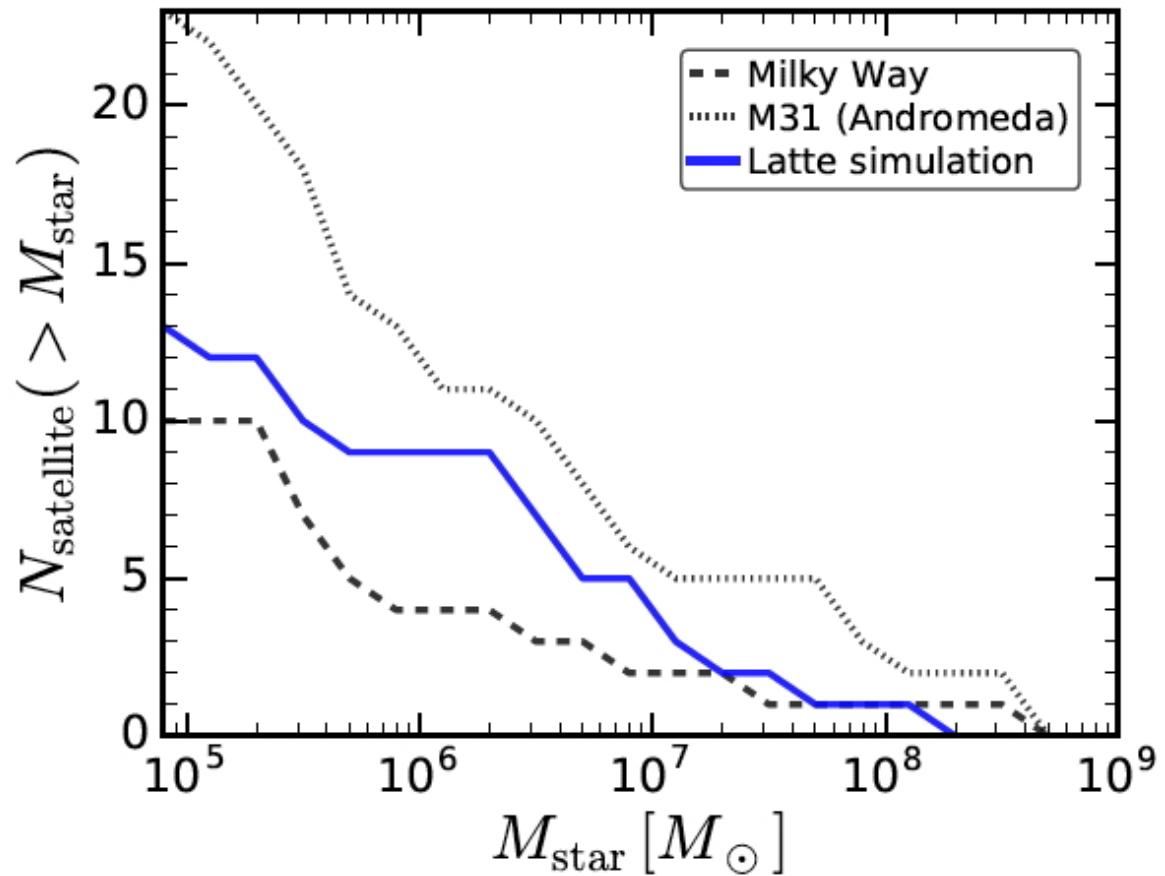


Un pas vers la résolution de l'énigme des galaxies naines

Les galaxies naines (celles qui ont une masse inférieure à un milliard de masse solaires) posent un problème grave au « modèle standard » de la cosmologie. C'est-à-dire au modèle contenant 3/4 de matière noire avec accélération de l'expansion, qu'on appelle le modèle « Lambda Cold Dark Matter » ou LCDM.

