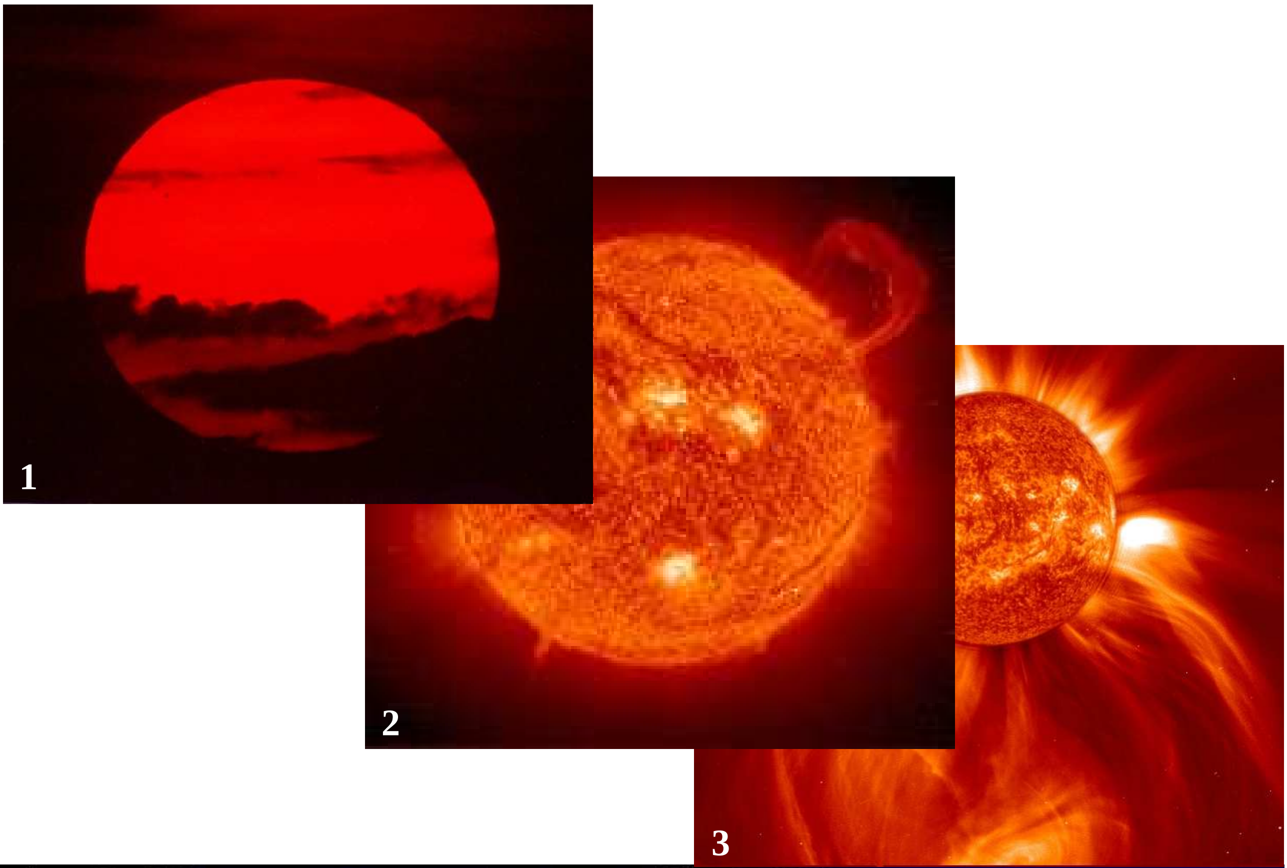
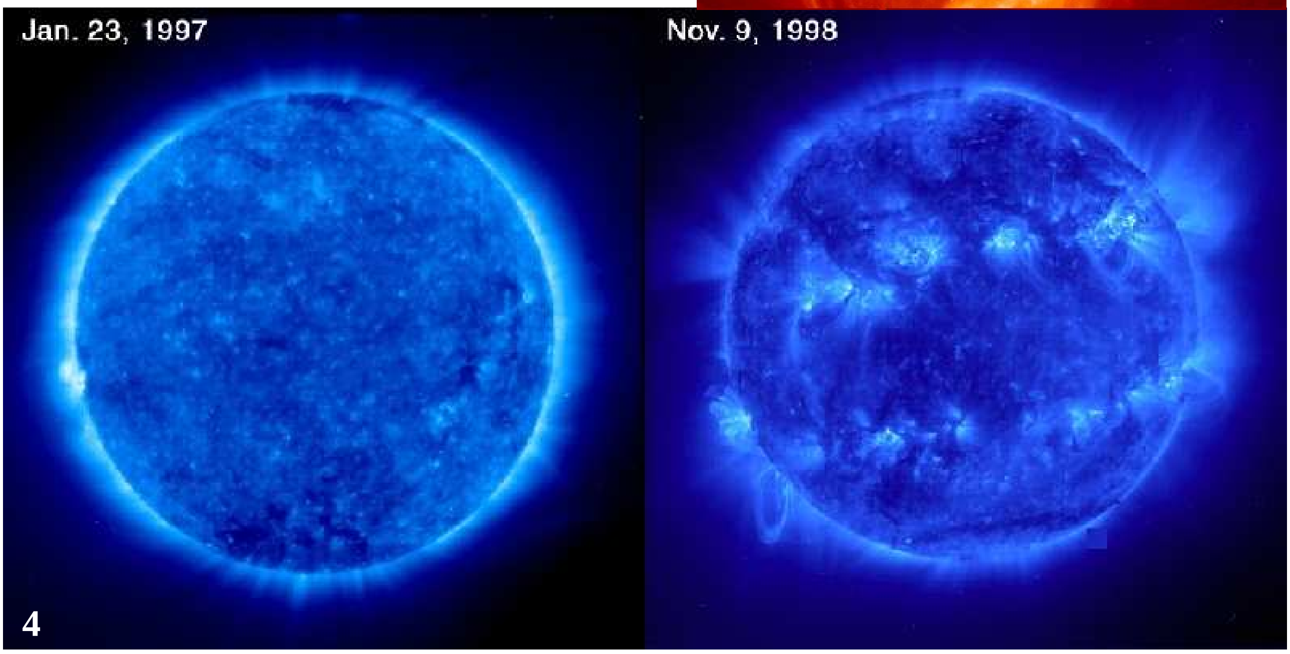
THÈME : LE SOLEIL





