

Proto-amas de galaxies

Le proto-amas COSTCO-I

Basé sur un communiqué Keck Observatory

Les observations faites avec le télescope Keck à Hawaii ont conduit à la découverte, dans l'Univers primitif, d'un proto-amas de galaxies entouré de gaz étonnamment chaud. Ce gaz brûlant baigne toute une collection de galaxies dénommée COSTCO-I. On l'observe lorsque l'Univers était plus jeune de 11 milliards d'années, une époque où le gaz qui remplissait la majeure partie de l'espace intergalactique était nettement plus froid. Au cours de cette ère connue sous le nom de « midi cosmique », les galaxies connaissent un pic de formation d'étoiles. Il y avait beaucoup de gaz froid dont elles avaient besoin pour se développer, avec des températures de l'ordre de 10 000 K.

En revanche, le gaz associé à COSTCO-I semble en avance sur son âge et montre des températures caractéristiques du milieu intergalactique actuel, le WHIM (Warm-Hot Intergalactic Medium), allant de 100 000 à plus de 10 millions de K.

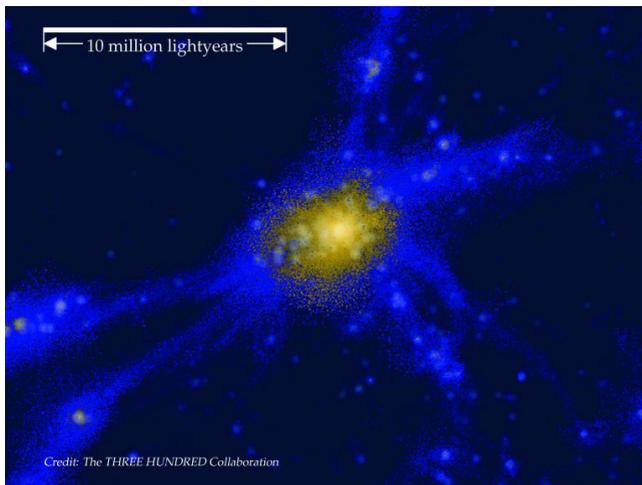
C'est la première fois que des astrophysiciens ont identifié les caractéristiques du milieu intergalactique moderne dans une région aussi jeune de l'Univers – un quart de son âge actuel.

Le proto-amas de galaxies a une masse totale de plus de 400 billions de fois la masse du Soleil et s'étend sur plusieurs millions d'années-lumière.

Alors que les astronomes découvrent régulièrement des proto-amas de galaxies aussi éloignés, l'équipe a constaté quelque chose d'étrange dans les spectres ultraviolets de COSTCO-I. Normalement, vu sa masse, le proto-amas aurait dû montrer en absorption la signature de l'hydrogène neutre, mais ce n'était pas le cas.

L'absorption par l'hydrogène est l'un des moyens habituels de rechercher des proto-amas de galaxies, et d'autres proto-amas situés près de COSTCO-I montrent bien cette absorption.

L'absence d'hydrogène neutre implique que le gaz a une température pouvant atteindre des millions de degrés, bien au-dessus de l'état



