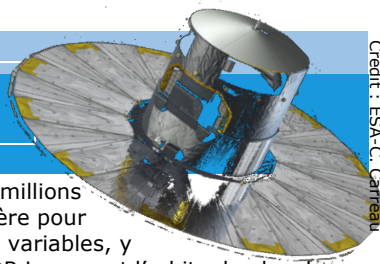




Gaia : l'arpenteur de la Voie Lactée



Crédit : ESA-C. Carréau

Gaia

Gaia, mission pionnière de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), est une mission d'astronomie visant à révolutionner notre vision de la Galaxie grâce à un relevé stéréoscopique de près de deux milliards d'objets. Avec une précision allant jusqu'à 20 millièmes de milliseconde de degré (soit bien en-dessous d'une milliseconde de degré qui est environ l'angle sous lequel on verrait un humain sur la Lune depuis la Terre), Gaia permet de localiser extrêmement précisément chaque étoile et d'en mesurer le mouvement dans la Galaxie. Gaia collecte également des données spectroscopiques, permettant de mesurer les vitesses radiales (vitesses sur la ligne de visée), et des données photométriques dont sont déduites les propriétés physiques de chaque étoile, comme la luminosité, la gravité ou la température et la composition chimique.

température pour environ 160 millions d'étoiles ; des courbes de lumière pour plus d'un demi-million d'étoiles variables, y compris des Céphéides et des RR Lyrae ; et l'orbite de plus de 14 000 objets du système solaire, principalement des astéroïdes, sur la base de plus de 1,5 million d'observations. Les catalogues suivants contiendront de plus en plus d'objets, observés de plus en plus longtemps, avec de plus en plus d'informations de plus en plus précises.

En 2019 et 2020, le nombre moyen d'utilisateurs des données de Gaia a été d'environ 5000 par mois et plusieurs milliers d'articles utilisant les données de Gaia ont été publiés dans des revues à comité de lecteurs. Les sujets traités sont très variés et vont du Système Solaire aux quasars : amélioration des orbites des astéroïdes et prédiction beaucoup plus précise des occultations ;



Par ce relevé exhaustif de toutes les étoiles jusqu'à la magnitude 20-21, soit une fraction représentative de la population de la Voie Lactée, Gaia fournit des données permettant d'aborder des questions jusqu'ici sans réponse au sujet de notre galaxie-hôte, contribuant ainsi à l'étude des galaxies en général : quelle est sa structure précise, l'histoire de sa formation, de son évolution passée et future ? Cette enquête exhaustive inclut naturellement des étoiles exotiques peu courantes ou dans des phases d'évolution de très courte durée, ainsi que plusieurs milliers de naines brunes et d'exoplanètes. Gaia dresse aussi la carte très détaillée de notre voisinage proche, détectant ainsi des centaines de milliers de petits corps du Système Solaire. Enfin, au-delà de la Voie lactée, Gaia observe de nombreuses étoiles dans les galaxies proches de la nôtre, mais aussi des objets extragalactiques brillants comme les supernovae et les quasars, et de nombreuses galaxies lointaines.

confirmation de deux populations différentes parmi les naines blanches ; modélisation détaillée de l'évolution des différents types d'étoiles ; preuves supplémentaires de l'anisotropie des mouvements dans notre Galaxie, perturbés par la présence des bras spiraux et de la barre présente au centre de notre Galaxie ; découverte de traces de collision de notre Galaxie avec d'autres galaxies et identification des étoiles capturées ; déductions sur la formation du halo ; étude détaillée des interactions avec les Nuages de Magellan ; amélioration majeure du système de référence extragalactique raccordé aux positions très précises de quasars et galaxies lointaines compactes. Et ce ne sont que quelques exemples parmi beaucoup d'autres.

