



GAIA DRESSE LE CATALOGUE LE PLUS COMPLET DES ÉTOILES DE NOTRE GALAXIE ET D'AU-DELÀ

Le ciel vu par Gaia, en couleur. © ESA/Gaia/DPAC

La mission de l'ESA Gaia a permis de dresser le catalogue d'étoiles le plus étendu à ce jour, en ce compris des mesures de haute précision de près de 1,7 milliard d'étoiles ainsi que des détails inédits de notre propre galaxie.

Une multitude de découvertes se profilent à l'horizon après cette publication très attendue, basée sur 22 mois passés à cartographier le ciel. Les nouvelles données incluent les positions, les indicateurs de distance et les mouvements de plus d'un milliard d'étoiles. Elles comprennent également des mesures de haute précision d'astéroïdes issus de notre système solaire ainsi que d'étoiles situées au-delà de la Voie lactée, notre propre galaxie.

La diffusion de cette nouvelle carte est une percée scientifique pour la communauté des astronomes, incluant des chercheurs de l'Observatoire royal de Belgique, de la KU Leuven, de l'ULB, de l'ULg et de l'Université d'Anvers. La participation belge à la mission Gaia a été rendue possible grâce aux fonds fournis par la Politique scientifique fédérale belge (Belspo) via le programme PRODEX de l'ESA.

Pour les décennies à venir, ces données constituent une carte au trésor qui nous mènera à la découverte de la structure, de l'histoire et du futur de notre Voie Lactée.

Les analyses préliminaires de cette énorme quantité de données révèlent des détails très fins sur la composition de la population stellaire de la Voie lactée, ainsi que sur la façon dont les étoiles se déplacent, c'est-à-dire des informations essentielles pour étudier la formation et l'évolution de notre galaxie.

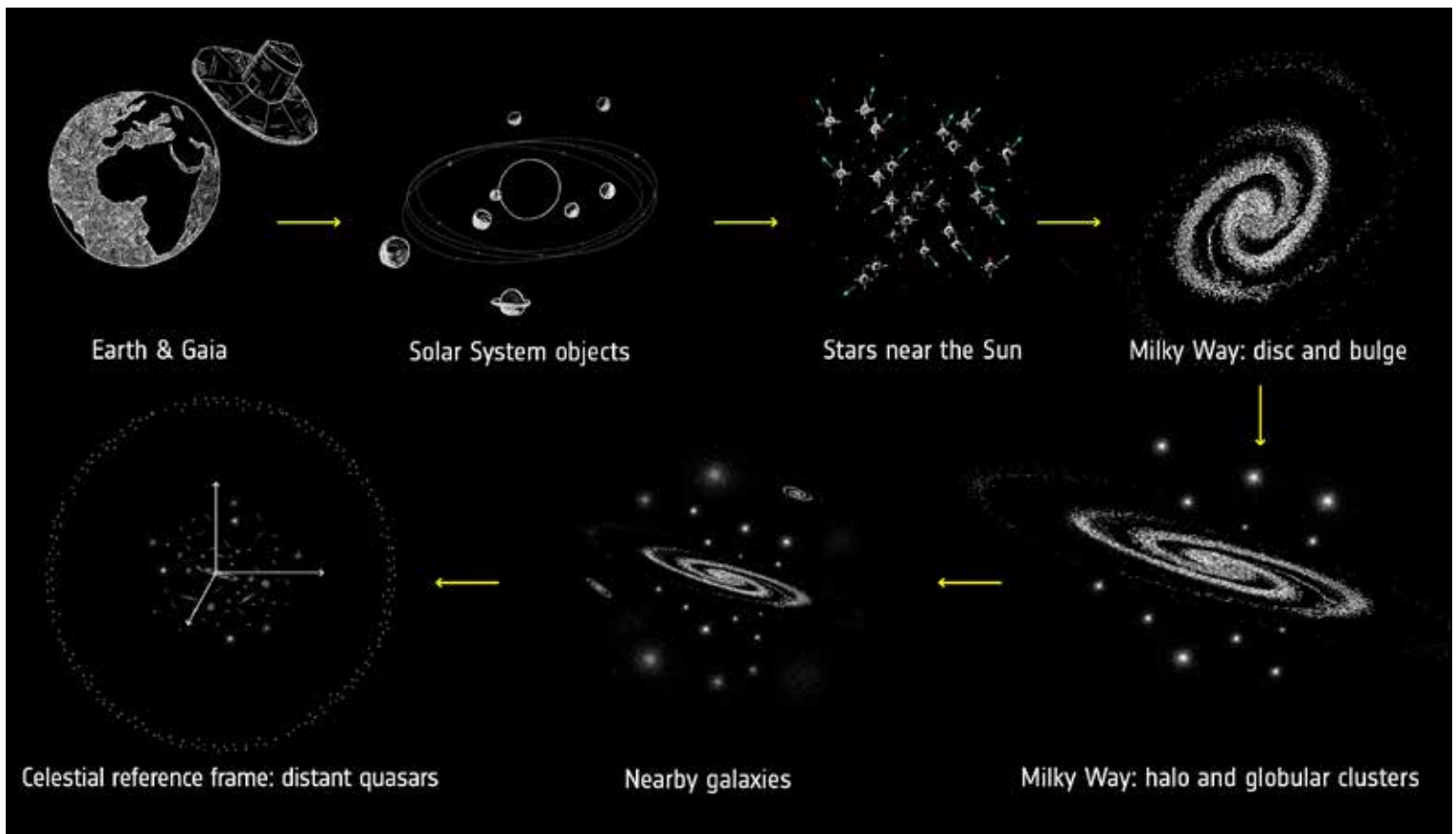
'Les observations réalisées par Gaia redéfinissent les fondements de l'astronomie', dit Günther Hasinger, Directeur de la Science à l'ESA. 'Gaia est une mission ambitieuse qui dépend d'une collaboration humaine considérable pour donner du sens à un grand volume de données hautement complexes. Elle démontre le besoin de projets à long terme pour assurer le progrès dans les sciences et les technologies spatiales et pour mettre en œuvre davantage de missions scientifiques audacieuses dans les prochaines décennies.'