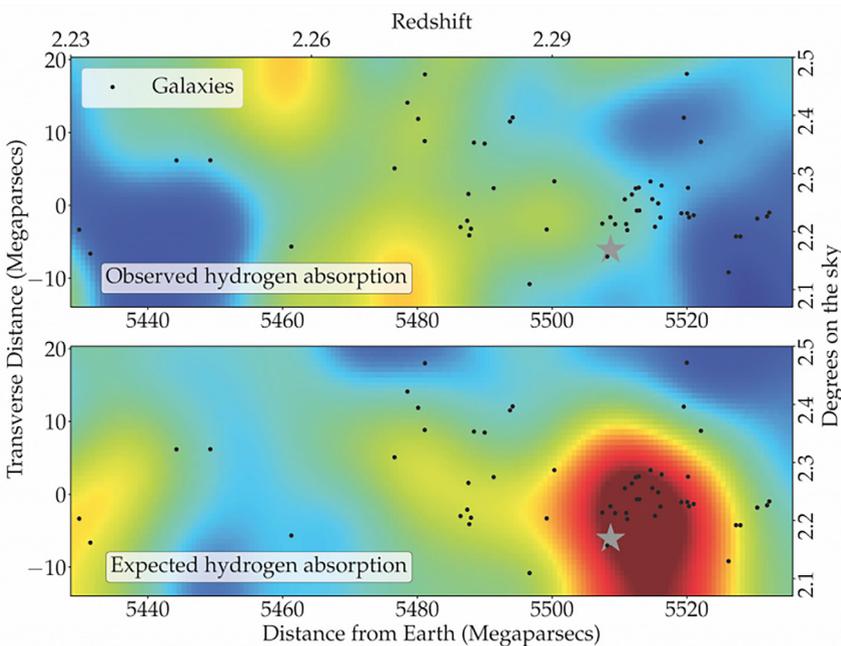
Visualisation d'un scénario d'échauffement autour d'un proto-amas de galaxies. Ce scénario construit à l'aide de simulations sur superordinateurs pourrait être semblable à celui observé dans COSTCO-I. La zone jaune au centre de l'image représente une énorme bulle de gaz chaud couvrant plusieurs millions d'années-lumière. La couleur bleue indique un gaz plus froid situé dans les régions extérieures du proto-amas et dans les filaments reliant le gaz chaud à d'autres structures. Les points blancs incrustés dans la distribution de gaz sont la lumière émise par les étoiles. (Three Hundred Collaboration)

froid attendu du milieu intergalactique à cette époque lointaine.

Les propriétés et l'origine du WHIM restent l'une des plus grandes questions en astrophysique. Apercevoir l'un des plus anciens sites du WHIM aidera à révéler les mécanismes qui échauffent le gaz. Parmi les possibilités envisagées par les astronomes, il y a soit l'échauffement des gaz lorsque les nuages entrent en collision lors d'un effondrement gravitationnel, soit des jets radio géants qui pourraient pomper de l'énergie à partir de trous noirs supermassifs.

Le milieu intergalactique sert de réservoir de gaz pour alimenter les galaxies en matière première. Les gaz chauds se comportent différemment des gaz froids, ce qui détermine la facilité avec laquelle ils peuvent pénétrer dans les galaxies pour former des étoiles. Être capable d'étudier directement la croissance du WHIM dans l'Univers primitif permettra aux astronomes de construire une image cohérente de la formation des galaxies et du cycle de vie du gaz qui l'alimente.

Comparaison de l'absorption par l'hydrogène observée au voisinage du proto-amas de galaxies COSTCO-I (panneau supérieur), par rapport à l'absorption attendue compte tenu de la présence du proto-amas, calculée à partir de simulations informatiques. Une forte absorption d'hydrogène est indiquée en rouge, tandis qu'une faible absorption est indiquée en bleu ; l'absorption intermédiaire est indiquée par les couleurs vertes et jaunes. Les points noirs sur la figure montrent où les astronomes ont détecté des galaxies dans cette zone. À la position de COSTCO-I (marquée d'une étoile dans les deux panneaux), les astronomes ont constaté que l'absorption d'hydrogène observée n'est pas très différente de la valeur moyenne de l'Univers à cette époque. Ceci est surprenant car on s'attendrait à trouver une absorption d'hydrogène étendue couvrant des millions d'années-lumière dans cette région correspondant à la concentration élevée de galaxies observée. (Dong et al., 2023)



Le proto-amas de la Toile d'Araignée

Basé sur un communiqué ESO

Les amas de galaxies contiennent surtout du gaz, le « milieu intra-amas » (ICM, IntraCluster Medium). Si l'on connaît assez bien la physique des amas, les premières phases de formation du milieu ICM restent assez mystérieuses, faute d'observations.

