

Annuaire du Collège de France

121^e année

2020
2021

Résumé des cours et travaux



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —



Annuaire du Collège de France

Cours et travaux du Collège de France

121 | 2024
2020-2021

Galaxies et cosmologie

Françoise Combes



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/annuaire-cdf/19930>

DOI : 10.4000/12kv3

ISBN : 978-2-7226-0778-1

ISSN : 2109-9227

Éditeur

Collège de France

Édition imprimée

Date de publication : 18 novembre 2024

Pagination : 165-171

ISBN : 978-2-7226-0777-4

ISSN : 0069-5580

Ce document vous est fourni par Collège de France



Référence électronique

Françoise Combes, « Galaxies et cosmologie », *L'annuaire du Collège de France* [En ligne], 121 | 2024, mis en ligne le 01 octobre 2024, consulté le 28 novembre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/annuaire-cdf/19930> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/12kv3>

Le texte et les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés), sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

GALAXIES ET COSMOLOGIE

Françoise Combes

Membre de l'Institut (Académie des sciences),
professeure au Collège de France

ENSEIGNEMENT

L'enseignement n'a pas eu lieu.

RECHERCHE

LES TORES MOLÉCULAIRES, RÉSERVOIRS DE GAZ POUR ALIMENTER LES TROUS NOIRS AU CENTRE DES GALAXIES

Nous avons obtenu et discuté les premiers résultats avec ALMA du projet GATOS (*Galaxy Activity, Torus and Outflow Survey*), un projet visant à comprendre les propriétés des tores moléculaires et leur connexion à la galaxie hôte dans les galaxies de Seyfert proches. Ce projet élargit la gamme des luminosités des noyaux actifs observés par ALMA et nous permet d'étudier l'alimentation en gaz et le cycle de rétroaction dans un échantillon de 19 Seyferts. Nous avons utilisé les raies CO(3-2) et HCO+(4-3) ainsi que l'émission de la poussière sous-jacente à 870 microns avec des résolutions spatiales élevées (0,1" ~ 7 – 13 pc). Pour la plupart des sources, les disques sont perpendiculaires aux axes des vents et jets issus du noyau. Nous trouvons une corrélation positive entre les densités de colonnes de gaz déduites de l'absorption des rayons X et les densités de colonnes de gaz moléculaires dérivées de l'émission CO. Il existe des déficits en gaz moléculaire dans le noyau, en corrélation avec des flots moléculaires, suggérant l'impact de la rétroaction AGN.

D'autre part, nous avons comparé les images obtenues avec ALMA des tores moléculaires avec celles qui ont été obtenues en infrarouge moyen : celles-ci sont pratiquement toujours perpendiculaires ou très inclinées par rapport au disque,

compatibles avec une éjection polaire. Selon la densité de colonne d'hydrogène nucléaire NH, la moitié de l'échantillon peut être représentée par les éjections des simulations. Dans l'autre moitié, le NH nucléaire pourrait être trop élevé pour que de grandes quantités de matière soient éjectées le long de la direction polaire. Nous avons construit de nouvelles images de modèle disque-vent CAT3D-WIND. Si le vent est faible, les images du modèle ont des morphologies en forme de disque et d'anneau. Dans le cas de fort vent étendu, la forme en X est observée, à des inclinaisons intermédiaires-élevées. Dans la plupart des modèles, l'émission IR-moyen provient de la partie interne du disque/cône. Ces deux articles GATOS-I et II fournissent un support d'observation pour le scénario tore + vent, surtout pour les luminosités et rapport d'Eddington élevés.

