

L'enfance tumultueuse des amas globulaires

Les amas globulaires comptent parmi les plus anciens objets de l'Univers. Les plus vieux d'entre eux, âgés de 13,7 milliards d'années, sont contemporains de l'époque de formation de leurs galaxies hôtes. Chacun d'eux héberge plusieurs milliers à plusieurs centaines de milliers d'étoiles que l'on pensait, jusqu'il y a peu, nées en même temps d'un nuage chimiquement homogène. Cependant, des observations récentes avec le VLT (*Very Large Telescope*) de l'Observatoire austral européen (ESO) et le télescope spatial *Hubble* ont révélé la présence, au sein des amas, de multiples générations stellaires présentant des compositions chimiques très variées (avec en particulier des anomalies en sodium et en oxygène).

Cette découverte a remis en question la vision classique de l'évolution chimique et dynamique des amas stellaires massifs. Elle révèle en particu-

lier l'influence qu'a pu avoir sur le nuage parent une première génération d'étoiles massives. Celles-ci, nées dans les régions les plus centrales de l'amas et rapidement disparues, auraient tourné à des vitesses proches de la vitesse de rupture : les étoiles perdent alors une grande quantité des produits de la fusion de l'hydrogène suivant un disque circumstellaire. Riches en sodium et pauvres en oxygène, les éjectas se seraient alors mélangés avec le gaz interstellaire pour donner naissance à des étoiles de faible masse encore vivantes aujourd'hui et présentant des compositions chimiques en accord avec les observations.

Entre la première et la seconde génération d'étoiles, la composition chimique des astres s'enrichit en sodium. Un recensement des étoiles a mis en évidence un déficit d'étoiles de faible masse de première génération,



Amas globulaire NGC 2808

© NASA/ESA, S. J. Piotto

dont la plupart ont dû être éjectées hors de l'amas. La masse initiale des amas globulaires était donc au minimum 10, voire 20 à 30 fois plus élevée qu'aujourd'hui soit, pour les amas les plus massifs, tel NGC 2808 (voir ci-dessus), de l'ordre de quelques millions de masses solaires.

Des phénomènes dynamiques se seraient produits quelque 40 millions d'années après la formation des amas. Des trous noirs et des étoiles à neutrons, résidus des étoiles de première génération, auraient expulsé le gaz in-

terstellaire. Cela expliquerait la perte des petites étoiles.

Certaines hypothèses clés de ce nouveau modèle de l'évolution chimique et dynamique des amas stellaires massifs doivent maintenant être validées. Au moyen de simulations numériques hydrodynamiques, il faut en particulier s'attacher à modéliser les interactions des éjectas des étoiles massives avec la matière interstellaire dans des environnements extrêmes. Ainsi, on comprendra mieux la formation stellaire induite, ce dernier point étant l'une des questions les plus épineuses de l'astrophysique moderne. Par ailleurs, des simulations à N corps devraient permettre de tester la stabilité de tels systèmes sur des temps comparables à l'âge de l'Univers.

Corinne Charbonnel
Observatoire et Univ. de Genève
CNRS, IRAP, Toulouse

d'intervalle seulement montrent que les étoiles de tels groupes se sont éloignées les unes des autres.

Les jeunes associations OB regorgent de ces étoiles véloces. L'énorme gravité régnant dans ces amas donne une grande vitesse orbitale aux étoiles, qui s'échappent dès que disparaissent les restes du nuage assurant la cohésion gravitationnelle de l'amas.

En outre, les étoiles de type O et B précipitent la destruction du nuage avec leur rayonnement ultraviolet intense. Leur source d'énergie est la fusion nucléaire (à l'œuvre dans le Soleil), mais elles brûlent beaucoup plus vite. Une étoile O typique est 30 fois plus massive que le Soleil, mais elle épuise son combustible en quelques millions d'années seulement – un millier de fois plus vite que le Soleil. Durant cette brève vie, le rayonnement ultraviolet, émis en grande quantité par l'étoile, ionise le gaz environnant, que le vent stellaire disperse. À mesure que le nuage précurseur se dissipe, la gravité décroît. Quand les petites étoiles massives ont enfin expiré et que le nuage précurseur a disparu, la gravité du système ne peut plus retenir les étoiles rapides, qui se retrouvent propulsées dans l'espace. Ainsi, les associations T et OB se défont, que ce soit par usure progressive ou par agitation violente.

Beaucoup moins fréquent, le troisième type de groupes stellaires est remarquable par sa stabilité. Ces amas, dits ouverts, peuvent contenir jusqu'à 1 000 étoiles ordinaires et persistent des centaines de millions, voire des milliards d'années. Pourtant, le nuage moléculaire et son influence gravitationnelle ont disparu depuis longtemps.

De très vieux amas

L'amas des Pléiades est un amas ouvert âgé de 125 millions d'années. Son nuage précurseur a probablement disparu depuis 120 millions d'années, voire plus. L'amas des Hyades situé non loin des Pléiades sur la voûte céleste a 630 millions d'années. À la périphérie de la Galaxie se trouvent des dizaines d'amas ouverts encore plus vieux. L'amas M67, un système comprenant un millier d'étoiles, est né il y a quatre milliards d'années.

Même les amas ouverts ne sont pas permanents ; très peu sont plus anciens que M67. Les astronomes pensent que les amas ouverts finissent par être déstabilisés par le passage d'un nuage moléculaire à proximité. Ils se déchirent et les étoiles s'éparpillent. Mais ces amas soulèvent une difficulté notable : les chercheurs étaient

parvenus à expliquer comment la dispersion des nuages précurseurs entraîne le délitement des associations T et OB, mais ils ne comprenaient pas pourquoi les étoiles des amas ouverts survivent à la dispersion des nuages et restaient liées pendant plusieurs millions d'années.

En écrivant mon livre sur la formation des étoiles, j'ai été conduit à m'interroger sur la diversité des amas. Pour moi, le mystère des amas ouverts n'était qu'un volet d'un ensemble plus vaste de questions. Pourquoi la Galaxie n'abrite-t-elle qu'un nombre restreint de types d'amas ? Comment le type d'amas qu'un nuage moléculaire produit est-il déterminé ?

Pour répondre à ces questions, je me suis demandé quelles forces agissent sur le nuage de gaz. Les étapes de la vie des trois types d'amas que j'ai choisi d'étudier font ressortir deux processus antagonistes agissant sur le nuage : la contraction, due à la gravité, et l'expansion, sous l'effet des vents stellaires et du rayonnement ionisant. Chaque nuage producteur d'étoiles est soumis à ces phénomènes, à des degrés divers.

Dans le cas des associations T et OB, l'expansion finit par l'emporter. Dans le cas des amas ouverts, expansion et contraction semblent s'équilibrer, au moins pendant l'époque critique de formation des étoiles.