1. Soleil au couchant (crédit : P. Causeret) ; **2.** Image d'une protubérance à 304 Å le 14 septembre 1999 (crédit : Nasa/Soho) ; **3.** Image de la couronne le 8 janvier 2002 superposée à une image du disque solaire (crédit : Nasa/Soho ; **4.** Comparaison de l'activité solaire, maximum en 2000 (crédit : Nasa/Soho).

Le Soleil, notions de base

Pierre Causeret

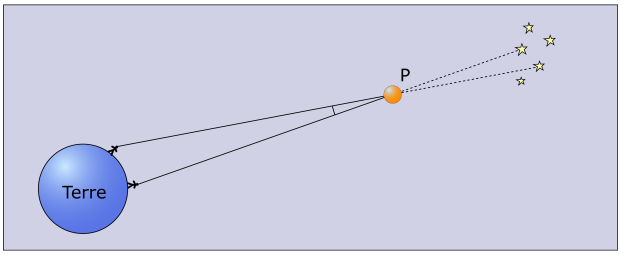
Vous trouverez dans ces notions de base les principales données sur le Soleil accompagnées des méthodes qui ont permis de les déterminer.

La distance du Soleil

L'observation de la position des planètes permet de connaître le plan du système solaire. On sait par exemple que la distance de Vénus au Soleil vaut 0,72 fois la distance Terre-Soleil appelée unité astronomique (ua) ou que Mars est à 1,52 ua de la Terre. Il suffit donc de mesurer une seule distance en km dans le système solaire pour connaître toutes les autres. Plusieurs méthodes ont été utilisées. En voici quelques-unes.

Parallaxe diurne

Deux personnes éloignées sur Terre observent le même objet, Mars par exemple, au même moment. Si on connaît le décalage de Mars par rapport aux étoiles lointaines ainsi que la distance entre les deux personnes, on peut calculer la distance de Mars.



C'est ce qu'ont fait Cassini et Richer en 1672 depuis Paris et Cayenne. Ils ont obtenu pour la distance Terre Soleil 140 millions de nos kilomètres (voir CC n° 137).

