

Un très vieil amas de galaxies formant des étoiles à un rythme élevé: le chaînon manquant dans la formation des grandes structures ?

Les amas de galaxies constituent les plus grandes accumulations de matière dans l'Univers. Selon le scénario accepté de formation hiérarchique des structures, ils se seraient formés après les étoiles et les galaxies, plusieurs milliards d'années après le Big Bang. On ne s'attend donc pas à découvrir un amas datant de deux milliards d'années après le Big-Bang (le plus vieux actuellement connu), constitué de galaxies en train de fabriquer des étoiles à un rythme très élevé. C'est pourtant ce que vient de faire une équipe internationale conduite par deux chercheurs du CEA.

Les amas de galaxies sont les dernières structures formées dans l'Univers. Juste après les âges sombres, c'est à dire quelques centaines de millions d'années après le Big Bang, se sont formées les premières étoiles, puis les premières galaxies. Cette phase a duré au plus un milliard d'années. Mais l'accumulation de centaines de galaxies dans des grandes structures comme les amas de galaxies a pris beaucoup plus de temps. C'est pourquoi on ne s'attend pas à trouver des amas ayant un redshift supérieur à 2[1]¹, donc présents deux milliards d'années après le Big Bang, et surtout, on ne s'attend pas à ce qu'ils soient constitués de galaxies fabriquant des étoiles à profusion.

Beaucoup d'efforts ont été accomplis au cours de la dernière décennie pour détecter des grandes structures ayant des redshifts élevés. On utilise pour cela des techniques variées et de grands relevés comme celui du satellite Planck. Jusqu'à maintenant, on en découvert quelques uns avec des redshifts compris entre 1,5 et 2. Il s'agissait toujours d'amas entourés d'un halo massif de matière noire, contenant uniquement des galaxies « passives » rouges, c'est à dire ayant cessé de fabriquer des étoiles. On pensait que ces structures se trouvaient dans différentes phases évolutives entre les « proto-amas » en train de s'agglutiner et les amas véritables. Bien qu'il n'y ait pas eu de consensus sur la distinction entre les proto-amas et les amas, des travaux récents suggéraient que la présence d'un halo massif était une caractéristique permettant de distinguer entre les deux types de structures, le halo constituant la signature d'un amas de galaxies ayant terminé sa formation.

Or une équipe internationale conduite par deux chercheurs du CEA de Saclay (Tao Wang, David Elbaz et al., à paraître dans « the Astrophysical Journal ») vient de rapporter la découverte d'un amas de galaxies encore plus lointain (redshift : 2,506) appelé CL J1001+ 0220. Dans ce but, l'équipe a réalisé la prouesse de mettre à contribution six des plus puissants télescopes spatiaux et terrestres du monde. En effet, chaque domaine de longueurs d'onde apporte une information complémentaire. La première est la distance des amas, mesurée par le décalage spectral de raies en émission, soit dans les domaines sub-millimétrique et radio (molécules de monoxyde de carbone (CO) observées à l'IRAM du plateau de Bure au VLA (Very Large Array au Nouveau Mexique), soit par celui de la raie Halpha observée dans l'infrarouge au VLT.

[1]¹ Le redshift ou décalage spectral vers le rouge traduit la distance d'un objet ou l'époque où cet objet a vécu. Un redshift de 2 correspond à une époque de 2,3 milliards d'années après le Big-Bang, celui-ci ayant eu lieu il y a 13,8 milliards d'années.

On détermine la masse du halo grâce à l'étude de la distribution et de la température du gaz chaud observé dans le domaine X (satellite XMM/Newton ou Chandra). Enfin le taux de formation d'étoiles est donné par exemple par la mesure de l'intensité de la raie H α .

