

GAIA

ARPENTEUR DE LA VOIE LACTÉE ET AU-DELÀ

Près de deux milliards d'objets, des petits corps du Système solaire aux quasars lointains, avec une immense majorité d'étoiles de notre Galaxie, la Voie lactée, et de ses voisines les plus proches, voilà la moisson de *Gaia*, mission unique en son genre, lancée par l'Agence spatiale européenne (Esa) en 2013. S'appuyant sur l'expertise acquise avec *Hipparcos*, première mission d'astrométrie spatiale (européenne elle aussi), *Gaia* surpasse son prédécesseur de plusieurs ordres de grandeur en matière de précision, de magnitude limite, de taille d'échantillon et de variété de données obtenues.

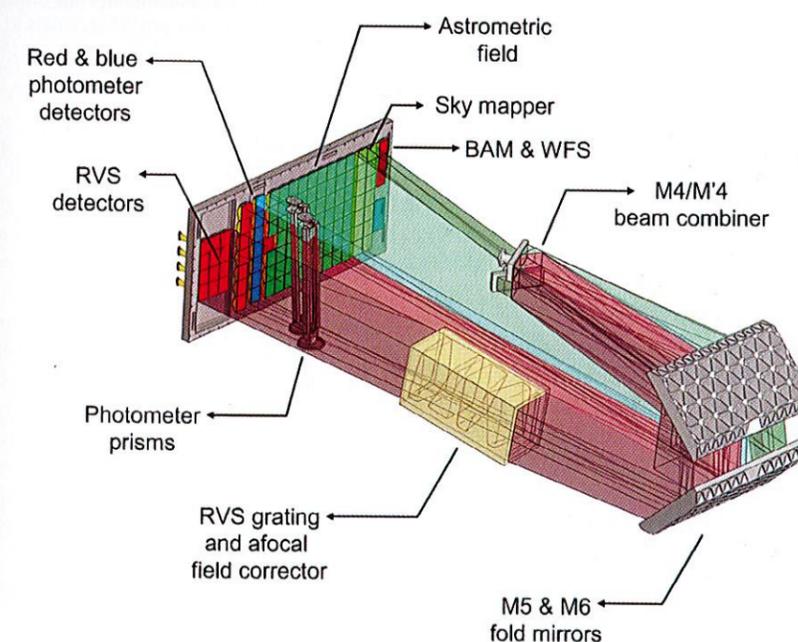


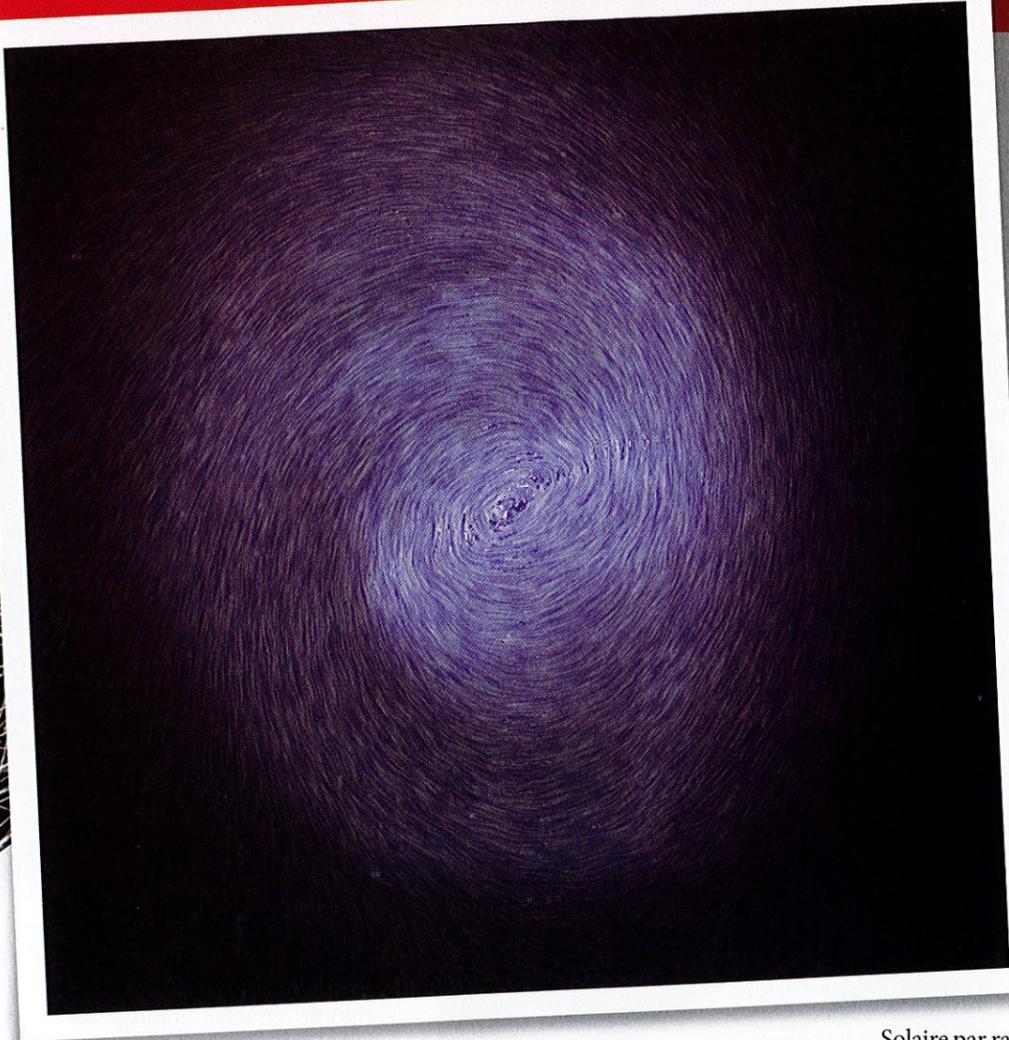
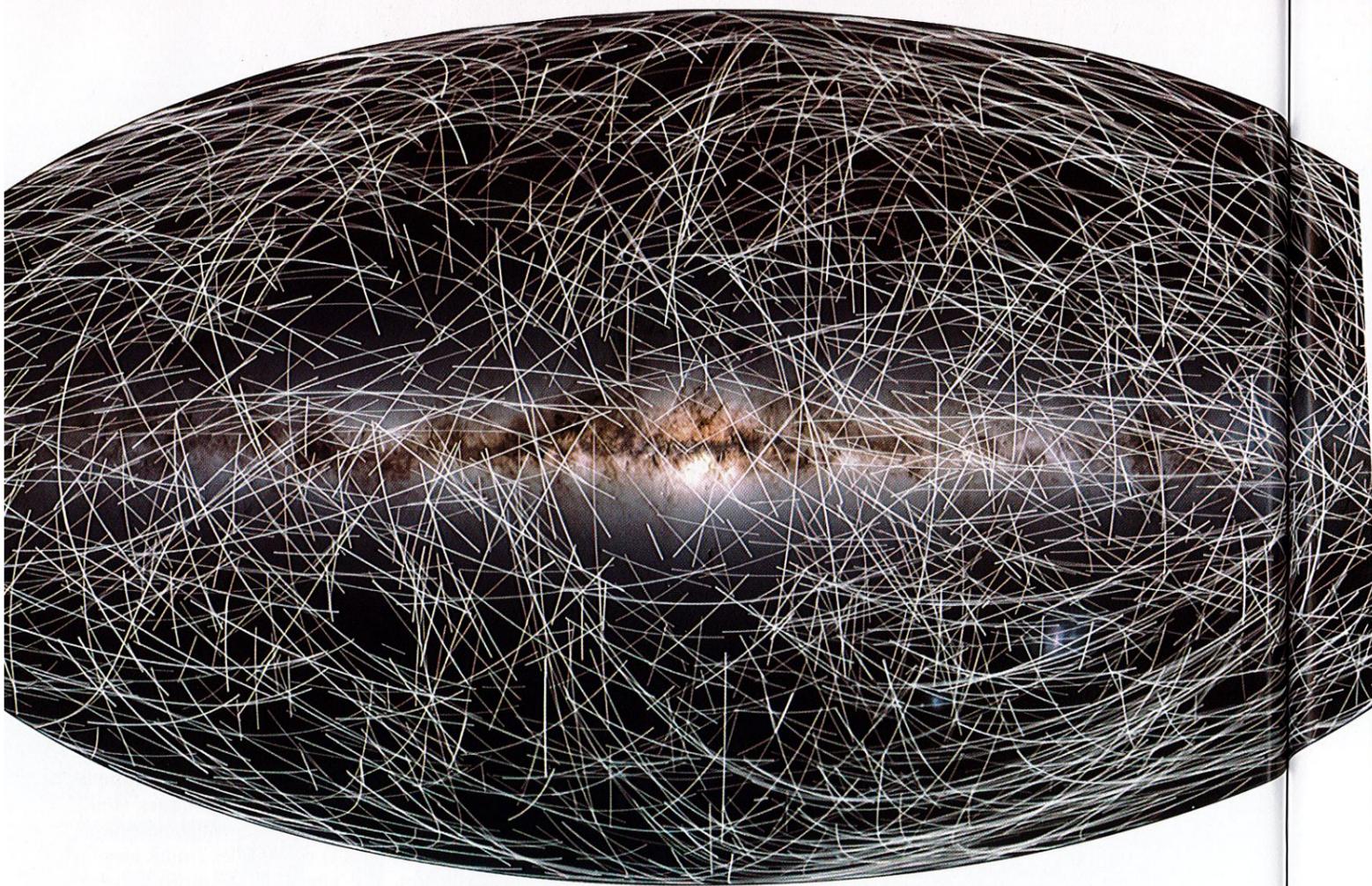
Deux tonnes de très haute technologie combinent dans le même vaisseau spatial deux télescopes, permettant d'observer quasi simultanément deux champs du ciel de $1,7^\circ \times 0,6^\circ$ séparés de $106,5^\circ$, et trois instruments, astrométrique, spectrophotométrique (spectrophotomètres bleu et rouge, BP et RP) et spectroscopique (le Radial Velocity Spectrometer ou RVS).

