

sont également moins absorbés par les poussières que la lumière visible. Au début des années 1980, le satellite *IRAS* dressa un catalogue des objets qui émettent des infrarouges lointains (ceux dont les longueurs d'onde sont proches de celles du rayonnement radio, comprises entre 10 et 100 micromètres). Dans ce catalogue, plusieurs objets pouvaient être des galaxies spirales et des galaxies à flambées d'étoiles (des galaxies où de grandes quantités d'étoiles se forment rapidement). Cependant, en se fondant uniquement sur l'intensité du rayonnement infrarouge, on ne distingue pas les galaxies d'objets galactiques qui émettent un rayonnement d'intensité analogue (*IRAS* ne faisait pas d'images). Pour les distinguer, on utilise des caméras sensibles à l'infrarouge proche (entre 0,8 et 50 micromètres), grâce aux images desquelles on vérifie si les candidats *IRAS* sont bien des galaxies.

Deux autres recensements systématiques dans l'infrarouge proche s'achèveront en l'an 2001 : un projet américain de recensement de tout le ciel, à une longueur d'onde de deux micromètres, et le projet européen DENIS qui dresse un catalogue du ciel austral. Dans ces deux projets, on prend des images numériques dans trois bandes spectrales qui sondent la population des étoiles les plus vieilles des galaxies. De ces recensements émergent les galaxies elliptiques que l'on trouve au centre des concentrations galactiques denses ; ils complètent donc les observations dans l'infrarouge lointain et celles à 21 centimètres, qui dévoilent principalement les galaxies spirales. Une étude préliminaire a confirmé que les recensements dans l'infrarouge proche révèlent des galaxies qui n'apparaissent pas sur les photographies en lumière visible. Malheureusement, ni le visible ni l'infrarouge ne peuvent identifier de galaxies dans les parties les plus épaisses du plan galactique.

On peut aussi éviter l'obscurcissement par la Voie lactée en observant les rayonnements de très courtes longueurs d'onde, tels les rayons X. Les amas de galaxies denses émettent quantité de rayons X qui traversent facilement la Voie lactée. Toutefois, aucune étude à ces longueurs d'onde, qui pourrait utiliser, par exemple, des données du satellite *ROSAT*, n'est en cours.

Simultanément, les astronomes recourent à des moyens indirects pour explorer la zone d'exclusion. Les techniques de traitement du signal, utilisées habituellement par les ingénieurs sur des données « bruitées » ou incomplètes, ont été employées avec succès par des chercheurs de l'Université hébraïque et par l'un de nous (O. Lahav) pour prédire l'existence

d'amas comme celui de la Poupe ou des Voiles, ainsi que la continuation du Plan supergalactique à travers la zone d'exclusion. En mesurant les vitesses de galaxies adjacentes à la zone d'exclusion, on peut prédire la répartition de masse dans cette dernière. Grâce à cette méthode, nous avons prédit que le centre du Grand Attracteur se trouve sur une ligne reliant les constellations



5. CE RADIOTÉLESCOPE de 91 mètres de diamètre (*en haut*) fonctionnait à Green Bank, en Virginie. Le 16 novembre 1988, il s'est effondré (*en bas*) : une plaque métallique du support principal avait cédé. L'antenne sera remplacée par un paraboloïde de 110 mètres sur 100. Contrairement aux antennes circulaires classiques, le nouveau télescope ne possèdera aucun étau de support lui bloquant la vue du ciel.

Richard Porcas, avec l'aimable autorisation du National Radio Astronomy Observatory

du Centaure et du Paon. Cependant, ces méthodes de reconstruction ne révèlent que les structures à très grande échelle : elles ratent les galaxies individuelles et les amas plus petits.

La proie de la Voie lactée

Les méthodes précitées ouvrent lentement à l'étude astronomique le cinquième caché de l'Univers. Une découverte des plus surprenantes est intervenue en 1994, lorsque trois astronomes qui étudiaient des étoiles de la Voie lactée ont accidentellement découvert une galaxie naine sur le pas de notre porte. Cette «naine du Sagittaire» est la galaxie la plus proche connue : elle est située à seulement 80 000 années-lumière du Système solaire, soit moins de la moitié de la distance de la deuxième galaxie la plus proche, le Grand Nuage de Magellan. En fait, elle est presque dans notre Galaxie, de l'autre côté du centre galactique.