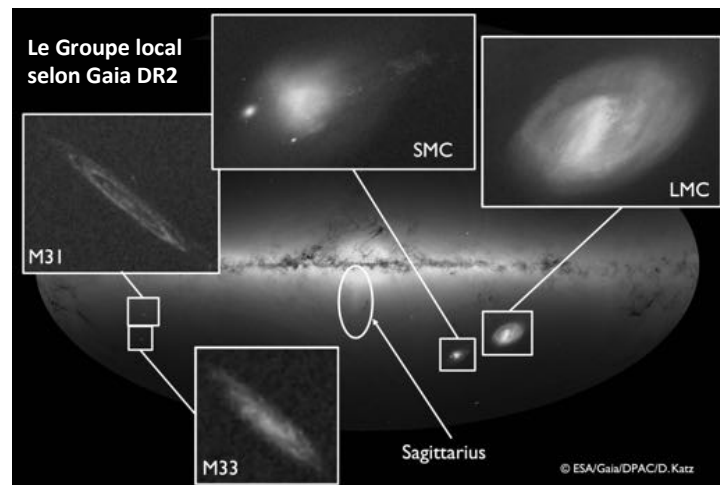
Sélectionnée comme pierre angulaire de l'ESA en 2000, la mission a été lancée depuis Kourou le 19 décembre 2013. Gaia continue la tradition de pionnier en astrométrie de l'Europe, en s'appuyant sur l'expertise acquise avec la première mission d'astrométrie spatiale, Hipparcos. Gaia va surpasser son prédécesseur de plusieurs ordres de grandeur en termes de précision, de magnitude limite et de taille d'échantillon. Tandis qu'Hipparcos avait un programme d'objets à observer établi à l'avance, le relevé de Gaia est complet et non biaisé.

Gaia DR1

Un traitement et une analyse sophistiquée des 14 premiers mois de données ont déjà permis de construire le premier catalogue Gaia : Gaia DR1 (data release 1), publié le 14 septembre 2016 par l'ESA et le Consortium Européen DPAC, très exactement 1000 jours après le lancement du vaisseau spatial. Dans l'histoire des grands Catalogues stellaires, après Hipparque / Ptolémée, Tycho Brahé, Lalande, ... et enfin, Hipparcos / Tycho, catalogues publiés en 1997 à partir des données du premier satellite astrométrique de l'ESA, Hipparcos (1989-1993), Gaia DR1 est le premier catalogue décrivant en détail l'état du ciel au début du XXIème siècle. De plus, des parallaxes trigonométriques (donnant la distance) et des mouvements propres ont aussi été publiés pour un "petit" sous-ensemble de 2 millions d'étoiles brillantes communes à Gaia DR1 et aux catalogues Hipparcos ou Tycho-2.

Gaia DR2 (Gaia Data Release 2)

Le catalogue intermédiaire suivant, Gaia DR2, basé sur les 22 premiers mois (668 jours) de données, obtenues du 25 juillet 2014 au 23 mai 2016, a été publié le 25 avril 2018. Ce deuxième Catalogue Gaia marque une étape majeure car il contient les positions, parallaxes trigonométriques et mouvements propres, ainsi que des magnitudes G et une mesure de la couleur de chaque étoile, obtenue à partir des magnitudes BP et RP, pour plus de 1,3 milliard d'étoiles. Autre avancée essentielle : cette deuxième version du catalogue Gaia comprend aussi des vitesses radiales pour plus de sept millions d'étoiles ce qui permet de calculer la vitesse spatiale des étoiles et de voir leurs mouvements en 3D dans la Galaxie. Enfin, Gaia DR2 donne aussi des estimations de la



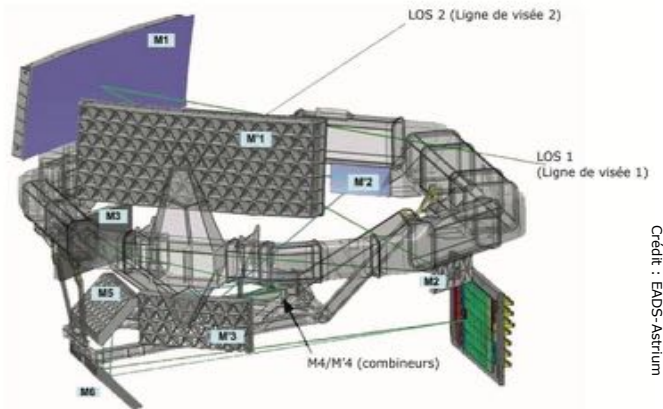
Gaia DR3

Retardée par la pandémie de Covid, la publication de ce catalogue sera faite en deux parties : Gaia EDR3 (Early Data Release) le 3 décembre 2020 et la publication complète de Gaia DR3 au premier semestre 2022. Ces deux catalogues, contenant 1,8 milliard d'objets, sont basés sur les données observées par Gaia pendant 34 mois, du 25 juillet 2014 au 28 mai 2017. Grâce à ce plus grand intervalle de temps et à un traitement astrométrique amélioré, la précision des parallaxes est de 20 % meilleure et celle des mouvements propres deux fois meilleure que celles de Gaia DR2. Enfin, dès Gaia EDR3, des luminosités précises en bleu et en rouge sont publiées pour 1,5 milliards d'objets. Grâce à ces données, un nouveau regard est, par exemple, posé sur les étoiles proches du Soleil dans la Galaxie, sur les parties externes du disque et du halo de notre Galaxie, sur la structure et les différentes populations d'étoiles dans les Nuages de Magellan, et l'accélération du Système Solaire dans la Galaxie est mesurée précisément.

