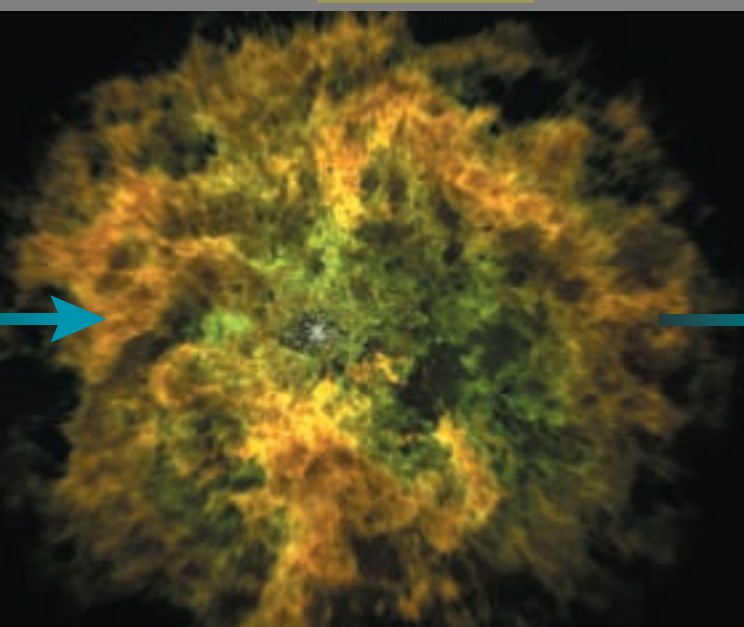


10 MILLIONS D'ANNÉES



PLUSIEURS MILLIARDS D'ANNÉES



MUSSTIS (galaxy and cluster color images) ; J.L. Turner (radiofrequency image) ; Zurek Goe-jin et Vanujan Gojjan NASA/ESA Propulsion Laboratory (artists rendering)

Les astronomes pensent qu'après dix millions d'années les vents stellaires balaieront cette enveloppe de gaz, comme sur cette extrapolation d'artiste (ci-dessus, à gauche) ; après plusieurs milliards

d'années, la région de sursauts d'étoiles évoluera en amas globulaire, ressemblant peut-être alors à l'amas NGC 6093 dans notre propre Galaxie (ci-dessus, à droite).

radio des sursauts antérieurs s'est estompée. L'absence d'émission non thermique permet d'établir un âge : elle signifie qu'aucune des étoiles de la zone du sursaut n'est encore devenue une supernova, et l'âge du sursaut est nécessairement inférieur à la durée de vie de ces étoiles massives (quelques millions d'années). Cette estimation corrobore d'autres observations qui indiquent que les sursauts stellaires de NGC 5253 et de II Zwicky 40 sont les plus jeunes connus.

La composante la plus jeune du sursaut stellaire de NGC 5253 n'apparaît pas en lumière visible, car elle est toujours enfouie dans le nuage de gaz et de poussières qui l'a engendrée. Cependant, une étude détaillée a montré que les émissions radio et infrarouges proviennent d'une source très compacte, vraisemblablement un regroupement de 100 000 étoiles extrêmement jeunes, concentrées dans une région d'un diamètre de trois à six années-lumière seulement. Le contenu et la taille de cette région rappellent ceux des amas globulaires, ces assemblages d'étoiles denses et sphériques que l'on observe dans la Voie lactée et dans les autres grandes galaxies.

Les amas globulaires de la Voie lactée ont plusieurs milliards d'années au moins et contiennent les étoiles les plus âgées de la Galaxie. Aussi conclut-on, soit que notre Galaxie n'a pas formé d'amas globulaires depuis des milliards

d'années, soit que tous les amas globulaires récents ont été disloqués par des effets gravitationnels, au cours de leur rotation dans le disque galactique. Les sursauts stellaires de NGC 5253 et d'autres galaxies naines semblent être des amas globulaires en formation. Si c'est le cas, les astronomes accèderaient à des aspects cachés de l'histoire de notre propre Galaxie.