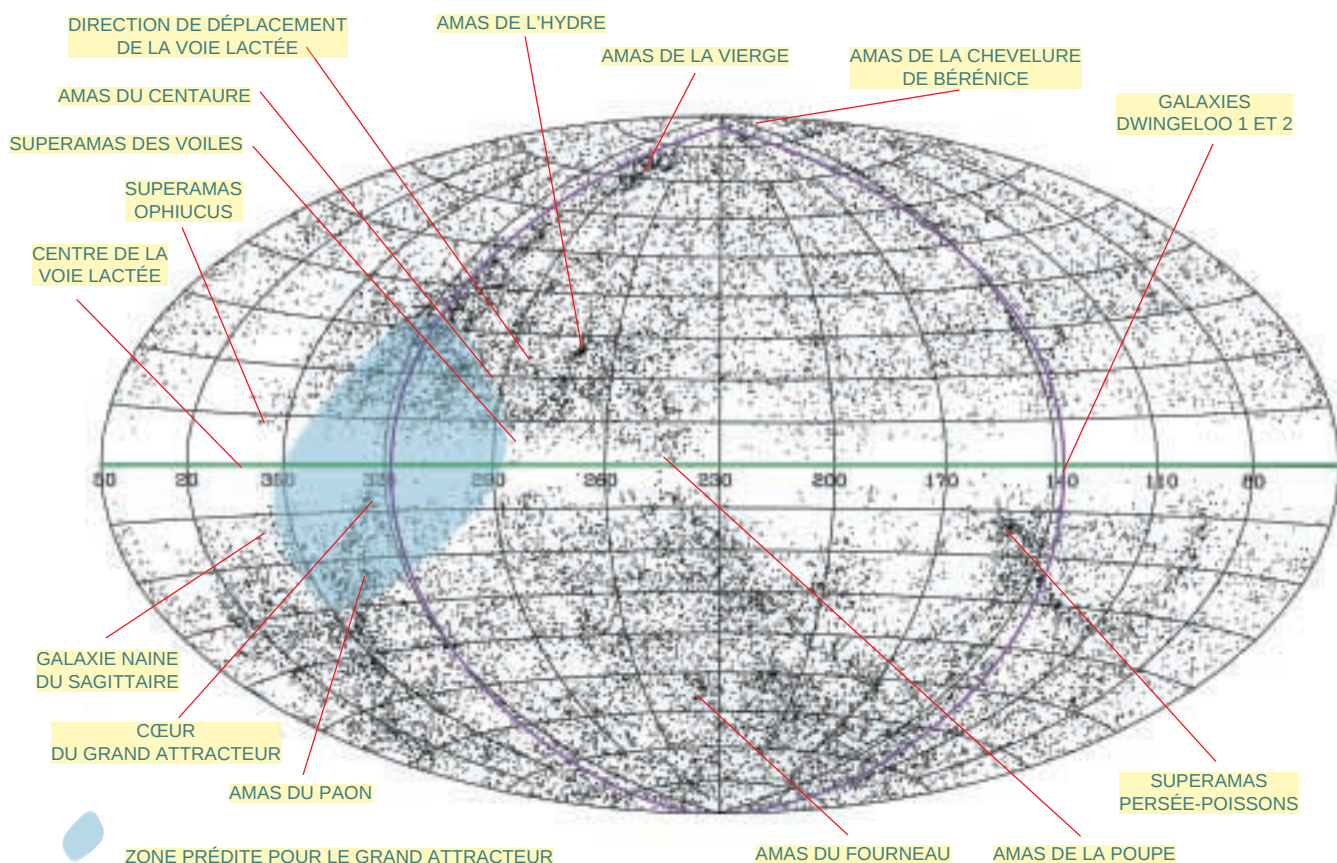
Comme la naine du Sagittaire se trouve directement derrière le bulbe central de la Voie lactée, on ne peut la voir sur des images directes. Les

astrophysiciens l'ont détectée en analysant les vitesses des étoiles : ils ont remarqué un groupe d'étoiles qui se mouvaient différemment des étoiles de notre Galaxie. En notant avec précision la position de ces étoiles et leur vitesse, en cherchant d'autres étoiles à la même distance et en compensant la lumière des étoiles connues situées à l'avant-plan, ils ont identifié la naine du Sagittaire (voir la figure 2). Elle s'étend sur au moins 20 degrés d'angle, de sorte qu'elle est la structure apparente la plus grande du ciel, après la Voie lactée elle-même. Son diamètre angulaire correspond à une taille d'au moins 28 000 années-lumière, environ un cinquième de la taille de notre Galaxie, même si elle est 1 000 fois moins massive que la Voie lactée.

Selon de nombreux modèles de formation des galaxies, les grandes galaxies se forment par agrégation de galaxies plus petites. Un tel mécanisme reste vraisemblablement à l'œuvre aujourd'hui, il a cependant rarement été observé. La galaxie naine du Sagittaire semble avoir été perturbée par les forces de marées engendrées par la Voie

lactée, mais son noyau paraît intact. Après une dizaine de rotations autour de notre Galaxie, cette galaxie a été peu modifiée, ce qui indique que sa cohésion est assurée par de grandes quantités de matière sombre (par opposition à la matière lumineuse, telle que les étoiles ou les nuages de gaz). Bien que stable, cette galaxie naine sera tout de même engloutie par notre Galaxie, d'ici un milliard d'années. Sa découverte montre que des fusions de galaxies se produisent encore aujourd'hui et qu'elles ne détruisent pas nécessairement le disque de la galaxie la plus grande.

