

Les quasars lointains seraient tous entourés de halos gigantesques

Une collaboration internationale pilotée par un astronome suisse et dans laquelle plusieurs laboratoires français sont impliqués vient de découvrir que *tous* les quasars lointains sont entourés de halos gigantesques de gaz relativement froid, contrairement à ce que l'on croyait auparavant.

Les quasars, ces objets très lumineux et lointains dont nous parlons souvent dans ces colonnes, sont des noyaux de galaxies en cours de formation, mais possédant déjà en leur cœur un trou noir supermassif absorbant du gaz à un rythme très élevé. C'est ce qui leur permet de rayonner autant. Les modèles cosmologiques montrent par ailleurs que le gaz intergalactique joue un rôle déterminant dans la formation et l'évolution des galaxies. Il est malheureusement très difficile à détecter directement à cause de sa nature diffuse, et c'est l'observation de la raie Lyman alpha de l'hydrogène produite par le gaz intergalactique situé sur la ligne de visée et se profilant par conséquent en *absorption* dans le spectre de quasars lointains, qui fournit l'essentiel de nos connaissances sur ce gaz. Malheureusement, il s'agit d'études à une dimension sur des objets rares, donc passer de là à des résultats à trois dimensions est extrêmement difficile. Or pour comprendre l'influence du gaz intergalactique, il faut avoir une idée de sa distribution dans l'espace.

Récemment, des images directes dans la raie Lyman alpha en *émission*, obtenues pour un certain nombre de quasars situés à des redshifts environ de 2¹ [1], ont révélé que certains sont entourés par de gigantesques nébuleuses gazeuses. On a ainsi découvert des nébuleuses d'un diamètre de plus d'un million d'années-lumière entourant deux quasars, que l'on a appelé les nébuleuses « slug » (pour « mollusque », en l'honneur de la mascotte de l'équipe qui l'a découverte !), et « jackpot ». Les quasars dont nous parlons sont les plus courants, et ne rayonnent pas dans le domaine radio. Dix pourcents d'entre eux sont entourés de nébulosités. Mais ce n'est pas le cas pour les quasars rayonnant en radio, ainsi que pour les quasars non radio les plus lumineux, dont au moins 80% montrent des nébulosités géantes. C'est un point important pour la suite, comme on va le voir.

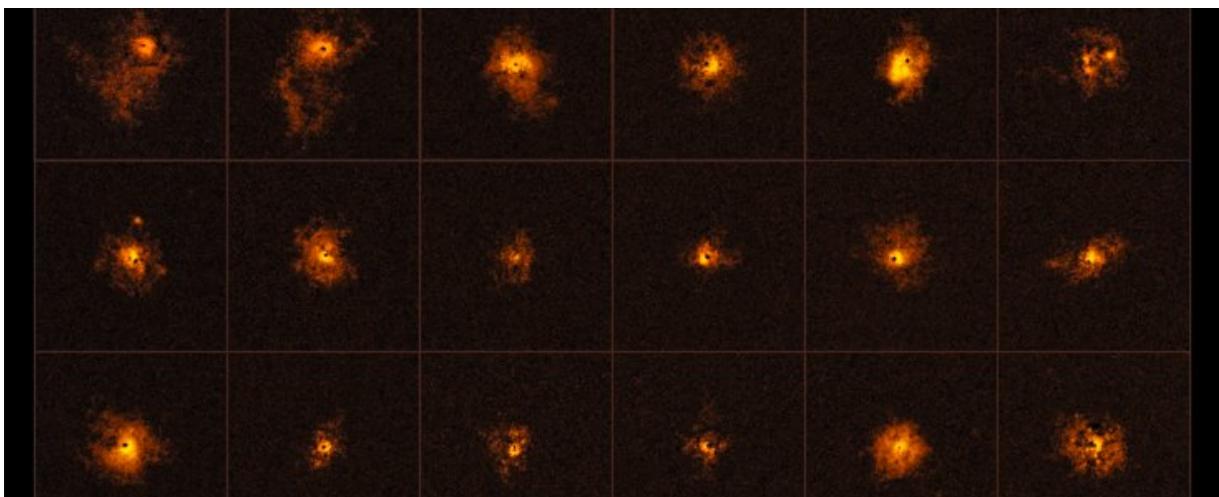
¹ [1] Rappelons que le redshift ou décalage spectral vers le rouge traduit la distance d'un objet ou l'époque à laquelle cet objet a vécu. Un redshift de 2 correspond à une époque de 3,3 milliards d'années après le Big-Bang (la valeur erronée de 2,3 a été donnée dans le numéro précédent de l'Astronomie), et un redshift de 4 à 1,5 milliard d'années après le Big-Bang, celui-ci ayant eu lieu il y a 13,8 milliards d'années. Noter que pour obtenir une image de l'environnement d'un quasar dans la raie Lyman alpha, il faut avoir déterminé préalablement le redshift z du quasar, et l'observer avec un filtre étroit centré sur la longueur d'onde $121,3(1+z)$ nanomètres. Noter aussi que les dimensions des nébuleuses indiquées dans l'article correspondent à la valeur qu'elles auraient *actuellement*. A l'époque où elles ont vécu, elles étaient beaucoup plus petites.

