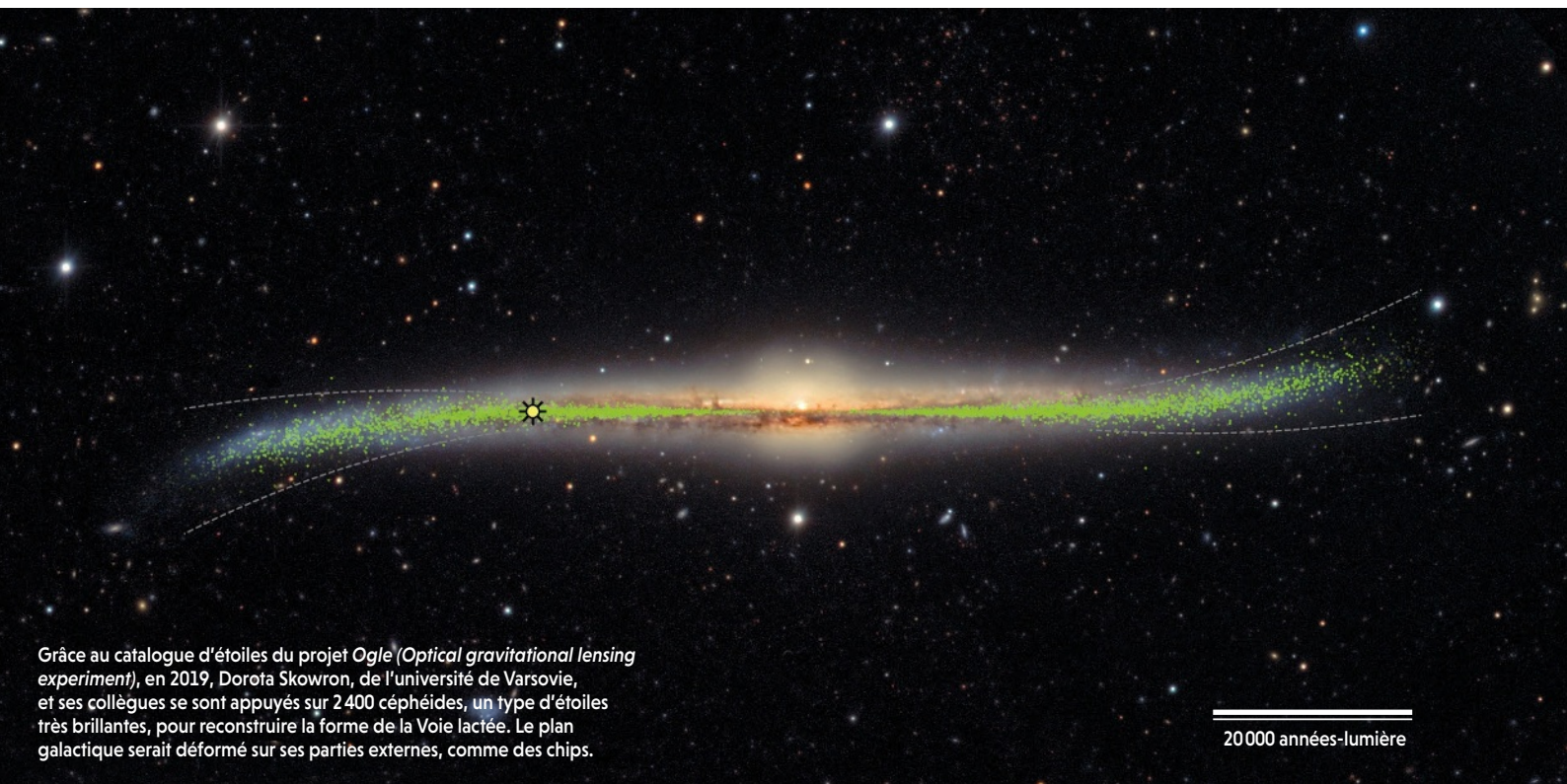




Grâce au catalogue d'étoiles du projet Ogle (*Optical gravitational lensing experiment*), en 2019, Dorota Skowron, de l'université de Varsovie, et ses collègues se sont appuyés sur 2 400 céphéides, un type d'étoiles très brillantes, pour reconstruire la forme de la Voie lactée. Le plan galactique serait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

**CARINE
BABUSIAUX**

est astronome à l'institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble. Elle est spécialiste de la structure, de la formation et de l'évolution de la Voie lactée. Elle est membre de la collaboration Gaia.



Le Système solaire est peut-être né d'une collision galactique

Le satellite Gaia livre de nombreuses informations sur la Voie lactée, sa structure, l'histoire de sa formation... et celle du Système solaire. Carine Babusiaux nous présente les résultats les plus récents de cette mission.