LA CHARGE UTILE

Tandis que le satellite tourne lentement sur lui-même avec un petit mouvement de précession, *Gaia* balaie progressivement la totalité du ciel. Chaque zone du ciel sera observée en moyenne 140 fois en dix ans. En observant les positions instantanées des centres des images, *Gaia* mesure les séparations relatives des milliers d'étoiles simultanément présentes dans les deux champs de vue combinés. La mesure directe de grands angles et la haute résolution angulaire sont les clés de la grande précision obtenue sur les positions. La lumière des objets observés traverse ensuite les deux spectrophotomètres, deux prismes dispersant la lumière dans deux gammes de longueurs d'onde, l'un dans le bleu (330-680 nm), l'autre dans le rouge (640-1 050 nm). Obtenues simultanément aux observations astrométriques, ces mesures fournissent des informations astrophysiques clés pour chacun des objets observés (dans le cas des étoiles, les températures, gravités de surface, métallicités et rougissements). Le troisième instrument, le spectrographe (RVS = Radial Velocity Spectrometer), fournit la troisième composante des vitesses spatiales pour les étoiles jusqu'à la magnitude 17 (relevé complet jusqu'à la magnitude 14) et, pour les étoiles les plus brillantes, leur vitesse de rotation sur elles-mêmes et l'analyse des éléments chimiques présents dans les atmosphères stellaires.

1. Charge utile de *Gaia*. Schéma des trois instruments et du trajet des faisceaux lumineux à partir du combineur de faisceaux M4/M'4 et jusqu'au plan focal. Sur ce schéma, les étoiles traversent le plan focal de la droite du plan focal (vu de l'intérieur) vers la gauche. (LADS Astrium)





● **Gaia observe toutes les populations d'étoiles de notre Galaxie**, ce qui a déjà permis de nombreuses avancées sur la structure, les mouvements, l'histoire passée et le futur de la Voie lactée : confirmation de la présence de quatre bras spiraux ; détection de nombreux courants d'étoiles ; première mesure optique de l'accélération du Système

Solaire par rapport à l'Univers lointain, essentiellement due à la rotation autour du centre galactique ; précisions sur les effets de la collision entre notre Galaxie et la galaxie du Sagittaire ; découverte que la Voie lactée avait subi une autre collision, il y a environ 10 milliards d'années, avec une galaxie naine, dénommée Gaia-Sausage-Enceladus, lui arrachant nombre d'étoiles qui forment maintenant l'essentiel de la partie centrale du halo. Enfin, ces mesures prédisent, d'ici 4 milliards d'années, la collision de la Voie lactée avec la galaxie d'Andromède.

● **Notre Galaxie appartient à un amas de galaxies appelé le Groupe local.** Avec des distances de 49,5 et 62,8 kpc, les deux Nuages de Magellan en font également partie. Pour la première fois, les mouvements propres de *Gaia* ont permis de mettre en évidence les mouvements d'ensemble des deux Nuages, en particulier la rotation du Grand Nuage de Magellan et un flux d'étoiles se déplaçant du Petit vers le Grand Nuage de Magellan. ■

L'ANALYSE DES DONNÉES ET LES CATALOGUES SUCCESSIFS

La nature de la mission *Gaia* conduit à l'acquisition d'une énorme quantité de données complexes et extrêmement précises issues des multiples observations de près de deux milliards d'objets de tous types. Le défi du traitement des données *Gaia*, la transformation de la télémétrie brute du satellite en données scientifiques, représente une tâche énorme en matière d'expertise, d'efforts et de puissance de calcul dédiée. Cette responsabilité a été confiée en 2007 au Consortium de traitement et d'analyse de données (DPAC = Data Processing and Analysis Consortium) qui regroupe plus de 400 chercheurs et ingénieurs, dans dix-huit pays. L'un des Centres de traitement de données (DPC) impliqués dans ce consortium est hébergé au Cnes à Toulouse.

