



L'amas de galaxies noté RXC J0032.1 +1808 est l'un des plus massifs connus. Il a été observé dans le cadre du programme *Relics* par le télescope spatial *Hubble*. Les astrophysiciens veulent étudier les protoamas qui ont donné naissance à des objets si gros.

les qualifie de galaxies à formation d'étoiles normale. La Voie lactée appartient à cette catégorie. Ces galaxies sont un peu les tortues de la fable: elles produisent des étoiles avec lenteur mais à un rythme constant pendant environ 10 milliards d'années. Pendant cette période, les galaxies restent bleues et leur structure a l'aspect d'un disque.

Cependant, certaines galaxies produisent l'équivalent de cent masses solaires d'étoiles par an. On les qualifie de galaxies à sursauts de formation d'étoiles ou galaxies à flambées d'étoiles (*starburst galaxies* en anglais). Elles incarnent les lièvres de l'évolution galactique. En quelque 300 millions d'années, ces galaxies naissent, forment le plus d'étoiles possible et en un clin d'œil cosmique épuisent leur carburant. Ces flambeuses profitent de la vie à toute vitesse et meurent jeunes. Les astronomes pensent qu'elles sont peut-être à l'origine de ces galaxies elliptiques massives et passives que l'on trouve aujourd'hui dans les amas.

En toute logique, si l'on regarde assez loin dans l'Univers (c'est-à-dire l'Univers tel qu'il était dans sa prime jeunesse), on devrait y voir des protoamas remplis de galaxies à flambées d'étoiles (qui deviendront ces amas d'aujourd'hui peuplés de galaxies déjà épuisées). Mais trouver de telles galaxies dans les protoamas a été plus difficile qu'on ne l'espérait.

Jusqu'à récemment, les méthodes que nous utilisions pour détecter des amas

consistaient à traquer justement les galaxies elliptiques passives ou le gaz chaud contenu dans l'espace entre ces galaxies. Cependant, ces composantes des amas ne se forment que tardivement dans l'histoire de l'Univers et ne sont donc pas adaptées pour traquer des protoamas. Nous avons dû imaginer de nouvelles stratégies pour mettre en évidence les ancêtres des amas, aux galaxies plus bleues et formant encore des étoiles.

Pour compliquer notre tâche, les protoamas sont souvent très étendus dans le ciel, car les galaxies ne se sont pas encore agglomérées au sein des structures que nous observons dans l'Univers d'aujourd'hui. Quand les télescopes les plus puissants ont des caméras dont le champ de vue se limite au diamètre d'un crayon (comme c'est le cas du télescope spatial *Hubble*), il n'est pas surprenant que nous ayons des difficultés à rassembler les pièces du puzzle que constitue un protoamas, ces pièces étant dispersées sur des distances cent fois plus grandes que le champ de vue des télescopes.

Par ailleurs, les stratégies de recherche qui reposent sur l'observation systématique de vastes régions du ciel ratent souvent les galaxies à flambées d'étoiles, car ces dernières sont cachées dans de vastes et opaques nuages de poussière. En effet, le rythme de formation d'étoiles dans ces flambées s'accompagne aussi de nombreuses explosions d'étoiles massives qui arrivent rapidement en fin de vie. Ces cataclysmes émettent une surabondance d'éléments lourds – fer, carbone, or, etc. Ces derniers se dispersent dans l'espace, s'associent et forment des molécules complexes, de la poussière, qui absorbe le rayonnement visible et ultraviolet. On observe le même genre de phénomène lors de vastes incendies de forêt: la suie capte surtout la lumière bleue et laisse passer la lumière rouge. Les galaxies à flambées d'étoiles sont donc quasi invisibles pour des télescopes opérant dans le visible ou l'ultraviolet, mais... brillent intensément dans l'infrarouge.

VISION INFRAROUGE

À partir de la fin des années 1990, en observant dans l'infrarouge, le bolomètre Scuba du télescope *James-Clerk-Maxwell*, à Hawaï, l'observatoire spatial *Herschel*, le *Télescope du Pôle Sud* (SPT) et le télescope spatial *Spitzer* ont commencé à dévoiler la partie de l'Univers cachée par la poussière et ont détecté des millions de galaxies qui étaient jusque-là invisibles. Il y a quinze ans, les astronomes ont amorcé l'étude des propriétés des galaxies à flambées d'étoiles et ils ont montré que ces usines à étoiles vivent de préférence à proximité d'autres galaxies très actives. Mais ces instruments d'observation étaient encore limités: la résolution en ➤

COMMENT LES AMAS DE GALAXIES GRANDISSENT

Aujourd'hui, les amas de galaxies sont surtout constitués de galaxies passives, dans le sens où elles ne produisent plus de nouvelles étoiles. Les astronomes ont découvert récemment plusieurs protoamas lointains représentant les premiers stades de l'évolution des amas actuels. Ils sont remplis de galaxies jeunes où le taux de formation d'étoiles est très élevé. Mais les protoamas sont si gros, et leurs galaxies si massives, que les chercheurs s'interrogent sur les mécanismes qui leur ont permis d'avoir grandi si vite dans l'Univers si jeune.

Formation de filaments

Le cosmos a commencé à l'état de gaz et de matière noire ; au fil du temps, la force gravitationnelle a fait se condenser le gaz pour former des filaments interconnectés par des nœuds. Les filaments, les structures les plus grandes de l'Univers, sont constitués d'amas et de superamas de galaxies.

Des observations intrigantes

La découverte récente d'un protoamas, le Distant Red Core, a surpris par la présence en son sein de galaxies géantes où naissent un grand nombre d'étoiles. Les simulations fondées sur nos connaissances actuelles sont incapables de reproduire des masses aussi grandes et des taux de formation stellaire aussi élevés si tôt dans l'histoire cosmique.

- Halo de matière noire
- Galaxie massive à formation d'étoiles intense
- Galaxie à formation d'étoiles normale
- Galaxie massive calme
- Galaxie calme

Protoamas

Noyau du protoamas

Jeune amas de galaxies, d'après les caractéristiques du Distant Red Core

Jeune amas de galaxies, d'après les simulations

Milliards d'années dans le passé

13 12 11 10

> infrarouge et en longueur d'onde millimétrique des télescopes était trop faible, de sorte que l'on identifiait souvent plusieurs galaxies comme étant une entité unique. On retrouvait aussi cette confusion pour des galaxies éloignées les unes des autres, mais situées sur la même ligne de visée.

La situation a profondément changé en 2013 avec l'entrée en fonction du radiotélescope *Alma* (Atacama large millimeter/submillimeter array), au Chili. Cet ensemble de 70 paraboles opérant de concert pour constituer un seul télescope géant atteint une résolution jusqu'à 600 fois supérieure à celle de l'observatoire *Herschel*. Le

radiotélescope *Alma* a révolutionné de nombreux domaines de l'astronomie, dont l'étude de l'évolution des galaxies. Il est, par exemple, très performant pour détecter les pouponnières d'étoiles qui se cachent dans des régions poussiéreuses des galaxies. Il a ainsi rendu possibles diverses découvertes à la fois inattendues et passionnantes.