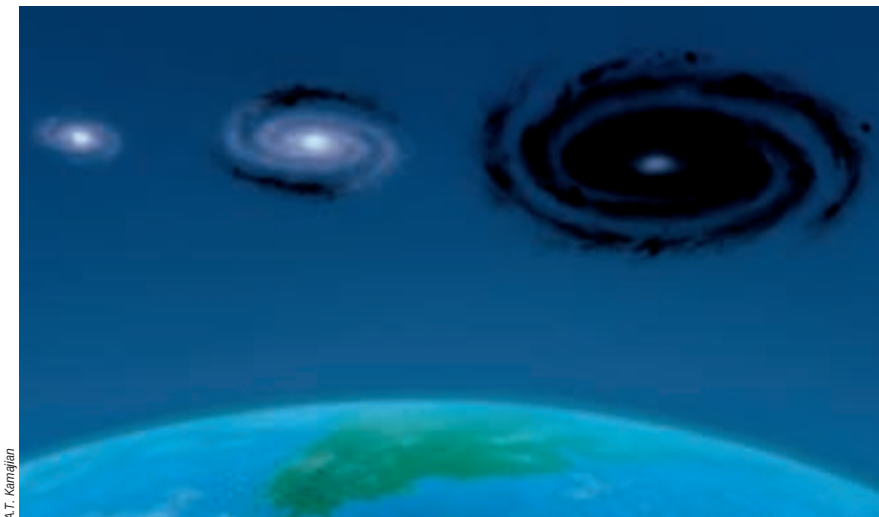




A.T. Kamajian

4. CES TROIS GALAXIES SPIRALES montrent pourquoi les galaxies à faible brillance de surface sont si longtemps restées invisibles. Toutes les galaxies ordinaires (à gauche) sont plus lumineuses que le fond du ciel nocturne. Dans la galaxie du milieu, le bulbe central et une partie des bras spiraux sont plus brillants que le fond du ciel. Toutefois, presque toutes les galaxies à faible brillance de surface (à droite) sont aussi sombres que le ciel nocturne. Des astronomes utilisant des techniques optiques ne peuvent voir cette galaxie ; au mieux, ils confondraient son bulbe à peine visible avec une étoile faiblement lumineuse.

et nous n'avions jamais rencontré aucun de ces phénomènes dans les galaxies observées au mont Palomar.

Des calculs rapides, fondés sur l'analyse des décalages vers le rouge de ces raies d'émission, indiquèrent que cet objet était 25 fois plus éloigné que l'amas de la Vierge. Or sa largeur angulaire sur notre mosaïque de caméra était d'environ 2,5 minutes : si l'objet était une galaxie et s'il était bien 25 fois plus éloigné que l'amas de la Vierge, il devait avoir environ 20 fois la taille de la Voie lactée (pour des dimensions mesurées par les longueurs caractéristiques)! Ce résultat semblait si improbable que je pariais avec J. Mould une caisse de bière que nous étions en train de détecter le spectre d'une galaxie située loin derrière l'amas de la Vierge et qui apparaissait à travers une galaxie naine beaucoup plus proche, située au sein de l'amas.

Déterminé à gagner mon pari, je me rendis, en octobre 1986, à l'Observatoire radioastronomique d'Arecibo : je voulais régler la fréquence centrale d'observation sur le décalage vers le rouge moyen de l'amas de la Vierge. Les galaxies contiennent beaucoup de gaz, tel l'hydrogène, qui émettent des ondes radiométriques décalées vers le rouge de la même façon que la lumière. Si mon hypothèse d'une galaxie naine, à l'avant-plan, dans l'amas de la Vierge, était juste, alors, en réglant les appareils sur la fréquence

des émissions gazeuses décalées provenant de la Vierge, j'aurais détecté des signaux de l'hypothétique galaxie naine. Toutefois je ne trouvais aucun signal de ce type.

Je me retrouvais brièvement dans l'impasse avant d'avoir la meilleure idée de ma carrière. À l'Observatoire du mont Palomar, les signaux que nous avions reçus en provenance de cette galaxie située dans la direction de l'amas de la Vierge étaient décalés de 8,3 pour cent vers le rouge. Bien qu'Arecibo soit un radiotélescope et non un télescope optique, ce décalage devait s'appliquer à toute émission issue de l'objet, quelle que soit sa fréquence. Aussi, deux jours avant que ma campagne à Arecibo ne s'achève, je réglai la fréquence d'observation sur 21,1 centimètres, c'est-à-dire la longueur d'onde des émissions radio de l'hydrogène atomique, décalée vers le rouge de 8,3 pour cent. Dix minutes plus tard, j'étais récompensé par un superbe signal.