Une équipe internationale conduite par des astronomes suisses, dans laquelle plusieurs laboratoires français sont impliqués (Elena Borisova et al., arXiv:1605.01422v3, à paraître dans *Astrophysical Journal*), vient de publier les résultats d'une étude de quasars lointains qui pourrait remettre en cause les idées sur la formation des grandes structures. Ces astronomes ont utilisé l'instrument MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) installé récemment sur le VLT (Very Large Telescope) de l'ESO au Chili, et l'ont braqué sur 17 quasars lumineux non radio, et 2 quasars radio, de redshifts compris entre 3 et 4. MUSE est un spectrographe intégral de champ ou spectrographe 3D, à la fois imageur et spectrographe. Il permet donc de découvrir les raies Lyman alpha en absorption et/ou en émission dans l'environnement du quasar, et non pas seulement sur sa ligne de visée. En outre, il n'est pas nécessaire de connaître a priori le redshift du quasar. Les résultats sont surprenants, car l'équipe a trouvé que *tous* les quasars sont entourés d'une nébulosité ayant une taille typique de plusieurs centaines de milliers d'années-lumière, alors que l'on n'attendait que deux nébulosités.

La question qui se pose alors est la suivante : est-ce que ces 19 quasars sont « normaux », et tout simplement les capacités extraordinaires de l'instrument MUSE permettent de détecter des nébulosités là où les instruments précédents n'en trouvaient pas ? Ou bien s'agit-il d'objets différents des quasars observés précédemment, parce que plus lointains, donc ayant vécu dans un Univers plus jeune ? Des observations plus poussées permettront, à l'avenir, d'accréditer l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Autre résultat étonnant : l'étude détaillée des raies spectrales permet de conclure que les nébulosités sont constituées de gaz relativement froid (dix mille degrés), alors que les modèles actuels de formation des galaxies suggèrent que le gaz entourant les galaxies en formation devrait avoir une température de plusieurs millions de degrés. Or une telle température est en contradiction avec les largeurs et les rapports d'intensité des raies spectrales observées (car non seulement on peut observer Lyman alpha, mais différentes autres raies, comme celles du carbone deux ou trois fois ionisé).

Bref, beaucoup de questions sont soulevées par les capacités extraordinaires de ce nouvel instrument, MUSE, mis en service par l'ESO. Combinées avec des modèles théoriques, ces observations vont permettre de faire progresser considérablement nos connaissances de la formation des structures cosmiques.



Cette mosaïque montre 18 des 19 quasars observés. On voit que chacun est entouré d'un halo brillant. Crédit: ESO/Borisova et al.

Nouvelles observations de disques protoplanétaires

Des observations effectuées à l'aide de l'instrument SPHERE équipant le Very Large Telescope de l'ESO ont mis en évidence l'existence de structures surprises au sein des disques protoplanétaires entourant les étoiles jeunes.

Nous savons que les planètes se forment autour des étoiles jeunes à partir de disques de gaz et de poussière appelés disques protoplanétaires. Les particules piégées au sein de ces disques entrent en collision, se combinent les unes aux autres, et donnent naissance à des objets de dimensions variables, petits comme des astéroïdes, ou grands comme des planètes. Dès qu'un objet massif comme une planète est formé, il parcourt le disque avec une vitesse légèrement différente de celle du gaz environnant tout en le capturant, et y crée un vide et des renflements circulaires. L'interaction entre les disques et les planètes sculpte donc en quelque sorte les disques, leur donnant la forme d'anneaux étendus possédant des bras spiraux et des vides plus ou moins profonds. Toutefois, les détails de l'évolution de ces disques de formation planétaire demeurent en grande partie méconnus.

