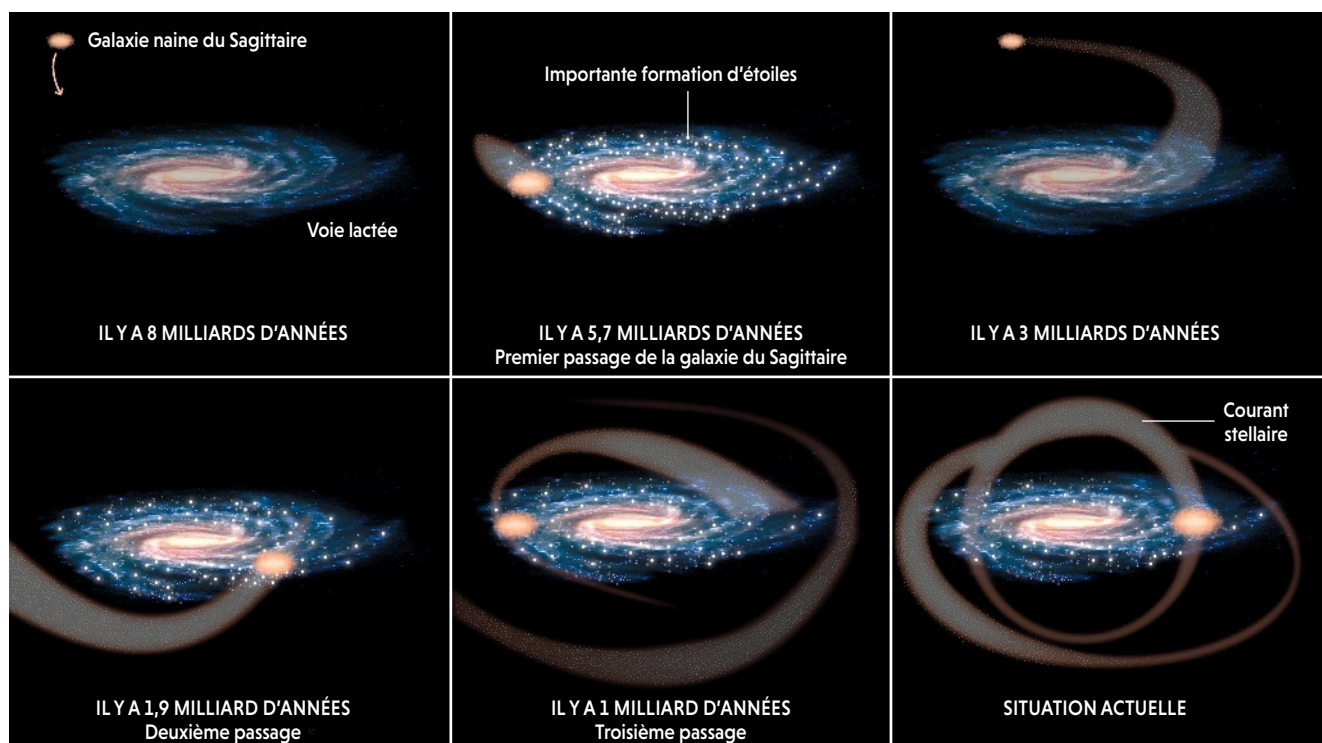




> région très poussiéreuse, où les données sont difficiles à obtenir avec précision.

Gaia permet d'observer uniquement les étoiles les plus brillantes à cette interface de la barre et des bras spiraux, mais elle peut contraindre indirectement les modèles qui décrivent la structure globale de la Galaxie. La barre centrale et les bras spiraux laissent leur signature dans la cinématique de l'ensemble du disque. Dès lors, en cartographiant avec précision les étoiles dans le voisinage du Soleil, *Gaia* fournit des données que les modèles doivent reproduire.

Et qu'en est-il du bras local ?

Le Soleil est situé dans une structure particulière, le bras local, dont la nature n'est pas encore certaine. Des astronomes font l'hypothèse qu'il s'agit d'un bras mineur, d'une ramification d'un bras spiral ou encore d'un tronçon d'un bras court. En reconstruisant précisément la structure tridimensionnelle du bras local, *Gaia* devrait permettre de répondre à cette question d'ici à quelques années.

