



TD N° 1 : Puissance de soleil

Introduction :

Dans le soleil, au cours de cycles complexes, chaque seconde, 564 millions de tonnes de noyaux d'hydrogène sont transformées en 560 millions de tonnes de noyaux d'hélium. Cette perte de masse due à la fusion nucléaire fournit au soleil son énergie qu'il est possible de calculer à partir de la relation d'Einstein : a été exprimée en 1905 par **Albert Einstein** dans le cadre de la relativité restreinte. Elle signifie qu'une particule de masse m isolée et au repos dans un référentiel possède, du fait de cette masse, une énergie E appelée énergie de masse, de valeur donnée par le produit de m par le carré de la vitesse de la lumière.

Questions 1: Comment connaître l'énergie totale produite par le Soleil ?

Réponse :

Remarque :

Dans ce qui suit, nous supposons l'isotropie du rayonnement solaire, c'est-à-dire que la puissance du rayonnement est la même dans toutes les directions. Ce qui est vérifié par différentes observations, notamment par les sondes Hélios.

Le Soleil ; elle a un rayon de une UA, soit 150 000 000 km (valeur arrondie). À droite, sur la circonférence de cette sphère, on peut voir une autre sphère bien plus petite qui figure la Terre. Ces deux objets ne sont manifestement pas à l'échelle l'un par rapport à l'autre.

La Terre a été volontairement agrandie pour être visible.

Notre planète ne fait en effet que 6 370 km de rayon ;

à l'échelle, elle serait donc invisible.

Nous savons déjà qu'un seul m² de cette immense boule reçoit

une énergie solaire de 1 367 W, n'est-ce pas ? Nous l'avons vu

plus haut. Il ne reste plus qu'à calculer la surface de cette sphère pour savoir combien de m² elle fait.

Puisque ce sont des m² que nous cherchons, exprimons r , le rayon de notre sphère, en m : 150 000 000 km = 150 000 000 000 m.

La formule de la surface de la sphère est : $4 \pi r^2$.

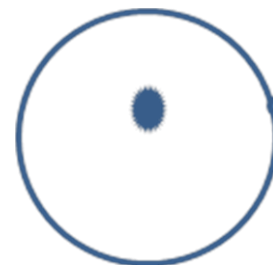
Décomposons tranquillement :

$$4 \pi = 4 \text{ fois } 3,1416 = 12,5664.$$

$$r^2 = 150\,000\,000\,000^2 = 2,25 \times 10^{22}.$$

Donc :

$$4 \pi r^2 = 12,5664 \times (2,25 \times 10^{22}) = 2,8274 \times 10^{23}.$$



Notre sphère imaginaire a donc une surface de : $2,8274 \times 10^{23} \text{ m}^2$.

Puisque chacun de ces m^2 reçoit une énergie solaire de $1\,367 \text{ W}$, la sphère qui enferme la totalité de l'astre reçoit la même chose \times par sa surface exprimée en m^2 .

Soit : $(1\,367 \text{ W}) \times (2,8274 \times 10^{23} \text{ m}^2) = 3,8651 \times 10^{26} \text{ W}$.

Le Soleil atteint donc une puissance Plus de 386 millions de milliards de milliards de watts.

Questions 2: utiliser le théorème d'Albert Einstein pour calculer la différence de masse transformée ?

La puissance est une quantité d'énergie délivrée par unité de temps. C'est en quelque sorte le débit de l'énergie produite. L'énergie peut être quantifiée avec l'unité du système international : joule, symbole « J ».

Une puissance de 1 watt correspond à un débit d'énergie de 1 joule par seconde. Plus concis :

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s.}$$

Nous avons vu que le Soleil délivre une puissance de : $3,8651 \times 10^{26} \text{ W}$. Il produit donc une énergie de : $3,8651 \times 10^{26} \text{ J/s}$.

Au sujet de l'énergie (E), Einstein nous a appris que :

$$E = \Delta mc^2$$

- E est l'énergie exprimée en joules ;
- m est la masse en kilogrammes ;
- c est la vitesse de la lumière dans le vide, soit $299\,792\,458 \text{ m/s} = 2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s}$ (soit $c \approx 300\,000 \text{ km/s}$)

Nous, ce qui nous intéresse c'est m, car c'est la masse qui correspond à l'énergie produite par le Soleil chaque seconde. Nous voulons donc savoir à quoi m est égal.

Nous pouvons déduire de $E = mc^2$ que $m = E/c^2$.

Nous avons $E = 3,8651 \times 10^{26} \text{ J/s}$.

Nous avons $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ (nous allons arrondir à 3×10^8)

Donc $c^2 = 9 \times 10^{16}$.

La masse qui correspond à l'énergie produite par le Soleil chaque seconde est donc de :

$$(3,8651 \times 10^{26}) / (9 \times 10^{16}) = 4,27 \times 10^9 \text{ kg} = 4,27 \times 10^6 \text{ tonnes.}$$

Ainsi, le Soleil consomme 4,27 millions de tonnes de matière par seconde.

Exemple 2 :

La masse d'un électron étant de $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, on trouve bien :

$$\frac{E}{m} = \frac{0,82 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 9,0 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

et donc :

$$\sqrt{\frac{E}{m}} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} = c.$$