Il faudra attendre Gaia DR3 pour avoir des paramètres astrophysiques et même des spectres pour une grande partie des objets du programme, une photométrie détaillée des étoiles variables et des données pour les systèmes d'étoiles doubles ou multiples.

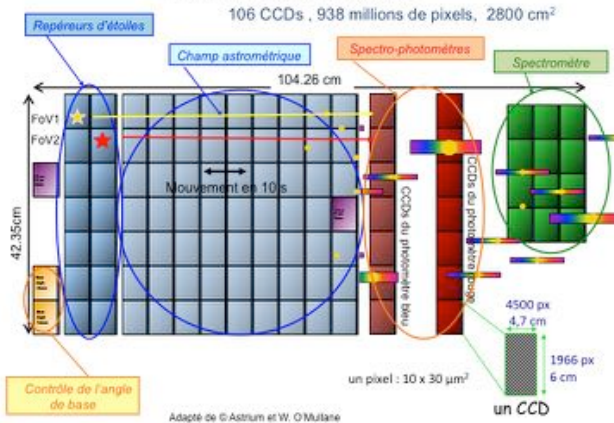
Le vaisseau spatial et l'instrument astrométrique

Les instruments de Gaia sont montés sur un banc optique hexagonal placé à l'intérieur de la charge utile. Celle-ci contient deux télescopes présentant chacun leur ouverture vers le ciel mais projetant la lumière dans un plan focal commun. Les deux directions de visée représentent 1.7° sur 0.6° sur le ciel et sont séparées par un angle de base ultra stable de 106.5° . La lumière émise par un objet céleste entrant par une des ouvertures est renvoyée par un grand miroir qui lui fait face (M1 et M'1 sur la figure). Elle est ensuite réfléchi sur une série d'autres miroirs, avec une longueur focale totalisant 35m, les deux chemins optiques se rencontrant sur un combineur de faisceaux en M4/M'4 avant d'atteindre le plan focal. Celui-ci est constitué d'une très grande mosaïque de CCDs assez similaires à ceux que l'on trouve dans les appareils photos numériques. Mais, avec ses 106 CCDs, le plan focal contient près d'un milliard de pixels (gigapixel), bien plus que les quelques millions que l'on trouve sur un appareil photo numérique classique.



Crédit : EADS-Astrium

En plus de l'instrument photométrique, Gaia possède un spectromètre pour la mesure des vitesses radiales : le RVS (Radial Velocity Spectrometer) fournit la troisième composante des vitesses spatiales de toutes les étoiles jusqu'à la magnitude 17. Spectrographe à intégrale de champ dans le proche infrarouge (845-872 nm), de résolution environ 11500, il disperse toute la lumière entrant dans le champ de vue. La dispersion spectrale est obtenue par le biais d'un module optique situé entre M6 et le plan focal contenant un réseau et une lentille afocale. Les photomètres et le RVS sont accrochés au banc optique. En conséquence, la lumière des deux directions de visée est également projetée sur les CCDs photométriques et du RVS. Les objets sont sélectionnés pour l'observation dans le RVS en se basant sur des mesures faites précédemment dans le photomètre rouge.