LES GALAXIES AVEC DES SPECTRES DOUBLE-PIC

Nous avons sélectionné, parmi l'échantillon SLOAN de milliers de galaxies, les spectres qui révélaient des doubles pics dans leur raies d'émission (H α + [NII], [OIII] et H β). La nature de ces doubles pics est encore mal comprise. Certains peuvent être dus à la rotation, si le profil de densité du gaz est plat au centre, ou bien il s'agit de deux galaxies en interaction. Grâce à la spectro intégrale de champ MANGA, nous avons pu étudier un système où deux galaxies sont en train de fusionner. Nous avons mis en évidence la superposition de deux disques en contre-rotation distincts le long de la ligne de visée. Ces galaxies appartiennent toutes les deux à la séquence principale de formation d'étoiles, mais présentent des dispersions de vitesse stellaire perturbées. La galaxie principale présente une formation d'étoiles excentrée ainsi que des régions à haute métallicité excentrées supportant le scénario d'étoiles récentes, tandis que la galaxie secondaire héberge un noyau actif qui coïncide avec une émission radio étendue, comme un jet. La masse stellaire ainsi que les estimations de masse dynamique concordent avec un rapport de masse de 9 pour ces galaxies en pré-coalescence. Nos résultats démontrent comment une galaxie peut en cacher une autre et la pertinence d'une approche multi-composantes pour étudier des systèmes ambigus.

EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT SUR L'ÉVOLUTION DES GALAXIES

Dans deux articles du projet SEEDisCS (*Spatially Extended ESO Distant Cluster Survey*), nous avons étudié les effets d'environnement sur le gaz moléculaire des galaxies. Lorsque les galaxies spirales entrent dans l'amas de galaxies, leur gaz est balayé par le vent correspondant au gaz chaud émetteur en rayons X, et leur réservoir de gaz moléculaire alimentant la formation des étoiles s'amenuise sous l'effet de la pression dynamique. Nous avons observé l'émission CO(3-2) de plusieurs douzaines de galaxies avec ALMA. Ces sources sont situées à l'intérieur et autour de deux amas à *redshift* intermédiaire de $z = 0,5$, dans un rayon de cinq fois le rayon viriel de l'amas.

Ces galaxies ont été sélectionnées pour avoir des masses stellaires, des couleurs et des magnitudes similaires à celles d'un échantillon de comparaison de galaxies isolées, avec un décalage vers le rouge similaire tiré du *Blue Sequence Survey* (PHIBSS2) du plateau de Bure. Nous comparons la fraction de gaz froid, les taux de formation d'étoiles et leur efficacité (en terme de temps de consommation du gaz) de nos galaxies avec le sous-échantillon PHIBSS2. Alors que la plupart de nos galaxies (63 %) sont compatibles avec PHIBSS2, le reste tombe en dessous de la relation avec une faible fraction de gaz moléculaire. Ces galaxies ne sont pas compatibles avec la queue d'une distribution gaussienne, elles correspondent donc à une nouvelle population de galaxies avec des taux de formation d'étoiles normaux mais une faible teneur en gaz et des temps d'épuisement faibles ($\lesssim 1$ Gyr), absents des relevés précédents. Nous suggérons que l'activité de formation d'étoiles de ces galaxies n'a pas encore été diminuée par leur faible fraction de gaz moléculaire froid.

LES GALAXIES EN ABSORPTION DEVANT LES QUASARS, AVEC MEERKAT

Nous avons débuté le projet clé sur le précurseur de SKA, le télescope MeerKAT en Afrique du Sud. Les résultats commencent à arriver et, en particulier, nous avons observé le blazar PKS1830, amplifié par lentille gravitationnelle, et bien connu pour ses absorptions atomiques et moléculaires. Nous avons pu montrer l'absence de variation de l'absorption atomique depuis plusieurs années, jusqu'à 20 ans. Avec une nouvelle bande à basse fréquence, non encore utilisée auparavant, nous détectons en absorption les raies principales du radical OH 18 cm à $z = 0,89$ avec un rapport signal sur bruit sans précédent (4 000 dans le continuum, dans chaque canal de 6 km/s de large). Pour la première fois, nous avons détecté les raies satellites de OH, qui jusqu'à présent n'avaient été détectées que jusqu'à $z > 0,25$. Nous décomposons les raies OH en une contribution thermique et une contribution maser stimulée, où les raies de 1 612 et 1 720 MHz sont conjuguées. Il s'agit de la raie maser à 1 720 MHz la plus lumineuse connue et aussi parmi les plus lumineuses des mégamasers de la raie principale OH. Les composantes d'absorption des différentes images de la source d'arrière-plan échantillonnent différents trajets lumineux dans la galaxie lentille, et leur poids dans le spectre d'absorption totale devrait varier dans le temps sur des échelles de temps quotidiennes et mensuelles. Nous interprétons les spectres d'absorption à l'aide d'un modèle de galaxie lentille dérivé d'une simulation hydrodynamique à N corps, avec une morphologie similaire à son image optique du HST. Les raies d'absorption résultantes dépendent principalement du continuum et de la distribution radiale de la densité surfacique du gaz pour chaque espèce atomique et moléculaire. Nous montrons qu'il est possible de reproduire les observations en supposant un disque de galaxie spirale réaliste sans faire appel à des éjections de gaz.

