



3. LA BRILLANCE DE SURFACE d'une galaxie spirale décroît de manière exponentielle avec la distance au centre de la galaxie. Au-delà du bulbe central, toutefois, la décroissance de la luminosité devient

quasi linéaire. Le prolongement de la région linéaire vers la gauche coupe l'axe vertical en une valeur nommée brillance de surface au centre, un indicateur de la densité d'étoiles.

Premières lueurs

C'est en 1983 que les astronomes ont pressenti que certaines galaxies ont une brillance de surface au centre nettement inférieure à celle des galaxies classiques les moins lumineuses : William Romanishin, de l'Université d'Okla-homa, Stephen et Karen Strom, aujourd'hui à l'Université d'Amherst, examinèrent le *Catalogue général des galaxies d'Uppsala*. Dans l'échantillon compilé par ces astronomes, peu de galaxies avaient une brillance de surface au centre supérieure à 23 magnitudes, mais l'analyse révéla une classe de galaxies contenant de grandes quantités de gaz et ayant d'autres propriétés inhabituelles.

Au vu de leurs résultats, je soupçonnai que la vision classique sur la répartition des galaxies dans l'Univers était biaisée. Cette répartition est une carte tridimensionnelle de l'Univers connu, indiquant la position des galaxies les unes par rapport aux autres, ainsi que leur type. Les positions relatives sont déduites de la mesure du décalage vers le rouge de la luminosité optique des galaxies (le décalage vers le rouge d'une émission est la diminution de la fréquence de cette émission due à l'effet Doppler, qu'on observe pour des corps s'éloignant rapidement les uns des autres). Les galaxies à faible brillance de surface sont toutefois trop faibles pour que l'on mesure leur décalage vers le rouge par spectroscopie optique.

Puis, au début de l'année 1984, l'astronome Allan Sandage, de l'Institut Carnegie à Washington, publia les premiers résultats de sa cartographie photographique des galaxies dans l'amas de la Vierge, effectuée à l'observatoire

de Las Campanas, au Chili : quelques galaxies naines étaient diffuses.

Avec des collègues, nous entre-prîmes alors de rechercher les galaxies à faible brillance de surface qui, pensions-nous, avaient échappé à A. Sandage. Comment trouver des galaxies si faibles qu'elles avaient échappé à tant d'astronomes ? Nous devions manifestement nous armer de patience et, surtout, utiliser une technique exceptionnelle. Les journaux scientifiques nous avaient appris que D. Malin avait mis au point une méthode d'amplification du contraste des photographies qui lui avait permis de trouver des halos et d'autres débris gravitationnels de faible brillance de surface autour des galaxies ordinaires. Cette technique pouvait-elle être utilisée pour la recherche de galaxies entières à faible brillance de surface ? D. Malin piqua notre curiosité en nous avouant que, chaque fois qu'il appliquait sa technique à une plaque photographique, il trouvait partout des «petits machins à peine visibles».

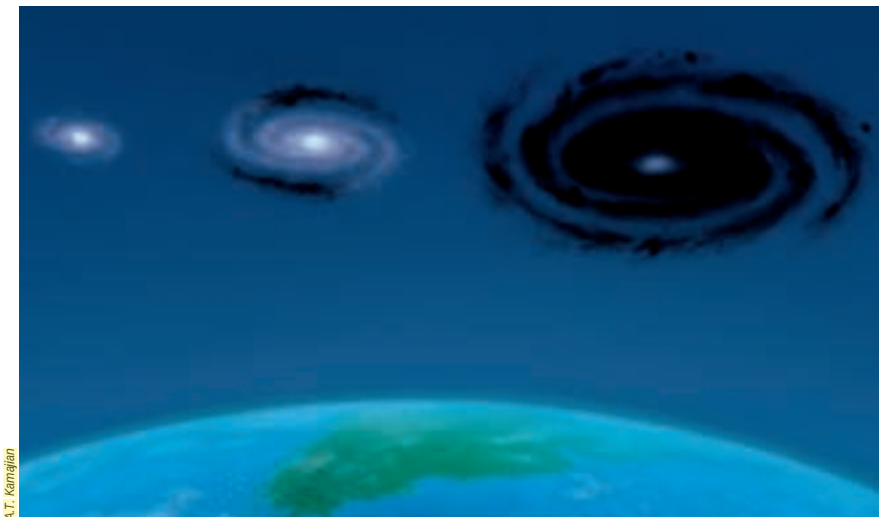
D. Malin augmente le contraste des images photographiques en empilant plusieurs plaques de verre d'une même image, puis en éclairant la pile par une face. L'image de la source lumineuse, apparaissant sur l'autre face de la pile, a un contraste supérieur à celui d'une image isolée. Plus on empile d'images, plus le contraste résultant est élevé. La technique (de «malinisation») nécessite un alignement précis des images ; c'est dans cet alignement que D. Malin avait fait de grands progrès.

D. Malin accepta d'analyser des images de quelques régions sélectionnées de un degré carré, dans l'amas de la Vierge. Utilisant à la fois le *Catalogue général d'Uppsala*, le relevé de

A. Sandage et le traitement des données par D. Malin, nous avions établi une liste d'objets à faible brillance de surface dont nous voulions approfondir l'analyse. Notre entreprise suivait son cours, lorsque nous fîmes le genre de découverte qui transforme un projet scientifique normal en une aventure exceptionnelle.

En février 1986, nous entrions dans la seconde phase du projet, qui nécessitait l'utilisation du télescope de 2,54 mètres de Las Campanas pour prendre des images numériques des régions de l'amas de la Vierge, étudiées par D. Malin. Notamment, nous voulions photographier des objets que nous avions identifiés lors de la première phase et pour lesquels nous voulions approfondir l'analyse. La plupart de ces galaxies étaient des taches diffuses, avec peu de structure apparente, mais l'une d'entre elles semblait avoir comme une structure en spirale très peu visible, reliée à une région centrale ponctuelle. Sur une photographie précédente, cette région apparaissait comme une étoile faiblement lumineuse, sans nébuleuse associée.

Bien que très faible, le centre de cet objet était juste assez lumineux pour que nous l'analysions par spectroscopie optique. En mai 1986, Jeremy Mould et moi enregistrâmes le spectre de l'objet à l'aide du télescope de cinq mètres de diamètre à l'Observatoire du mont Palomar, en Californie : nous fûmes surpris de découvrir que le spectre de l'objet présentait des raies d'émission (des pics d'énergie lumineuse) à des longueurs d'onde caractéristiques. Seuls des phénomènes bien connus au sein des galaxies, tels la formation d'étoiles et d'autres mécanismes où le gaz est ionisé, produisent des raies d'émission,



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-