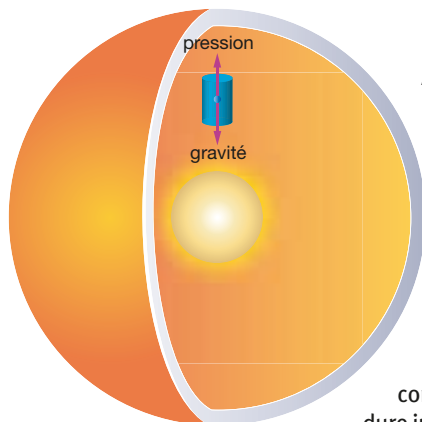


# LES ÉTOILES

Une étoile est une gigantesque boule de gaz qui se forme par contraction de matière au sein de grandes nébuleuses.



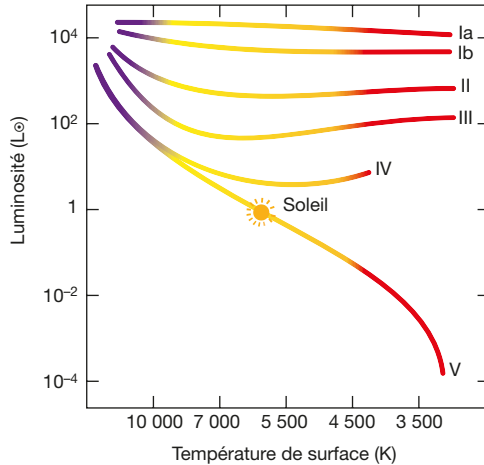
## Équilibre au sein d'une étoile

Un petit morceau d'étoile que l'on isole par la pensée (le cylindre bleu) est en équilibre sous l'action de deux phénomènes antagonistes : la gravité, qui le fait tomber vers l'intérieur et la pression des rayonnements issus du cœur, qui le repousse vers l'extérieur.

Au départ, une nébuleuse mêlant surtout de l'hydrogène, un peu d'hélium et une pincée de tous les autres éléments. Soudain, peut-être en raison de l'explosion d'une supernova proche, un petit fragment de la nébuleuse s'effondre sur lui-même. Au centre de ce globule en contraction, pression et température augmentent jusqu'au point où s'amorce la fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium. L'énorme débit d'énergie qui en résulte s'oppose à l'effondrement : une étoile commence son évolution ! Cette phase d'équilibre dure jusqu'à ce que tout l'hydrogène ait disparu dans le cœur stellaire. Le Soleil, vieux de plus de cinq milliards d'années, est au milieu de cette phase.

L'étoile évolue ensuite d'une manière significative : son cœur se contracte et sa température augmente. En même temps, les régions externes se dilatent et le rayon stellaire croît considérablement. Tout se stabilise à nouveau lorsque la température centrale est suffisante pour la fusion nucléaire de l'hélium en carbone. L'étoile est alors une géante rouge, des centaines de fois plus grosse que le Soleil.

Si l'étoile est assez massive, d'autres réactions de fusion nucléaire peuvent ensuite se produire. Elles impliquent des noyaux de carbone, d'azote et d'oxygène qui capturent des noyaux d'hélium. Mais quand l'énergie ainsi produite ne parvient plus à équilibrer les pertes par rayonnement, le cœur se contracte à nouveau et l'enveloppe se dilate. Au cours de cette phase dite « supergéante », le cœur s'échauffe jusqu'à  $10^9$  K, température à laquelle noyaux de carbone et d'oxygène fusionnent entre eux pour produire des noyaux



### Diagramme de Hertzsprung-Russell

Les étoiles sont réparties en fonction de leur luminosité, exprimée en luminosité solaire ( $L_{\odot}$ ) et de leur température de surface. Un système de graduation logarithmique est utilisé sur les deux axes. Les points représentatifs des étoiles s'alignent le long de différentes séquences, avec, du bas vers le haut, la séquence principale (notée V) des étoiles stabilisées par la fusion nucléaire de l'hydrogène, celle des sous géantes (notée IV), celle des géantes (notée III), celle des géantes brillantes (notée II), celle des supergéantes, de type Ib et de type Ia. Le point représentatif du Soleil, qui est aujourd'hui sur la séquence principale (V) migrera vers la séquence des géantes (III) à la fin de son évolution.

de silicium, de soufre, de phosphore... Dans le même temps, les fusions nucléaires impliquant le carbone, l'azote et l'oxygène libèrent des neutrons qui s'associent à d'autres noyaux pour former des éléments de plus en plus lourds.

L'évolution finale des étoiles dépend de leur masse. Les couches externes de celles dont la masse est inférieure à quelques masses solaires enflent jusqu'à se répandre alentour en formant une nébuleuse planétaire tandis que leur cœur se ratatine en une naine blanche. Les étoiles de masse supérieure à 8 à 10 masses solaires ( $M_{\odot}$ ) terminent leur évolution d'une manière autrement plus violente : elles explosent en supernovæ.

En classant les étoiles en fonction de leur luminosité et de leur température, les astronomes produisent un diagramme, dit de Hertzsprung-Russell, qui permet de visualiser l'évolution stellaire. Les points représentatifs des très nombreuses étoiles (dont le Soleil) qui stabilisent la fusion nucléaire de l'hydrogène constituent la séquence principale, une bande qui s'étire en diagonale à travers tout le diagramme. Au terme de cette longue phase de stabilité, les étoiles voient leurs points représentatifs migrer en haut à droite du diagramme pour constituer les bandes des géantes et des supergéantes, des étoiles bien moins abondantes mais bien plus lumineuses.