L'ICM n'avait été étudié que dans les amas proches entièrement formés. Grâce au réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), les astronomes ont découvert un grand réservoir de gaz chaud dans l'amas de galaxies encore en formation autour de la galaxie de la Toile d'Araignée. Les amas de galaxies comptent parmi les plus grands

*L'amas de galaxies autour de la galaxie de la Toile d'Araignée (MRC 1138-262). L'image montre des galaxies à une époque où l'Univers n'avait que 3 milliards d'années. En raison de la masse contenue dans le gaz, le proto-amas est en train de devenir un amas massif maintenu par sa propre gravité.
(ESO/H. Ford)*



objets de l'Univers et ce résultat révèle une fois de plus la précocité de la formation de ces structures.

Depuis plus d'une décennie, les simulations cosmologiques prédisent la présence de gaz chaud dans les amas de galaxies. Leurs masses sont si grandes que le gaz est attiré vers le centre et se réchauffe en tombant.

La recherche d'une telle confirmation observationnelle a conduit les astronomes à observer l'un des candidats les plus prometteurs de proto-amas. Il s'agit du proto-amas de la Toile d'Araignée, situé à une époque où l'Univers n'avait que 3 milliards d'années. Bien qu'il s'agisse du proto-amas le plus étudié, la présence d'un ICM n'avait pu être démontrée. La découverte d'un grand réservoir de gaz chaud indiquerait que le système est en passe de devenir un véritable amas de galaxies et ne risque pas de se disperser.

L'ICM du proto-amas de la Toile d'Araignée a été détecté grâce à l'effet thermique Sunyaev-Zeldovich (SZ). Cet effet se produit lorsque la lumière du fond diffus cosmologique, le rayonnement résiduel du Big Bang, traverse l'ICM. Les photons interagissent avec les électrons en mouvement rapide dans

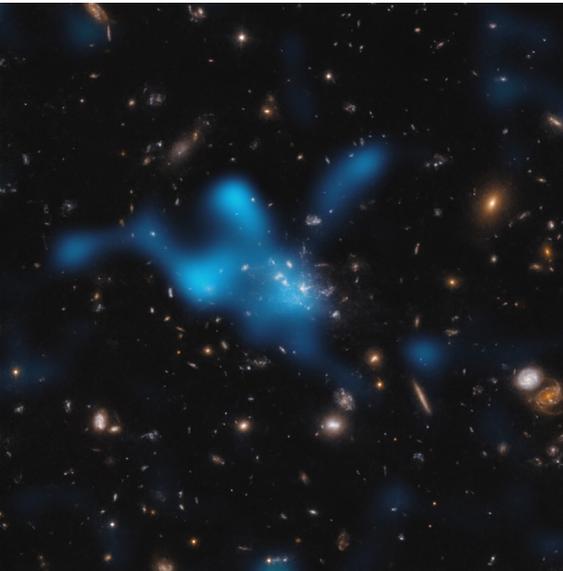
le gaz chaud, et leur longueur d'onde change légèrement. L'effet SZ apparaît donc comme une ombre qui révèle l'amas sur le fond diffus cosmologique.

En mesurant ces ombres, les astronomes peuvent estimer la masse de gaz chaud et cartographier sa forme. Grâce à sa résolution et à sa sensibilité inégalées, ALMA est la seule installation actuellement capable d'effectuer une telle mesure pour les lointains progéniteurs d'amas massifs.

Les chercheurs ont déterminé que le gaz chaud de l'amas de la Toile d'Araignée a une température de quelques dizaines de millions de degrés Celsius. Auparavant, du gaz froid y avait été détecté, mais la masse de gaz chaud découverte lors de cette nouvelle étude est plusieurs milliers de fois plus grande. Cette découverte montre que l'amas de galaxies de la Toile d'Araignée devrait effectivement se transformer en un amas de galaxies massif dans environ 10 milliards d'années, sa masse augmentant d'au moins un facteur dix.