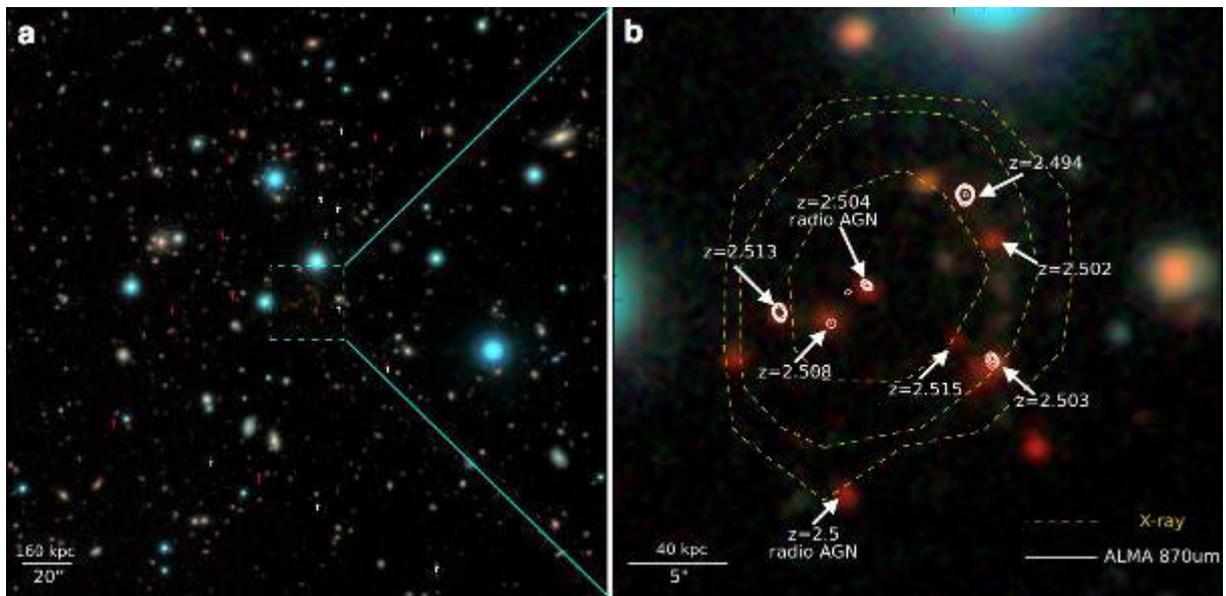
L'amas que les chercheurs ont découvert contient, à l'intérieur d'un cœur de 240000 années-lumière, 17 galaxies confirmées dont 11 de plus de 100 milliards de masses solaires. Le halo de matière noire pèse 100000 milliards de masses solaires, c'est donc un halo très massif. Et stupeur : cet amas, supposé pourtant complètement évolué, fabrique des étoiles au taux extraordinaire de 3400 masses solaires par an. Ce qui veut dire que son gaz doit être complètement épuisé au bout de 200 millions d'années. On en déduit naturellement que l'amas a été surpris dans une phase très courte de sa vie, au moment où, déjà constitué, il n'a pas encore atteint son stade évolué. Il s'agit donc d'un intermédiaire entre un proto-amas et un amas véritable.

Cette découverte suggère que les galaxies massives ont formé des étoiles seulement après s'être accumulées au sein des amas, contrairement à ce que l'on pensait. Elle a une grande portée scientifique, car elle devrait permettre aux cosmologistes d'étudier l'organisation de l'univers peu après le Big Bang et la façon dont il s'est structuré durant sa jeunesse.



L'image montre en violet l'émission de rayons X, captée par le satellite Chandra. Ceux-ci sont émis par le gaz situé entre les galaxies et chauffé à plusieurs millions de degrés par l'énorme gravité de l'amas. La distribution de ce gaz et sa température permettent de déterminer la masse du halo de matière « noire » entourant l'amas. Chaque point sur

l'image représente une galaxie avec ses centaines de milliards d'étoiles, les plus rouges sont aussi les plus lointaines. Crédit CEA, X-ray : NASA/CXC/Université de Paris/ T.Wang et al.; Infrarouge : ESO/UltraVISTA ; Radio : ESO/NAOJ/NRAO/ALMA.



Cette image montre le cœur de l'amas avec ses 17 galaxies en pleine « flambée d'étoiles ». Crédit CEA.

Que s'est-il passé au centre de la Voie lactée il y a six millions d'années ?

Dans les actualités du numéro précédent de l'Astronomie (« Pas de Céphéides dans les régions internes de la Voie lactée ») nous avons évoqué l'absence d'étoiles jeunes dans le disque de la Galaxie, jusqu'à une distance de 8000 années-lumière. Nous allons découvrir ici qu'un gaz très chaud traverse et entoure la Galaxie mais semble absent à l'intérieur d'une région centrale de 18000 années-lumière.