LES GALAXIES ULTRALUMINEUSES, À FLAMBÉE D'ÉTOILES

Certaines galaxies infrarouges lumineuses et ultralumineuses (LIRG et ULIRG) hébergent des noyaux extrêmement compacts ($r < 100$ pc) et poussiéreux. La forte extinction associée à de grandes densités de gaz rend ces objets difficiles à détecter à de nombreuses longueurs d'onde. Le rayonnement infrarouge intense provenant de la poussière chaude dans ces sources peut fournir une fraction importante de la luminosité bolométrique de la galaxie et est susceptible d'exciter les niveaux vibratoires de molécules telles que le HCN. Nous avons mené des observations avec ALMA de la transition rotationnelle $J = 3-2$ de HCN-vib dans un échantillon limité en volume de 46 galaxies lumineuses dans l'infrarouge lointain. Ceci a permis d'identifier des noyaux obscurcis et compacts dans 38 % des ULIRG, 21 % des LIRG, et 0 % des galaxies de faible luminosité. Nous ne trouvons aucune dépendance vis-à-vis de l'inclinaison de la galaxie hôte, mais des preuves solides de rapports de densité de flux IRAS (f_{25}/f_{60} microns) inférieurs dans les noyaux compacts par rapport au reste des galaxies. Dans l'Univers local, les noyaux compacts se trouvent principalement dans les (U)LIRG, dans lesquels ils sont remarquablement communs. Les rapports f_{25}/f_{60} inférieurs ainsi que les résultats des diagnostics dans l'infrarouge moyen sont cohérents avec l'idée que les grandes colonnes de poussière déplacent progressivement le rayonnement du noyau chaud vers la photosphère plus froide, visible à des longueurs d'onde plus grandes.

PUBLICATIONS

Alonso-Herrero A., Garcia-Burillo S., Hoenig S.F., Garcia-Bernete I., Ramos Almeida C., Gonzalez-Martin O., Lopez-Rodriguez E., Boorman P.G., Bunker A.J., Burtscher L., Combes F., Davies R., Diaz-Santos T., Gandhi P., Garcia-Lorenzo B., Hicks E.K.S., Hunt L.K., Ichikawa K., Imanishi M., Izumi T., Labiano A., Levenson N.A., Packham C., Pereira-Santaella M., Ricci C., Rigopoulou D., Roche P., Rosario D.J., Rouan D., Shimizu T., Stakevski M., Wada K. et Williamson D., « The Galaxy activity, Torus and outflow survey (GATOS): II. Torus and polar dust emission in nearby Seyfert galaxies », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 652, 2021, art. A99, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141219> [arXiv : 2107.00244].

Diaz-Garcia S., Lisenfeld U., Perez I., Zurita A., Verley V., Combes F., Espada D., Leon S., Martinez-Badenes V., Sabater J. et Verdes-Montenegro L., « Molecular gas and star formation within 12 strong galactic bars observed with IRAM-30m », en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2106.13099>.

Yadav J., Das M., Barway S. et Combes F., « A triple AGN in the NGC 7733-7734 merging group », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 651, 2021, art. L9, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141210> [arXiv : 2106.12441].