N'oublions pas, toutefois, que les galaxies naines diffèrent des grandes galaxies. Les zones de formation d'étoiles se «propagent» différemment à travers ces galaxies, et la répartition apparemment aléatoire des zones de sursauts dans les galaxies naines soulève une question : comment la formation stellaire se propage-t-elle quand une galaxie n'a ni bras spiraux ni aucune autre forme d'organisation du mouvement du gaz ? Aujourd'hui, les astronomes supposent une «formation stellaire stochastique par aut propagation» : la présence d'un sursaut de formation stellaire dans une région de la galaxie déclenche des sursauts secondaires dans d'autres régions, parce que les jeunes étoiles massives du centre d'activité initial perturbent le gaz des régions adjacentes par l'intermédiaire de vents stellaires ou de rayonnements ; le gaz voisin s'effondre alors et amorce son propre sursaut, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus assez de gaz susceptible d'être per-

turbé par les jeunes étoiles. Cette théorie décrit bien la progression de la formation stellaire dans les galaxies naines, mais elle n'est probablement pas transposable aux galaxies spirales. De surcroît, elle ne dit pas pourquoi le sursaut initial se produit.

Le déclenchement des flambées stellaires est mystérieux, tant pour les grandes galaxies que pour les galaxies naines, mais on soupçonne des mécanismes différents selon le type de galaxie. Les galaxies naines à sursaut les mieux étudiées semblent liées à d'autres objets astronomiques par des phénomènes d'interaction, de fusion ou d'absorption. Par exemple, II Zwicky 40 est apparemment constituée de deux galaxies naines en train de fusionner (voir la figure 1). Les astronomes ont également bien étudié Henize 2-10, une assez grosse galaxie naine où l'on observe un sursaut stellaire avancé (il aurait commencé il y a environ dix millions d'années). On suppose que cette galaxie a avalé une galaxie beaucoup plus petite, il y a 100 millions d'années environ. La petite galaxie a été bien assimilée : il ne subsiste qu'une traînée de gaz due aux effets de marées et qui dépasse encore de Henize 2-10 (voir la figure 2e). Enfin la galaxie naine à sursauts Zwicky 0855 +06 interagit avec une autre naine (sans sursauts) qu'elle déforme. Les exemples d'interactions sont nombreux.

Naines bleues compactes

Les galaxies naines à flambée de formation stellaire, aussi connues sous le nom de galaxies naines bleues compactes, en raison de leur couleur et de leur morphologie, intriguent à plus d'un titre. D'abord, certaines d'entre elles, comme 1 Zwicky 18 ou SBS 0335-052, situées à moins de 200 millions d'années-lumière, ont une teneur en éléments lourds très faible. Chimiquement peu évoluées, elles semblent être des galaxies jeunes, voire primordiales. Ainsi Trinh Xuan Thuan, de l'Université de Virginie, et Yuri Izotov, de l'Observatoire d'Ukraine, leur attribuent un âge inférieur à 100 millions d'années. Si tel est le cas, les galaxies bleues compactes peu évoluées proches, accessible à nos instruments d'observation, pourraient être des galaxies en train de naître. Les galaxies en formation sont généralement cherchées dans l'Univers jeune, donc lointain et, compte tenu de leur distance, elle paraissent extrêmement faibles, même sur les images obtenues avec les télescopes les plus puissants.

La longue gestation de galaxies telles 1 Zwicky 18 ou SBS 0335-052, dont la naissance aurait été repoussée de plusieurs milliards d'années, laisse toutefois perplexe. Leur âge a d'ailleurs été récemment remis en question : le fait qu'elles soient peu évoluées chimiquement n'implique pas forcément qu'elles soient jeunes. Des astronomes de l'Institut d'astrophysique de Paris ont mis en évidence, dans l'une des galaxies prétendues jeunes, la présence d'étoiles plus vieilles qu'un milliard d'années, en contradiction avec leur âge supposé de 100 millions d'années. De surcroît, ils ont montré qu'une très faible teneur en éléments lourds restait compatible avec une histoire de formation stellaire qui s'étalerait sur une dizaine de milliards d'années, marquée par une alternance de périodes calmes et de sursauts d'activité stellaire.

Autre surprise dans ces galaxies bleues compactes : le gaz, l'un des constituants galactiques majeurs, y semble absent. Outre les populations stellaires, une galaxie possède le plus souvent des réserves de gaz sous forme d'hydrogène atomique et moléculaire. Or jusqu'à présent, cette composante moléculaire n'a jamais été détectée dans les galaxies à flambées les plus emblématiques. Dans notre propre Galaxie, les étoiles se forment dans de vastes complexes moléculaires. Les mécanismes de formation diffèrent-ils dans les naines les plus pauvres en éléments lourds et dans les galaxies spirales classiques ?

