

La Voie lactée: une galaxie peu ordinaire et une formation exceptionnellement calme



Les astrophysiciens ont généralement considéré que notre Galaxie était une galaxie spirale ordinaire, au point d'utiliser ses propriétés pour caractériser les modèles de simulation numérique permettant de tracer la formation des galaxies depuis les premières origines de l'Univers. Cette hypothèse est aujourd'hui remise en cause par les derniers résultats d'une équipe d'astrophysiciens du laboratoire GEPI - Galaxies Étoiles Physique et Instrumentation - de l'Observatoire de Paris.

L'équipe d'astronomes (1) vient de comparer notre Galaxie aux autres galaxies spirales (ou galaxies à disques). Elle démontre que pour la Voie lactée, le contenu en étoiles et le rayon du disque sont bien inférieurs à ce que l'on observe pour les autres galaxies. Le halo de notre Galaxie est aussi exceptionnel: les étoiles qui le composent sont particulièrement pauvres en éléments lourds. L'équipe explique ces particularités par le fait que notre Galaxie a subi très peu de rencontres ou de fusions avec d'autres galaxies depuis les derniers 10-11 milliards d'années.

Aujourd'hui, la majorité des grandes galaxies sont des galaxies spirales, sous la forme de grands disques en rotation autour d'un bulbe de relative petite taille. Par exemple, notre Soleil est une étoile du disque de notre Galaxie, la Voie lactée, tournant à une vitesse de 220 km/s autour du centre galactique.

Les galaxies se caractérisent par des quantités fondamentales comme la vitesse de rotation de l'ensemble des étoiles du disque autour du centre, le rayon du disque et enfin le contenu en étoiles, communément appelé « masse stellaire ». Il est assez aisé de mesurer ces quantités pour les galaxies extérieures à la nôtre, car nous en avons une vision globale. La difficulté pour faire ces mesures pour la Voie lactée tient au fait que nous l'habitons: par exemple, l'extinction par des poussières interstellaires peut cacher une partie de la Galaxie et donc fausser les mesures. D'énormes progrès ont été réalisés ces dernières années, avec notamment des mesures très détaillées faites en proche et lointain infrarouge qui, elles, ne sont pas affectées par les effets des poussières.

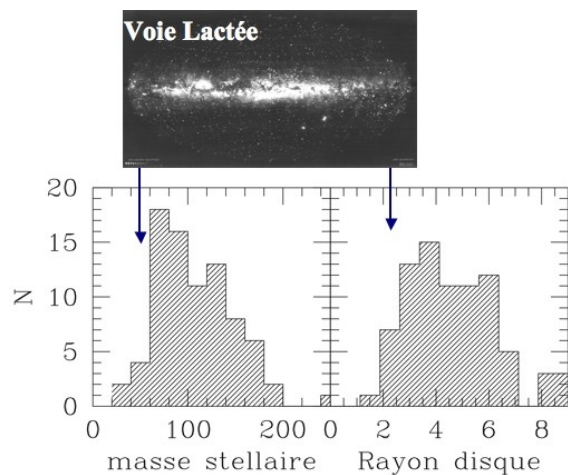


Figure: Distribution des masses stellaires (en milliards de masses solaires) et des rayons de disques (en kilo-parsecs) pour les grandes galaxies spirales semblables à la Voie Lactée. Les flèches indiquent la position de notre Galaxie dans ces diagrammes. Elle montre que le contenu en étoiles et le rayon de notre Galaxie sont environ la moitié de ceux de la moyenne des grandes galaxies.

La Voie lactée se singularise par sa masse et son rayon

En comparant ces mesures avec celles qui ont été faites sur un ensemble de galaxies proches, les astrophysiciens de l'Observatoire de Paris ont réalisé à leur grande surprise que notre Galaxie était plutôt particulière. En effet, pour une vitesse de rotation du disque donnée, son rayon et sa masse stellaire sont deux fois plus petits que ceux de la moyenne des autres galaxies. Ainsi, seulement 7% des galaxies spirales voisines ont des propriétés semblables à la Voie lactée. Par contre, la grande galaxie d'Andromède a des propriétés comparables à celles des autres galaxies spirales.

