

« Le Soleil est une étoile
comme les autres. »

*C'est une étoile parmi des milliards d'autres,
très moyenne, ni très grosse ni très petite,
ni très froide ni très chaude,
ni très jeune ni très vieille.*

Jean-Claude Pecker, préface à l'ouvrage de Kenneth Lang,
Le Soleil et ses relations avec la Terre, 1997

Le Soleil a toujours fasciné l'Homme. Il est source de vie et sans lui, nous n'existerions pas. Certaines civilisations anciennes (chez les Aztèques, les Incas, en Égypte...) ont longtemps considéré notre étoile comme un dieu et élaboré des religions d'État organisées autour de son culte. Néanmoins, si nous replaçons le Soleil dans le contexte de l'Univers - ce dernier contient des centaines de milliards de milliards d'étoiles - c'est un astre tout à fait ordinaire, une étoile parmi les étoiles - soit une sphère que sa température élevée rend lumineuse.

Ce n'est qu'au XIX^e siècle que sera confirmée cette intuition émise par Giordano Bruno (XVI^e siècle), brûlé vif en 1600 pour avoir ainsi remis en cause la vision aristotélicienne d'un univers clos et fini. Mais précisons dès à présent que si le Soleil est une étoile comme les autres, il est entre 3 à 400 fois plus petit que certaines d'entre elles (Antarès notamment) et son rayonnement est nettement plus faible que celui de beaucoup d'autres étoiles. Pour autant, chacune de ses caractéristiques - distance par rapport à la Terre, taille, température et rayonnement - méritent

d'être étudiées parce qu'elles dépassent de beaucoup les échelles auxquelles nous sommes habitués.

Le Soleil se situe en effet dans la lointaine banlieue de notre galaxie* - la Voie lactée - parmi d'autres milliards d'étoiles, à 30 000 années-lumière du centre galactique, soit 284 millions de milliards de kilomètres. C'est une distance gigantesque, dont l'ordre de grandeur est difficile à imaginer : un avion volant à 1 000 km/h aurait besoin de plus de 32 milliards d'années pour parcourir cette distance, soit sept fois l'âge de notre planète ! Si nous ramenons le kilomètre à la dimension d'une molécule d'hydrogène - elle mesure de l'ordre du milliardième de milliardième de mètre - comme ce que l'on fait sur une carte géographique lorsqu'on change d'échelle, cette distance représenterait encore près de 300 kilomètres ! Sans compter que le système solaire n'a pas une position fixe dans la galaxie. Il se trouve actuellement dans une région de basse densité et, par rapport à un point fixe de la galaxie, il se déplace à plus de 800 000 km/h. Et il faut 250 millions d'années pour que le système solaire fasse le tour de la galaxie !

Même si le Soleil ne paraît pas très gros vu de la Terre, sa taille est gigantesque par rapport à notre planète. Son rayon, de 696 000 kilomètres, est 110 fois plus grand que celui de la Terre (son volume est donc un peu plus d'un million de fois supérieur à celui de notre planète et il pèse très lourd : $2 \cdot 10^{30}$ kg, soit 333 000 fois le poids de la Terre !). Notre astre est situé à une distance moyenne de 150 millions de kilomètres. Cette distance sert de définition à « l'unité astronomique ». Infinitésimale par rapport à la taille de notre galaxie, cette distance est néanmoins considérable à notre échelle puisque la lumière, qui se

propage dans le vide à 300 000 km/s, met 8,3 minutes pour arriver sur la Terre ! Il faudrait plus de 17 ans à un engin se déplaçant à 1 000 km/h pour faire de même. Pour mieux comparer les longueurs entre elles, faisons une réduction d'échelle et ramenons cette unité astronomique à 100 mètres, c'est-à-dire à la longueur d'un terrain de football. Le Soleil serait alors une sphère dont le diamètre est de l'ordre du mètre alors que celui de la Terre serait de l'ordre du centimètre. À cette échelle, Jupiter, la plus grosse planète du système solaire, serait située à 520 mètres du Soleil et aurait un diamètre un peu supérieur à la dizaine de centimètres. Pluton, la planète du système solaire la plus lointaine, serait à presque 4 kilomètres.