Depuis quelques années le nombre d'exoplanètes (c'est à dire de planètes tournant autour d'étoiles autres que le Soleil) a littéralement explosé (presque 3000 à ce jour). Plusieurs équipes ont alors utilisé SPHERE (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch), un instrument récemment installé sur le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO, afin de mieux comprendre l'évolution des systèmes planétaires autour de ces étoiles.

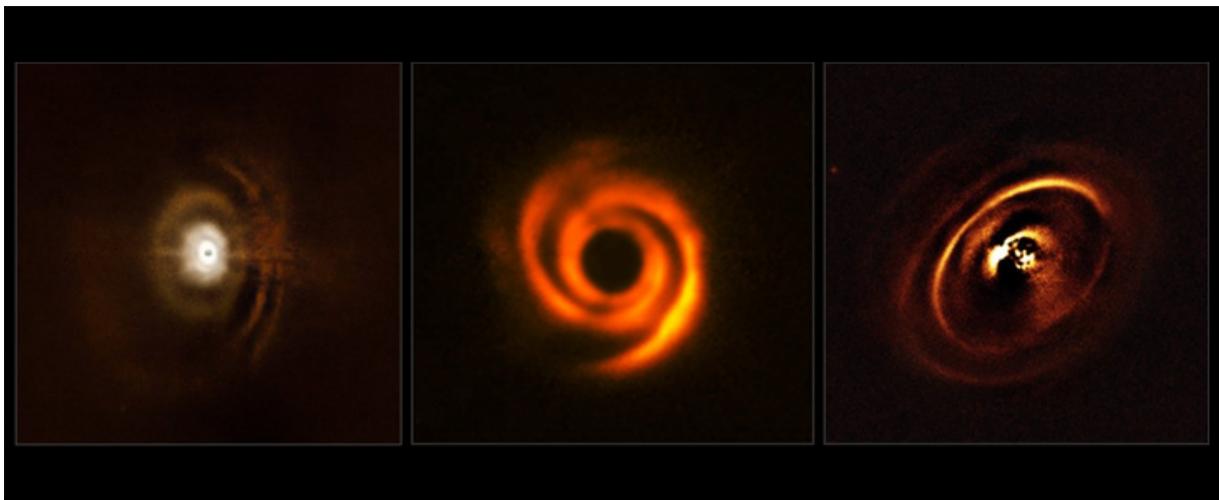
Ainsi que l'instrument MUSE de l'ESO dont il est question dans une autre actualité (« Les quasars lointains seraient tous entourés de halos gigantesques »), SPHERE a montré ses capacités exceptionnelles d'imagerie directe. Cet instrument, qui comprend un système d'optique adaptative, un coronographe et un polarimètre (ZIMPOL), permet en effet d'observer la lumière réfléchiée et par conséquent d'amplifier les contrastes créés par les variations d'épaisseur et les ondulations des disques protoplanétaires, moyennant une analyse minutieuse et complexe des observations. Plusieurs articles ont été publiés sur le sujet ces derniers mois.

Par exemple, une équipe menée par un astronome hollandais (De Boer et al. Arxiv-RXJ1615-v7, à paraître dans *Astronomy & Astrophysics*) a découvert un système d'anneaux concentriques symétriques autour de l'étoile RXJ1615 située dans la constellation du Scorpion et distante de 600 années-lumière de la Terre. Cette symétrie constitue déjà en elle-même un résultat surprenant, la plupart des systèmes protoplanétaires possèdent des bras spiraux asymétriques. De plus le système paraît n'être âgé que de 1,8 millions d'années, alors que les autres disques protoplanétaires détectés à ce jour sont plus évolués.

Par opposition, une image spectaculaire d'un disque asymétrique autour de l'étoile HD135344B située dans la constellation du Scorpion et distante de 450 années-lumière de la Terre a été obtenue par une équipe d'astronomes hollandais (T. Stolker et al. , arXiv:1603.00481v3, à paraître dans *Astronomy & Astrophysics*, en fait il s'agit

essentiellement toujours de la même équipe, mais chaque objet a son leader). Bien que cette étoile ait été bien étudiée par le passé, SPHERE a permis de voir le disque protoplanétaire de manière bien plus détaillée qu'auparavant. La cavité centrale et les deux grandes structures semblables à des bras spiraux ont sans doute été créées par une ou plusieurs protoplanètes massives, destinées à devenir des planètes du type Jupiter. En outre on observe quatre stries qui sont probablement des ombres générées par le mouvement de la matière au sein du disque. L'une des stries a changé d'aspect au cours des mois, révélant en temps réel comment évoluent les régions internes du disque.