Jusqu'à maintenant, lorsqu'on simulait à l'aide de ce modèle la formation des structures jusqu'à l'époque actuelle, on trouvait que la théorie prédisait beaucoup plus de galaxies naines qu'on ne l'observe dans le groupe local de galaxies incluant notre Galaxie et Andromède – le seul suffisamment proche pour permettre l'observation des ces galaxies naines. C'est ce que l'on nomme le problème des « satellites manquants ». C'est l'une des raisons ayant amené les chercheurs à proposer une théorie alternative à la loi de Newton de la gravitation, la théorie MOND (modified Newtonian dynamics) ainsi que sa généralisation au cas relativiste.

Cependant une équipe américaine (Andrew R. Wetzel, arXiv:1602.05957v2, à paraître dans the Astrophysical Journal Letter) vient d'effectuer un calcul remettant en cause les résultats des précédents. Ils ont créé une simulation spécifique pour la Voie lactée, Latte, dans le cadre du modèle standard et en utilisant un code numérique appelé FIRE (« Feedback in Realistic Environments », ou « rétroaction dans un environnement réaliste »). La résolution spatiale y varie au cours du temps cosmologique, atteignant la valeur inégalée de quelques années-lumière au temps présent, ce qui permet de résoudre à la fois une galaxie-hôte et les galaxies naines qui se forment autour d'elle. Les auteurs incluent naturellement les derniers raffinements concernant la formation des étoiles, le milieu interstellaire, et leurs interactions mutuelles. Non seulement ils arrivent à rendre compte du très petit nombre observé de galaxies satellites, mais également d'autres faits inexplicables jusqu'à maintenant par le modèle cosmologique standard, comme le profil de densité des galaxies, et ils annoncent que ces résultats feront l'objet de plusieurs articles à venir. Serait-ce effectivement la fin des problèmes que pose le modèle standard ? Nous attendons avec impatience la suite... et les réponses des autres cosmologistes !



En ordonnées, nombres cumulés de galaxies naines satellites calculés par la simulation Latte, ayant une masse supérieure à la masse donnée en abscisses, comparées aux observations autour de la Voie lactée et d'Andromède. On voit que la simulation rend très bien compte des observations, sans présenter le problème de satellites manquants des simulations précédentes. Crédit Wetzel et al. arXiv:1602.05957v2.

Il y a dix fois plus de galaxies dans l'Univers qu'on ne peut en observer !

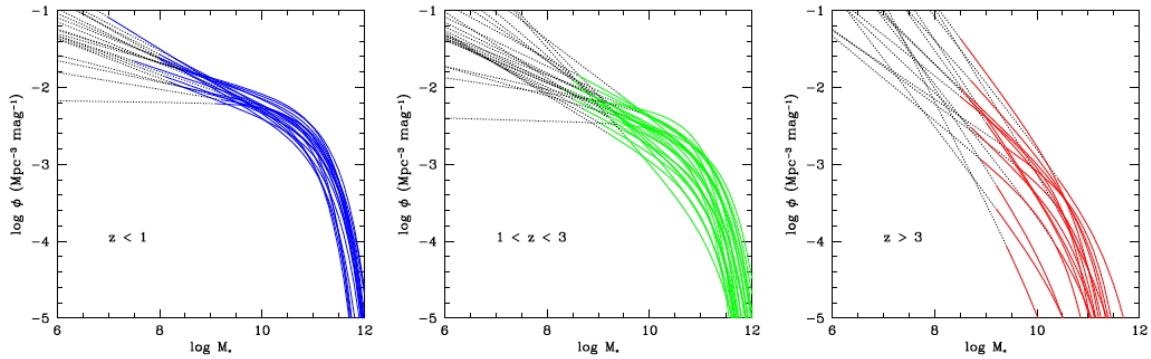
Lorsque l'on compte les galaxies les plus faibles - qui sont également les plus nombreuses - détectées sur les images les plus profondes obtenues par le télescope spatial Hubble, on déduit que le nombre total de galaxies dans l'Univers est d'environ deux cent milliards. Mais ce nombre ne serait-il pas fortement sous-évalué, même par les meilleures observations actuelles ? Quatre chercheurs montrent que c'est probablement le cas.

