

VRAI OU FAUX

Le Soleil va-t-il vraiment s'éteindre ?

Oui. Dans cinq milliards d'années, il se transformera en géante rouge, puis en naine blanche, qui se refroidira lentement.

Roland LEHOUCQ

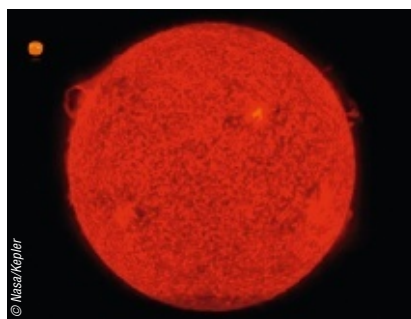
Le Soleil a commencé à briller il y a 4,56 milliards d'années. Ses réserves d'énergie sont-elles inépuisables ? Afin de le déterminer, examinons d'abord comment il brille.

Une étoile est une sphère de gaz chaud, dont la cohésion résulte de l'attraction gravitationnelle entre ses particules. Elle ne s'effondre pas sur elle-même car, partout, la pression s'oppose à la gravitation. La pression augmente avec la profondeur, entraînant un échauffement du gaz stellaire : de quelques milliers de degrés en surface, la température atteint quelques dizaines à quelques centaines de millions de degrés dans les régions centrales, selon la masse de l'étoile. Ce déséquilibre de température provoque un transfert d'énergie du cœur de l'astre vers sa surface. Le flux d'énergie s'échappe ensuite sous forme de rayonnement : l'étoile brille.

Ainsi, l'étoile est condamnée à perdre de l'énergie par sa surface. Comment l'hémorragie est-elle compensée ? Au début du XX^e siècle, les physiciens comprirent que seules des réactions nucléaires sont capables de faire briller durablement les étoiles. Ils estimèrent qu'elles produisent assez d'énergie pour alimenter le Soleil pendant plusieurs milliards d'années, durée comparable à l'âge de la Terre déterminé par les géologues. Le physicien allemand Hans Bethe décrivit les réactions en jeu : quatre noyaux d'hydrogène (H^+) fusionnent en un noyau d'hélium (He^{2+} , composé de deux protons et deux neutrons), ce qui implique que deux protons se transforment en neutrons. Ces réactions se déroulent au cœur du Soleil, seule région où l'agitation thermique, aidée par un effet dit tunnel, est suffisante pour que les noyaux se

rapprochent malgré la répulsion électrique qu'ils exercent les uns sur les autres.

Une réaction de fusion produit de l'énergie, car la somme des masses des noyaux pères est supérieure à la masse du noyau fils : au centre du Soleil, 619 millions de tonnes d'hydrogène réagissent ainsi chaque seconde pour former 614,7 millions de tonnes d'hélium. La différence (environ 0,7 pour cent de la masse initiale) est transformée en énergie, et cette énergie compense exactement celle qui s'échappe par la surface.



Le Soleil dans son état actuel (en haut à gauche), comparé à la plus grande géante rouge observée par le satellite Kepler (au centre).

Inéluctablement, l'hydrogène central s'épuise. Dans environ cinq milliards d'années, il devrait s'être presque totalement transformé en hélium, entraînant un ralentissement des réactions de fusion. Dès lors, le cœur du Soleil se contractera et l'échauffement résultant déclenchera la fusion des noyaux d'hélium issus du cycle précédent ; ainsi, des éléments plus lourds, tel le carbone, se formeront. La puissance dégagée, supérieure à celle provenant de la fusion de l'hydrogène, dilatera l'enveloppe externe de l'étoile, dont le rayon sera multiplié par plusieurs

dizaines. En conséquence, la surface se refroidira et changera de couleur. Le Soleil deviendra alors une géante rouge, qui engloutira Mercure et Vénus ; la Terre ne devrait pas être atteinte, mais l'énorme flux d'énergie reçu sera difficile à supporter pour la vie à sa surface. Notre étoile restera dans cet état jusqu'au terme de la combustion de l'hélium, qui durera environ un milliard d'années.

L'hélium épuisé, la matière centrale se contractera à nouveau. Cependant, elle ne pourra pas amorcer un nouveau cycle de fusion, en raison de la trop faible masse du Soleil – plus les noyaux qui fusionnent sont gros, plus l'énergie nécessaire pour déclencher la réaction est grande.

La contraction provoquera tout de même un échauffement. Une partie de l'enveloppe externe du Soleil sera alors expulsée dans l'espace, donnant naissance à une nébuleuse planétaire. Le reste de notre étoile deviendra une naine blanche, à peine plus grosse que la Terre, mais pesant près de la moitié de la masse actuelle du Soleil. Très chaude, l'étoile naine émettra toujours un rayonnement thermique ; toutefois, sa luminosité ne vaudra plus que le millième de celle émise aujourd'hui. Elle ne s'éteindra pas d'un coup mais, dépourvue de source interne d'énergie, elle se refroidira lentement et brillera de moins en moins intensément. En outre, ses atomes s'ordonneront pour former un gigantesque cristal. Au bout de quelques centaines de milliards d'années, le flux lumineux dans le domaine visible sera devenu très faible : le Soleil cessera alors définitivement de briller. ■

R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

DES GIGA OCTETS DE CULTURE SCIENTIFIQUE À VOTRE DISPOSITION !



ABONNEZ-VOUS

14 € / trimestre
seulement !

BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner accompagné de votre règlement à : Service Abonnements • Pour la Science • 8, rue Férou • 75278 Paris cedex 06

**POUR LA
SCIENCE**



1 ☐ Oui, je m'abonne à **Pour la Science** au prix de **14 € par trimestre**. Je reçois 12 numéros par an et bénéficie aussi des versions numériques sur www.pourlascience.fr

2 J'indique mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____
Adresse : _____
Code postal : _____ Ville : _____ Pays : _____ Tél. (facultatif) : _____
E-mail : _____ @ _____

3 Je choisis mon mode de règlement

* Pour recevoir la newsletter (à remplir en majuscule).

☐ Je règle en douceur **14 €/trimestre**. Je remplis la grille d'autorisation de prélèvement ci-dessous en joignant impérativement un RIB.

** Abonnement valable uniquement en France métropolitaine, renouvelable à échéance par tacite reconduction et dénonçable à tout moment avec un préavis de 3 mois.

Autorisation de prélèvement automatique (France métropolitaine uniquement). J'autorise l'établissement teneur de mon compte à prélever le montant des avis de prélèvement trimestriels présentés par **Pour la Science**. Je vous demande de faire apparaître mes prélèvements sur mes relevés de compte habituels. Je m'adresserai directement à **Pour la Science** pour tout ce qui concerne le fonctionnement de mon abonnement.

Titulaire du compte à débiter

Nom, Prénom : _____
N° : _____ Rue : _____
Code postal : _____ Ville : _____

Établissement teneur du compte à débiter

Établissement : _____
N° : _____ Rue : _____
Code postal : _____ Ville : _____

Compte à débiter

Établissement	Code guichet	N° de compte	Clé RIB

Date et signature (obligatoire)

Organisme créancier
Pour la Science
8 rue Férou - 75006 Paris
N° national d'émetteur : 426900

☐ Je règle mon abonnement en une seule fois **56 €** [Offre valable en France métropolitaine et d'outre-mer. Participation aux frais de port à ajouter au prix de l'abonnement : Europe 12 € - autres pays : 25 €].

☐ par chèque à l'ordre de **Pour la Science**

☐ par carte bancaire

N° : _____
Expire fin : _____ Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) : _____

Signature obligatoire : _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe **Pour la Science**. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.