

Naissance, évolution et mort du Soleil

Mouhamadou Thiam
Département de physique et d'astronomie
Université de Moncton, Canada

Notre Soleil étant une étoile qui n'a rien d'extraordinaire – sauf pour nous qui gravitons autour – vous ne serez pas surpris d'apprendre que les étapes de sa naissance sont semblables à celles de ses innombrables cousins. Au tout début, il y de ça environ 4.5 milliards d'années, le Soleil et ses planètes n'existaient pas. Il n'y avait qu'un nuage de gaz appelé *nuage interstellaire*. Celui-ci était immense, très froid et peu dense. Pour vous donner une idée de ses dimensions, ce type de nuage peut s'étendre jusqu'à des centaines d'années lumière, avec une température ne dépassant pas $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ils contiennent peu d'atomes : quelques dizaines de milliards par centimètre cube comparativement à des milliards de milliards dans notre atmosphère.

Ce nuage interstellaire était surtout composé d'hydrogène, et quelques soupçons d'hélium. Il y avait aussi quelques éléments lourds¹ provenant d'une supernova, c'est-à-dire l'explosion d'une étoile ayant vécu précédemment. Lors d'une supernova, l'étoile expulse une grande quantité de matière dont elle est composée, ce qui augmente la quantité d'éléments lourds dans l'espace.

Le nuage à la source de la formation du Soleil s'est d'abord effondré en raison de l'attraction gravitationnelle. Les atomes ont accéléré et migré vers le centre, qui pour sa part est devenu plus dense et chaud. Le nuage devint sphérique comme un ballon de soccer et le gaz s'échauffa pour rayonner de l'énergie. À ce stade, ce système est appelé *protoétoile*. Pour briller comme une étoile, il faut produire assez d'énergie pour suffisamment que ça chauffe. Il ne faut pas oublier que l'espace est très froid et que la température en moyenne n'est que $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$.

¹ Tout élément autre que l'hydrogène et l'hélium est dit *élément lourd*.

Le nuage de gaz s'est contracté jusqu'à l'obtention d'une température centrale de 10 millions de degrés Celsius. Pour démarrer la fusion des noyaux d'hydrogène, il faut atteindre cette température pour que les noyaux puissent se rapprocher à 10^{-15} m l'un de l'autre (un milliardième de l'épaisseur d'un cheveu), distance à laquelle l'interaction forte² domine sur la répulsion électrique et fusionne les noyaux en un seul. Deux atomes d'hydrogène se combinent donc pour donner un atome d'hélium, et ainsi libérer de l'énergie.

Le Soleil nouvellement né brûle par fusion jusqu'à 4 millions de tonnes d'hydrogène par seconde. Toutefois, l'énergie produite dans cette fournaise à 15 millions °C doit s'en échapper. Pour cela, les photons (ces paquets de lumière produits au centre de l'étoile) vont s'atteler à cette tâche. Ce n'est pas facile, par contre, puisque le photon va mettre environ 500 000 ans avant d'arriver à la surface (eh oui!), soit bien plus que les 8 minutes pour de rendre de la surface du Soleil à la Terre³.

Avant d'arriver à la surface le photon traverse une zone radiative bien 'froide' comparé à la température du noyau. Cette zone de 2 millions de °C est cependant bien dense. Au dessus de cette zone, on retrouve la zone convective, où la matière plus chaude quitte le fond pour voyager vers l'extérieur qui lui est plus froid. Au terme de ce voyage, cette matière se refroidit et redescend alors vers le fond, et ainsi de suite. Enfin vient la photosphère d'où provient cette brillante lumière que nous recevons du Soleil. Cette zone a une profondeur de 400 kilomètres et une température moyenne de 5500 °C, donnant ainsi au Soleil cette couleur jaune-orangée.

La quantité d'hydrogène au cœur du Soleil n'étant pas infinie, celui-ci ne brûlera pas pour toujours. Le Soleil a consommé presque la moitié de son carburant. Il ne lui reste plus que 5 milliards d'années avant que tout l'hydrogène de son cœur ne

² L'interaction forte est une des quatre forces fondamentales de la Nature, les autres étant la gravité, la force électromagnétique et l'interaction faible. Sans elle, tous les noyaux de plus d'un proton deviendrait instable et exploserait.

³ Il ne faut pas sous-entendre que le photon reste intact pendant tout ce temps. En fait, le chiffre de 500 000 d'années est basé sur le libre-parcours moyen d'un photon au centre du Soleil, c'est-à-dire la distance typique parcourue avant qu'il ne soit absorbé par un atome. On suppose (par tout à fait correctement) que le 'même' photon est ensuite réémis.

disparaisse. Son noyau sera alors composé surtout d'atomes d'hélium. Mais pour fusionner l'hélium, il faut une température beaucoup plus grande que pour brûler l'hydrogène. Le cœur du Soleil va alors se remettre à se contracter d'avantage pour atteindre une température 10 fois plus élevée qu'à ses tout débuts. À cette température, la combustion de l'hélium prend place et produit des éléments encore plus lourds comme le carbone et l'oxygène, en plus de l'énergie. En même temps, les parties externes du Soleil vont prendre de l'expansion jusqu'à englober Mercure, Vénus, et peut être même la Terre. À ce stade d'expansion, le Soleil aura un diamètre 100 fois supérieur que maintenant et sera appelé *géante rouge*. Il continuera alors gonfler et expulsera ses parties externes. Cette expulsion donnera naissance à une nébuleuse planétaire. Il ne restera au Soleil plus qu'une infime masse est son cœur, mais très dense et très chaud. Cependant, cette masse sera insuffisante pour lui permettre de se contracter de nouveau. Le Soleil deviendra ainsi une naine blanche – la dernière étape de sa vie. Cette naine blanche se refroidira jusqu'à ce qu'elle s'éteigne définitivement et devienne une naine noire, et donc invisible.