

celles qui ressortaient bien sur le fond du ciel. Pourquoi ces galaxies brillantes auraient-elles été représentatives de la population générale ? À cette époque, cependant, les astronomes n'avaient détecté aucune galaxie très diffuse, de sorte que la communauté astronomique balaya ces soupçons, admettant que les objets extragalactiques diffus seraient très rares.

Dix ans plus tard, nous avons ressuscité l'hypothèse de M. Disney : en 1986, mes collègues et moi-même avons découvert de manière inattendue une très grande galaxie spirale à faible brillance de surface : c'est même la galaxie spirale la plus massive (et la plus lumineuse) de toutes les galaxies spirales connues. Cette galaxie se trouve à moins de 800 millions d'années-lumière (une année-lumière, la distance parcourue par la lumière en un an, est égale à $8,7 \times 10^{15}$ mètres), ce qui est proche à l'échelle extragalactique. Si elle était aussi proche de nous que la galaxie spirale d'Andromède, située à deux millions d'années-lumière, elle sous-tendrait, dans le ciel,

un angle de 20 degrés, soit 40 fois le diamètre angulaire de la pleine lune.

Pourquoi un objet si massif et si proche a-t-il échappé aux observations pendant aussi longtemps ? Nous l'avons vu précédemment, les galaxies spirales sont formées de deux éléments : un bulbe (ou noyau) central et un disque périphérique, structuré en bras spiraux. Les disques émettent généralement une lumière dont l'intensité décroît de manière exponentielle avec la distance au centre galactique.

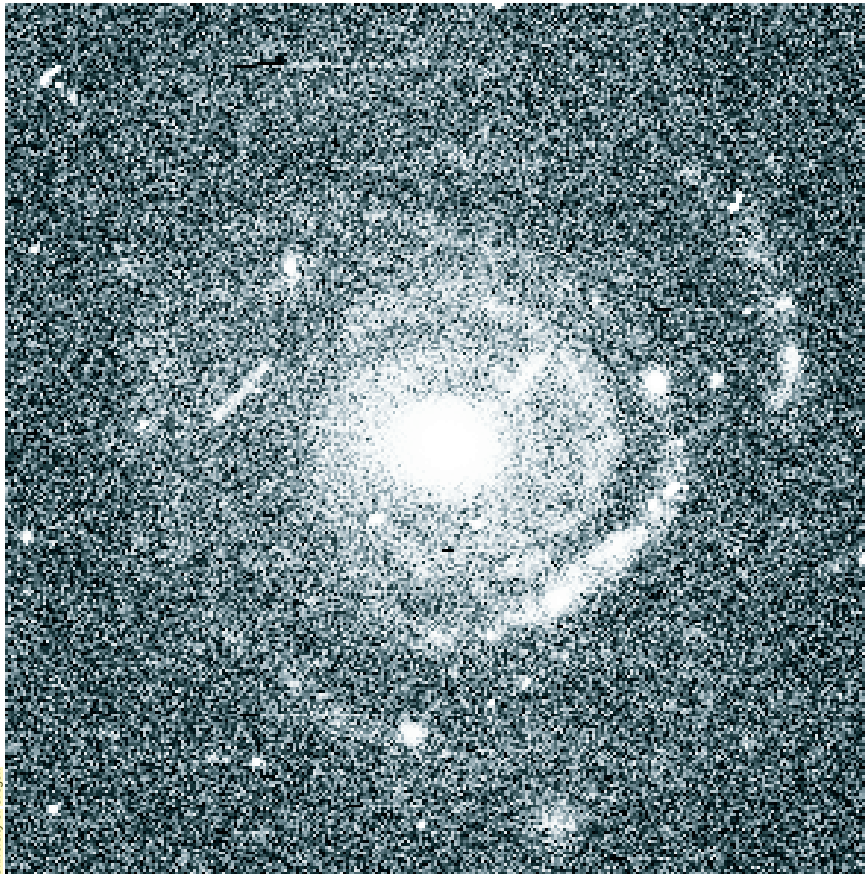
Cette particularité fournit aux astronomes un moyen commode pour mesurer la taille d'une galaxie : la longueur caractéristique d'une galaxie spirale (l'indicateur de taille utilisé par la majorité des astronomes) est la distance du centre galactique au point du disque où la luminosité a été divisée par e , (le nombre e , égal à 2,718..., est la base des logarithmes népériens). Notre Galaxie, la Voie lactée, dont le diamètre est de 100 000 années-lumière, a une longueur caractéristique d'environ 9 000 années-lumière.

L'autre paramètre qu'utilisent les astronomes pour caractériser les galaxies est la brillance de surface au centre, qui est la mesure de l'intensité de la composante bleue de la lumière au centre de la galaxie. Cette intensité révèle la densité stellaire (voir la figure 3). Le terme «de surface» renvoie au fait que les galaxies, qui sont tridimensionnelles, sont observées dans le plan du ciel ; aussi leur luminosité est-elle projetée sur cette «surface» à deux dimensions.

La brillance de surface au centre est exprimée en magnitudes apparentes par seconde d'angle carré. L'échelle des magnitudes attribue une valeur numérique à la luminosité d'un objet astronomique : plus cette valeur est élevée, moins l'objet est lumineux.

Cette échelle est également logarithmique : une différence de cinq magnitudes correspond à un rapport de luminosité d'un facteur 100. Une galaxie spirale typique a une brillance de surface au centre (dans la partie bleue de son spectre) d'environ 21,5 magnitudes par seconde d'angle carré. Les galaxies à faible brillance de surface sont celles dont la brillance de surface au centre est d'au moins 23 magnitudes par seconde d'angle carré : c'est environ la luminosité du fond du ciel, mesurée dans la partie bleue du spectre visible, par une nuit sans lune, dans un bon site d'observation astronomique.

Par un calcul simple, les deux paramètres précédents (la longueur caractéristique et la brillance de surface au centre) conduisent à la masse et à la luminosité d'une galaxie. Les catalogues de galaxies standards classent habituellement les galaxies selon leur taille ou leur luminosité, déduits de la longueur caractéristique et de la brillance de surface au centre. Comme les caractéristiques des galaxies à faible brillance de surface sont en cours d'étude, l'intervalle de variation des paramètres caractéristiques n'est pas encore connu. Cet intervalle de variation dépend du mécanisme de formation des galaxies, lequel reste également mal connu. La découverte des galaxies diffuses prend ici toute son importance, car elle a notablement élargi l'intervalle de variation de ces paramètres. Lorsque cet intervalle sera définitivement établi, nous pourrons ajuster les théories de formation des galaxies, car ces théories doivent être compatibles avec les valeurs observées des longueurs caractéristiques et des brillances de surface au centre.



2. LA TECHNIQUE DE D. MALIN fait ressortir les galaxies à faible brillance de surface. Cette galaxie, nommée Malin-2, a été découverte en 1990 ; c'est la deuxième galaxie diffuse découverte. Elle est à 450 millions d'années-lumière de la Terre. Avec une longueur caractéristique de 50 000 années-lumière, elle est environ cinq fois plus grande que la Voie lactée.



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,