Mazzilli Ciraulo B., Melchior A.-L., Maschmann D., Katkov I.Y., Halle A., Combes F., Gelfand J.G. et Yazeedi A.A., « Interacting galaxies hiding into one, revealed by MaNGA », en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2106.07060>.

- Bewketu Belete A., Andreani P., Fernandez-Ontiveros J.A., Hatziminaoglou E., Combes F., Sirressi M., Slater R., Ricci C., Dasyra K., Ciccone C., Aalto S., Spinoglio L., Imanishi M. et De Medeiros J.R., « Molecular gas kinematics in the nuclear region of nearby Seyfert galaxies with ALMA », en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2105.06867>.
- Ghosh S., Saha K., Jog C.J., Combes F. et Di Matteo P., « Genesis of morpho-kinematic lopsidedness in minor merger of galaxies », en attente de publication dans *MNRAS*, <https://arxiv.org/abs/2105.05270>.
- Sperone-Longin D., Jablonka P., Combes F., Castignani G., Krips M., Rudnick G., Desjardins T., Zaritsky D., Finn R.A., De Lucia G. et Desai V., « SEEDisCS II. Molecular gas in galaxy clusters and their large scale structure: the case of CL1301.7-1139 », en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2105.02663>.
- Polles F.L., Salome P., Guillard P., Godard B., Pineau des Forets G., Olivares V., Beckmann R.S., Canning R.E.A., Combes F., Dubois Y., Edge A.C., Fabian A.C., Ferland G.J., Hamer S.L., Lehnert M.D., « Excitation mechanisms in the intracluster filaments surrounding Brightest Cluster Galaxies », GALSPEC2021, *essp.confE* 26, en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2103.09842>
- Garcia-Burillo S., Alonso-Herrero A., Ramos Almeida C., Gonzalez-Martin O., Combes F., Usero A., Hoenig S.F., Querejeta M., Hicks E.K.S., Hunt L.K., Rosario D.J., Davies R., Boorman P.G., Bunker A.J., Burtcher L., Colina L., Diaz-Santos T., Gandhi P., Garcia-Bernete I., Garcia-Lorenzo B., Ichikawa K., Imanishi M., Izumi T., Labiano A., Levenson N., Lopez-Rodriguez E., Packham C., Pereira-Santaella M., Ricci C., Rigopoulou D., Rouan D., Stakevski M., Wada K. et Williamson D., « The Galaxy Activity, Torus and Outflows Survey (GATOS): I. ALMA images of dusty molecular tori in Seyfert galaxies », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 652, 2021, art. A98, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141075> [arXiv : 2104.10227].
- Pereira-Santaella M., Colina L., Garcia-Burillo S., Lamperti I., Gonzalez-Alfonso E., Perna M., Arribas S., Alonso-Herrero A., Aalto S., Combes F., Labiano A., Piqueras-Lopez J., Rigopoulou D. et van der Werf P., « Physics of ULIRGs with MUSE and ALMA: The PUMA project: Physics of ULIRGs with MUSE and ALMA: The PUMA project: II. Are local ULIRGs powered by AGN? The subkiloparsec view of the 220 GHz continuum », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 651, 2021, art. A42, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140955> [arXiv : 2104.08238].
- O'Sullivan E., Kunert-Bajraszewska M., Siemiginowska A., Burke D.J., Combes F., Salomé P. et Giacintucci S., « The cluster-central compact steep-spectrum radio galaxy 1321+045 », *The Astrophysical Journal*, vol. 913, n° 2, 2021, art. 105, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abf6c6> [arXiv : 2104.04548].
- Polles F.L., Salome P., Guillard P., Godard B., Pineau des Forêts G., Olivares V., Beckmann R.S., Canning R.E.A., Combes F., Dubois Y., Edge A.C., Fabian A.C., Ferland G.J., Hamer S.L. et Lehnert M.D., « Excitation mechanisms in the intracluster filaments surrounding Brightest Cluster Galaxies », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 651, 2021, art. A13, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039730> [arXiv : 2103.09842].
- Noterdaeme P., Balashev S., Combes F., Gupta N., Srianand R., Krogager J.-K., Laursen P. et Omont A., « Remarkably high mass and high velocity dispersion of molecular gas associated with a regular, absorption-selected type-I quasar », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 651, 2021, art. A17, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202140745> [arXiv : 2103.09542].
- Gupta N., Srianand R., Shukla G., Krogager J.-K., Noterdaeme P., Combes F., Dutta R., Fynbo J.P.U., Hilton M., Momjian E., Moodley K. et Petitjean P., « Evolution of cold gas at $2 < z < 5$: A blind search for H I and OH absorption lines towards mid-infrared color selected