Cette méthode a été utilisée en 1931 avec l'astéroïde Éros qui passait à 22 millions de km de la Terre.

Passage de Vénus

La mesure de la durée d'un passage de Vénus devant le Soleil depuis deux lieux éloignés sur Terre permet aussi de déterminer la mesure de l'unité astronomique. À partir de 1761, chaque passage a donné lieu à de nombreuses expéditions mais la précision des résultats a été décevante (cf CC de 2004).

Écho radar sur Vénus

On envoie une onde radio en direction de Vénus et on récupère une très faible partie de l'onde réfléchie (réalisé dès 1961). La mesure du temps pour faire l'aller retour donne immédiatement la distance de Vénus. La précision était de l'ordre de 500 km.

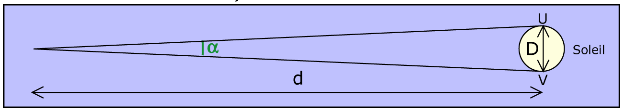
Les résultats

L'unité astronomique a été fixée à 149 597 870,7 km. La distance de la Terre au Soleil varie de 149 100 000 à 151 100 000 km.

Pour aller de la Terre au Soleil, il faudrait :
- plus d'un siècle à la vitesse d'une voiture sur autoroute (130 km/h) ;
- huit ans à la vitesse d'un avion de chasse (2000 km/h) ;
- huit minutes à la vitesse de la lumière (300 000 km/s).

Le diamètre du Soleil

On peut mesurer le diamètre apparent α du Soleil, on trouve 0,53° en moyenne. Connaissant la distance d du Soleil, on en déduit son diamètre réel.



Ce calcul peut se faire sans trigonométrie, en assimilant le diamètre [UV] à un arc de cercle de centre T :

$360° \rightarrow 2 \times \pi \times 149\,600\,000$

$0{,}53° \rightarrow 2 \times \pi \times 149\,600\,000 \times 0{,}53/360$ soit

1 400 000 km environ (plus précisément 1 392 000)

On peut aussi utiliser un angle en radian (et $D = d\alpha$) ou la trigonométrie.

Avec ses 696 000 km de rayon, le Soleil pourrait contenir largement l'orbite de la Lune.

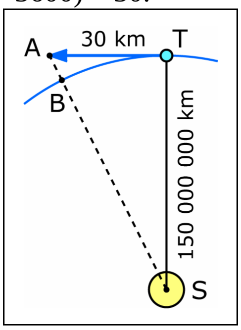
La masse du Soleil

La Terre tourne autour du Soleil en suivant une orbite que l'on considèrera circulaire. Sa vitesse moyenne est de 30 km/s :

$$2\times\pi\times149\,600\,000/(365\times24\times3600) \approx 30.$$

Sans le Soleil, la Terre passerait de T en A après une seconde. L'attraction du Soleil fait « chuter » la Terre de la distance AB qui vaut 3 mm (calculs dans l'encadré).

Sur Terre, un objet chute de 5 m la première seconde, soit 1 670 fois plus.



De plus, un objet à la surface de la Terre est à 6 370 km du centre de la Terre alors que la Terre est située à 150 000 000 km du Soleil, soit 23 500 fois plus loin.

On sait que l'accélération gravitationnelle est proportionnelle à la masse de l'objet qui attire et inversement proportionnelle au carré de la distance, on peut en déduire que le rapport de la masse du Soleil à la masse de la Terre est de :

$$23\,500^2/1\,670 \approx 330\,000$$

Ce qui signifie que le Soleil est 330 000 fois plus massif que la Terre.

De combien chute la Terre chaque seconde ?

Le calcul paraît simple. Avec le théorème de Pythagore dans le triangle ATS (figure ci-dessus), on trouve :

$AB = AS - BS = \sqrt{150\,000\,000^2 + 30^2} - 150\,000\,000$.