L'environnement particulièrement intact de notre Galaxie

Les galaxies spirales ne contiennent pas seulement un disque et un bulbe: elles sont aussi entourées par un halo de matière, généralement connu pour contenir la matière invisible nécessaire à leur stabilité. Ce halo, ou cet environnement, contient de la matière visible, comprenant des étoiles, dont les propriétés sont particulièrement affectées par les phénomènes de fusion entre galaxies. Par exemple, lorsqu'une galaxie en absorbe une autre, les effets du choc sont tellement violents que les régions environnantes sont considérablement affectées par les débris de la collision, et de plus, enrichies par les nouvelles étoiles naissantes suite à la fusion. À nouveau, la Voie lactée est très particulière: son environnement contient uniquement des étoiles âgées et peu enrichies en éléments lourds, contrairement aux autres galaxies, notamment Andromède.

La Voie lactée est-elle particulièrement propice à l'apparition de la vie ?

Nous savons par ailleurs que la Voie lactée n'a pas subi de fusions importantes avec d'autres galaxies depuis près de 11 milliards d'années. Nous savons aussi qu'Andromède a subi de nombreux phénomènes de fusions dans un passé beaucoup plus récent (quelques milliards d'années). Ces fusions récentes "polluent" l'environnement des galaxies par du matériel dispersé ou par des étoiles nouvellement formées. En générant de nouvelles étoiles, la masse stellaire et le rayon des galaxies augmentent. Les propriétés particulières de la Voie lactée – petit rayon de disque, faible masse en étoiles, étoiles peu enrichies du halo -s'expliquent ainsi très bien par l'histoire exceptionnellement calme de notre Galaxie.

L'absence de rencontres durant plus de dix milliards d'années avec d'autres galaxies pourrait être une condition particulièrement favorable à l'apparition de la vie. En effet, les collisions

entre les galaxies sont en général très violentes, et impliquent de très puissantes émissions d'énergie (dont celles des supernovas) qui sont très nocives aux molécules complexes qui sont à l'origine de la matière vivante.

(1) L'équipe est composée de: François Hammer, Mathieu Puech, Laurent Chemin, Hector Flores et Matthew Lehnert, GEPI-Observatoire de Paris, unité mixte de recherche du CNRS, associé à l'Université Paris Diderot.

Généralité sur la Voie Lactée

Si vous avez déjà eu l'occasion d'observer le ciel lorsque la nuit est noire d'encre dans les régions éloignées de l'éclairage public, en altitude ou dans une région désertique, après les premières minutes d'accoutumance, vous avez certainement distingué à la limite de la visibilité une bande laiteuse irrégulière qui traverse le ciel au milieu des étoiles. John Milton qui observa la Voie Lactée avec la lunette de Galilée la décrit avec beaucoup de poésie comme étant *"un chemin large et ample dont la poussière est d'or et le pavé d'étoiles, comme les étoiles que tu vois dans Galaxie, cette voie lactée que tu découvres, la nuit, comme une zone poudrée d'étoiles"*. Cette poussière d'or de forme irrégulière et évanescence dont parle avec grand art John Milton représente notre Galaxie vue de profil. Les plus proches étoiles sont à plusieurs dizaines d'années-lumière, l'équivalent de quelques centaines de milliers de milliards de kilomètres... Pourtant nous aimerions tendre la main et caresser l'échine de la nuit.

Mensurations et morphologie de la Voie Lactée

La Voie Lactée est semblable aux autres galaxies. Ainsi que l'ont confirmé les observations réparties sur toute l'étendue du spectre électromagnétique, du rayonnement radio au rayonnement X, la Voie Lactée forme un disque épais, composé d'étoiles, de gaz et de poussières dont le diamètre est d'environ 100000 années-lumière pour une épaisseur d'environ 700 années-lumière à hauteur du Soleil.

