

> La carte montre également que le Soleil est très proche d'une cinquième structure, le bras local, qui semble être un fragment isolé de bras spiral. Ce fragment est aussi nommé l'«éperon d'Orion», ou «éperon local». On pensait, comme le suggère ce nom, que cette structure mineure était une sorte de ramification annexe d'un bras spiral, comme on en voit dans d'autres galaxies. Cette interprétation pourrait être erronée. Dans nos données, ce fragment ressemble plutôt à un segment orphelin d'un bras qui s'enroule sur moins d'un quart de la Voie lactée.

Malgré sa longueur réduite et son statut secondaire, ce tronçon de bras hébergerait une activité de formation d'étoiles massives comparable à celle du bras de Persée voisin. D'ailleurs, certains astronomes pensent que le bras de Persée est l'un des deux bras principaux de la Galaxie (l'autre étant le «bras Écu-Croix», aussi nommé «bras du Centaure»). Nous constatons cependant que la formation d'étoiles massives y diminue fortement alors que le bras se replie vers le centre de la Galaxie. Le bras de Persée n'apparaîtrait donc probablement pas aussi important pour un observateur extérieur.

En utilisant la position des étoiles massives et en modélisant leur mouvement, nous avons estimé certaines caractéristiques de la Voie lactée. Le Soleil se trouve à 8 150 parsecs (environ 26 600 années-lumière) du centre galactique, avec une incertitude de plus ou moins 150 parsecs. Cette valeur est inférieure à celle de 8 500 parsecs officiellement recommandée depuis des décennies par l'Union astronomique internationale. Nous avons aussi déterminé que le Système solaire se déplace à une vitesse de 236 kilomètres par seconde sur son orbite, soit près de huit fois celle de la Terre autour du Soleil. À partir de ces données, on peut déduire que le Soleil effectue un tour de la Galaxie en 212 millions d'années.

UNE FORME DE CHIPS

Si l'on ne considère pas la barre centrale, la partie interne du disque de poussière galactique (entre l'orbite du Soleil et le centre galactique) est très mince et quasiment plate. Ce résultat est connu depuis longtemps; en revanche, la position du Soleil par rapport à ce plan était davantage débattue. Récemment, le consensus chez les astronomes était que le Système solaire était situé à 25 parsecs (82 années-lumière) au-dessus du plan. Nous obtenons une valeur un peu différente. En ajustant le plan galactique grâce à la position des étoiles massives, nous concluons que le Soleil se trouve seulement 6 parsecs (20 années-lumière) au-dessus du plan, une différence qui reste à élucider mais qui confirme que nous sommes situés très près du plan galactique.

Depuis quelques années, les astronomes ont découvert que le disque de poussière n'est

pas parfaitement plan et prend une forme de chips. De nombreuses expériences ont confirmé cette observation (*voir, par exemple, la figure page ci-contre*). Nous confirmons aussi ce résultat avec nos étoiles massives, ce qui renforce la pertinence de notre méthode d'observation.

Pour se repérer facilement dans la Galaxie, les astronomes ont divisé la Voie lactée en quadrants, qui se rejoignent au niveau du Soleil. Nous avons tracé les bras dans trois des quatre quadrants. Pour compléter notre carte, nous aurions besoin d'observations menées depuis l'hémisphère Sud de la Terre. Un tel projet est en préparation; il fera appel à des télescopes en Australie et en Nouvelle-Zélande.

En attendant, nous pouvons extrapoler dans le quatrième quadrant les bras que nous avons déjà identifiés, en nous appuyant également sur d'autres informations comme les émissions de l'hydrogène neutre ou du monoxyde de carbone. On retrouve ainsi les quatre bras qui avaient été postulés précédemment: le bras de la Règle (ou bras du Cygne), le bras Écu-Croix, le bras du Sagittaire et le bras de Persée. Il nous faut cependant être prudents, car nous n'avons