Toujours dans le bras local, les données de *Gaia* ont permis de clarifier la nature de l'anneau de Gould. Les étoiles jeunes dans notre voisinage proche semblaient former une sorte d'anneau dont le Système solaire était proche du centre. En janvier 2020, João Alves, de l'université de Vienne et de l'institut Radcliffe, à l'université Harvard, aux États-Unis, et ses collègues ont montré à partir des distances de ces étoiles (calculées grâce à *Gaia*) qu'il s'agit en réalité d'un nuage de gaz dans le bras local contenant

La fusion de la Voie lactée et de la galaxie naine du Sagittaire est en cours et s'accompagne de plusieurs collisions violentes qui ont déclenché d'intenses formations d'étoiles. Les données de *Gaia* permettent de reconstituer cette histoire ancienne.

ces étoiles jeunes et dont la forme ondulée du nuage (on parle de « vague de Radcliffe ») donnerait l'impression, vue en coupe, de former un anneau. L'origine de cette structure reste inconnue, mais elle a probablement à voir avec le passé perturbé de la Voie lactée.

Justement, comment la mission *Gaia* permet-elle de reconstruire certains aspects de cette histoire ?

Les étoiles naissent par groupes, petits ou grands, dans des nuages de gaz et de poussière que l'on nomme des pouponnières. On parle de « flambées d'étoiles ». Dès lors, ces astres ont à peu près le même âge, la même composition chimique et le même mouvement dans la Voie lactée, au moins dans leur jeunesse. Ces étoiles se dispersent au cours du temps et il est alors plus difficile d'associer des astres à un groupe donné. Mais les astronomes ont développé diverses techniques pour extraire ces informations qui sont autant d'éléments pour reconstituer certains événements de l'histoire de la Voie lactée. On étudie les groupements spatiaux en trois dimensions pour trouver les étoiles qui sont nées ensemble et qui sont encore groupées sous forme d'amas. Pour trouver des groupes d'étoiles nées ensemble mais en train de se disloquer dans la galaxie, on regarde également leur vitesse qui reste commune pendant plus longtemps. Quant aux étoiles séparées depuis si longtemps qu'elles se fondent dans la cinématique galactique globale, on peut encore retrouver leur origine commune grâce à leur composition chimique. On parle d'archéologie galactique.

Que peut-on apprendre grâce à l'archéologie galactique ?

La composition chimique précise par exemple les conditions dans lesquelles les étoiles d'un même amas sont nées, si le processus a été rapide ou lent, ancien ou récent, etc. Par exemple, quand deux galaxies entrent en collision, cela perturbe le gaz interstellaire et crée des surdensités locales avec l'émergence de pouponnières d'étoiles. Lors d'un tel épisode, on assiste à une formation d'étoiles plus intense, à une perturbation de la cinématique des étoiles présentes initialement et à l'apparition d'une nouvelle population d'étoiles avec une cinématique et une composition chimique atypiques par rapport aux étoiles *in situ*.

En 2018, avec l'équipe d'Amina Helmi, de l'université de Groningue, aux Pays-Bas, nous avons identifié dans le catalogue de *Gaia* un groupe d'étoiles, assez proche du Soleil, dont la composition était différente et surtout qui tournait autour du centre galactique en sens inverse. Grâce à des simulations, nous avons conclu que ces étoiles étaient le résultat d'une collision de la Voie lactée avec une autre galaxie, que nous avons nommée Gaia-Enceladus. Un événement qui a eu lieu il y a 10 milliards d'années ! Ces simulations ont permis d'estimer que, à l'époque, la Voie lactée était seulement quatre fois plus massive que la galaxie qu'elle a engloutie. Cette collision a eu une influence majeure sur la structure de la Voie lactée. Aujourd'hui, elle n'aurait pas eu le même impact, car la différence de masse aurait été beaucoup plus grande.

Qu'en est-il de la galaxie naine du Sagittaire ?

