



Octobre 2013 : les ingénieurs de l'Agence spatiale européenne se préparent à inspecter le satellite *Gaia* sur la base de Kourou, en Guyane française. Le satellite, d'une masse totale de près de 2 tonnes, a été lancé en décembre de la même année.

14 avril 2018, deux semaines avant la publication de son dernier catalogue en date, *Gaia* a franchi la barre des 100 milliards d'observations.

Le traitement de cette masse d'informations permet d'extraire les caractéristiques de chaque étoile : sa position et son mouvement, à chaque fois en trois dimensions (c'est-à-dire sur la voûte céleste et en profondeur, le long de la ligne de visée), et ses propriétés physiques et chimiques. Le consortium pour l'analyse des données (DPAC, d'après le sigle anglais) est réparti sur 6 centres de calcul et regroupe 450 personnes, chercheurs et ingénieurs, dans différents pays d'Europe.

Pour bien comprendre l'importance de *Gaia*, il faut rappeler que lorsqu'on observe un objet astronomique, on ne sait pas *a priori* s'il est proche et peu lumineux ou lointain et très brillant. Certaines étoiles variables, telles les céphéides ou les RR Lyrae, pulsent d'autant plus rapidement qu'elles sont massives et lumineuses. De telles étoiles étant repérées dans une galaxie lointaine, la mesure de leur période de pulsation indique alors leur luminosité absolue ce qui, étant donné leur éclat apparent, détermine leur distance. L'accumulation de ces mesures de distances de galaxies lointaines et la mesure de leurs vitesses de fuite par effet Doppler (mesure relativement aisée) précise ensuite la relation dite de Hubble, qui donne la vitesse à laquelle l'expansion cosmique emporte une galaxie en fonction de son éloignement. Ce qui permet d'établir les distances d'objets bien trop éloignés pour qu'on y distingue la moindre étoile variable.

Mais pour que tout cela fonctionne, encore faut-il avoir calibré la relation période-luminosité d'un grand nombre de céphéides ou de RR Lyrae assez proches pour que l'on puisse établir leur distance par une mesure directe indépendante. Toutes les distances stellaires, les distances galactiques ainsi que la taille estimée de l'Univers visible reposaient donc jusqu'ici sur le catalogue de 120 000 étoiles proches dressé au début des années 1990 par le précurseur de *Gaia*, le satellite *Hipparcos*. *Gaia* a élevé ce nombre à plus de 1 milliard et amélioré de façon spectaculaire la précision des données. C'est d'autant plus important qu'il semble maintenant exister plusieurs populations aux propriétés légèrement différentes au sein des étoiles variables, ce qui pourrait modifier un peu les « chaînes d'arpenteur » utilisées par les astronomes et les cosmologistes.

Les mesures de distances directes, c'est-à-dire les mesures des parallaxes stellaires, sont donc un des résultats clés de *Gaia*. La parallaxe d'une étoile est l'angle qui sous-tend le couple Soleil-Terre tel qu'il est vu depuis l'étoile. On peut la mesurer en notant la position apparente de l'étoile sur la voûte céleste lorsque la Terre se trouve en deux points opposés de son orbite

autour du Soleil, et elle est directement reliée à la distance de l'étoile : plus l'étoile est lointaine, plus la parallaxe est petite. La précision de la mesure de la parallaxe en fin de mission de *Gaia* sera de moins de 0,01 milliseconde d'arc pour les étoiles les plus lumineuses (l'équivalent du diamètre apparent d'une pièce de 1 euro posée sur la Lune, vue de la Terre), et quelque 0,6 milliseconde d'arc pour les astres les moins brillants. À titre de comparaison, la précision des parallaxes du catalogue de *Hipparcos* n'atteignait que 1 milliseconde d'arc.

