

Les galaxies

Introduction

Au XVIII^e siècle, l'Anglais Thomas Wright étudie la Voie lactée et montre que le Soleil se trouve à l'intérieur d'un disque plat constitué d'étoiles: c'est la découverte de notre Galaxie. Le philosophe Emmanuel Kant reprend cette idée et y ajoute l'hypothèse de l'existence d'autres galaxies. Il nomme ces vastes ensembles des "univers-îles".

La structure spirale de la Galaxie fut découverte, en 1951, grâce à la radioastronomie.

Structure

Si la voûte céleste nous semble immense et parsemée d'un nombre incalculable de points lumineux, une observation plus attentive nous montre que les étoiles ne sont pas distribuées uniformément et qu'un grand ruban lumineux traverse le ciel: la Voie lactée. Cette Voie lactée est la «tranche» de notre Galaxie, qui a la forme d'un disque. Hors de la Voie lactée, le nombre d'étoiles est faible, mais ce sont les plus proches de nous; c'est d'ailleurs pour cela qu'elles paraissent plus brillantes.

On distingue, dans la Galaxie, un bulbe central d'environ 15 000 années-lumière de diamètre, d'où partent des bras spiralés, qui forment un immense disque aplati de 100 000 années-lumière de diamètre et d'une épaisseur de 3 000 à 1 000 années-lumière environ. Bulbe et disque sont entourés par une région de forme sphérique appelée le halo.

Le bulbe contient très peu de gaz interstellaire, mais un grand nombre d'étoiles âgées, riches en métaux (jusqu'à un million d'étoiles dans un rayon d'une année-lumière). Au centre du bulbe, le noyau est une région très dense où se trouve une radiosource très compacte, Sagittaire A, qui est aussi une source X et sans doute un trou noir. Le disque, qui comprend environ 70 % de la masse totale de la Galaxie, contient des étoiles de masses et d'âges très variés et toute la matière interstellaire, qui est concentrée dans les bras spiraux avec les étoiles les plus jeunes, dites de population I (T Tauri, étoiles O ou B, céphéides).

Les déplacements d'étoiles au sein des galaxies

Tout objet de la Galaxie, étoile ou nuage, décrit une orbite circulaire autour du centre galactique. Dans les parties les plus proches du centre (jusqu'à 2 000 années-lumière environ), la rotation est assez semblable à celle d'un corps solide, c'est-à-dire à vitesse angulaire constante. Au-delà de cette distance, c'est la vitesse linéaire qui reste pratiquement constante, voisine de 240 km/s entre 3 000 et 50 000 années-lumière du centre. Ainsi, le Soleil, à 30 000 années-lumière du centre, met environ 250 millions d'années pour effectuer un tour complet. En plus de ce mouvement d'ensemble, les étoiles ont des mouvements d'agitation aléatoires plus ou moins importants suivant le type de population. Le Soleil se déplace par rapport aux étoiles voisines à la vitesse de 20 km/s, dans une direction du ciel appelée apex, vers la constellation d'Hercule.

Galaxies et groupements de galaxies

Dès 1755, Kant soupçonnait que certaines nébuleuses pouvaient être des objets analogues à notre Voie lactée. Au XIXe siècle, la spectroscopie naissante résolvait ces objets en étoiles, mais il fallut attendre le XXe siècle pour séparer ces nébuleuses en quatre catégories principales: les amas d'étoiles, les nébuleuses planétaires, les nébuleuses brillantes et les galaxies.

C'est Hubble, en 1924, qui le premier prouva la nature extragalactique de la nébuleuse d'Andromède M 31. À l'heure actuelle, des millions de galaxies sont connues, et les caractéristiques de plusieurs milliers d'entre elles sont répertoriées. On distingue, d'une part, les galaxies «normales» et, d'autre part, les galaxies actives et les quasars.

Les galaxies normales

Elles ont des diamètres qui peuvent aller de 2 000 à 500 000 années-lumière. Elles contiennent des étoiles (quelques dizaines de milliards en moyenne), des gaz et des poussières.

Les galaxies furent d'abord découvertes par des observations optiques, et c'est selon leur aspect optique qu'elles furent classées en trois grandes catégories: galaxies elliptiques et lenticulaires, galaxies spirales (barrées ou non) et galaxies irrégulières. On observe fréquemment des ensembles formés de deux ou plusieurs galaxies (50 % au moins des galaxies font partie de tels systèmes). En outre, certaines grosses galaxies possèdent souvent des galaxies satellites plus petites (notre Galaxie a deux satellites: les deux Nuages de Magellan).