L'évolution du nombre de galaxies dans l'Univers constitue l'une des questions fondamentales de la cosmologie. Jusqu'à maintenant les idées sur la question n'étaient pas claires et elle n'était d'ailleurs pas bien étudiée. On dispose pourtant d'un ensemble impressionnant de données dans plusieurs domaines de longueurs d'onde (radio, infrarouge, visible, ultraviolet et X), qui ont permis de déterminer à différents redshifts [1]¹ la « fonction de luminosité » ou la « fonction de masse » des galaxies, c'est-à-dire les luminosités ou les nombres de galaxies en fonction de leur masse. Ces fonctions permettent de remonter dans le temps jusqu'à l'époque de formation des premières galaxies, soit seulement six cents millions d'années après le Big-Bang, correspondant à des redshifts de l'ordre de 8. Mais elles sont très hétérogènes. En analysant soigneusement ces fonctions issues de plusieurs sources et en les homogénéisant, quatre chercheurs conduits par un hollandais (Christopher J. Conselice et al., arXiv:1607.03909v2, à paraître dans the Astrophysical Journal) viennent de publier un article dans lequel ils évaluent le nombre total de galaxies dans l'Univers. Ils trouvent que ce nombre décroît comme l'inverse de l'âge de l'Univers. Par conséquent le nombre total de galaxies de masse supérieure à un million de masses solaires jusqu'au redshift 8 serait de deux trillions, soit dix fois plus que celles qu'on peut détecter dans le HUDP, le relevé ultra-profond du télescope Hubble.

Ce qu'il faut bien réaliser, c'est que les galaxies non observées font partie d'un passé lointain, et **qu'elles n'existent plus actuellement**, en particulier car elles ont fusionné ensemble. Cela peut paraître un paradoxe. Mais pourtant il faut bien les prendre en compte dans le contenu de l'Univers, car on ne peut dissocier l'espace et le temps. Il n'existe pas un « Univers passé » et un « Univers présent » : le Soleil appartient au passé – un passé de 8 minutes - au même titre que les étoiles de la Galaxie, même si ce passé est beaucoup plus proche que celui des galaxies dont nous parlons.

Les implications de ces résultats sont très importantes pour la compréhension de la formation des grandes structures. De plus ils révèlent que le fond diffus de rayonnement cosmique dans les domaines optique et infrarouge proche serait dû tout simplement aux galaxies faibles inobservées. Cependant il ne faut pas oublier qu'ils dépendent tout de même d'un certain nombre d'extrapolations. Les observations à venir du grand télescope spatial JWST qui sera lancé en 2018 devraient permettre de les confirmer.

¹ [1] Rappelons que 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, et un redshift de 8 à 600 millions d'années après le Big-Bang.



Les fonctions de masse à différents redshifts utilisées dans l'article. Les lignes en pointillés correspondent à des extrapolations. Crédit Christopher J. Conselice et al., arXiv:1607.03909v2.