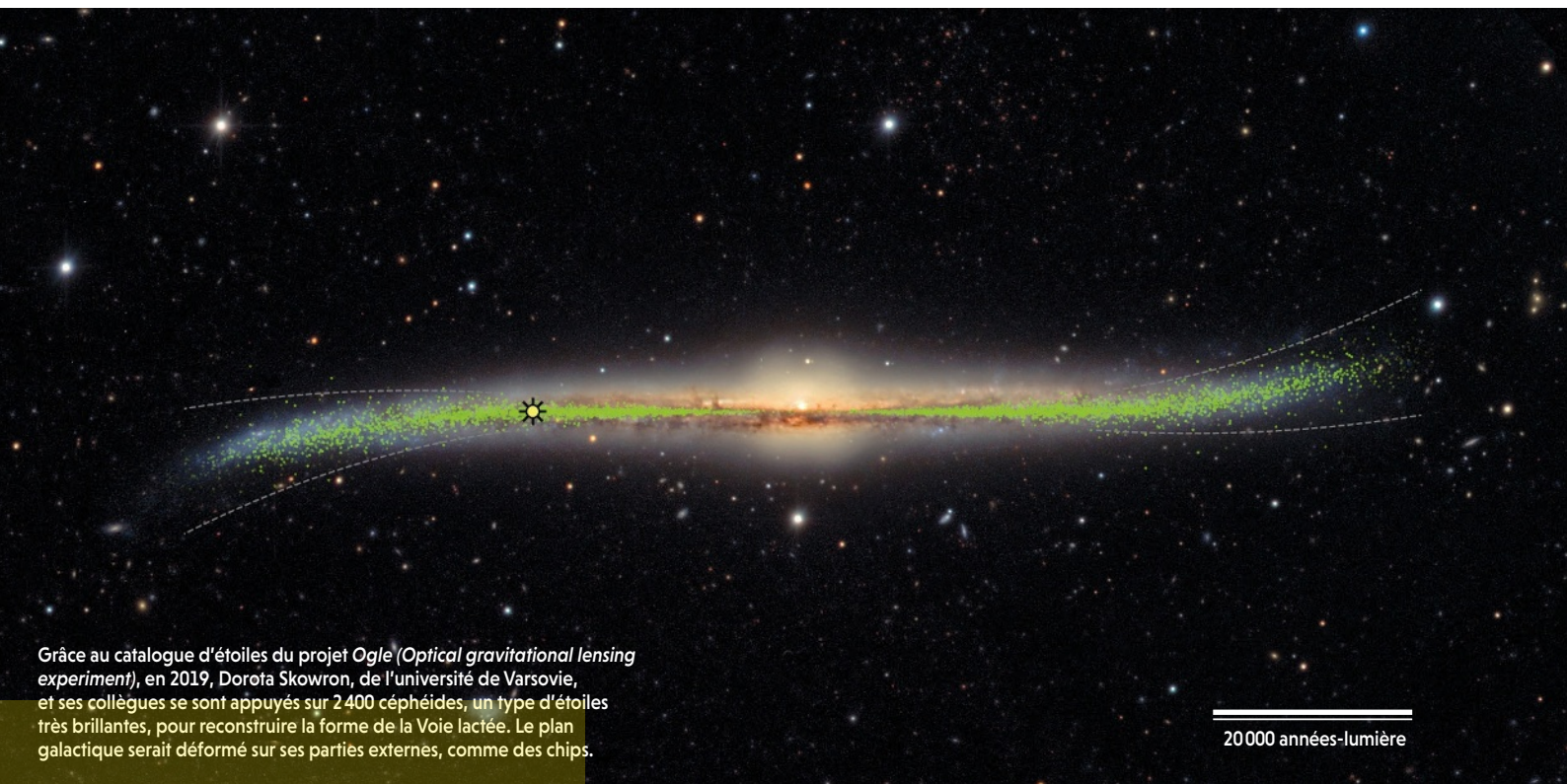


Le Soleil serait situé à environ 26 600 années-lumière du centre galactique



qu'une seule mesure de pouponnière d'étoiles à grande distance du centre galactique. La position de cette région, sa vitesse (obtenue grâce au monoxyde de carbone) nous donne assez de confiance sur la validité de notre extrapolation et notre façon de connecter les bras dans ce quatrième quadrant. Mais d'autres mesures seront nécessaires pour consolider ce résultat.