radio-loud AGN », *The Astrophysical Journal. Supplement Series*, vol. 255, n° 2, 2021, art. 28, <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ac03b5> [arXiv : 2103.09437].

Falstad N., Aalto S., Koenig S., Onishi K., Muller S., Gorski M., Sato M., Stanley F., Combes F., Gonzalez-Alfonso E., Mangum J.G., Evans A.S., Barcos-Munoz L., Privon G.C., Linden S.T., Diaz-Santos T., Martin S., Sakamoto K., Harada N., Fuller G.A., Gallagher J.S., van der Werf P.P., Viti S., Greve T.R., Garcia-Burillo S., Henkel C., Imanishi M., Izumi T., Nishimura Y., Ricci C. et Muehle S., « CON-quest: Searching for the most obscured galaxy nuclei », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 649, 2021, art. A105, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039291> [arXiv : 2102.13563].

Belli S., Contursi A., Genzel R., Tacconi L.J., Foerster-Schreiber N.M., Lutz D., Combes F., Neri N., Garcia-Burillo S., Schuster K.F., Herrera-Camus R., Tadaki K., Davies R.L., Davies R.I., Johnson B.D., Lee M.M., Leja J., Nelson E.J., Price S.H., Shangquan J., Shimizu T.T., Tacchella S. et Ubler H., « The diverse molecular gas content of massive galaxies undergoing quenching at $z \sim 1$ », *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 909, n° 1, 2021, art. L11, <https://doi.org/10.3847/2041-8213/abe6a6> [arXiv : 2102.07881].

Vantyghem A.N., McNamara B.R., O'Dea C.P., Baum S.A., Combes F., Edge A.C., Fabian A.C., McDonald M., Nulsen P.E.J., Russell H.R. et Salomé P., « A massive, clumpy molecular gas distribution and displaced AGN in Zw 3146 », *The Astrophysical Journal*, vol. 910, n° 1, 2021, art. 53, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abe306> [arXiv : 2102.02300].

Castignani G., Combes F., Jablonka P., Finn R.A., Rudnick G., Vulcani B., Desai V., Zaritsky D. et Salomé P., « Virgo filaments: Processing of gas in cosmological filaments around Virgo cluster », en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2101.04389>.

Sun F., Egami E., Rawle T.D., Walth G.L., Smail I., Dessauges-Zavadsky M., Pérez-González P.G., Richard J., Combes F., Ebeling H., Pello R., van der Werf P.P., Altieri B., Boone F., Cava A., Chapman S.C., Clément B., Finoguenov A., Nakajima K., Rujopakarn W., Schaerer D. et Valtchanov I., « ALMA 1.3 mm survey of lensed submillimeter galaxies (SMGs) selected by Herschel: Discovery of spatially extended SMGs and implications », *The Astrophysical Journal*, vol. 908, n° 2, 2021, art. 192, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abd6e4> [arXiv : 2101.03677].

Combes F., Gupta N., Muller S., Balashev S., Jozsa G.I.G., Srianand R., Momjian E., Noterdaeme P., Kloeckner H.R., Baker A.J., Boettcher E., Bosma A., Chen H.W., Dutta R., Jagannathan P., Jose J., Knowles K., Krogager J.K., Kulkarni V.P., Moodley K., Pandey S., Petitjean P. et Sekhar S., « PKS 1830-211: OH and H i at $z = 0.89$ and the first MeerKAT UHF spectrum », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 648, 2021, art. A116, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202040167> [arXiv : 2101.00188].