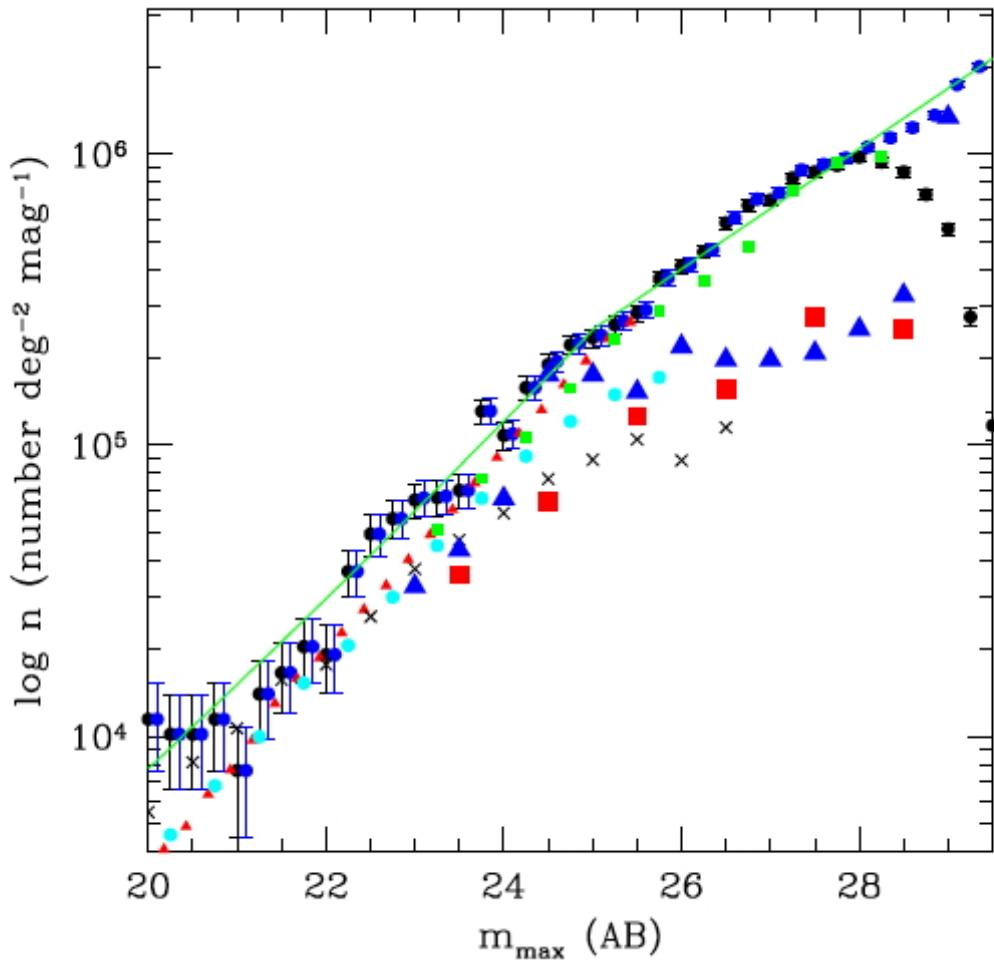


Figure montrant le nombre de galaxies n en fonction de la magnitude dans le relevé ultra-profond du télescope Hubble. Les carrés noirs donnent les nombres bruts de galaxies observées, les cercles bleus sont les mêmes mais corrigés pour tenir compte de l'évolution à très grand redshift. On constate qu'il y a environ 10 fois plus de masse qu'observée, sous forme de galaxies très faibles (partie droite du diagramme). Les petits triangles rouges, les croix noires et les cercles cyan proviennent d'autres relevés. Les boîtes noires et les triangles bleus correspondent aux relevés sud et nord du champ profond de Hubble. On peut noter que les points du relevé ultra-profond sont décalés vers le haut par rapport aux autres. Crédit

Christopher J. Conselice et al. , arXiv:1607.03909v2.

Un trou noir supermassif errant

Des trous noirs supermassifs de cent mille à dix milliards de fois la masse du Soleil se trouvent dans les cœurs des galaxies les plus massives. Cependant, on suspecte qu'il en existe certains en dehors du cœur, ou même en dehors des galaxies, qui en ont été éjectés lors de collisions entre elles. On les appelle des trous noirs « errants ». Ils sont naturellement difficiles à détecter via leur action gravitationnelle sur leur environnement. Par contre, ils peuvent l'être par leur émission X, typique des trous noirs supermassifs.

