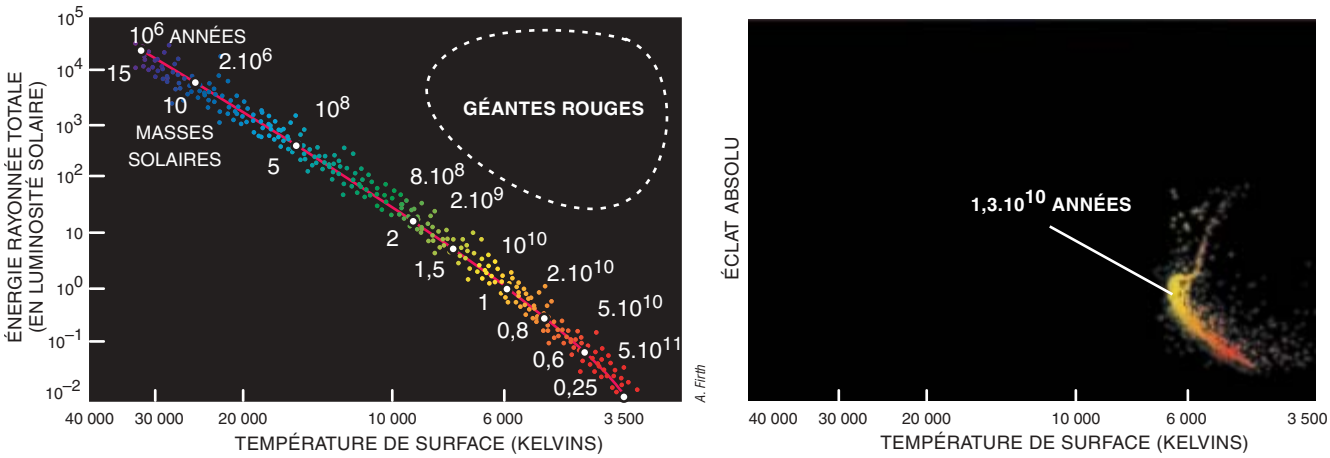

5. LE DIAGRAMME DE HERTZSPRUNG-RUSSELL, le plus important des diagrammes utilisés en astronomie, montre que la production d'énergie et la température des étoiles les placent toutes sur une portion de droite qui constitue la «séquence principale», où elles restent cantonnées tant que l'hydrogène est le combustible de base de leurs réactions thermonucléaires *(à gauche)*. La température de surface d'une étoile est estimée grâce à la couleur correspondant à l'émission maximale d'énergie (du rouge pour les étoiles les plus froides au bleu pour les plus chaudes, en passant par le jaune des étoiles moyennes comme le Soleil). Quand l'étoile est proche de sa fin, elle quitte la séquence principale et bifurque vers la zone des géantes rouges (des étoiles de basse température de surface, mais d'éclat important). Plus une étoile est massive, plus sa température de surface est importante et plus son séjour dans la séquence principale est court. Les astronomes ont reporté les éclats et les couleurs des étoiles brillantes de l'amas NGC 6652 *(à droite)*, sur un digramme Hertzsprung-Russell. Ces étoiles ont toutes le même âge : 13 milliards d'années. Celles dont la durée de vie est inférieure à cet âge ont toutes disparu et sont donc absentes du diagramme. Les autres sont encore sur la séquence principale. Les étoiles qui épuisent leur hydrogène en 13 milliards d'années exactement sont actuellement en train de migrer vers la région des géantes rouges, trahissant ainsi l'âge de l'amas.

et la vitesse angulaire (sur la voûte céleste). Les astronomes mesurent chaque composante par des moyens différents. La vitesse radiale est obtenue par effet Doppler (lorsqu'une étoile s'éloigne de nous, la lumière qu'elle nous envoie est décalée vers les grandes longueurs d'onde d'une quantité proportionnelle à sa vitesse). La vitesse angulaire est estimée d'après une série de photographies prises sur plusieurs années. Pour une étoile, ces deux vitesses sont indépendantes. Pour un amas globulaire, où des milliers d'étoiles se déplacent au hasard, la vitesse radiale moyenne devrait être égale à la vitesse angulaire moyenne. Or, la mesure des vitesses radiales par effet Doppler est indépendante de la distance des étoiles, alors que le déplacement angulaire est d'autant plus faible que la distance est grande. De cette façon, les astronomes ont estimé l'éloignement des amas globulaires.

On déduit de cette méthode qu'*Hipparcos* a surestimé les distances qui nous séparent des amas globulaires, même s'ils semblent effectivement être plus lointains qu'on ne le pensait auparavant. Aujourd'hui, on estime que les amas les plus vieux ont environ 13 milliards d'années (à 1,5 milliard d'années près). Cette datation révisée est en accord avec la nouvelle estimation de l'âge de l'Univers fondée sur les dernières mesures de sa vitesse d'expansion (environ 15 milliards d'années). Pour la première fois depuis la naissance de la cosmologie moderne, il y a un demi-siècle, les cosmologistes et les spécialistes de la physique stellaire sont parvenus à se mettre d'accord.

La datation des étoiles dans les amas globulaire n'est pas le seul moyen d'estimer l'âge de notre Galaxie, et d'autres méthodes donnent des résultats très similaires. Il y a quelques mois, Roger Cayrel et ses collègues de l'Observatoire de Paris ont appliqué aux étoiles une technique utilisée de longue date par les archéologues et par les géologues : la datation par des isotopes radioactifs. Ils ont d'abord effectué les premières mesures précises de la quantité d'uranium contenue dans une autre étoile que le Soleil : CS 31082-001, une vieille étoile de population II. Connaissant la vitesse à laquelle l'uranium disparaît et à l'aide d'hypothèses sur la quantité d'uranium qui était présente dans l'étoile lors de sa formation, R. Cayrel est ses collègues ont estimé qu'il s'était depuis écoulé 12,5 milliards d'années, à trois milliards d'années près *(voir l'encadré ci-contre)*.

À terme, les isotopes radioactifs pourraient supplanter les amas globulaires comme outils de datation des étoiles. Auparavant, les astronomes s'attacheront à confirmer les estimations fondées sur l'étude des amas globulaires. De nouveaux télescopes au sol, tel le très grand télescope VLT de l'Observatoire européen austral, promettent de réduire encore l'incertitude sur la composition chimique des étoiles contenues dans les amas. De nouveaux observatoires spatiaux, comme le satellite *Gaia* de l'Agence spatiale européenne ou le satellite de la mission spatiale d'interférométrie SIM de la NASA, devraient, avec une résolution 250 fois supérieure à celle d'*Hipparcos*, déterminer directement la distance des amas les plus proches, supprimant les intermédiaires. Ils apporteront enfin une réponse définitive à une question qui tracasse les astronomes depuis plusieurs décennies.

Brian CHABOYER est professeur au département de physique et d'astronomie de l'Université Dartmouth, et participe à la mission d'interférométrie spatiale SIM de la NASA.

James KALER et W. FREEMAN, *Stars*, 1998.

Brian CHABOYER, *Globular Cluster Distance Determinations*, in *Post-Hipparcos Cosmic Candels*, sous la direction d'André Heck et Filippina Caputa, Kluwer, 1999.

Mickael PERRYMAN, *Hipparcos : The Stars in Tree Dimensions*, in *Sky and Telescope*, vol. 97, n° 6, juin 1999.

Yveline LEBRETON, *Stellar Structure and Evolution : Deductions from Hipparcos*, in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 38, pp. 35-77, 2000.