Sperone-Longin D., Jablonka P., Combes F., Castignani G., Krips M., Rudnick G., Zaritsky D., Finn R.A., De Lucia G. et Desai V., « SEEDisCS: I. Molecular gas in galaxy clusters and their large-scale structure: The case of CL1411.1-1148 at $z \sim 0.5$ », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 647, 2021, art. A156, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038904> [arXiv : 2012.09592].

Audibert A., Combes F., Garcia-Burillo S., Hunt L., Eckart A., Aalto S., Casasola V., Boone F., Krips M., Viti S., Muller S., Dasyra K., van der Werf P. et Martin S., « Black hole feeding and star formation in NGC 1808 », en attente de publication dans *Astronomy & Astrophysics*, <https://arxiv.org/abs/2011.09133>.

Mirakhor M.S., Walker S.A., Bagchi J., Fabian A.C., Barth A.J., Combes F., Dabhade P., Ho L.C. et Pandge M.B.: 2021, Exploring the hot gaseous halo around an extremely massive and relativistic jet launching spiral galaxy with *XMM-Newton* », *MNRAS*, vol. 500, n° 2, 2021, p. 2503-2513, <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3404> [arXiv : 2010.15131].

- Ciambur B.C., Fragkoudi F., Khoperskov S., Di Matteo P. et Combes F., « Double X/Peanut structures in barred galaxies: Insights from an N -body simulation », *MNRAS*, vol. 503, n° 2, 2021, p. 2203-2214, <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3814> [arXiv : 2003.00015].
- Ghosh S., Saha K., di Matteo P. et Combes F., « Fate of stellar bars in minor merger of galaxies », *MNRAS*, vol. 502, n° 2, 2021, p. 3085-3100, <https://doi.org/10.1093/mnras/stab238> [arXiv : 2008.04942].
- Gupta N., Jagannathan P., Srianand R., Bhatnagar S., Noterdaeme P., Combes F., Petitjean P., Jose J., Pandey S., Kaski C. *et al.*, « Blind H I and OH absorption line search: First results with MALS and uGMRT processed using ARTIP », *The Astrophysical Journal*, vol. 907, n° 1, 2021, art. 11, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abcb85> [arXiv : 2007.04347].
- Longobardi A., Boselli A., Fossati M., Villa-Vélez J.-A., Bianchi S., Casasola V., Sarpa E., Combes F., Hensler G., Burgarella D., Schimd C., Nanni A., Côté P., Buat V., Amram P., Ferrarese L., Braine J., Trinchieri G., Boissier S., Boquien M., Andreani P., Gwyn S. et Cuillandre J.-C., « A Virgo Environmental Survey Tracing Ionised Gas Emission (VESTIGE): VIII. Bridging the cluster-ICM-galaxy evolution at small scales », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 644, 2020, art. A161, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039020> [arXiv : 2010.02202].
- Markov V., Mei S., Salomé P., Combes F., Stern D., Galametz A., De Breuck C., Wylezalek D., Amodeo S., Cooke E.A., Gonzalez A.H., Hatch N.A., Noirot N., Rettura R., Seymour N., Stanford S.A. et Vernet J., « Massive molecular gas reservoir around the central AGN in the CARLA J1103 + 3449 cluster at $z = 1.44$ », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 641, 2020, art. A22, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038673> [arXiv : 2007.03706].
- Audibert A., Combes F., Garcia-Burillo S. et Dasyra K., « Feeding and feedback in nuclei of galaxies », *Proceedings of the International Astronomical Union*, vol. 15, S359 (*Galaxy evolution and feedback across different environments*), 2020, p. 307-311, <https://doi.org/10.1017/S1743921320002239> [arXiv : 2010.01974].
- de Blok W.G.J., Athanassoula E., Bosma A., Combes F., English J. *et al.*, « MeerKAT HI commissioning observations of MHONGOOSE galaxy ESO 302-G014 », *Astronomy & Astrophysics*, vol. 643, 2020, art. A147, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038894> [arXiv : 2009.09766].