Une source X très intense appelée XJ1417+52 avait été détectée fortuitement par les satellites X Chandra de la NASA et XMM-Newton de l'ESA dans les années 2002-2004. Elle était d'une intensité bien plus grande que les sources connues ULX (« ultralumineuses en X »). Le rayonnement X était maximum entre 2000 et 2002, puis il n'a pas été détecté en 2005, 2014 et 2015. Dans l'ensemble, l'émission a décru d'un facteur 14 entre 2000 et 2015.

Qu'était cette source X ? En 2004 des images furent prises par le télescope Hubble à sa position et révélèrent une galaxie lenticulaire distante d'environ 4,5 milliards appelée SDSS J141711.07+522540.8 (ou GJ1417+52), ayant un diamètre de 4 seconde d'arc et présentant un faible objet appelé sGJ1417+52 excentré d'environ une seconde d'arc par rapport au noyau de la galaxie (soit 16 années-lumière). Une équipe internationale comptant plusieurs astronomes français de l'observatoire Midi-Pyrénées vient de publier un article précisant les propriétés de la galaxie et de la source X (Dacheng Lin et al., arXiv:1603.00455v1, the *Astrophysical Journal*). L'équipe a observé la galaxie en février 2013 avec le télescope Gemini Nord muni du spectrographe multi-objet GMOS. Elle conclut que les positions de la source X sont compatibles à 95% avec celle de l'objet excentré sGJ1417+52. Il est donc probable que c'est bien la contrepartie optique de la source X. De leur analyse de la distribution spectrale du rayonnement X, les chercheurs concluent qu'il s'agit d'une source X hyper-lumineuse associée probablement à un trou noir d'une masse d'au moins 100000 masses solaires. Quant à l'objet sGJ1417+52, ce serait une galaxie naine compacte comme on en trouve dans les galaxies proches M31 et M32. Elle aurait été vidée d'une partie de ses étoiles et de son gaz mais aurait gardé son trou noir supermassif. L'augmentation de rayonnement X en 2002-2004 serait due à la dislocation d'une étoile passant au voisinage du trou noir, ainsi qu'il en est observé assez souvent dans les noyaux de galaxies.

