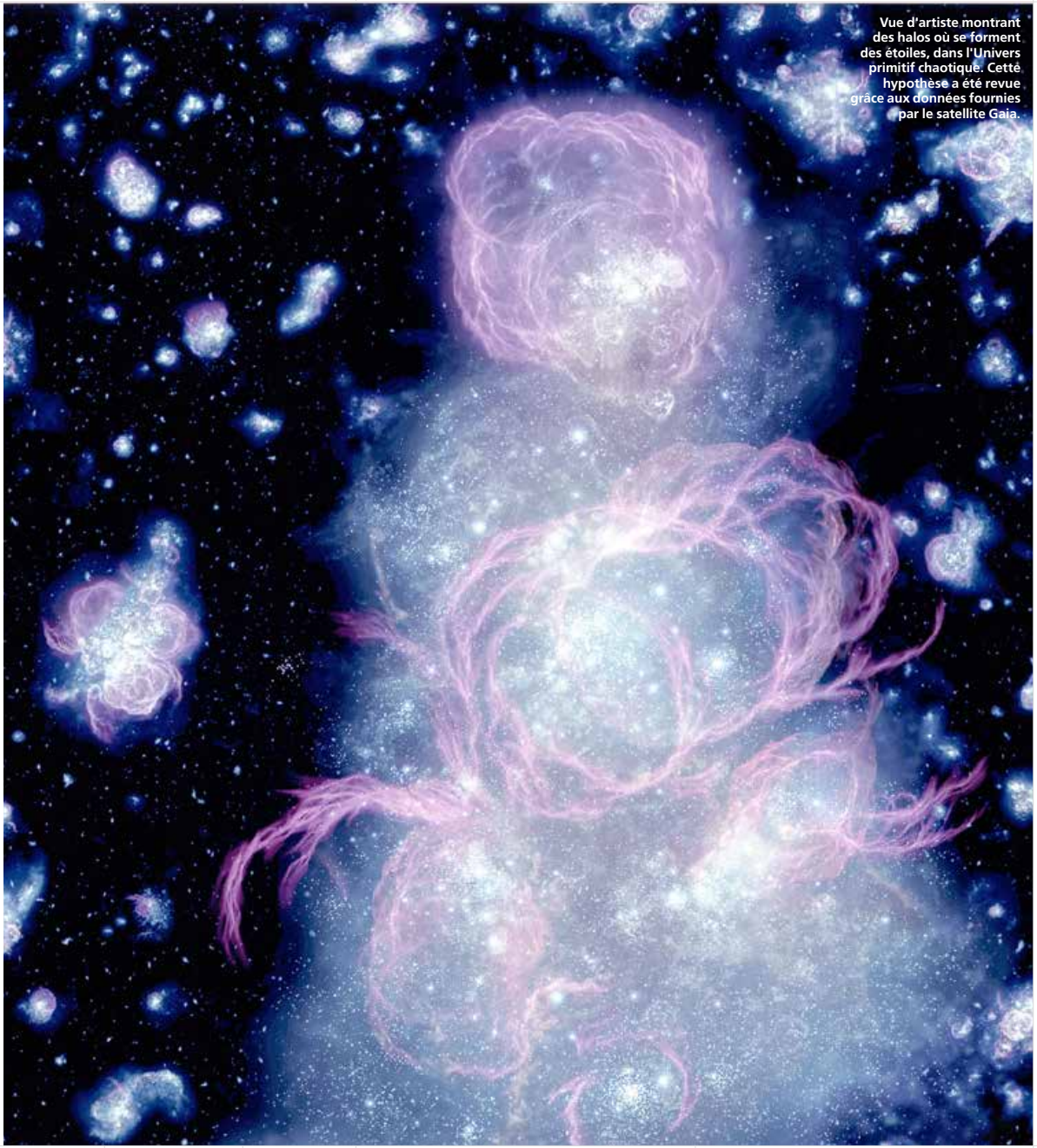
Structuration très précoce du disque galactique

En fouillant le ciel tels des archéologues, les scientifiques rassemblent actuellement des faisceaux de preuves inédites : certaines étoiles de la Voie lactée formaient déjà un disque aux périodes les plus primitives de son histoire. PAR RIVA BRINET-SPIESSER

