

REGARD SUR L'UNIVERS

Note de la rédaction: nous remercions nos collègues de Besançon, et en particulier J.P. Marchand et F. Suagher de nous avoir communiqué le texte ci-dessous, élaboré à l'occasion de la journée "Astronomie en Franche Comté, dont il est par ailleurs question dans ce numéro

La terre, ce monde qui nous semble si vaste, est en réalité une poussière en suspension dans l'espace. Quatre milliards d'êtres humains sont les passagers de ce grain de sable qui tourne inlassablement autour de son étoile, le soleil.

La terre est située à 150 millions de km du soleil et cette distance a joué un rôle capital dans le développement de la vie sur terre, car à cette distance du radiateur soleil, l'eau, indispensable à la vie sur terre est à l'état liquide. Un peu plus proche du soleil, la terre aurait subi les températures infernales de Vénus, un peu plus loin, elle se serait trouvée congelée comme l'est Mars.

Cette distance de 150 millions de km est appelée l'Unité Astronomique (abrégié : UA). C'est une unité de longueur déjà considérable, puisqu'un automobiliste à 300 km à l'heure mettrait toute une vie (60 ans) pour couvrir un tel kilométrage.

La lumière, elle, à la vitesse record de 300 000 km par seconde met 8 mn pour nous parvenir du soleil. L'unité astronomique sert à mesurer les distances dans le système solaire.

Le soleil est une gigantesque boule de gaz, dont le diamètre (1,5 millions de km) est 12 fois plus grand que celui de Jupiter, la plus grosse planète du système solaire, et environ 100 fois plus grand que celui de la Terre. Ce qui signifie que l'on pourrait ranger côte à côte, à l'intérieur du soleil, un million de terres.

Si l'on cherche à se représenter à une échelle plus humaine les proportions du Système Solaire et que l'on adopte pour le soleil une sphère de 10 m de diamètre, mise sur la place St. Pierre à Besançon, la terre est une balle de tennis sur les courts de Trepillot à 1 km du centre, Jupiter, une sphère de 1 m de diamètre dans les marais de Saône, et Pluton, une noisette dont la trajectoire passe par Pontarlier, Dole, Gray et Vesoul. A cette échelle, les confins du Système Solaire (à 150 000 UA) sont à la moitié de la distance Terre-Lune. Les planètes sont donc vraiment des objets minuscules très loin du soleil.

De la même manière que les satellites artificiels autour de la terre, les planètes sont en perpétuel mouvement autour du soleil. Ainsi, la terre, en plus de son mouvement de rotation sur elle-même, décrit une course folle de 900 millions de km par an à 30 km/s. Depuis le début de l'exposé nous avons déjà parcouru plus de 1000 km sans nous en rendre compte.

Mais il est temps de parler du soleil, l'étoile la plus proche de la terre, dans laquelle l'énergie libérée chaque seconde équivaut à 100 milliards de bombes à hydrogène fabriquées par les terriens.

Le soleil, composé à 98 % d'hydrogène et d'hélium. Au centre, dans le noyau, la température et la pression sont considérables (12 millions de degrés et 1 milliard d'atmosphères). Aussi, la matière est dissociée en noyaux atomiques et électrons. Ces conditions sont propices à la naissance et au développement de réactions thermonucléaires transformant l'hydrogène en hélium avec perte de masse ce qui produit une énergie considérable. Ainsi, chaque seconde, 4 millions de tonnes d'hydrogène sont convertis en énergie. C'est énorme, mais peu par rapport à la masse totale du soleil, qui a une espérance de vie de 10 milliards d'années.

L'énergie produite au centre du soleil est évacuée vers la surface par transfert radiatif, d'abord, puis convectif ensuite. La photosphère ou surface du soleil est la partie visible depuis la terre. C'est une mince couche (300 km) dans laquelle la température est voisine de 5 400° C. Parfois des phénomènes éruptifs éjectent des langues de matière, les protubérances, dans l'atmosphère du soleil.

La photosphère présente une structure en grains de riz (1000 km de long, durée de vie 10 mn), qui sont la manifestation du phénomène de convection. Le gaz en ascension forme les zones brillantes, celui qui redescend forme les zones sombres.