Les galaxies elliptiques

Elles ont l'aspect de disques plus ou moins aplatis, sans aucune structure apparente. Elles représentent environ 15 % de l'ensemble des galaxies. On désigne ces galaxies par des symboles allant de E0 à E7, selon leur degré d'aplatissement apparent. Les galaxies les plus brillantes sont elliptiques, comme la galaxie NGC 4486 dans l'amas de la Vierge, de type E0, c'est-à-dire presque circulaire. Les galaxies elliptiques les plus communes sont des galaxies naines, constituées de seulement quelques milliers ou millions d'étoiles dans un diamètre de l'ordre de 6 000 années-lumière, alors que les géantes peuvent contenir des centaines de milliards d'étoiles dans un diamètre de 300 000 années-lumière.

Les galaxies lenticulaires

Elles diffèrent des elliptiques en ce qu'elles présentent un début de structure. Elles sont constituées d'un disque aplati, d'une condensation centrale et d'une vaste enveloppe extérieure, mais ne montrent pas encore de structure spirale. Les étoiles des galaxies elliptiques, comme celles des lenticulaires, ont plus de 5 milliards d'années. Ce sont des étoiles «vieilles». À quelques exceptions près, il existe peu d'indices de la présence d'étoiles jeunes ou d'un gaz interstellaire pouvant donner naissance à une autre génération d'étoiles.

Les galaxies spirales

Souvent plus brillantes, elles sont composées d'une condensation centrale, le bulbe, et d'un disque entouré d'un faible halo. Le disque présente une structure spirale caractéristique.

Les galaxies spirales vont du type Sa, avec des bras peu ouverts et un gros noyau central, au type Sd, avec des bras très ouverts et un petit noyau central (la galaxie d'Andromède et notre Galaxie appartiennent à la catégorie Sb).

Celles qui présentent une barre généralement bien marquée, d'où partent les bras, sont classées SBa, SBb, SBc, SBd dans le sens de l'ouverture croissante des bras.

Dans les galaxies spirales, les deux types d'étoiles (populations I et II) sont présents.

La population I, caractérisée par la présence d'étoiles bleues de classe O et B (souvent groupées en association), de régions H II, de céphéides, d'amas ouverts, se trouve dans les bras et dans le disque. Les gaz, les nuages moléculaires et les poussières ont la même répartition.

Par contre, la population II, représentée par les géantes rouges, les amas globulaires, les nébuleuses planétaires et certains types d'étoiles variables, forme l'essentiel de la condensation centrale. Parmi les galaxies spirales, la population relative d'étoiles jeunes et d'étoiles vieilles varie, suivant la taille respective du bulbe et des bras.

Les galaxies irrégulières

Elles n'ont pas de structure bien définie. Elles sont riches en gaz, en nuages moléculaires, en poussières et en étoiles jeunes très brillantes.

Les galaxies actives et les quasars

Parmi les milliards de galaxies visibles grâce aux télescopes modernes, 1 % d'entre elles ont un noyau très lumineux, aussi lumineux à lui seul que la galaxie tout entière. On les désigne sous le nom de «galaxies à noyau actif».

La famille des galaxies actives regroupe une gamme très variée de sources extragalactiques: radiogalaxies, galaxies de Seyfert, objets BL Lacertae, galaxies éruptives et quasars. Les noyaux actifs de galaxies peuvent être observés dans tous les domaines de longueur d'onde: radio, infrarouge, visible, ultraviolet et X.

Les radiogalaxies

Découvertes en 1954 grâce aux progrès de la radioastronomie, elles émettent autant d'énergie dans le domaine radio que dans le domaine optique. Ce sont des galaxies elliptiques géantes, souvent associées à des sources de rayonnement X intense. Un exemple spectaculaire de radiogalaxie est M 87, galaxie centrale de l'amas de la Vierge, appelée aussi Virgo A. C'est une galaxie géante qui présente un jet bleuté de lumière polarisée jaillissant du noyau et

s'étendant jusqu'à plusieurs milliers d'années-lumière. Le noyau de cette galaxie pourrait être un trou noir supermassif de plusieurs milliards de masses solaires.