En plus de la matière lumineuse, les galaxies naines, plus encore que les galaxies plus massives, possèdent de grandes quantités de matière noire dont la présence est révélée de manière indirecte par des études dynamiques. Il a été envisagé qu'une partie de cette dernière composante soit constituée de gaz moléculaire diffus, difficilement décelable. Les dernières données d'Alfred Vidal-Madjar et de ses collaborateurs de l'Institut d'astrophysique et de l'Observatoire de Paris viennent d'infirmer cette hypothèse. Les astronomes devront chercher une autre forme de matière noire.

Enfin, comment se déclenchent ces flambées phénoménales observées dans les galaxies bleues compactes ? Une collision de galaxies est un mécanisme souvent avancé pour expliquer les sursauts de formation stellaire dans les galaxies massives. En raison de leur faible masse, les galaxies naines sont très fragiles. Une rencontre avec une galaxie compagnon a ainsi un impact majeur sur son évolution : si, dans un premier temps, cette rencontre peut engendrer un regain d'activité stellaire, à plus long terme, elle risque de lui être fatale. En 1994, une telle galaxie naine en cours de destruction a été découverte dans la constellation du Sagittaire, aux confins de notre Voie lactée.

Fossoyeurs de galaxies, les interactions entre galaxies peuvent aussi en créer. Ainsi les galaxies naines «de marées» se forment à partir de matériaux expulsés dans le milieu intergalactique par des effets gravitationnels qui s'exercent lors de collisions violentes. Toutefois, contrairement aux naines de marées ainsi qu'aux naines plus évoluées, les galaxies bleues compactes ont tendance à être isolées, même si certaines possèdent des compagnons peu massifs. Leur mode de formation et leur évolution demeurent largement méconnus.

Pierre-Alain DUC, Service d'astrophysique, CEA-CNRS, Saclay.

Rencontres de naines

Les rencontres de galaxies peuvent également déclencher des sursauts stellaires, même dans les grandes galaxies. Les étoiles déjà formées ne sont pas perturbées, car elles entrent rarement en collision tant sont grandes les distances qui les séparent, même dans les zones galactiques les plus peuplées. Toutefois, les nuages de gaz sont spectaculairement modifiés : des ondes de choc ou des contraintes gravitationnelles les fragmentent et les aggrègent en étoiles. Ces mécanismes devraient fonctionner dans les galaxies naines aussi bien que dans les galaxies plus grosses.

Toutefois la plupart des flambées d'étoiles dans les galaxies naines ne résultent pas d'une interaction avec une autre galaxie naine, mais plutôt de rencontres avec des systèmes plus petits et moins brillants. Si les galaxies naines sont les petits poissons de la mare céleste, de quelle friture se nourrissent-ils ? Certains astronomes pensent que les galaxies naines interagissent avec des nuages de gaz atomique (essentiellement de l'hydrogène) dont les masses sont comprises entre un million et dix millions de masses solaires. Par exemple, NGC 5253 pourrait avoir absorbé un petit nuage de gaz de un million de masses solaires. Les astronomes ont cherché, à l'aide de radiotélescopes très sensibles, des nuages de gaz intergalactiques qui émettraient la signature caractéristique de l'hydrogène atomique, plus facile à détecter que l'hydrogène moléculaire. Ils ont découvert que les galaxies naines à sursauts stellaires ont plus souvent de tels nuages comme compagnons que les galaxies naines sans sursauts.

L'hypothèse d'interactions galactiques pour expliquer les flambées stellaires corrobore les observations de sursauts sporadiques, très espacés dans le temps.

Pourquoi les sursauts cessent-ils ? On répondra peut-être à cette question en observant que la plupart des galaxies naines à sursauts renferment de grandes structures de gaz ionisé en forme de coquilles, de bulles, de halos ou de cheminées. Ces structures révèlent la grande activité des jeunes étoiles massives, qui évacuent quantité de gaz. Les plus massives passeraient par la phase Wolf-Rayet et mourraient alors sous