La plus grande galaxie connue

L'hydrogène atomique, qui représente environ dix pour cent de la masse de nombreuses galaxies, se concentre dans les bras des galaxies spirales. Aussi utilise-t-on souvent ses émissions pour déterminer si un objet très lointain est, ou non, une galaxie. La signature du signal à 21,1 centimètres reçu à Arecibo était exactement celle d'un disque

galactique en rotation. Je perdis ainsi mon pari en découvrant Malin-1, une galaxie spirale immense, extraordinairement diffuse. Malin-1 possède une brillance de surface au centre de 26,5 magnitudes par seconde d'angle carré, soit seulement un pour cent de la luminosité d'une galaxie ordinaire.

Nous commençâmes alors trois nouvelles études, afin de savoir si l'Univers renfermait d'autres galaxies du même type. Tout d'abord, nous analysâmes des plaques photographiques résultant du projet de cartographie étendue de l'Observatoire du mont Palomar.

Puis nous appliquâmes la technique de malinisation à l'amas du Fourneau : nous avons alors détecté des galaxies dont l'intensité lumineuse de surface au centre descendait à 27 magnitudes par seconde d'angle carré, soit à peine deux pour cent plus brillantes que le fond du ciel nocturne. Enfin, avec Michael Irwin, de l'Observatoire royal de Greenwich, nous avons appliqué des techniques de balayage automatique des plaques photographiques.

Au total, nous avons ainsi détecté un millier d'objets que nous pensons être des galaxies à faible brillance de surface. L'échantillon est assez varié, avec à la fois des galaxies naines, pauvres en gaz, et environ une dizaine d'objets très grands et riches en gaz comme Malin-1 (dix ans après sa découverte, Malin-1 demeure la plus grande galaxie connue). La plupart de ces galaxies ont les mêmes tailles, vitesses de rotation et masses que les galaxies spirales ordinaires, mais quelques-unes sont gigantesques, avec des longueurs caractéristiques supérieures à 50 000 années-lumière.

Dans les amas de galaxies et, peut-être, dans l'Univers en général, les galaxies à faible brillance de surface semblent être bien plus nombreuses que les galaxies ordinaires. En outre, si le quotient de la masse par la luminosité augmente lorsque la brillance de surface diminue (c'est-à-dire que moins les galaxies sont visibles, plus elles sont massives), alors ces galaxies diffuses abritent une grande partie, voire l'essentiel de la masse baryonique de l'Univers.

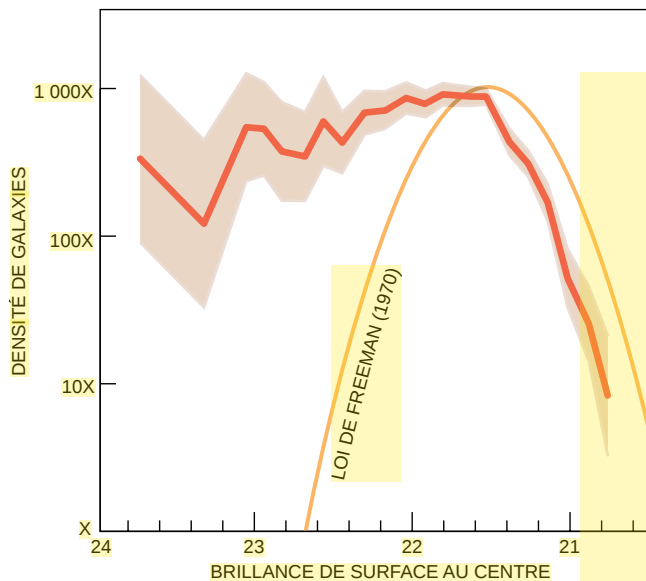
La conséquence la plus marquante de ces recherches provient d'une analyse récente effectuée par Stacy McGaugh, de l'Institut Carnegie, à Washington. S. McGaugh a examiné la densité spatiale des galaxies en fonc-

tion de leur brillance de surface au centre, et elle a observé que la courbe tracée différait complètement de la courbe prévue (voir la figure 5) : au total, l'Univers semble contenir autant de galaxies très diffuses ayant une brillance de surface au centre de 27 magnitudes par seconde d'angle carré que de galaxies ordinaires de 23, 21 ou 20 magnitudes. Autrement dit, plus de la moitié de toutes les galaxies sont des galaxies spirales de brillance de surface au centre égale ou supérieure à 22 magnitudes par seconde d'angle carré.

De surcroît, les galaxies à faible brillance de surface ressemblent beaucoup aux galaxies bleues faiblement lumineuses détectées dans les cartographies de l'Univers lointain. Ces deux classes de galaxies partagent des attributs comme la couleur, la brillance de surface moyenne et l'étendue de la nébulosité. Ainsi, ces galaxies bleues faiblement lumineuses pourraient être des galaxies à faible brillance de surface en phase initiale de formation d'étoiles. Aux courtes distances, c'est-à-dire dans les parties de l'Univers où les objets sont vus tels qu'ils étaient dans un passé plus récent, les galaxies bleues ont une brillance de surface si faible que l'on ne peut plus les détecter. Si les galaxies bleues faiblement lumineuses sont vraiment des galaxies à faible brillance de surface jeunes, alors la densité des galaxies à faible brillance de surface doit être encore supérieure à ce que l'on pense aujourd'hui.