L'atmosphère du soleil est une enveloppe de gaz transparente et invisible dans des conditions normales, mais visible lors des éclipses. La chromosphère (1000 km d'épaisseur) est une zone de transition entre la surface du soleil dense et assez chaude et la couronne ténue, et très chaude : 1 millions de degrés C à cause d'une agitation intense des particules, qui continue d'intriguer les astronomes. La couronne, très étendue n'a pas de limite précise et elle s'atténue progressivement dans l'espace.

Ce premier portrait très schématisé est celui du soleil calme, mais le soleil est animé par un ensemble de phénomènes complexes, liés à la présence de champs magnétiques importants. Cette activité solaire se manifeste en particulier par l'apparition de taches sombres sur la surface du soleil. Si elles apparaissent foncées, ce n'est pas qu'elles sont noires, mais simplement un peu plus froides donc un peu moins lumineuses que les régions voisines. Ces taches, dont les dimensions atteignent souvent la taille de la terre, parfois plus, observées de jour en jour évoluent mais aussi se déplacent ce qui permet d'estimer la vitesse de rotation du soleil sur lui-même (un mois).

Autre manifestation spectaculaire de l'activité solaire : les protubérances qui s'étendent sur des centaines de milliers de km.

L'observation régulière du soleil depuis trois siècles a permis de mettre en évidence un cycle de 11 ans durant lequel le nombre de taches passait par un maximum avant de décroître à nouveau, auquel on a voulu attribuer des conséquences terrestres.

Si une relation semble évidente avec le magnétisme terrestre, rien n'est encore prouvé en ce qui concerne la pluviosité, les infarctus ou la qualité du vin.

L'étude du soleil est complétée par l'analyse spectrale de sa lumière. Rappelons brièvement le principe : un faisceau de lumière parallèle est décomposé par un prisme ou un réseau. Le spectre obtenu présente les couleurs de l'arc en ciel des radiations rouges de grande longueur d'onde aux bleues de courtes longueurs d'ondes. Un corps incandescent, solide ou fluide donne un spectre continu. Un gaz incandescent fournit un spectre de raies brillantes. Un corps incandescent entouré d'un gaz refroidi donne un spectre continu zébré de raies d'absorption.

Le spectre du soleil est de ce dernier type. La photosphère profonde donne le fond continu, la photosphère superficielle plus froide produit le spectre de raies.

L'étude de l'intensité du fond continu dans les différentes couleurs permet de connaître la température de surface. L'étude des raies apporte beaucoup d'autres renseignements :

- chaque corps chimique ayant son jeu de raies aussi caractéristique qu'une empreinte digitale, l'identification des raies d'un spectre permet de connaître la composition chimique de l'étoile. Plus de 60 éléments ont pu être recensés dans le soleil, l'un d'eux, l'hélium a même été découvert dans le soleil avant de l'être sur la terre.

- le décalage des raies par effet Doppler Fizeau par rapport à un spectre de référence permet de connaître la vitesse et le sens du déplacement de la matière analysée. Un décalage vers le bleu indique un rapprochement, vers le rouge un éloignement. L'étude du spectre du soleil a ainsi permis de mettre en évidence une rotation différentielle du soleil dont les zones équatoriales effectuent une rotation en 26 jours alors qu'il faut 35 jours près du pôle. L'élargissement des raies et leur dédoublement permettent eux d'avoir accès à des mesures de température et de mesure du champ magnétique.

Le soleil pose encore bien des énigmes, les mécanismes internes se révélant lentement mais l'étude est intensifiée par les moyens technologiques actuels qui permettent de se débarrasser de la gêne créée par l'atmosphère et d'ausculter le soleil dans des domaines de longueur d'ondes divers, allant de la radioastronomie au domaine infra-rouge pour les grandes longueurs d'ondes, aux rayons X et gamma pour les plus courtes.

Il n'y a pas que le soleil qui ait intrigué les astronomes et les autres étoiles, bien que très lointaines et peu lumineuses dans le ciel nocturne, ont été elles aussi scrupuleusement et méthodiquement étudiées. Pour se faire une idée de l'isolement du soleil, sachons qu'il est nécessaire de définir une nouvelle unité de longueur : l'année de lumière : la distance parcourue par la lumière à 300 000 km par seconde pendant un an (abrégé A.L.).