Selon les estimations, la Voie Lactée rassemble environ 200 milliards d'étoiles. C'est plus du double de la galaxie M33 mais à peine 60% de la célèbre galaxie d'Andromède M31 qui compte parmi les plus étendues (220000 années-lumière de diamètre). Le record est détenu par la galaxie centrale de l'amas Abell 2029, une galaxie géante située dans la constellation de la Vierge. Sa masse est de 2000 milliards d'étoiles et son diamètre atteint 8 millions d'années-lumière !

Comme les milliards d'autres galaxies qui peuplent l'univers, la Voie Lactée renferme non seulement tout un zoo stellaire allant des étoiles naines aux pulsars, mais également un grand nombre de nuages de gaz épars que l'on appelle des nébuleuses.

Les constellations et autres astérismes ne sont que des groupements arbitraires d'étoiles proches (moins de 2000 a.l.) dont l'origine historique coïncide avec le développement de l'astrologie. Aujourd'hui elles servent avant tout de repère nocturne aux observateurs.

Nous avons parlé un peu plus tôt de la forme spiralée de la Voie Lactée. Comment connaissons-nous sa forme puisque nous sommes plongés à l'intérieur un peu comme un

habitant de Flatland explorant un monde à deux dimensions ? Il existe deux méthodes, l'une déterminant la courbe de rotation des régions HI - leur vitesse radiale - et celle déterminant les champs de vitesses des régions HI - les isovitesses.

Grâce aux relevés radioélectriques, nous connaissons la forme quasi complète de notre Galaxie. Seul un quadrant situé au-delà du noyau reste inconnu, où le rayonnement est absorbé tout le long de son parcours par la matière interstellaire.

Nous savons que les étoiles de la Voie Lactée sont alignées dans 4 bras serrés autour du noyau, lui donnant une structure spiralée assez prononcée que le Sky Catalogue 2000.0 classe encore parmi les galaxies spirales Sb.

Mais en 1964 déjà l'astronome Gérard de Vaucouleurs de l'Université du Texas avait émis l'hypothèse que la Voie Lactée était une galaxie spirale barrée, cherchant à expliquer le mouvement non circulaire du gaz atomique qui entourait le noyau. Puis dans les années 1970 il classa la Voie Lactée SAB(rs)bc II, c'est-à-dire presque au centre du modèle qu'il proposa en 1959 : une spirale non barrée avec un anneau interne (r), les bras spiraux partant directement du noyau (s).

Depuis 1991, grâce aux travaux de Blitz, Spergel, Matsumoto et consorts, plusieurs indices (photométriques, IR, matière sombre) semblent confirmer que la Voie Lactée est bel et bien une galaxie spirale barrée (SBcm) dont l'aspect serait similaire à la belle galaxie NGC 1365 ou NGC 4535. Ainsi que nous le verrons, cette configuration n'est pas exceptionnelle et près de la moitié des disques galactiques contiennent une barre qui traverse le noyau.

A partir de 10000 années-lumière du noyau et à distances croissantes se trouvent le bras de la Règle, le bras du Centaure qui se prolonge vers celui de l'Ecu, le bras du Sagittaire et celui de la Carène, le bras d'Orion et le bras de Persée. Plus loin encore, à 20000 années-lumière derrière le bras de Persée se trouve trois bras extérieurs. Ces noms font référence aux constellations qu'ils abritent par projection. Le Soleil occupe le bras intérieur d'Orion, qui est fortement décentré à environ 25000 années-lumière du noyau. Précisons que ces mesures de distances sont entachées d'incertitude. Les distances sont surestimées par l'absorption de la lumière par la poussière interstellaire. A ce jour, l'erreur peut encore atteindre 25%.



Illustration artistique de l'aspect général de la Voie Lactée. Dessin de Pour la Science

Pour accomplir une révolution autour de la Galaxie, le Soleil met environ 250 millions d'années à la vitesse d'environ 220 km/s. Durant les prochains millénaires nous savons qu'il se dirigera vers une zone dénommée l'Apex située entre le Sagittaire et le Capricorne à la vitesse d'environ 650 km/s.