Le catalogue de *Gaia* révèle que la Voie lactée a connu bien d'autres collisions. Une rencontre particulièrement intéressante est celle, toujours en cours, avec la galaxie naine du Sagittaire. Découverte en 1994 par Rodrigo Ibata, de l'observatoire de Strasbourg, cette galaxie naine se trouve actuellement proche du plan galactique à l'opposé du Soleil, ce qui rend son observation très difficile. À cause des forces de marée de la Voie lactée, la galaxie du Sagittaire se « déchire » et laisse sur son passage un « courant stellaire », un long ruban d'étoiles. L'étude de sa trajectoire montre que la galaxie aurait percuté le plan galactique trois fois.

En 2018, une équipe autour de Teresa Antoja, de l'Institut des sciences du cosmos, à Barcelone, a étudié le mouvement d'un million d'étoiles proches du Soleil dans le catalogue de *Gaia*, avec une attention particulière pour leur vitesse dans la direction perpendiculaire au plan galactique. La cinématique obtenue était très surprenante, pas du tout ce qui était attendu. Les simulations ont suggéré que leur mouvement est compatible avec le dernier passage de la galaxie du Sagittaire au-dessus du centre de la Voie lactée, il y a environ 500 millions d'années.

La mission Gaia fait de l'archéologie galactique

Ces passages déstabilisent-ils la Voie lactée ?

Depuis la fin des années 1950, les astronomes ont constaté que le disque galactique n'est pas plat mais a une forme de chips. L'origine de cette forme a fait l'objet de nombreuses hypothèses : influence du champ magnétique intergalactique, des galaxies voisines, etc. Avec les données de *Gaia*, Eloisa Poggio, de l'observatoire d'astrophysique de Turin, et ses collègues ont montré que cette déformation n'est pas statique : elle présente un mouvement de précession, qui réalise un tour en 700 millions d'années (la période de révolution du Soleil autour du centre galactique est d'environ 220 millions d'années). La vitesse de précession est malgré tout plus rapide qu'attendu dans les différents scénarios envisagés. Sa source est donc probablement un événement récent ou en cours, et assez important comme une collision avec une autre galaxie. Certains chercheurs pensent que la galaxie naine du Sagittaire est la source de cette perturbation, mais d'autres avancent qu'elle est trop petite pour avoir un impact aussi important.

Une conclusion de ces travaux est que la Voie lactée n'est pas un système à l'équilibre. Or les modèles sont souvent construits avec l'hypothèse que la Galaxie est à l'équilibre.

Ces perturbations peuvent-elles avoir eu une influence sur l'origine du Système solaire ?

Avec les données du catalogue de *Gaia* sur les étoiles dans le voisinage du Soleil, Tomas Ruiz-Lara, de l'institut d'astrophysique des Canaries, en Espagne, et ses collègues ont étudié la distribution statistique des âges des astres et ont constaté des flambées d'étoiles à 5,7 milliards, 1,9 milliard et 1 milliard d'années. Ils ont comparé ces observations avec des modèles des passages de la galaxie du Sagittaire. Ils observent une concordance : chaque passage correspond à une flambée. En particulier, le Soleil s'est formé à l'époque du premier passage il y a près de 5 milliards d'années. Les chercheurs se demandent donc si cette collision galactique n'est pas à l'origine du Système solaire. Une piste à confirmer, qui montre que la Voie lactée est loin de nous avoir révélé tous ses secrets. ■

Propos recueillis par Sean Bailly

BIBLIOGRAPHIE

T. Ruiz-Lara et al., **The recurrent impact of the Sagittarius dwarf on the star formation history of the Milky Way**, *Nature Astronomy*, en ligne, 25 mai 2020.

E. Poggio et al., **Evidence of a dynamically evolving Galactic warp**, *Nature Astronomy*, vol. 4, pp. 590-596, 2020.

A. Helmi et al., **The merger that led to the formation of the Milky Way's inner stellar halo and thick disk**, *Nature*, vol. 563, pp. 85-88, 2018.

T. Antoja et al., **A dynamically young and perturbed Milky Way disk**, *Nature*, vol. 561, pp. 360-362, 2018.

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