Jusqu'à présent, le consortium a publié deux catalogues. Le premier, en septembre 2016, incluait la position et l'éclat de 1 milliard d'étoiles ainsi que la distance et le mouvement sur la voûte céleste de près de 2 millions d'étoiles brillantes. Le second, publié en 2018, a porté cette quantité à 1,33 milliard. De surcroît, il fournit la couleur de 1,4 milliard d'étoiles, les paramètres physiques de centaines de millions d'entre elles et la vitesse radiale de 7 millions. À tout cela s'ajoute un demi-million de courbes de luminosité (la mesure de l'éclat en fonction du temps) correspondant à autant d'étoiles variables ainsi que des informations sur les orbites de 14 000 astéroïdes présélectionnés. Cette masse d'informations dépasse de plusieurs ordres de grandeur tous les catalogues astrométriques précédents.

## UNE FENÊTRE SUR LE PASSÉ DE NOTRE GALAXIE

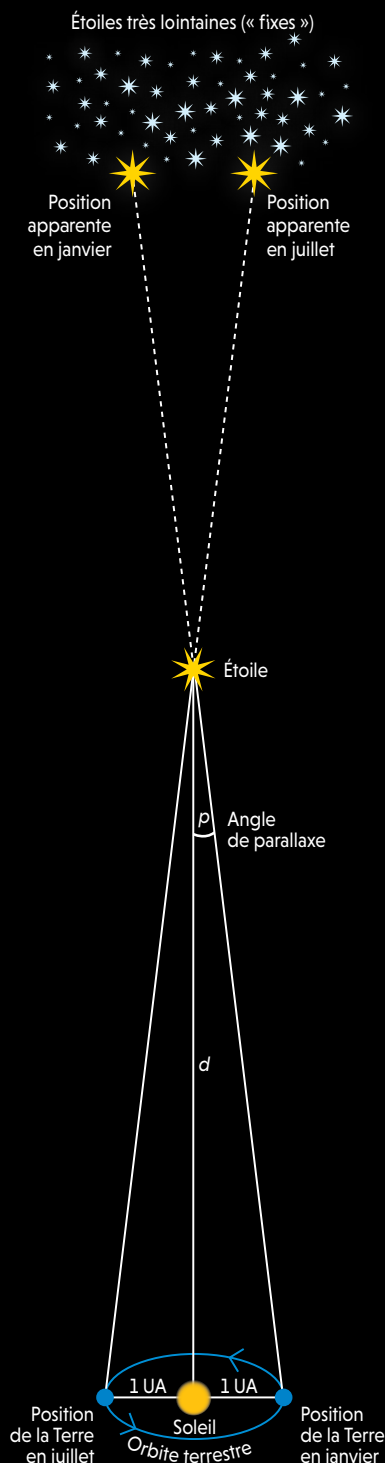
L'image que nous nous faisons de la Voie lactée est celle d'une galaxie spirale constituée d'un disque d'étoiles en rotation enchâssé dans un halo diffus d'étoiles plus anciennes. Ce halo a une forme à peu près sphérique autour du bulbe galactique, l'agglomération dense d'étoiles qui occupe la partie centrale de la Voie lactée. En ce qui concerne sa formation, on a découvert au cours des dernières années divers indices suggérant que la galaxie a subi plusieurs interactions avec des galaxies plus petites, interactions qui ont modifié sa structure.

Comme nous l'avons déjà évoqué, les interactions des galaxies laissent des traces dans les orbites de leurs étoiles. D'un autre côté, on est en droit de penser que si deux groupes d'étoiles ont des origines différentes, ils se distingueront aussi par leur composition chimique. Ce type d'analyse chimicodynamique a été mené l'année dernière sous la direction d'Amina Helmi, de l'université de Groningen. Grâce au second catalogue *Gaia*, l'équipe a identifié un groupe d'étoiles proches du Soleil, mais dont la composition chimique est différente et qui tournent autour du centre galactique en sens inverse de notre étoile.