Les quasars

Le premier quasar a été découvert en 1960 par l'Américain Allan Rex Sandage, qui s'aperçut en voulant identifier une radiosource compacte très intense (3C 48) qu'elle se trouvait au même endroit qu'une source de rayonnement visible d'aspect stellaire. Maarten Schmidt, en 1963, montra que ces objets présentaient un important décalage vers le rouge, et qu'il s'agissait donc d'objets très lointains et de luminosité considérable (de l'ordre de 100 à 1 000 galaxies réunies).

Depuis lors, on a détecté plusieurs milliers de quasars. Ils sont caractérisés par la dimension très réduite de la zone émissive (de l'ordre de quelques jours à quelques heures-lumière). Le décalage vers le rouge peut être si important que des raies émises dans l'ultraviolet sont observées dans le domaine visible. Il signifie que ces objets s'éloignent de nous, et ce d'autant plus vite qu'ils sont plus loin: c'est le rougissement cosmologique. Le rayonnement des quasars présente, d'une part, une composante thermique émise par un gaz porté à des millions de degrés et qu'on observe dans le domaine X et, d'autre part, une composante non thermique correspondant au rayonnement synchrotron.

Le calcul montre que pour entretenir la luminosité d'un quasar tout au long de sa vie, au moins égale à 10 millions d'années, il faut convertir en énergie une masse équivalente à 100, parfois même à 1 000 milliards de masses solaires.

Le quasar serait une galaxie géante dont le noyau supermassif est un trou noir. Dès que celui-ci atteint quelques milliers de masses solaires, il grossit rapidement en avalant la matière qui l'entoure. La matière spirale autour du trou noir chauffe et se met à rayonner. Puis, lorsque la masse du trou noir atteint quelques centaines de millions de masses solaires, les étoiles sont avalées avant d'avoir pu rayonner et le quasar s'éteint.

La métagalaxie: amas de galaxies et de superamas

La plupart des galaxies (environ 80 %) apparaissent en groupes plus ou moins importants, les amas de galaxies, eux-mêmes regroupés en superamas, ou amas d'amas. Les dimensions des amas de galaxies peuvent aller de moins de 100 kpc (à peine plus que le diamètre d'une grande galaxie) à plus de 8 Mpc et contenir de quelques dizaines à plusieurs milliers d'objets. On distingue les amas réguliers et les amas irréguliers.

Les amas réguliers

Ce sont des systèmes géants à symétrie sphérique. Ils ont une concentration centrale très marquée et contiennent de un à plusieurs milliers de galaxies. Ces amas sont presque entièrement constitués de galaxies lenticulaires et elliptiques. Le mieux connu est celui de Coma, le plus proche de nous, à une distance de 70 Mpc.

Les amas irréguliers

Ils contiennent des galaxies de tous types, en proportion variable. Leurs formes, leurs densités et leurs dimensions sont diverses, ainsi que le nombre de leurs galaxies (de quelques dizaines à un millier). Ils sont beaucoup plus communs que les amas réguliers. L'amas de la Vierge est un amas irrégulier, très riche, puisqu'il contient plus de mille galaxies dans un diamètre de 2 Mpc. C'est un amas proche (à 10 Mpc) qui comprend des galaxies brillantes de types elliptiques géantes et spirales.

Les superamas

C'est le Français Gérard de Vaucouleurs qui le premier a mis en évidence le superamas local. Celui-ci a une masse totale d'environ 10^{15} masses solaires. Il contient entre autres l'amas local et celui de la Vierge. Les autres superamas bien connus sont ceux de Persée, d'Hercule et de Coma. Ce sont les plus grandes structures connues de l'Univers.

Pour déterminer la masse des amas de galaxies (puis des superamas et enfin la masse de l'Univers), on utilise deux méthodes différentes.

La première est fondée sur la mesure des vitesses de dispersion des galaxies dans un amas, dispersion liée à la masse de l'amas. La seconde consiste à additionner les masses des galaxies individuelles, qui sont elles-mêmes évaluées soit à partir de la relation masse-luminosité, soit à partir de l'étude dynamique des trajectoires des étoiles qui les composent. Or il existe un désaccord systématique d'un facteur 10 entre les valeurs obtenues par les deux méthodes. Ce désaccord s'explique maintenant par l'hypothèse d'une masse cachée, ou masse manquante. Cette masse invisible, qui pourrait atteindre 90 % de la masse totale de l'Univers, serait constituée de naines noires, de trous noirs, de neutrinos, ou d'un gaz hypothétique issu de l'Univers primordial.