Le noyau de la Voie Lactée

Le disque galactique est animé d'un mouvement de rotation qui entraîne la formation d'une région centrale plus renflée où la concentration des étoiles est la plus forte. Ce bulbe central forme un halo de 12000 années-lumière de rayon duquel s'échappent les bras spiralés.

Le Soleil étant plongé dans les bras nébuleux et opaques du disque, il nous est très difficile d'observer dans la direction du noyau, tout au moins en lumière visible car l'extinction de la lumière atteint 30 magnitudes dans la région du Sagittaire.

Aussi les astronomes ont-ils tenté de percer son voile en utilisant des longueurs d'ondes auxquelles la matière interstellaire était plus transparente. Ce fut le début des premières découvertes en ondes radios millimétriques, infrarouges, X et gamma

Grâce aux recherches des astronomes nous savons aujourd'hui que le disque galactique n'est pas uniformément plat. Les radiotélescopes millimétriques ont permis de découvrir qu'au centre du noyau se trouvait un disque de 8000 années-lumière (2500 pc) de diamètre, incliné d'environ 18° sur le plan galactique, confirmant le motif légèrement incliné des bras, gauchissement surtout visible à 21 cm de longueur d'onde. Jusqu'à présent les astrophysiciens pensaient que le bulbe avait la forme d'une sphéroïde aplatie asymétriquement. Grâce aux mesures de COBE nous avons des indices selon lesquels le bulbe est allongé dans la direction de son plan; la Voie Lactée est bien une galaxie spirale barrée

Le disque galactique tourne sur lui-même trois fois plus vite que la matière qui l'entoure (130 km/s). Outre des débris de supernovae, il contient des gaz chauds sous pression, de la poussière et des molécules. La région comprise dans les 300 pc autour du noyau représente une masse d'environ $10^8 M_\odot$, soit environ 5% de la masse moléculaire totale de la Galaxie, concentrée dans 0.04% de sa surface !

La densité surfacique des gaz moléculaires du noyau est extraordinaire. On y trouve des nuages moléculaires CO et CS confinés qui requièrent de fortes densités pour être excités comme ils le sont. La vitesse des nuages déduite du décalage Doppler de leurs raies spectrales est de l'ordre de 15 km/s, plus de 15 fois supérieure à la vitesse du son ! On pense que ces déplacements sont induits par des champs magnétiques très intenses de l'ordre de 130 mG. Par comparaison, il n'est que de 5 mG dans le gaz diffus Local. On en a également déduit que la pression du gaz moléculaire est trois fois plus élevée dans le noyau que dans le disque. Ces phénomènes s'expliqueraient par la température, qui est voisine de 10^8 K, supérieure à celle qui règne dans le noyau du Soleil et la densité du milieu (env.0.03 à 0.06 protons/cm³) qui correspond à une pression près de 1000 fois supérieure à celle mesurée dans le voisinage du Soleil ! Dans de telles conditions, le gaz émet des rayons X qui pourraient se transformer en "vent galactique" s'il n'est pas confiné dans le champ magnétique.

Malgré cette grande concentration de matière, peu d'étoiles s'y forme, probablement en raison de l'intense dispersion qui se produit au sein des nuages moléculaires. La masse de Jeans de ces nuages atteint $10^6 M_\odot$, ce qui signifie qu'une liaison gravitationnelle ne peut se produire qu'au sein de nuages extrêmement massifs, tels Sgr A et Sgr B2. Des mesures permettent également d'estimer que les nuages de gaz présents dans le noyau de la Voie Lactée se seront diffusés avant leur effondrement. Cette diffusion peut s'étendre sur cent millions d'années.