Comment retracer la création de notre Galaxie sans aucune image de ce qu'elle était, il y a plus de dix milliards d'années ? La solution est dans l'archéologie galactique. Cette science, qui fouille le ciel comme on fouille le sol et en déduit les périodes de vie des étoiles, est en pleine révolution. La publication du deuxième relevé cosmique du satellite Gaia, en 2018, a marqué un tournant. Elle a fourni notamment des données très précises sur la façon dont les étoiles gravitent dans la Galaxie. *"Avec le télescope spatial Gaia, le paradigme a complètement changé. Gaia permet de savoir comment bouge l'étoile perpendiculairement au ciel, mais aussi dans tout le plan du ciel. Au lieu d'avoir une projection 2D, on a une distribution 3D de la Voie lactée !"* s'émerveille Nicolas Martin, chercheur à l'observatoire astronomique de Strasbourg. La connaissance plus précise des orbites des étoiles tend à remettre en question certaines hypothèses communément admises jusqu'ici.

Notre Voie lactée est composée d'un disque dans lequel les étoiles tournent de manière organisée et, tout autour, d'un halo sphérique beaucoup plus diffus. *"Nous pensions pendant longtemps qu'aux périodes les plus précoces de la Galaxie, le disque n'était pas encore formé et que les étoiles étaient majoritairement dans un halo. On se rend compte aujourd'hui que des étoiles très primitives tournent encore dans un disque, ce qui veut dire que ce disque existait déjà aux débuts de la Voie lactée"*, s'étonne Vanessa Hill, astrophysicienne à l'observatoire de la Côte d'Azur. C'est au cours d'une étude, publiée en 2019 dans *Nature Astronomy* et portant sur l'estimation des âges des étoiles du halo, qu'elle et ses collègues font une découverte surprenante : certaines de ces étoiles étaient



Vue d'artiste montrant des halos où se forment des étoiles, dans l'Univers primitif chaotique. Cette hypothèse a été revue grâce aux données fournies par le satellite Gaia.

© ADOLF SCHALLER / NASA

Un œil sur le passé

Jusqu'à l'arrivée du télescope James-Webb, capable d'observer dans l'infrarouge, les scientifiques avaient du mal à déterminer le moment où se sont formées les premières galaxies. Désormais, il est possible de connaître la composition chimique des galaxies primitives et de comprendre leur processus de naissance. Si l'on sait déjà que ces dernières deviennent plus massives avec le temps, on cherche toujours à savoir quelle était leur taille au tout début. Les données de James-Webb permettront d'éclaircir ce mystère. Enfin, il sera également possible de comprendre à quel moment se sont formés les trous noirs supermassifs qui régulent la formation des étoiles et la masse des galaxies.

déjà en place dans un disque galactique, il y a plus de dix milliards d'années, et auraient été envoyées dans le halo ultérieurement, après la collision avec la galaxie naine Gaïa-Encelade, événement majeur de l'histoire de la Voie lactée. *"C'était une nouveauté, nous n'avions pas assez considéré cette idée par le passé. Cette découverte constitue aujourd'hui un sujet chaud de la recherche"*, complète Vanessa Hill.

Les travaux de thèse de Federico Sestito, publiés en 2019 et 2020 dans la revue de la Royal Astronomical Society, font notamment date dans la découverte d'un disque précoce dans la Voie lactée. Ils étudient les orbites d'étoiles très rares de notre Galaxie : les étoiles ultra pauvres en métaux (UMP pour *Ultra Metal Poor*), dont la composition est proche de celle des étoiles de première génération. Les chercheurs s'attendaient à voir des étoiles du halo de la Galaxie, avec des orbites qui vont dans tous les sens, comme les électrons autour d'un atome. Or 25 % de ces étoiles avaient des orbites qui tournaient dans le disque. *"Cela semble indiquer que ce processus de formation de la Voie lactée, que l'on pensait très chaotique, ne l'était peut-être pas tant que ça. De nombreux modèles établissent qu'il a fallu attendre deux à trois milliards d'années pour que cette phase chaotique se stabilise. On montre en fait que ces étoiles très anciennes, qui ont été apportées par des 'grumeaux' de gaz et d'étoiles, se sont assemblées très tôt en un plan qui allait devenir le disque"*, explique Nicolas Martin, qui a dirigé cette thèse.