En quoi consiste la mission Gaia ?

Il s'agit d'une mission spatiale de l'Agence spatiale européenne dont l'objectif principal est un relevé astrométrique de près de 2 milliards d'étoiles dans la Voie lactée (qui en compte quelques centaines de milliards). Elle prend le relais du satellite *Hipparcos*, qui avait rassemblé un catalogue de 120 000 étoiles il y a vingt-cinq ans ! Le satellite *Gaia* a été lancé en 2013 et réalise des mesures de distance, position et vitesse des astres. Ces relevés sont complétés avec des données spectrophotométriques et spectroscopiques. L'idée est d'établir un catalogue public que les chercheurs utilisent ensuite pour étudier différents aspects de la Galaxie. La troisième version du catalogue sortira en deux temps, cette année et l'année prochaine. La mission nominale devait durer cinq ans, mais comme le satellite avait assez de gaz de propulsion en réserve, le programme continue grâce à une extension de mission.

Comment sont réalisées les différentes mesures ?

Le satellite utilise la méthode de la parallaxe pour calculer la distance d'une étoile. Quand on regarde depuis deux positions différentes un objet en avant-plan d'un fond considéré comme fixe, l'objet semble se décaler. L'angle correspondant est nommé la parallaxe. Si l'on connaît la distance entre les deux points d'observation et que l'on mesure précisément la parallaxe, un simple calcul de trigonométrie permet de déterminer la distance de l'objet et donc sa position dans l'espace. Pour *Gaia*, on mesure la parallaxe en utilisant le fait que la Terre tourne autour du Soleil pour avoir deux positions éloignées sur son orbite.

Quand on calcule plusieurs fois la position d'une étoile au cours du temps, on voit son déplacement dû à sa vitesse propre dans le plan du ciel. Par ailleurs, pour accéder à la vitesse des

étoiles les plus brillantes dans la direction de la ligne de visée, on utilise une technique spectroscopique. On décompose la lumière de l'étoile en fonction de la longueur d'onde et on regarde certaines raies caractéristiques, par exemple celles du calcium. À cause de l'effet Doppler, ces raies se décalent d'autant plus vers le bleu que l'étoile se rapproche vite de nous (ou vers le rouge si l'astre s'éloigne). Avec toutes ces données, on a la position et la vitesse des étoiles en trois dimensions, ce qui permet d'établir une carte très précise de la Voie lactée.

Gaia embarque aussi un instrument spectrophotométrique qui analyse toutes les sources observées. Il est utilisé pour déterminer les paramètres physiques des astres (classification, luminosité, température, métallicité, etc.).

Ces observations nous renseignent-elles sur la structure globale de la Voie lactée ?

Elles fournissent des informations très riches sur la forme du plan galactique, le halo qui l'entoure, les bras spiraux en son sein, etc. Mais les mesures sont loin d'être simples. Les instruments de *Gaia* fonctionnent dans la gamme optique, une lumière qui est en grande partie absorbée par la poussière du milieu interstellaire. Ainsi, la portée de nos observations est en général limitée dans les régions très riches en poussière, comme dans le cas des bras spiraux de la Galaxie. Néanmoins, cette poussière n'est pas distribuée de façon homogène, alors dans certaines directions nous pouvons voir assez loin. On peut par exemple observer des étoiles céphéides (parmi les plus brillantes) de l'autre côté de la Voie lactée.

Nous profitons de ce phénomène d'extinction de la lumière pour établir des cartes de la distribution de la poussière. D'une certaine façon, cela permet de cartographier en négatif les bras spiraux ! Nous avons ainsi constaté que la poussière des bras n'est pas distribuée de façon continue ; elle est fragmentaire, avec des bulles où l'extinction de la lumière est faible. Nous obtenons donc une vision de bras plus morcelés que ne le suggèrent certains modèles à structures régulières.

La mission Gaia apporte-t-elle aussi des informations sur la barre centrale de la Voie lactée ?

Cette barre a été découverte dans les années 1960 grâce à l'étude de la cinématique des gaz dans la région centrale. D'autres approches ultérieures ont confirmé sa présence. Dans de nombreuses observations, on a même des indices d'une double barre : il y aurait une barre épaisse qui serait orientée à un angle de 10 à 20° par rapport à l'axe défini par le Soleil et le centre galactique ; une seconde barre, plus fine, serait à un angle plus important. Certains modèles reproduisent de telles configurations, mais c'est une ➤

Ce diagramme montre les amas d'étoiles (points) et les astres ayant un mouvement commun (lignes épaisses) dans un rayon de 3 000 années-lumière autour du Soleil. Chaque couleur correspond à une famille d'étoiles nées à la même époque. Les lignes fines indiquent les déplacements des astres dans les cinq millions d'années à venir, d'après les données de *Gaia*.

