

formation d'étoiles et par l'émission X ou radio issue des environs d'un trou noir supermassif. Nous devons prendre ces deux processus en flagrant délit. Et c'est peut-être cela que nous avons fait récemment.

Il y a une dizaine d'années, Charles Steidel, de l'Institut de technologie de Californie, et ses collaborateurs ont découvert une nouvelle classe d'objets qui semble être une signature observationnelle du refroidissement : les nuages Lyman-alpha. Lyman- α désigne l'une des raies d'émission lumineuse de l'hydrogène.

Grosses masses nuageuses

Ces objets semblent être des masses nuageuses et lumineuses pouvant atteindre 300 000 années-lumière de diamètre, beaucoup plus que notre galaxie, la Voie lactée, ce qui les place parmi les plus gros objets lumineux de l'Univers jeune. Les astronomes en ont, depuis, découvert des quantités. Le rayonnement Lyman- α observé ressemble étonnamment à la signature radiative prédite théoriquement pour un écoulement de gaz froid en direction de jeunes galaxies.

Cependant, de nombreux autres processus astrophysiques pourraient être responsables de l'émission Lyman- α . Par exemple, la lumière ultraviolette ou le vent galactique pourraient « pomper de l'énergie » dans les nuages et les faire briller. À l'aide de *Chandra*, mes collègues et moi avons montré que de nombreux nuages Lyman- α contiennent des galaxies pourvues de trous noirs en phase de croissance active qui brillent fortement dans le domaine X. Cette activité s'accompagne souvent d'une intense formation d'étoiles, mise en évidence par l'émission infrarouge au milieu des couches de poussière qui obscurcissent les pouponnières stellaires. Nous avons calculé que l'énergie libérée par ces processus est plus que suffisante pour alimenter l'émission Lyman- α . Il se peut donc que la lueur des nuages résulte non pas d'un refroidissement, comme beaucoup le pensent, mais d'un chauffage.

Plutôt que de clarifier la situation, les nuages Lyman- α ont donc encore davantage brouillé les pistes. Nous devons maintenant concevoir et effectuer de nouvelles observations pour essayer de dévoiler ce qui se passe vraiment. Dans un cas comme dans l'autre, les nuages Lyman- α sont un

type d'objets susceptible de combler certaines lacunes dans notre compréhension de l'origine des galaxies.

L'observation que le milieu intergalactique entourant les galaxies jeunes et actives est inondé de rayonnement pourrait contribuer à résoudre un autre problème des modèles de formation des galaxies. D'après des simulations à très haute résolution de la matière noire, les galaxies telles que la Voie lactée devraient être accompagnées de milliers de galaxies naines tournant autour d'elles comme des abeilles autour d'une ruche. La Voie lactée a certes quelques compagnons nains, mais bien moins nombreux que ne le prédisent les simulations.

Une solution possible à ce problème est que les galaxies naines se sont effectivement formées dans l'Univers jeune, mais que leurs galaxies-parents les ont soufflées par leur rayonnement et leurs vents. Ce tir de barrage a dépouillé de baryons les galaxies naines ayant réussi à en accumuler, ce qui n'a laissé que des masses de matière noire dénudées, errant depuis à la périphérie des galaxies-parents.

Classiquement, nous nous représentons les galaxies lumineuses comme des univers-îles isolés et discrets, pour reprendre les termes du philosophe allemand Emmanuel Kant. D'une certaine manière, c'est vrai. Mais les îles galactiques lumineuses sont juste la partie visible d'un océan beaucoup plus vaste de matière baryonique qui nous échappe encore. Ce matériau imprègne tout l'Univers, distribué et mis en forme par une vaste architecture sous-jacente de matière noire, en constante évolution sous l'effet de la gravité.

Une nouvelle vision des galaxies

Tous ces baryons ont connu le même état initial : un milieu brûlant tout neuf qui a rapidement formé les premiers éléments, hydrogène et hélium, ainsi que de petites quantités de deutérium et de lithium. Ce que nous appelons des galaxies s'est formé à partir de cette matière première, concentrée par la gravité. Mais ces structures baryoniques ne sont pas figées. La matière se déplace le long de ces structures dans le cadre d'un vaste cycle en place depuis le Big Bang. Les influences concurrentes de la gravité et de la rétroaction galactique entraînent le refroidissement du gaz tombant sur les galaxies, puis son éjection hors des galaxies.

De récentes simulations numériques, réalisées par Rob Crain, de l'Université Swinburne de technologie de Melbourne, en Australie, Benjamin Oppenheimer, de l'Université de Leyde aux Pays-Bas, et leurs collaborateurs, suggèrent que jusqu'à la moitié des baryons aujourd'hui contenus dans les galaxies de l'Univers local sont passés au moins une fois dans le milieu intergalactique, et souvent de nombreuses fois. Les baryons dont notre corps est composé prennent part à ce cycle depuis 14 milliards d'années ; de la matière de notre ongle, par exemple, a pu être formée au sein d'étoiles d'autres galaxies, puis s'exiler durant des milliards d'années dans l'espace intergalactique avant de trouver asile dans notre Système solaire. Nous ne sommes qu'une phase éphémère, l'hôte d'un instant de cette rare substance que nous qualifions d'ordinaire.

Cette idée de cycle baryonique est à la base d'une nouvelle vision de l'évolution des galaxies, où celles-ci ne sont qu'une petite composante de l'évolution à grande échelle du milieu intergalactique. L'Univers baryonique est essentiellement gazeux, et non galactique. Le milieu intergalactique est le champ de bataille de diverses forces, et au milieu de ce maels-tröm se forment des galaxies. Les galaxies ne constituent qu'une étape de traitement au cours d'un cycle qui fait constamment passer les baryons d'une phase à l'autre, et à tout instant, la plupart des baryons se trouvent en dehors des galaxies.

Nous avons, peut-être sentimentalement, une considération particulière pour les galaxies : la Voie lactée est notre habitat cosmique, une vaste demeure brillante et complexe plongée dans l'obscurité du cosmos. D'un point de vue anthropique, nous avons la chance d'exister à un moment où les baryons qui constituent la Terre sont sous une forme froide et stable. Cela ne sera pas toujours le cas. La mort du Soleil, dans cinq milliards d'années environ, fera brûler les planètes internes, s'évaporer les planètes externes, et redispersera progressivement les éléments lourds résultants dans le milieu interstellaire. À moins que l'humanité ne réussisse à se sortir de ce cycle en développant la capacité technique de s'échapper du Système solaire, les cendres de tout ce qui a jamais existé sur Terre sont vouées à être restituées, enrichies, au cosmos. Et c'est ainsi que le cycle se poursuivra. ■