La température au centre du Soleil est bien plus élevée qu'en surface : on estime qu'elle est de 15,6 millions de kelvins*. Mais l'énergie rayonnée par notre étoile dans l'espace est beaucoup plus faible que celle créée au cœur de l'étoile : la puissance reçue du Soleil au niveau de la Terre, au sommet de l'atmosphère*, est en moyenne égale à $1\,370 \text{ W/m}^2$. En terme énergétique, ceci équivaut à une lampe électrique de 100 W placée à 7,6 centimètres de la main. Notre planète est une sphère de rayon R en rotation dont la surface vaut $4\pi R^2$. Vue du Soleil, c'est un disque de surface πR^2 . Nous recevons donc en moyenne hors atmosphère - puisque la Terre tourne et qu'elle n'est pas toujours éclairée - le quart des $1\,370 \text{ W/m}^2$, soit 342 W/m^2 . Lorsque le flux d'énergie solaire traverse l'atmosphère et que les nuages ou la surface réfléchissent une partie de cette énergie solaire, il subit des pertes (tous ces phénomènes dépendent de plusieurs paramètres, dont en particulier les saisons, la position sur le globe terrestre, etc.). On peut toutefois dire qu'elle est en moyenne un peu inférieure à

170 W/m² au niveau des océans et un peu supérieure à 180 W/m² sur les continents. C'est une faible densité d'énergie par rapport à nos besoins. Mais heureusement qu'il en est ainsi sinon, nous serions « grillés » en nous exposant au soleil ! L'énergie émise par le Soleil est néanmoins considérable à notre échelle puisque la puissance rayonnée est de $3,9 \times 10^{23}$ kW, soit la chaleur dégagée par plus de 100 millions de milliards de centrales nucléaires ! Ramenée au m², la puissance émise par le Soleil est d'environ 63 MW, soit l'équivalent de 63 000 radiateurs électriques de 1 kW. Il n'arrive qu'une faible part de cette puissance au niveau de l'atmosphère terrestre (1 370 W/m²).

Les caractéristiques du rayonnement solaire, enfin, sont déterminées par la température de la surface du Soleil (environ 5 800 kelvins*). Cette couche superficielle du Soleil, la photosphère*, fait autour de 400 kilomètres d'épaisseur. Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet de l'énergie par rayonnement. Plus sa température est élevée, plus la longueur d'onde* moyenne de la lumière émise diminue ; on dit que le spectre devient de plus en plus dur. Ainsi, un morceau de fer à la température de 100 °C émet un rayonnement invisible, situé dans le domaine de l'infrarouge. On s'en rend compte en approchant la main : on a une sensation de chaleur. Si le morceau de fer est porté à une température de 1 000 °C, son spectre d'émission se déplace vers de plus courtes longueurs d'ondes et certaines sont visibles. Il devient rouge et on sent sa chaleur à une plus grande distance. En augmentant encore sa température, son aspect tourne à un rouge plus vif.

La surface du Soleil est à une température élevée si bien que son rayonnement va de l'ultraviolet à l'infrarouge et couvre le spectre visible auquel nos yeux

sont sensibles. Si la température de la surface du Soleil était plus basse, il nous paraîtrait plus rouge. Si elle était au contraire plus élevée, sa couleur serait plus bleue. Le spectre solaire a son maximum d'émission dans le jaune-vert, couleur à laquelle notre œil est le plus sensible. La partie visible du spectre solaire s'étend d'environ 400 à 800 nm*, les longueurs d'onde du rayonnement ultraviolet sont inférieures à 400 nm et celles de l'infrarouge supérieures à 800 nm. Le rayonnement visible correspond à un peu moins de la moitié du rayonnement solaire, l'infrarouge à 52 % de celui-ci. L'ultraviolet est présent en plus faibles proportions.

Ces caractéristiques du Soleil (masse, rayon, luminosité, température, diffusion du rayonnement) en font une étoile tout à fait ordinaire. Dans le diagramme mis au point par Hertzsprung et Russell dans les années 1910, le Soleil est situé au milieu de la « séquence principale », en compagnie de la grande majorité des autres étoiles, dites « étoiles naines ». Cette caractérisation est claire : le Soleil est une étoile banale, il y a plus grand et donc plus lumineux ! Mais plus une étoile est grande, plus elle évolue rapidement. Aussi, la relative petite taille du Soleil lui a permis d'évoluer lentement et c'est notamment grâce à cette longue durée que le miracle de la vie a émergé, sur une planète qui ne représente qu'une infime partie du système solaire.

Dans cinq milliards d'années, lorsqu'il aura épuisé tout l'hydrogène qu'il consomme, le Soleil deviendra une géante rouge, brûlera son hélium, avant de se transformer en naine blanche en se refroidissant progressivement.