Alors l'étoile la plus proche du soleil, Proxima du Centaure est située à 4,6 AL. Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, bien visible dans le ciel d'hiver est à 8,6 AL. Dans le voisinage du soleil, on compte en moyenne, une étoile par cube de 7 AL de côté. Avec les grands télescopes on a pu analyser le spectre des étoiles jusqu'à des distances considérables de plusieurs milliers d'années-lumière (1 AL : 65 000 UA).

L'analyse du spectre des étoiles a permis de classer les étoiles suivant les types de raies qui apparaissent. Les étoiles de type O sont celles qui présentent le moins de raies, elles sont intrinsèquement très lumineuses, de couleur bleue avec une température de surface de l'ordre de 35 000°.

Les étoiles de type G ressemblent au soleil, elles sont assez peu lumineuses, jaunes avec une température de surface de 6 000°. Quant aux étoiles de type M, elles contiennent un grand nombre de raies métalliques, ce sont des étoiles froides (3000°) et peu lumineuses.

Un diagramme établi en plaçant l'éclat d'une étoile en fonction de son type spectral a montré que les étoiles ne sont pas réparties au hasard, mais que la plupart sont le long d'une nappe qui traverse le schéma en diagonale : la séquence principale. Au-dessus se trouvent les géantes et supergéantes rouges, en bas les naines blanches. Si la plupart des étoiles sont dans la séquence principale, c'est que c'est là qu'elles demeurent le plus longtemps. Ainsi, si vous vous promenez en ville tout à l'heure, c'est des adultes que vous verrez le plus et vous verrez sûrement peu de nourrissons. On est nourrisson pendant 6 mois mais adulte pendant 50 ans... Ainsi, comme il n'est pas possible dans notre courte vie de voir évoluer les étoiles, on va observer les étoiles à différents moments de leur évolution.

Les étoiles naissent à partir de la contraction, par action gravitationnelle, d'un nuage de gaz composé essentiellement d'hydrogène et de quelques poussières dont le rôle non négligeable sera de donner naissance aux éventuelles planètes.

Un schéma de la formation probable du SS.

Souvent le nuage se fragmente et plusieurs étoiles naissent simultanément, comme ici l'amas des Pléiades dans lequel on distingue encore les nébulosites primitives.

La contraction des bébés étoiles se poursuit jusqu'à ce que la température centrale atteigne les 10 millions de degrés nécessaires au démarrage des réactions thermonucléaires. Alors l'étoile devient adulte, rouge, jaune ou bleue, suivant que sa masse est inférieure, à peu près égale ou des dizaines de fois supérieure à celle du soleil. Cette phase adulte dans laquelle l'étoile transforme son hydrogène en hélium dure plus des 9/10 de la vie de l'étoile. Mais cette durée de vie de l'ordre de 10 milliards d'années pour les étoiles comme le soleil est considérablement diminuée et ramenée à 50 millions d'années pour les étoiles très massives. Si le soleil avait été 50 fois plus massif, sa durée de vie n'aurait pas permis l'apparition de la vie sur terre qui en serait restée à l'ère précambrienne.

Puis, n'ayant plus rien à brûler, le noyau de l'étoile va s'effondrer pendant que les zones externes vont se dilater. De nouvelles réactions nucléaires transformant l'hélium en éléments plus lourds, carbone, azote, oxygène auront lieu dans le noyau dont la température atteindra 100 millions de degrés. Ce stade est le stade des géantes rouges.

Le destin ultime des étoiles est là encore lié à leur masse. Les étoiles comme le soleil après avoir perdu leur enveloppe extérieure vont s'épuiser lentement et glisser vers le cimetière des étoiles les naines blanches, caractérisées par une densité importante de quelques tonnes par cm<sup>3</sup>.

Les étoiles plus massives vont traverser une période d'instabilité avec des phases de contraction, chaque phase permettant la combustion dans le noyau d'éléments de plus en plus lourds. Cette période d'instabilité se terminera généralement par une explosion d'une violence exceptionnelle : la supernovae, durant laquelle l'enveloppe extérieure de l'étoile est expulsée.

La nébuleuse du Crabe est sans doute le reste de la supernova de 1504 dans la constellation du Taureau.