Des études sur la couleur des galaxies à faible brillance de surface, qui sont généralement assez bleues, corroborent cette hypothèse, dont on a besoin pour interpréter la composante bleue de ces galaxies, signe de formation d'étoiles. Généralement la teinte bleue indique une galaxie qui n'a pas évolué au-delà d'une phase de formation précoce, un fait en accord avec les faibles densités de ces structures ; aussi la plupart des galaxies à faible brillance de surface se seraient-elles formées assez tardivement, tout comme leurs premières étoiles.

Plusieurs autres particularités des galaxies diffuses doivent nous faire révi-



5. LES GALAXIES DIFFUSES (23 ou 24 magnitudes apparentes par seconde d'angle carré) sont probablement aussi nombreuses que les galaxies ordinaires, pour lesquelles cette magnitude est de 21,5 ou 22. Sur ce diagramme, la zone grisée indique le domaine d'incertitude des données numériques. La courbe orange montre la distribution supposée des galaxies avant la découverte des galaxies à faible brillance de surface, au milieu des années 1980.

ser les théories de l'évolution des galaxies. Par exemple, la quantité d'hydrogène neutre dans les galaxies à faible brillance de surface est du même ordre de grandeur que dans les galaxies spirales ordinaires, encore que les galaxies à faible brillance de surface aient des densités inférieures de ce gaz. Autrement dit, les étoiles ne se formeraient que si la densité gazeuse atteignait une valeur seuil à la surface des disques de gaz en rotation. En outre, les galaxies spirales à faible brillance de surface sont pauvres en gaz moléculaire.

L'ensemble de toutes ces observations indique que la densité d'hydrogène neutre à la surface des galaxies diffuses est insuffisante pour transformer ce gaz en nuages moléculaires géants qui, dans les galaxies ordinaires, se fragmentent ensuite pour former des étoiles massives. Les galaxies spirales à faible brillance de surface semblent évoluer de façon différente, avec de petites étoiles qui ne se formeraient qu'au sein de nuages d'hydrogène neutre de plus faible densité. Contenant peu d'étoiles massives, ces galaxies synthétiseraient lentement les éléments lourds (au numéro atomique supérieur à 12). Ordinairement, les galaxies massives contiennent beaucoup d'éléments lourds ; si, malgré leur masse, les galaxies à faible brillance de surface sont si pauvres en éléments lourds, c'est qu'elles sont parmi les objets les moins évolués de l'Univers : elles ont peu

changé depuis des milliards d'années.

En une décennie, l'exploration de cette nouvelle population de galaxies a bouleversé nos connaissances de l'évolution des galaxies et de la répartition de la matière dans l'Univers. Au cours des prochaines années, nous rechercherons ces galaxies de manière plus systématique, par des cartographies de larges régions du ciel là où il est le plus sombre. Lors de ces prochaines campagnes, nous utiliserons des techniques qui détecteront des galaxies dont la brillance de surface au centre atteint 27 magnitudes par seconde d'angle carré. Les données révéleront si la densité des galaxies dans l'espace, en fonction de leur brillance de surface au centre, continue

de rester plate lorsque cette intensité varie d'un facteur 100.

L'étendue finale des découvertes potentielles et de leurs implications pour notre compréhension de l'évolution galactique et de la structure de l'Univers est encore... diffuse. Toutefois, il est réconfortant de constater que de grandes découvertes astronomiques sont encore possibles : l'Univers n'a pas dévoilé tous ses secrets.

Gregory BOTHUN est professeur de physique à l'Université de l'Oregon.

Stacy S. McGAUGH et Gregory D. BOTHUN, *Structural Characteristics and Stellar Composition of Low Surface Brightness Disk Galaxies*, in *Astronomical Journal*, vol. 107, n° 2, pp. 530-542, février 1994.

Stacy McGAUGH, Gregory D. BOTHUN et James M. SCHOMBERT, *The Morphology of Low Surface Brightness Disk Galaxies*, in *Astronomical Journal*, vol. 109, n° 5, pp. 2019-2033, mai 1995.

Stacy McGAUGH et al., *Galaxy Selection and the Surface Brightness Distribution*, in *Astronomical Journal*, vol. 110, n° 2, pp. 573-580, août 1995.

Chris IMPEY, *Ghost Galaxies of the Cosmos*, in *Astronomy*, vol. 24, n° 6, pp. 40-45, juin 1996.

Des informations et des images sur ce sujet peuvent être trouvées sur notre site Web :

<http://www.pourla science.com>