Ce système présente d'énormes contrastes. La composante thermique chaude détruira une grande partie de la composante froide au cours de l'évolution du système.

Ce système confirme par l'observation les prédictions théoriques de longue date sur la formation des plus grands objets de l'Univers.



Le proto-amas autour de la galaxie de la Toile d'Araignée (MRC 1138-262). La majeure partie de la masse du proto-amas ne réside pas dans les galaxies visibles au centre de l'image, mais dans le gaz du milieu intra-amas (ICM) représenté ici en bleu.

(ESO/Di Mascolo et al. ; HST : H. Ford)

Le proto-amas A2744-z7p9OD

Basé sur un communiqué NASA

Un autre proto-amas de galaxies, A2744-z7p9OD, a été identifié par d'autres moyens. Il s'agit d'un groupe de sept galaxies qui a été mesuré à un redshift 7,9, soit à peine 650 millions d'années après le Big Bang. Sur la base des données recueillies, les astronomes ont calculé le développement futur de l'amas naissant, constatant qu'il augmentera probablement en taille et en masse pour ressembler à l'amas Coma, un monstre de l'Univers moderne.

C'est le télescope spatial JWST qui a permis de mesurer les vitesses de ces sept galaxies et de confirmer en toute confiance qu'elles sont reliées par la gravitation.

Les mesures obtenues par le spectrographe proche infrarouge NIRSpc ont été essentielles pour confirmer la distance des galaxies et les vitesses élevées auxquelles elles se déplacent dans un halo de matière noire – de l'ordre de mille kilomètres par seconde.

Grâce aux données spectrales, les astronomes ont pu modéliser et cartographier le développement futur du groupe jusqu'à l'époque actuelle. La prédiction selon laquelle le proto-amas ressemblera éventuellement à l'amas de Coma signifie qu'il pourrait figurer parmi les groupements de galaxies les plus denses connus, avec des milliers de membres.

Les amas de galaxies sont les plus grandes concentrations de masse connues. Elles peuvent déformer considérablement le tissu de l'espace-temps et agir comme lentilles gravitationnelles, permettant aux astronomes de regarder plus loin qu'ils ne le pourraient en leur absence. C'est ainsi que les galaxies de A2744-z7p9OD ont été découvertes à travers l'amas de Pandore, Abell 2744. Même les puissants instruments du JWST ont besoin d'une aide de la nature pour voir aussi loin.

En raison du grand redshift, dû à l'expansion de l'Univers, le spectre de ces objets est décalé dans l'infrarouge, où les astronomes manquaient de données à haute résolution avant le JWST. Les instruments infrarouges de ce télescope spatial ont été développés spécifi-

quement pour combler ces lacunes et pouvoir scruter les débuts de l'Univers.

Les sept galaxies en question avaient été proposées comme candidates à l'observation à l'aide des données du programme Frontier Fields du télescope spatial Hubble. Le programme tirait parti des lentilles gravitationnelles, pour observer en détail des galaxies très éloignées. Cependant, comme Hubble ne peut pas détecter la lumière au-delà du proche infrarouge, c'est le JWST qui reprit l'enquête, se concentrant sur les galaxies repérées par Hubble et rassemblant des données spectroscopiques détaillées en plus de l'imagerie.

L'amas de Pandore Abell 2744 agit comme lentille et permet au JWST d'observer des galaxies beaucoup plus lointaines.

Les astronomes ont utilisé le spectrographe proche infrarouge NIRSpc pour mesurer avec précision les distances et déterminer qu'un groupe de quelques galaxies fait partie d'un amas en développement. La galaxie YD4, que l'on avait d'abord cru située encore plus loin, à partir de données d'imagerie, a pu être placée au même redshift que les autres galaxies. Avant le JWST, les astronomes ne disposaient pas d'imagerie haute résolution ou de données infrarouges spectrales pour faire ce type d'étude.

(NASA, ESA, CSA, Takahiro Morishita/IPAC, Alyssa Pagan/STScI)