La galaxie du Sagittaire n'est que l'une des nombreuses surprises procurées par l'étude de la zone d'exclusion. En août 1994, nous avons examiné les spectres produits par la raie à 21 centimètres de l'hydrogène. Nous avons choisi une région où de nombreuses structures filamenteuses constituées de galaxies disparaissent derrière la zone d'exclusion et où réside le groupe de galaxies IC342, proche de notre Galaxie. Nous avons assez vite trouvé un spectre curieux dans la direction de la constellation



6. TRENTE MILLE GALAXIES, prélevées dans trois catalogues astronomiques classiques, sont représentées par des points sur cette carte. Les galaxies apparaissent partout dans le ciel, sauf dans la zone d'ex-

clusion, qui correspond au plan de la Voie lactée (ligne verte, au centre). En dehors de cette zone, les galaxies semblent se rassembler près d'une ligne qui délimite le Plan supergalactique (ligne violette).

Abell 3627

Lorsque George Abell découvre l'amas de galaxies Abell 3627, au bord de la Voie lactée, il mentionne dans son catalogue : «Assez riche en galaxies spirales.» Toutefois, il ne voyait, sur ses plaques photographiques, que les galaxies les plus importantes, la lumière des galaxies plus petites étant absorbée par la poussière et le gaz de notre Galaxie, derrière laquelle se trouve cet amas. Ce sont les galaxies plus petites et moins brillantes qui ont été découvertes récemment.

Pour s'assurer que les galaxies repérées sur les plaques photographiques appartiennent bien à l'amas, il a fallu mesurer leur vitesse d'éloignement, car les vitesses des galaxies qui appartiennent à un même amas sont réparties autour d'une vitesse moyenne. Pour ce faire, Renée Kraan-Korteweg a travaillé avec notre équipe de l'Observatoire de Paris. Nous avons utilisé le positionneur automatique de fibres MEFOS installé

sur le télescope de 3,60 mètres de diamètre de l'Observatoire européen austral, à La Silla (Chili).

À l'aide de cet instrument, nous enregistrons simultanément le spectre de 30 galaxies : les 30 bras portant les fibres optiques étaient positionnés automatiquement en regard de la lumière parvenant des objets choisis à l'avance. L'instrument n'étant efficace que dans les zones de grande densité de galaxies, des mesures complémentaires pour les régions plus clairsemées ont été entreprises au télescope de 1,93 mètre de diamètre situé en Afrique du Sud et au radiotélescope de Perkes, en Australie. Les vitesses ainsi mesurées ont permis de montrer que les galaxies découvertes dans cette région appartenaient bien à l'amas, ce qui faisait de lui un amas très massif qui pouvait être le cœur du Grand Attracteur, si longtemps recherché.

Chantal BALKOWSKI, DARC,
Observatoire de Paris

de Cassiopée, qui se révéla être une nouvelle galaxie voisine.

George Hau, de l'Université de Cambridge, identifia alors un objet qui émettait une très faible lumière visible, superposée au signal radio. Peu de temps après, des images plus sensibles obtenues par différents télescopes révélèrent la forme de cette galaxie : une barre avec des bras spiraux à ses extrémités (voir la figure 2). Si elle n'était pas obscurcie par le plan de la Voie lactée, cette galaxie – nommée Dwingeloo 1 – serait l'une des dix les plus brillantes du ciel. D'après sa vitesse de rotation, elle est environ trois fois moins massive que la Voie lactée : elle a une masse analogue à M33, la troisième en masse du Groupe local, après la Voie lactée et Andromède.

Des observations complémentaires de Dwingeloo 1 à l'aide du radiotélescope de Westerbork, aux Pays-Bas, révélèrent une autre galaxie située à un tiers de degré d'angle de la première : Dwingeloo 2, une galaxie naine deux fois plus petite et dix fois moins massive que Dwingeloo 1, est à dix millions d'années-lumière de nous, juste au-delà du Groupe local. Elle semble associée au groupe

de galaxies IC342. Plus tard, deux autres galaxies situées dans cet ensemble ont été identifiées, grâce à des images de grande sensibilité obtenues dans le visible.

Bien qu'une grande partie de la zone d'exclusion reste à observer, les astronomes savent aujourd'hui qu'il n'existe aucune galaxie de la taille d'Andromède dans notre banlieue galactique. Même s'il est dommage que nous n'ayons pas découvert de galaxies de taille comparable à la nôtre ou à celle d'Andromède, ces résultats éliminent les incertitudes sur la cinématique de notre voisinage immédiat.

Amas et superamas

Les études de la zone d'exclusion ont également rénové les théories de l'Univers plus lointain. À l'aide du radiotélescope de 100 mètres de diamètre d'Effelsberg, en Allemagne, les astronomes ont découvert un nouvel amas à 65 millions d'années-lumière, dans la constellation de la Poupe. Plusieurs autres éléments, dont une analyse des galaxies découvertes par *IRAS*, ont convergé vers la même conclusion : la prise en compte