Souvent, la matière éjectée a la forme d'un anneau et, au centre, on trouve une étoile très petite, encore beaucoup plus dense que les naines blanches puisque la densité atteint maintenant un milliard de tonnes à la petite cuillère. Ce type d'étoile est celui des étoiles à neutrons. Dans certaines conditions, ces étoiles sont détectées sur terre sous forme de pulsars, véritables phares de l'espace, envoyant des éclairs fugitifs à raison de 30 fois par seconde.

L'agonie des étoiles très massive les conduit au stade trou noir, ou le noyau est tellement massif, que même la lumière ne peut plus s'en échapper, aussi il restera toujours invisible.

Entre les étoiles se trouvent des nuages de matière dite interstellaire de dimensions gigantesques. Eclairés par des étoiles situées derrière, ils peuvent s'illuminer comme des abats jours et constituent un spectacle féérique (exemple : la nébuleuse d'Orion).

Ces objets ne sont visibles qu'avec un instrument d'optique, jumelles, lunette ou télescope et font la joie des astronomes amateurs.

Certains nuages, contenant beaucoup de poussière, forment obstacle à la lumière et donnent des ombres chinoises sur les nuages faiblement lumineux qui les environnent comme la nébuleuse Tête de cheval.

La matière interstellaire est loin d'assurer un rôle purement décoratif : elle assure un brassage permanent entre la matière éjectée par les étoiles sur leur déclin et les nuages dans lesquels des étoiles sont en train de naître. On est parfois songeur en pensant que la molécule de fer qui donne sa couleur rouge à l'hémoglobine de notre sang a été formée dans le sein d'une étoile qui a explosé et qui s'est trouvée dans le nuage qui a donné naissance au soleil et à son groupe de planètes.

On peut observer 25 000 étoiles à l'oeil nu, beaucoup plus avec des jumelles ou un instrument d'amateur, des milliards dans un télescope professionnel, et on estime que le soleil se trouve dans une cité de 100 milliards d'étoiles : la VOIE LACTÉE ou Galaxie.

La voie lactée est un disque de 100 000 AL de diamètre avec un renflement central. Le soleil est situé un peu en dessous du plan galactique, aux 3/5 du rayon à partir du centre, ce qui explique que quand on regarde le ciel, certaines zones sont peu peuplées en étoiles alors que d'autres en fourmillent. La galaxie tourne sur elle-même, avec, au niveau du soleil, un tour effectué en 250 millions d'années.

Le soleil se déplace en direction d'un point situé dans la constellation d'Hercule, l'apex.

A sa formation, notre galaxie était sûrement sphérique comme en témoignent les amas globulaires, groupe de plusieurs milliers d'étoiles vieilles, situés de façon sphérique autour du disque galactique.

Notre Galaxie, univers île, n'est pas un phénomène unique dans le vide de l'espace. Les deux nuages de Magellan, visibles dans l'hémisphère sud sont des galaxies satellites de la voie Lactée.

La Galaxie d'Andromède visible à l'oeil nu comme une petite tache floue, située à deux millions d'AL ressemble beaucoup à notre Galaxie.

De très nombreuses galaxies de taille et de forme diverses ont été découvertes depuis un demi-siècle. Certains de ces objets étaient connus depuis longtemps, mais on les assimilait à des nébuleuses. Seule la réalisation de grands télescopes a permis de les résoudre en étoiles. On estime que les instruments actuels devraient permettre de recenser 500 millions de galaxies. Les galaxies dans l'espace sont moins diluées que ne le sont les étoiles au sein d'une galaxie. Si l'on représente 2 étoiles par deux pièces de 20 centimes, il faut les éloigner de 1000 km pour avoir une idée de leurs distances moyennes, mais si ce sont deux galaxies que l'on représente par des pièces de 20 centimes, il suffit de les éloigner de 40 cm !

Les spectres des galaxies montrent des systèmes de raies systématiquement décalés vers le rouge, et ce d'autant plus qu'elles sont plus éloignées. L'explication généralement admise aujourd'hui prévoit qu'à l'origine, la matière et l'énergie se seraient trouvées confinées à l'intérieur d'un atome primitif, extraordinairement chaud et dense qui aurait explosé il y a près de 15 milliards d'années.

F. Suagher (Professeur au Lycée J. Haag  
à Besançon)