Ces différences s'expliquent s'il s'agit d'étoiles provenant d'une autre galaxie qui aurait été avalée par la Voie lactée dans le passé. ➤

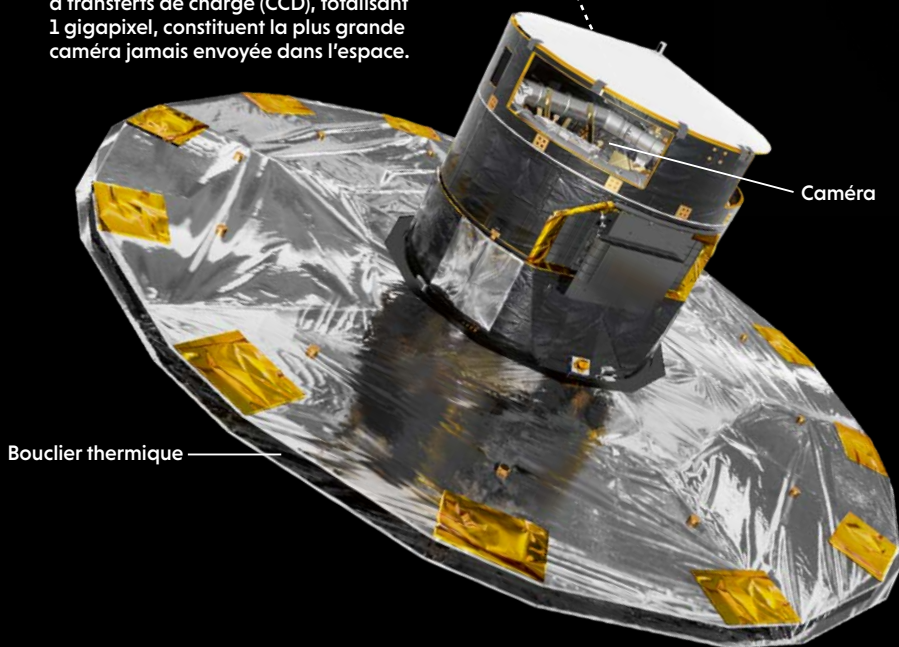
## UNE CARTE STELLAIRE D'UNE PRÉCISION INÉGALÉE

**L**e satellite *Gaia* a été conçu par l'ESA pour mesurer la position, le mouvement et les propriétés physiques et chimiques des étoiles de la Voie lactée. À l'aide de ces données, les astronomes commencent à reconstituer le passé de la Voie lactée et à mieux comprendre les mécanismes de l'évolution stellaire. En avril 2018, le consortium *Gaia* a rendu public un catalogue contenant les caractéristiques de plus de 1,3 milliard d'étoiles, masse de données qui occupera les astronomes pendant des années.



### LE SATELLITE

D'une masse de près de 2 tonnes pour un diamètre de 11 mètres et une hauteur de 2,3 mètres, le satellite *Gaia* (ci-dessous) se trouve au point de Lagrange L2 du système Terre-Soleil, soit à environ 1,5 million de kilomètres de la Terre dans la direction opposée au Soleil. Il inspecte 70 millions d'étoiles par jour et effectue un balayage complet de la voûte céleste tous les six mois. Ses 106 dispositifs à transferts de charge (CCD), totalisant 1 gigapixel, constituent la plus grande caméra jamais envoyée dans l'espace.



### PARALLAXES, DISTANCES ET VITESSES

*Gaia* mesure l'angle sous lequel est vu le couple Terre-Soleil depuis une étoile donnée (à gauche). Un calcul élémentaire de trigonométrie permet de trouver la distance à l'étoile à partir de cet angle. Par rapport aux missions précédentes, *Gaia* a multiplié par plusieurs dizaines la précision des mesures de ce paramètre. Dans le même temps, le fait de pouvoir observer une même étoile pendant de longues périodes de temps permet de mesurer son mouvement propre dans le plan de la voûte céleste. Quant à sa vitesse radiale (le long de la ligne de visée), elle est donnée par l'analyse du spectre électromagnétique de l'étoile, grâce à l'effet Doppler.

$d$  = distance à l'étoile  
UA = unité astronomique  
(la distance Soleil-Terre soit environ 150 millions de kilomètres)