Nous avons donc maintenant une vision plus claire de notre voisinage cosmique. Il semble que la Voie lactée soit une galaxie spirale à quatre bras, avec une barre centrale lumineuse et relativement symétrique. Le Soleil se situerait sur le plan galactique assez loin du centre. En plus des bras qui s'enroulent quasiment sur un tour complet, la Galaxie présente au moins un autre segment de bras (le



Grâce au catalogue d'étoiles du projet Ogle (*Optical gravitational lensing experiment*), en 2019, Dorota Skowron, de l'université de Varsovie, et ses collègues se sont appuyés sur 2 400 céphéides, un type d'étoiles très brillantes, pour reconstruire la forme de la Voie lactée. Le plan galactique serait déformé sur ses parties externes, comme des chips.

20 000 années-lumière

bras local) et en a sûrement d'autres. Ces caractéristiques sont finalement assez banales pour une telle galaxie, sans être pour autant la norme. Environ deux galaxies spirales sur trois sont dotées d'une barre centrale; en ce sens, la Voie lactée appartient à la majorité. En revanche, ses quatre bras clairement définis et très symétriques constituent une structure plus exceptionnelle, car la plupart des galaxies spirales ont moins de bras ou ont une organisation moins régulière et nette.

Néanmoins, de nombreuses questions sur l'aspect de la Voie lactée en particulier et des galaxies spirales en général restent en suspens. Les astronomes s'interrogent notamment sur les mécanismes qui mènent à la formation des bras spiraux. Deux théories s'opposent. Selon l'une, des instabilités gravitationnelles à l'échelle de la galaxie créent des motifs d'ondes spirales à longue durée de vie. Selon l'autre, des instabilités à petite échelle s'étirent et s'amplifient au cours du temps pour former des segments de bras qui ensuite se combinent pour donner des bras entiers. Dans le premier scénario, les bras spiraux perdurent des milliards d'années, alors que dans le second, les bras persistent peu, mais sont régulièrement remplacés par d'autres.

Une autre énigme concerne l'âge de la Voie lactée. On pense qu'une galaxie se construit en plusieurs milliards d'années grâce à une multitude de coalescences successives de petites

protogalaxies qui se sont formées plus tôt dans l'histoire de l'Univers. La Voie lactée a probablement atteint le rang de grande galaxie il y a 5 milliards d'années. Mais son aspect était certainement très différent à l'époque, car des collisions ultérieures avec d'autres galaxies ont sûrement réarrangé sa structure spirale.

EN ATTENTE DE LA FUTURE GÉNÉRATION DE RADIOTÉLESCOPES

Pour améliorer notre connaissance de la Voie lactée, d'autres observations au moyen de la future génération de radiotélescopes utilisant la technique de VLBI seront nécessaires. Parmi ces projets qui s'étendent à l'échelle de continents, notons SKA (*Square Kilometer Array*), dont la première phase en Afrique du Sud sera opérationnelle vers 2024. Une deuxième phase est en préparation avec des radiotélescopes en Australie. Un autre projet est également à l'étude en Amérique du Nord. En augmentant la surface de collecte du rayonnement par rapport à celle des réseaux actuels, nous serons en mesure d'observer des sources radio de la Voie lactée plus faibles et donc plus lointaines. À terme, nous espérons cartographier avec précision notre galaxie et, peut-être, mettre à l'épreuve les deux théories sur les mécanismes de formation des bras spiraux. ■

BIBLIOGRAPHIE

M. J. Reid et al., **Trigonometric parallaxes of high-mass star forming regions : Our view of the Milky Way**, *Astrophysical Journal*, vol. 885(2), article 131, 2019.

A. Sanna et al., **Mapping spiral structure on the far side of the Milky Way**, *Science*, vol. 358, pp. 227-230, 2017.

K. Johnston, **Les fossiles de la Voie lactée**, *Pour la Science*, n° 453, juillet 2015.

T. M. Dame et al., **The Milky Way in molecular clouds : a new complete CO survey**, *Astrophysical Journal*, vol. 547(2), pp. 792-813, 2001.

W. W. Morgan et al., **Studies in galactic structure. I. A preliminary determination of the space distribution of the blue giants**, *Astrophysical Journal*, vol. 118, pp. 318-322, 1953.