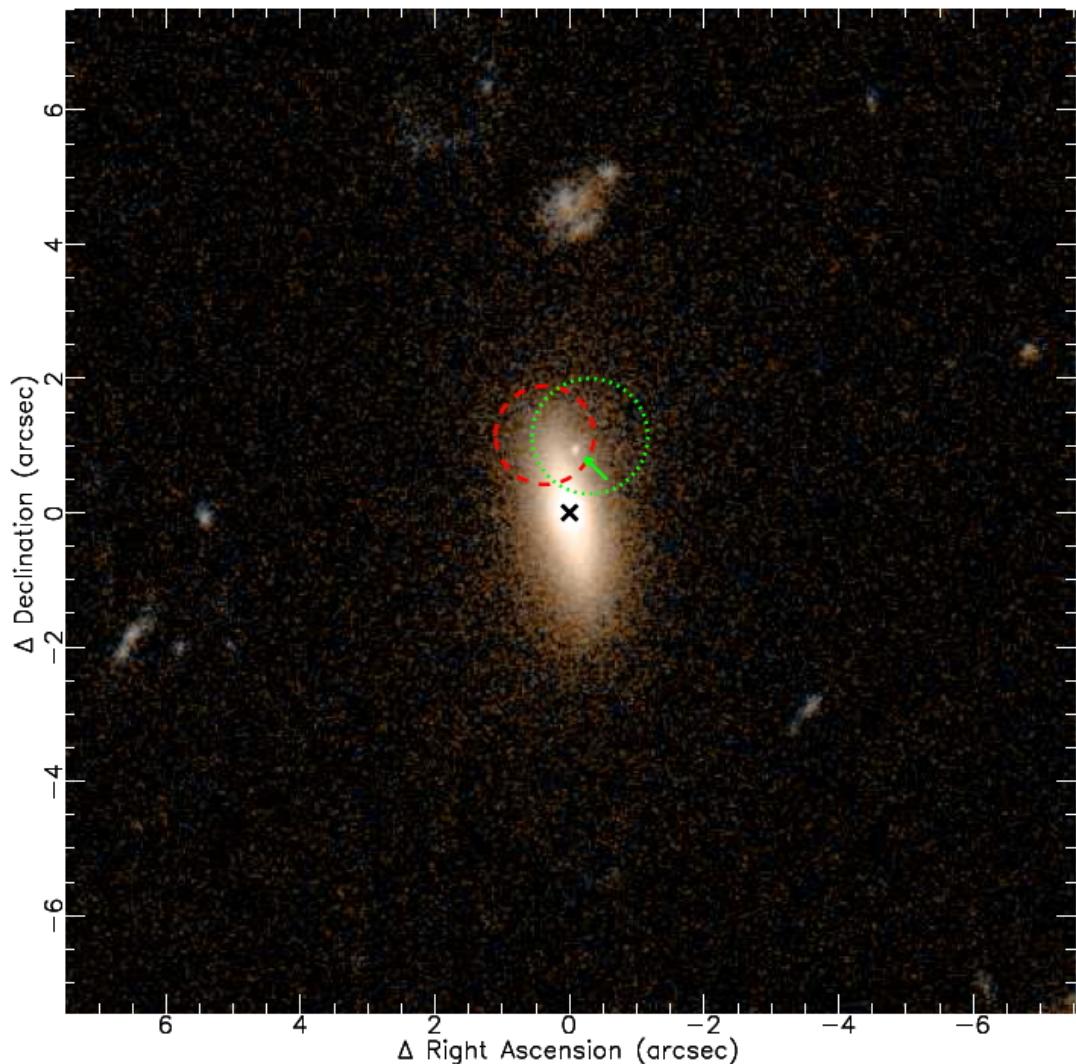


Image capturée par le télescope Hubble de la galaxie GJ1417+52 (la croix noire en indique le centre). La flèche verte pointe vers un objet faible appelé sGJ1417+52. Les positions de la source X données par Chandra et XMM-Newton sont indiquées par les cercles vert et rouges respectivement. Il est probable que l'objet faible sGJ1417+52 excentré est la contrepartie de la source X. Crédit Dacheng Lin et al., arXiv:1603.00455v1, the Astrophysical Journal 821 p. 25.

Découverte d'étoiles RR Lyrae dans le centre galactique : une avancée concernant la formation des noyaux de galaxies

On ignore pratiquement encore comment se forment les noyaux denses au centre des galaxies, au sein desquels résident les trous noirs supermassifs. Deux scénarios sont proposés : 1. la fusion d'amas globulaires au début de la formation de la galaxie, 2. l'accrétion de matière accompagnée de la formation d'étoiles. Le premier scénario implique la présence dans les noyaux, d'étoiles caractéristiques des vieux amas globulaires. Les étoiles RR Lyrae en font partie. Ce sont des étoiles variables, périodiques, qui présentent comme les Céphéides une relation entre leur période et leur luminosité permettant de déterminer leur distance. Malheureusement ces étoiles, contrairement aux Céphéides, sont peu lumineuses. Elles ne sont pas observables dans les régions centrales denses des galaxies, à l'exception de la Voie lactée.

Une équipe menée par deux astronomes chiliens, Dante Minniti et Rodrigo Contreras (arXiv:1610.04689v1) a utilisé des données d'observation du télescope infrarouge de l'ESO, VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) pour étudier les régions centrales de la Voie Lactée. Ces astronomes ont ainsi découvert l'existence insoupçonnée d'une douzaine de RR Lyrae plus vieilles que 10 milliards d'années. Elle constitue un argument fort en faveur du premier scénario. Mais il n'est pas exclusif du second, puisque l'on trouve aussi de nombreuses étoiles jeunes dans le centre galactique, prouvant la présence d'une accrétion récente.

