

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?

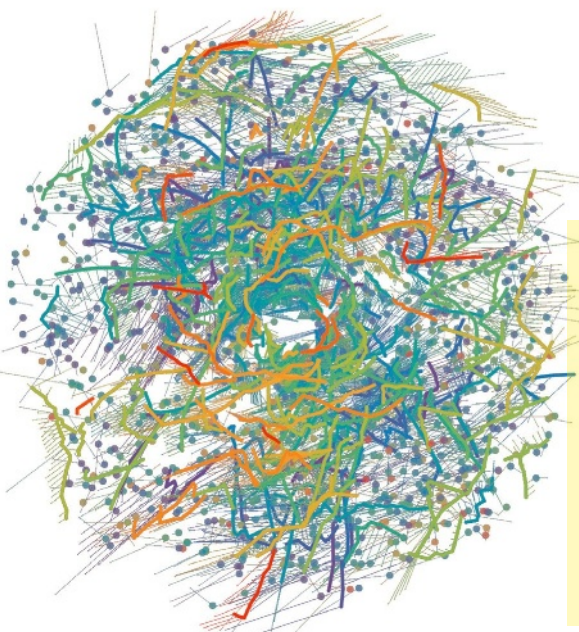
Elles fournissent des informations très riches sur la forme du plan galactique, le halo qui l'entoure, les bras spiraux en son sein, etc. Mais les mesures sont loin d'être simples. Les instruments de *Gaia* fonctionnent dans la gamme optique, une lumière qui est en grande partie absorbée par la poussière 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.

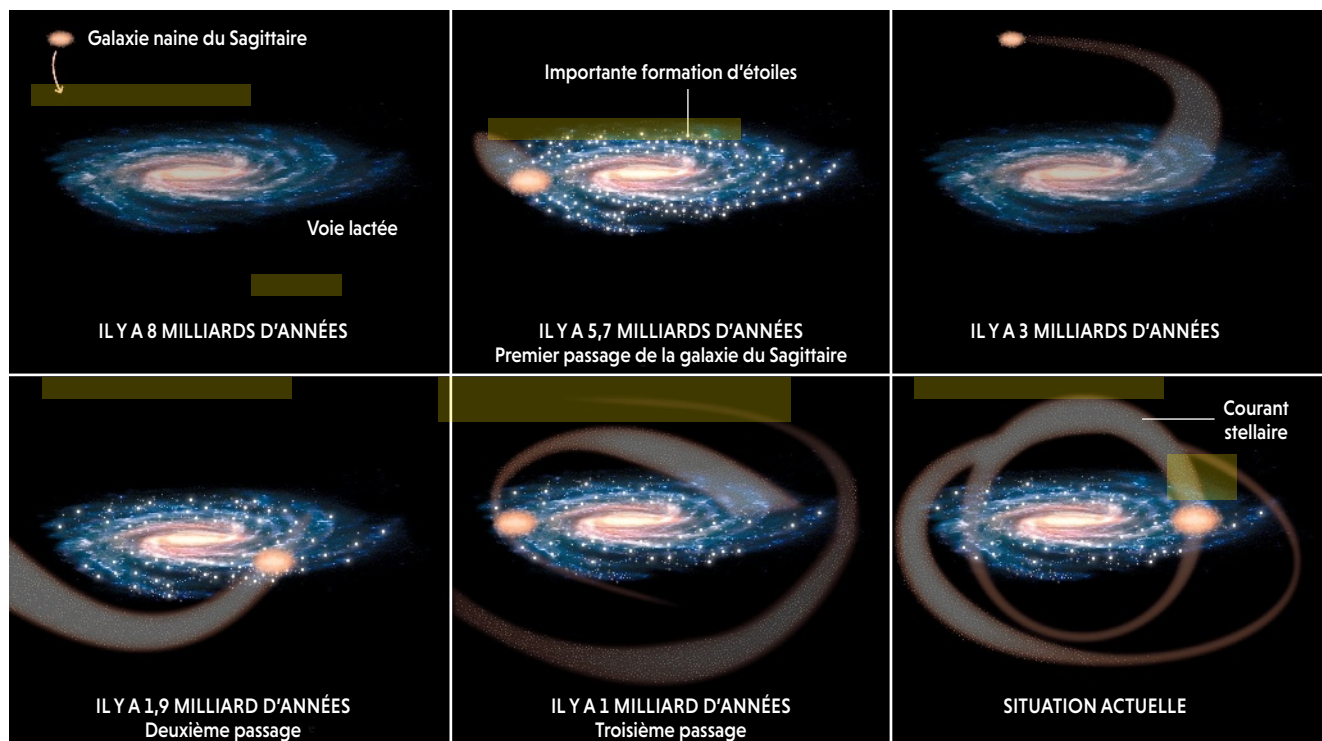
Nous profitons de ce phénomène d'extinction de la lumière pour établir des cartes de la distribution de la poussière. D'une certaine façon, cela permet de cartographier en négatif les bras spiraux! Nous avons ainsi constaté que la poussière des bras n'est pas distribuée de façon continue; elle est fragmentaire, 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*.





> 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 reconstruire 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.