Curieusement, cette découverte a vu le jour grâce à une recherche entreprise dans un tout autre but. Il s'agissait de trouver où se cachait une partie de la matière baryonique - la matière « normale », par opposition à la matière « noire » - dans la Galaxie. On sait par les observations du satellite Planck que la matière baryonique dans l'Univers ne représente que 16% de la matière totale. Or la masse totale de la Galaxie déduite de son étude dynamique est de 1000 à 2000 milliards de masses solaires, tandis que la masse de matière baryonique *visible* - étoiles, gaz interstellaire froid et chaud - est de 65 milliards de masses solaires. Si l'on suppose une proportion de baryons de 16% de la masse totale de matière, on en déduit qu'on devrait mesurer entre 160 et 320 milliards de masse baryonique dans la Galaxie. Où se cache donc celle qu'on ne voit pas ? Notons que notre Galaxie n'a pas le monopole de manquer de baryons, c'est le cas de la plupart des galaxies, en particulier des moins massives.

On suspecte depuis longtemps qu'une partie au moins de la masse baryonique se trouve sous forme d'un gaz très chaud, détectable seulement en rayons X. Au cours de ces dernières années, les chercheurs ont tenté de nombreuses expériences pour localiser ce dans la Galaxie. Ce n'est pas une tâche facile, car les deux principales méthodes pour y parvenir donnent seulement le nombre total de particules sur la ligne de visée² [2] (électrons ou bien atomes d'oxygène fortement ionisés). Elles ne permettent pas de distinguer de quel côté le gaz se trouve par rapport au centre galactique, et surtout, on ignore s'il est distribué de façon homogène ou sous forme de nuages denses. On est donc contraint de recourir à des modèles, comme par exemple supposer que le gaz chaud est distribué sphériquement.

En utilisant les archives de la mission XMM/Newton, une petite équipe conduite par un Italien (arXiv:1604.08210v2, Nicastro et al.) vient d'annoncer avoir découvert la présence de grandes quantité de gaz à plusieurs millions de degrés traversant la Galaxie et s'étendant jusqu'à une distance de 300000 années-lumière. Mais par contre il semble absent dans une région d'environ 18000 années-lumière au centre de la Galaxie

² [2] L'une des deux méthodes - celle qui est utilisé dans l'article cité - consiste à mesurer dans plusieurs directions les intensités des raies en absorption ou en émission des ions d'oxygène 7 fois ionisé (atome d'oxygène ayant perdu tous ses électrons sauf un). Le gaz chaud contient en effet beaucoup d'oxygène sous cette forme. Ces raies se trouvent dans le domaine des rayons X. On peut alors estimer soit le nombre d'ions d'oxygène 7 sur la ligne de visée (raie en absorption) soit le nombre total d'ions d'oxygène 7 (raie en émission). Moyennant des hypothèses sur le rapport entre l'oxygène 7 et la quantité totale d'oxygène, ainsi que sur le rapport entre la masse d'oxygène et la masse de gaz, on en déduit la quantité totale de gaz chaud.

Comment expliquer cette bulle vide ? Pourquoi le gaz chaud ne s'est-il pas répandu uniformément dans la Galaxie ? C'est ici que nous devons en revenir à l'actualité du mois dernier, dans laquelle nous constatons l'absence d'étoiles jeunes au centre du disque. Comme si le gaz où elle naissent avait brusquement disparu il y a cinq ou six millions d'années. Or chasser ce gaz nécessite une énorme quantité d'énergie. La façon la plus naturelle d'en créer est de disposer d'un trou noir supermassif, et nous savons qu'il en existe un au centre de la Galaxie, Sagittarius A*. Il est très calme en ce moment, mais nous savons qu'il a été assez actif il y a quelques centaines d'années, et de là à supposer qu'il a traversé une période de forte activité digne de celle d'un quasar il y a quelques millions d'années, il n'y a qu'un pas. Il est franchi d'autant plus facilement que nous savons qu'il s'est effectivement « passé quelque chose » il y a quelques millions d'années, comme en témoigne l'existence d'un amas compact d'étoiles autour de Sagittarius A*: il a dû se former lors d'un épisode d'accrétion pendant lequel de grands nuages moléculaires passant au voisinage du trou noir ont été attirés par lui et l'ont abondamment nourri, le rendant extrêmement lumineux et capable de chasser le gaz de son environnement. Il suffisait pour cela qu'une fraction de masse solaire de gaz tombe chaque année sur le trou noir.

Par ailleurs la masse totale de gaz chaud autour de la Galaxie, déduite par les auteurs de l'article, serait de 130 milliards de masses solaires, ce qui correspondrait effectivement à la masse baryonique manquante. Espérons que les futures missions spatiales X programmées dans la prochaine décennie apporteront une réponse définitive à ce problème, comme à celui des autres galaxies... et nous fourniront d'autres indications sur l'activité passée de notre trou noir supermassif.