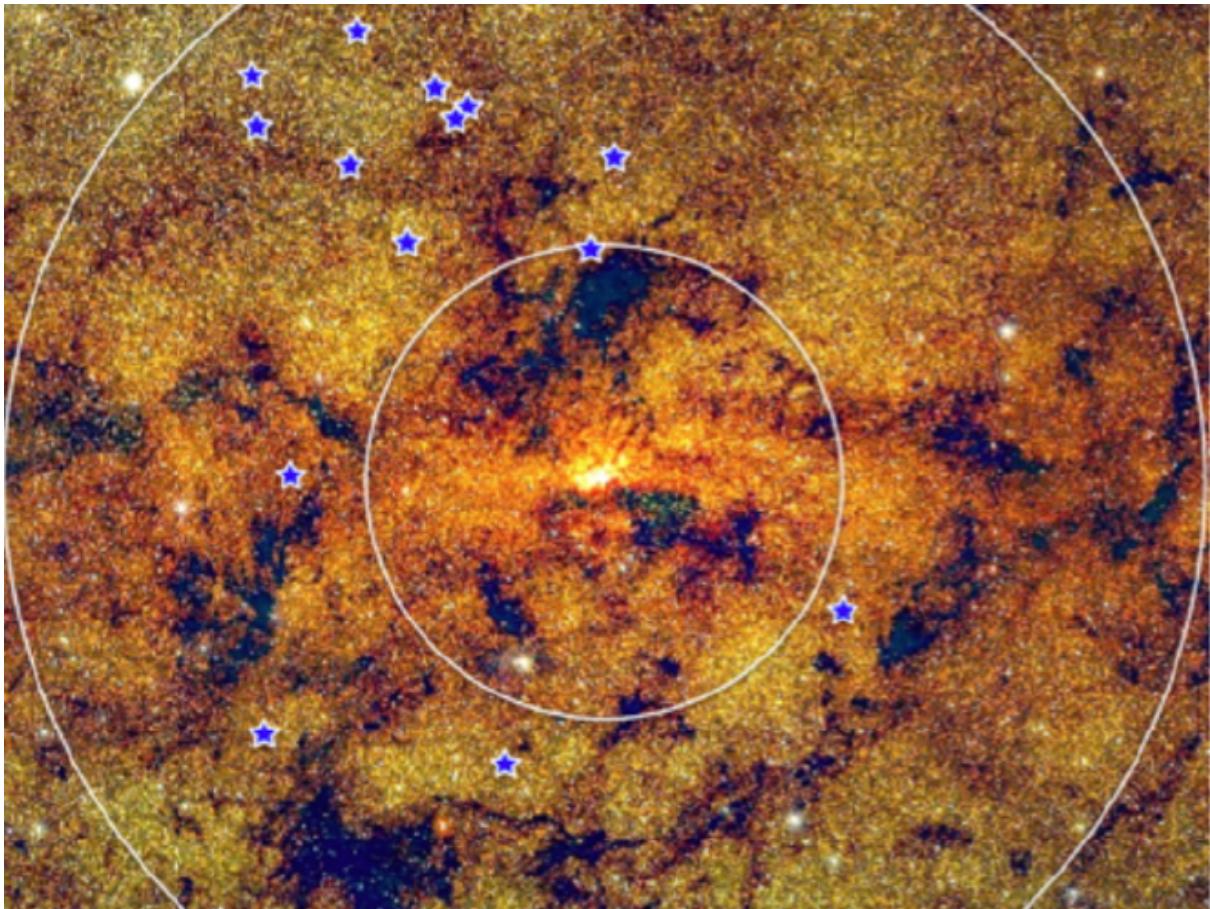


Image en couleurs infrarouges JHKs du Centre galactique, montrant le noyau stellaire central de 35 pc de rayon, et le bulbe nucléaire de 100 pc de rayon, avec les positions des étoiles RR Lyrae obtenues par le relevé VISTA. Crédit Dante Minniti et al. arXiv:1610.04689v1