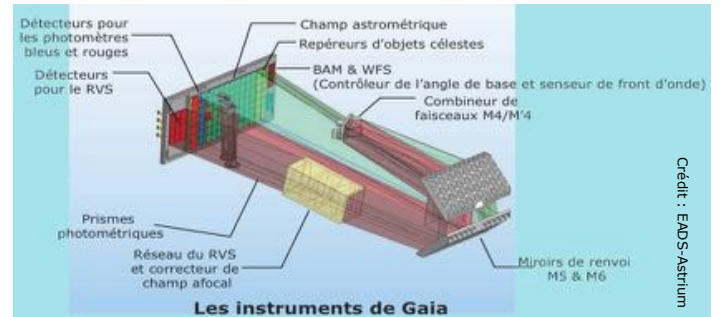


Tandis que le satellite tourne lentement, la lumière des objets traverse le plan focal. Progressivement, Gaia balaye ainsi tout le ciel tandis que le satellite tourne sur lui-même avec un petit mouvement de précession, le ciel complet étant parcouru en moyenne 70 fois en 5 ans (durée de la mission nominale). Les mesures astrométriques de Gaia utilisent le même concept d'astrométrie globale que celui qui a été validé avec succès par son prédécesseur Hipparcos. Via la mesure des positions instantanées des centres des images, Gaia mesure les séparations relatives des milliers d'étoiles simultanément présentes dans les deux champs de vue combinés. Le mouvement de balayage continu du ciel permet ainsi de générer un flux constant de mesures angulaires relatives quand les champs de vue parcourent le ciel. La haute résolution angulaire (et donc la grande précision sur la position) dans la direction du balayage est fournie par le miroir primaire de chaque télescope, de dimension $1,45 \times 0,5 \text{ m}^2$ (le long du balayage x perpendiculairement à celui-ci) et les 35 m de focale. Les mesures de grands angles fournissent alors la grande rigidité du système de référence résultant.

Dans le plan focal, le champ astrométrique est échantillonné par une mosaïque de 62 CCDs. Les étoiles entrant dans un des champs de vue sont imagées par des CCDs dédiés qui agissent comme un «repère d'étoiles». Chaque objet est détecté à bord, et les informations sur sa position et sa brillance sont traitées en temps réel pour définir la région qui sera lue par les CCDs suivants. La magnitude limite de Gaia est supérieure à 20 dans sa propre bande passante ($V = 20$ pour les étoiles bleues, $V = 22$ pour les étoiles rouges), et tous les objets plus brillants que cette limite au moment de l'observation sont mesurés.

Photométrie et spectroscopie

L'instrument photométrique de Gaia est formé de deux prismes de silice fondue dispersant toute la lumière entrant dans le champ de vue et situés entre le dernier miroir (M6) et le plan focal. L'un des disperseurs (appelé BP pour Photomètre Bleu) opère dans la gamme de longueur d'onde 330–680 nm ; l'autre (RP pour Rouge) couvre la gamme 640–1050 nm. La dispersion des prismes va de 3 à 29 nm/pixel pour BP et de 7 à 15 nm/pixel pour RP. Obtenues simultanément aux observations astrométriques, ces mesures de distribution d'énergie spectrale fournissent des informations astrophysiques-clés telles que les températures, les gravités de surface, métallicités et rougissements pour chacune des étoiles observées.



Crédit : EADS-Astrium

Le consortium de traitement et d'analyse des données

La nature de la mission Gaia conduit à l'acquisition d'une énorme quantité de données complexes et extrêmement précises, qui représentent les multiples observations de près de deux milliards d'objets divers. Le défi du traitement des données Gaia, la transformation de la télémétrie brute du satellite en données scientifiques, représente une tâche énorme en termes d'expertise, d'effort et de puissance de calcul dédiée. En mai 2007, le Consortium de traitement et d'analyse de données (DPAC = Data Processing and Analysis Consortium) a été chargé par l'ESA de cette

Précisions astrométriques en fin de mission			
Mag. V	Etoile bleue	Etoile jaune	Etoile rouge
	B1 V	G2 V	M6 V
$3 < V < 12$	5-16 μas	5-16 μas	5-16 μas
$V=15$	26 μas	24 μas	9 μas
$V=20$	600 μas	540 μas	130 μas

lourde responsabilité. Constitué de plus de 400 chercheurs et ingénieurs, dans dix-huit pays, et regroupant des compétences et expertises de toute l'Europe, le Consortium est coordonné par un comité exécutif et subdivisé en neuf unités spécialisées plus

petites, nommées unités de coordination (CU). À chaque unité est attribué un ensemble unique de tâches du traitement des données. Les CUs sont soutenues par des Centres de Traitements de Données (DPC), dont un au CNES à Toulouse. La base de données principale est à l'ESAC (European Space Astronomy Centre, Madrid).

EADS Astrium (maintenant Airbus Defence and Space)

En mai 2006, la construction du satellite Gaia a été confiée à l'entreprise spatiale européenne EADS. Les technologies de pointe utilisées pour le vaisseau et les instruments reposent sur l'importante expertise d'Astrium. De plus, ayant également fabriqué le satellite précurseur de Gaia, Hipparcos, EADS Astrium a apporté une expérience essentielle au projet.

Pour plus d'informations : gaia.obspm.fr (en français) et www.cosmos.esa.int/gaia (en anglais)
Pour télécharger cette affiche : <https://gaia.obspm.fr/documentation/article/depliant-et-posters>