Les observations obtenues à l'ESO avec l'instrument SPHERE vont, n'en doutons pas, se développer considérablement dans les années à venir. Elles montrent que l'environnement des étoiles jeunes est complexe et changeant, et vont contribuer à une meilleure compréhension des disques protoplanétaires et de la formation des planètes.



Quelques exemples de disques protoplanétaires observés par SPHERE. Crédit ESO.

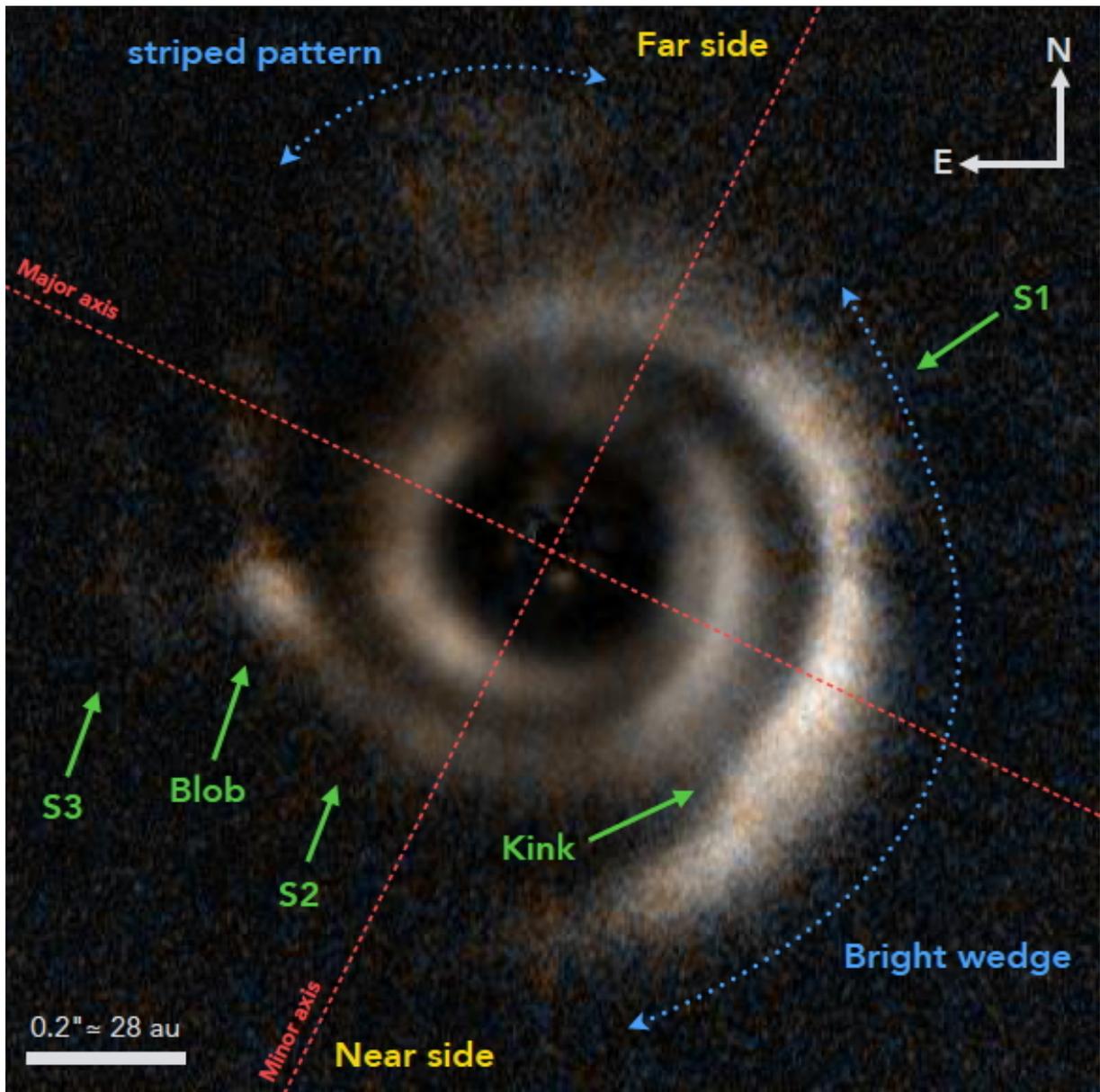


Image composite du disque protoplanétaire de l'étoile HD 135344B, obtenue avec ZIMPOL et montrant différents objets identifiés dans le disque. Crédit Stolker et al., arXiv:1603.00481v3, à paraître dans *Astronomy & Astrophysics*.