Les catalogues *Gaia* successifs, publiés régulièrement, sont basés sur l'analyse de plus en plus fine de données obtenues par *Gaia*

2. (À GAUCHE) Le ciel de *Gaia* EDR3 avec les mouvements sur le ciel (mouvements propres) de 2 000 étoiles plus proches que 100 pc sur une période de 800 000 ans. Les traits sont d'autant plus longs que les mouvements des étoiles sont plus grands. L'image de fond est une carte du ciel tracée à partir des positions, éclats et couleurs des 1,8 milliard d'étoiles observées par *Gaia* (ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO). - (À DROITE) Rotation du Grand Nuage de Magellan à partir des données de *Gaia* EDR3. (ESA/Gaia/DPAC, Gaia Collaboration, X. Luri, et al. A&A 2020)

pendant des périodes de plus en plus longues : *Gaia* DR1 (DR = Data Release), publié le 14 septembre 2016 et basé sur 14 mois de données ; *Gaia* DR2, publié le 25 avril 2018 et basé sur 22 mois de données ; enfin *Gaia* DR3, publié en deux parties, les 3 décembre 2020 et 13 juin 2022, basées sur les 34 premiers mois de données, obtenues entre le 25 juillet 2014 et le 28 mai 2017. Ce troisième catalogue est une avancée majeure par rapport aux précédents quant à la précision, l'exactitude et l'homogénéité des données astrométriques et photométriques. Il contient un plus grand nombre de sources : environ 1,8 milliard de sources, entre les magnitudes $G \approx 3$ et $G \approx 21$, avec une quasi-complétude entre les magnitudes $G = 12$ et $G = 17$.

Grande nouveauté de ce dernier catalogue, il contient aussi une grande quantité de données astrophysiques : 33 millions de vitesses radiales (sur la ligne de visée), 3,5 millions de vitesses de rotation des étoiles sur elles-mêmes, des centaines de millions de paramètres astrophysiques (température, gravité, rougissement), d'âges ou de masses, et d'abondance de composants chimiques. De plus, plusieurs centaines de milliers de spectres obtenus par les spectrographes et par le spectrographe de *Gaia* sont maintenant disponibles, ainsi que des données détaillées sur toutes sortes d'étoiles multiples (dont des étoiles avec exoplanètes) et les courbes de lumière et classification de plus de 10 millions d'étoiles variables de 24

classes différentes. Enfin, *Gaia* DR3 contient aussi des millions de candidats quasars ou galaxies, avec mesure de leurs décalages vers le rouge, ainsi que des observations individuelles (à chaque époque de mesure par l'un des télescopes de *Gaia*) et des orbites précises pour les petits corps du Système solaire.

LES PREMIÈRES RETOMBÉES SCIENTIFIQUES

Grâce à la complémentarité de ses instruments et à l'exhaustivité de son mode d'observation, *Gaia* apporte pour la première fois des connaissances détaillées, d'une précision et d'une homogénéité sans précédent, sur l'ensemble des objets observés. Des plus proches aux plus lointains :

● **Gaia produit le premier relevé complet des objets du Système solaire** couvrant en particulier les objets en orbite entre le Soleil et la Terre, difficiles à obser-

ver depuis le sol, avec la détermination précise de leurs orbites et la caractérisation physique de très nombreux astéroïdes (taille et albédo) ainsi que la découverte du satellite d'un astéroïde.

● **Gaia observe des étoiles de tous types**, y compris celles qui sont dans les phases d'évolution les plus rapides ou peu présentes dans le voisinage solaire. Les différents paramètres déduits des données brutes de *Gaia* permettent de distinguer de multiples effets de l'évolution stellaire dans le diagramme de Hertzsprung-Russell : tracés précis des lignes d'âge égal ou de contenu en métaux égal grâce aux amas ouverts ou globulaires, distinction de différentes sortes de naines blanches, séquence très distincte des systèmes binaires non résolus, mise en évidence de deux populations d'étoiles d'âges et de contenus en métaux différents parmi les étoiles à grande vitesse.