Si je demande à ma calculatrice, elle me répond zéro ! On peut s'en sortir grâce à l'approximation :

$(a+\varepsilon)^2 = a^2 + 2a\varepsilon + \varepsilon^2$ qui est proche de $a^2 + 2a\varepsilon$ si ε est petit devant a. Avec a = 150 000 000 et ε = 0,000 0003 :

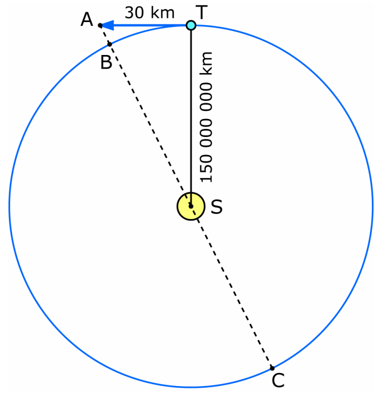
$(150\,000\,000 + 0{,}000\,000\,3)^2 \approx 150\,000\,000^2 + 900$ d'où

$AB = \sqrt{150\,000\,000^2 + 900} - 150\,000\,000 \approx 0{,}000\,000\,3$

Une autre méthode consiste à montrer que $AT^2 = AB \times AC$ (figure ci-dessous). Cela peut se faire avec la puissance d'un point par rapport à un cercle :

$$AB \times AC = (AS - r)(AS + r) = AS^2 - r^2 = AT^2$$

Si $AT^2 = AB \times AC$, alors $AB = AT^2/AC \approx AT^2/BC$. On retrouve ainsi 3 mm.



Une méthode plus classique de calcul de la masse du Soleil est d'écrire l'égalité entre la force gravitationnelle et la force centripète :

$$G \times m_S \times m_T/d^2 = m_T \times v^2/d$$

Avec $G = 6{,}7 \times 10^{-11}$; $d = 1{,}5 \times 10^{11}$; $v = 3{,}0 \times 10^4$ (unités SI), on trouve $m_S = d \times v^2 / G \approx 2 \times 10^{30}$ kg.

La masse volumique du Soleil

On connaît le rayon du Soleil et sa masse, on peut calculer son volume et sa masse volumique. On obtient 1,4 g/cm^3 (c'est entre la terre et le sable…). En réalité, le cœur du Soleil est beaucoup plus dense que les régions périphériques.

La température du Soleil

a. On mesure la puissance reçue du Soleil au niveau de la Terre. On obtient 1370 W/m². C'est ce qu'on appelle la constante solaire.

Appareil à mesurer la constante solaire (modèle CLEA). On le dirige vers le Soleil et on mesure l'élévation de température du cylindre métallique après un certain délai. On répète l'expérience à différents moments de la journée pour en déduire la puissance reçue du Soleil hors atmosphère

b. Chacun des m² d'une sphère de 150 millions de km de rayon reçoit 1370 W. On peut calculer ainsi la puissance totale émise par le Soleil (dans toutes les directions). On trouve 4×10^{26} W.

c. Puisque l'on connaît le rayon du Soleil, on connaît sa surface et on peut calculer la puissance rayonnée par chaque m² de la surface solaire.

d. La loi de Stefan relie (pour les corps noirs) la puissance émise par unité de surface à sa température : $P = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$. On en déduit T, environ 5800 K.

La période de rotation du Soleil

L'observation des taches solaires sur plusieurs jours permet de mesurer la période de rotation du Soleil sur lui-même vu depuis la Terre (voir page 27).

On obtient ce qu'on appelle la période de rotation synodique, observée depuis notre planète qui tourne autour du Soleil.

Pour trouver la période de rotation sidérale du Soleil, donc mesurée par rapport aux étoiles, il faut ajouter la vitesse de rotation angulaire de la Terre à celle observée du Soleil.

Si par exemple, on a trouvé une période de 30 jours pour les taches, le Soleil tourne à la vitesse de 1/30 tour par jour par rapport à l'axe Soleil-Terre.

La vitesse angulaire de la Terre autour du Soleil est de 1/365 tour par jour par rapport aux étoiles.

Donc la vitesse angulaire du Soleil par rapport aux étoiles est de 1/30 + 1/365 ce qui donne environ 1/28 tour/jour.

La période sidérale du Soleil est alors de 28 jours.

Autres données

Nous n'avons abordé ici que les données les plus simples, il en existe beaucoup d'autres. Par exemple, la composition du Soleil qui s'obtient grâce à la spectroscopie, l'âge du Soleil ou la température du cœur qui sont liés à la modélisation du fonctionnement d'une étoile… ■