CONTINUITÉ DE MÉTALLICITÉ

Pour aller plus loin, les chercheurs ont comparé la cinématique *[l'étude du mouvement des corps, NDLR]* des étoiles pauvres en métaux à celle de deux types d'étoiles de plus forte métallicité : des étoiles connues pour avoir toujours appartenu au disque, et des étoiles de métallicité intermédiaire. Les résultats, publiés par l'astrophysicienne Paola Di Matteo, de l'observatoire de Paris, en 2020 dans *Astronomy & Astrophysics*, montrent que ces "étoiles intermédiaires" ont aussi des orbites qui tournent dans un disque et qu'il y a une continuité de métallicité entre les étoiles pauvres en métaux et les étoiles typiques du disque. Cette continuité de métallicité renforce l'hypothèse que les étoiles du disque sont probablement les premières à s'être formées dans notre Galaxie.

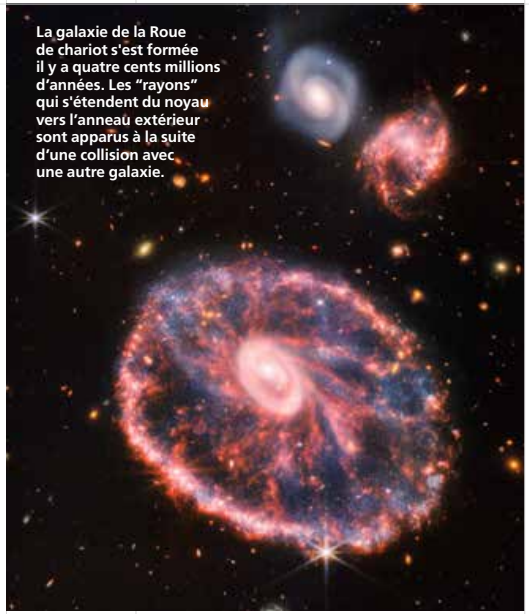
ACCRÉTION DE GAZ

Il existe aujourd'hui d'autres techniques que la mesure des métaux pour estimer l'âge d'une étoile. L'une d'elles, l'astérosismologie, permet notamment d'obtenir des datations avec une très grande précision, de l'ordre de 20 %. Le principe consiste à mesurer les fréquences et les amplitudes des oscillations naturelles des étoiles. Une équipe de l'université de Birmingham a appliqué cette méthode pour déterminer l'âge de 95 géantes rouges, ces étoiles très précoces situées dans le disque de notre Galaxie. Les résultats, publiés dans *Nature Astronomy* en mai 2021, montrent que ces géantes rouges dateraient d'avant la fusion avec la galaxie satellite Gaïa-Encelade, il y a dix milliards d'années. Le disque aurait ainsi déjà été mis en place avant cette fusion, aux prémices de la Voie lactée.

Savoir qu'un disque a pu se former très tôt est une donnée fondamentale qui pourrait bousculer ce que l'on sait des modèles de formation des galaxies. *"Cela pose des questions sur le rôle précoce du gaz lors des accrétions de galaxies, notamment de ces filaments de gaz qui ne sont pas encore contractés pour former d'autres petites galaxies. Car, pour qu'il y ait un disque, il faut l'accrétion d'une grande quantité de gaz"*, remarque Vanessa Hill. *"Si ces disques se sont formés à des époques très précoces, comment ont-ils pu perdurer jusqu'à présent alors qu'ils sont fragilisés par chaque accrétion ? Quel est vraiment le rôle de ces accrétions dans la structuration des galaxies ?"* s'interroge aussi Paola Di Matteo.

> *"Des étoiles très primitives tournent encore dans un disque, ce qui veut dire que ce disque existait déjà aux débuts de la Voie lactée"*

Ces découvertes ouvrent de nouveaux chantiers pour les archéologues du ciel, et peut-être bien au-delà de notre Voie lactée. Les images du télescope James-Webb commencent à parler : elles révèlent que des galaxies très lointaines dans l'Univers, qui pourraient correspondre à ce qu'était la nôtre il y a dix à douze milliards d'années, auraient aussi cette structure en forme de disque. Ces révélations pourraient remettre en cause les modèles de structuration de notre Galaxie, mais aussi des galaxies dans leur ensemble. Un vaste champ de réflexion pour la recherche. ▪



La galaxie de la Roue de chariot s'est formée il y a quatre cents millions d'années. Les "rayons" qui s'étendent du noyau vers l'anneau extérieur sont apparus à la suite d'une collision avec une autre galaxie.

© NASA, ESA, CSA, DANI PLAYER (STSCI)

© NASA, ESA, CSA, STSCI, WEBB ERO PRODUCTION TEAM