La région couvrant les 30 pc centraux (100 a.l.) fait preuve d'une activité très exotique. Dans un espace réduit à 0.3° d'arc se trouve cinq sources de rayonnement intense dont l'une est baptisée "Sagittarius A". Elle se divise en deux composantes, Sgr A East et Sgr A West. La première s'étend sur 3' (8 pc) et présente un spectre non thermique vraisemblablement entretenu par le rayonnement des supernovae. Sgr A West est plus petite (2 pc). Au centre de cette structure s'agglomère quelque 5 millions d'étoiles sur 3 années-lumière ! Sa cartographie en proche infrarouge (2.2 et 10 μ m) a permis d'y déceler une vingtaine de sources d'émission

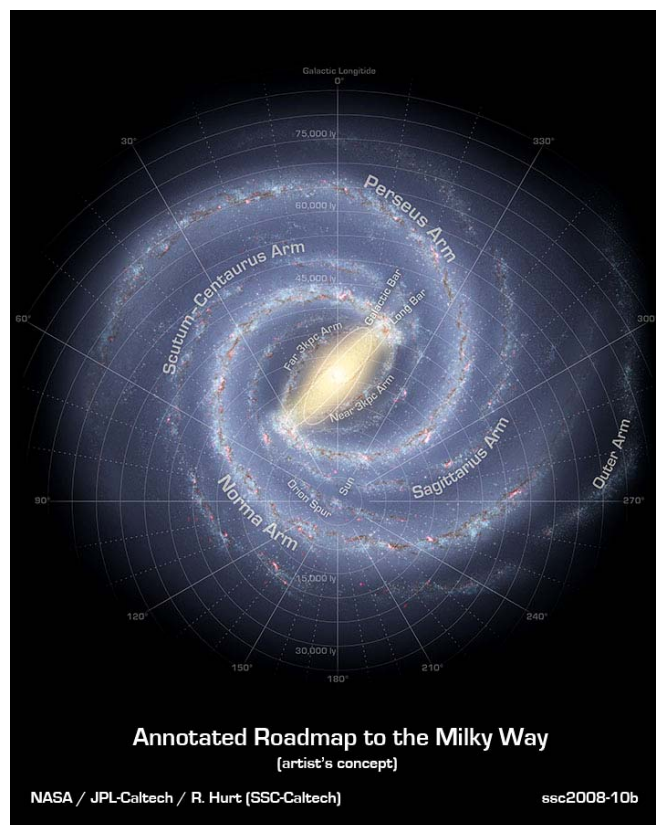
dont certaines éjectent des filaments longs d'une trentaine de parsecs. Ce environnement est vraiment très suspect et suscita l'intérêt de nombreux chercheurs.

A l'intérieur du parsec central les étoiles jouent un rôle gravitationnel primordial. Dans cette région les étoiles sont tellement proches les unes des autres que les collisions, y compris des effets de marées sont suffisamment fréquents pour éjecter dans le milieu interstellaire d'énormes quantités de gaz. Cette région contient 3 sources très intenses, IRS7, IRS11 et IRS16 qui couvrent une surface de moins de 20" d'arc. L'une d'elles, IRS16 considérée tout un temps comme le centre de la Voie Lactée, se trouve à environ 1" (0.04 pc) à l'Est de Sgr A* et couvre 3 années-lumière. Elle représente une masse d'environ 10 millions de soleils. Elle émet un rayonnement radioélectrique thermique, typique des régions HII.

IRS16 a été résolue en une vingtaine de composantes compactes. Il s'agirait d'un jeune amas d'étoiles contenant soit des étoiles superbleues géantes soit des étoiles proche du stade Wolf-Rayet en train de perdre leur masse (jusqu'à $10^{-4} M_{\odot}/\text{an}$) en libérant des gaz à la vitesse prodigieuse de quelque 1000 km/s (3.6 millions de km/h).

Au centre de cette région le plasma est porté à 35000 K et le rayonnement devient non thermique, irradiant l'espace de rayons cosmiques sur lesquels se superpose un effet synchrotron provoqué par d'intenses champs magnétiques. Les filaments de plasma chauds découverts dans cette zone ont été corroborés par les observations radios du réseau interférométrique VLA. On a ainsi découvert une structure connue sous le nom d'"éperon galactique". Elle s'étend sur plus de 60 pc et est constituée de filaments magnétiques parallèles entourés de matière ionisée. Son origine n'est pas encore élucidée mais elle est probablement liée à la présence d'un objet très massif, probablement un trou noir.

Thierry Lombry



Notre galaxie, d'après les dernières observations