Le voyage de Gaia

Gaia a été lancée en décembre 2013 et a débuté ses opérations scientifiques l'année suivante. La première parution de données, basée sur tout juste un an d'observations, a été publiée en 2016 ; elle contenait les distances et les mouvements de deux millions d'étoiles. La nouvelle parution de données, qui couvre la période entre le 25 juillet 2014 et le 23 mai 2016, cerne les positions de près d'1,7 milliard d'étoiles avec une précision plus grande encore. Pour quelques-unes des étoiles les plus lumineuses dans le catalogue, le niveau de précision reviendrait au fait qu'un observateur sur la Terre soit capable de déceler une pièce d'un euro à la surface de la lune.

Grâce à ces mesures très précises, il est possible de séparer la parallaxe des étoiles – un décalage apparent du ciel provoqué par l'orbite annuelle de la Terre autour sur Soleil – de leurs mouvements réels à travers la galaxie.

Le nouveau catalogue liste la parallaxe et la vitesse à travers le ciel, ou mouvement propre, pour plus d'1,3 milliard d'étoiles. À l'aide des mesures de parallaxe les plus précises, soit 10 %



Echelles cosmiques couvertes par Gaia. © ESA, CC BY-SA 3.0 IGO

du total, les astronomes sont capables d'estimer directement les distances vers les étoiles prises individuellement.

'La deuxième publication de données issues de Gaia représente une avancée considérable par rapport au satellite de l'ESA Hipparcos, le prédécesseur de Gaia et la première mission spatiale d'astrométrie, qui a sondé quelques 118.000 étoiles il y a près de trente ans', dit Anthony Brown de l'Université de Leyde, aux Pays-Bas. Anthony est le président du *Gaia Data Processing and Analysis Consortium Executive*, l'organisme qui supervise l'impressionnante collaboration d'environ 450 scientifiques et ingénieurs logiciel à qui a été confiée la tâche de créer le catalogue Gaia grâce aux données fournies par le satellite.

'Rien que le nombre d'étoiles à lui seul, en ce compris leurs position et mouvement, suffirait à déjà rendre le nouveau catalogue de Gaia assez époustouflant,' ajoute Anthony. 'Mais il y a plus encore : ce catalogue scientifique unique comprend bien d'autres types de données – avec des informations sur les propriétés des étoiles et d'autres objets célestes – ce qui donne à cette publication un caractère véritablement exceptionnel.'

Pour tous les goûts

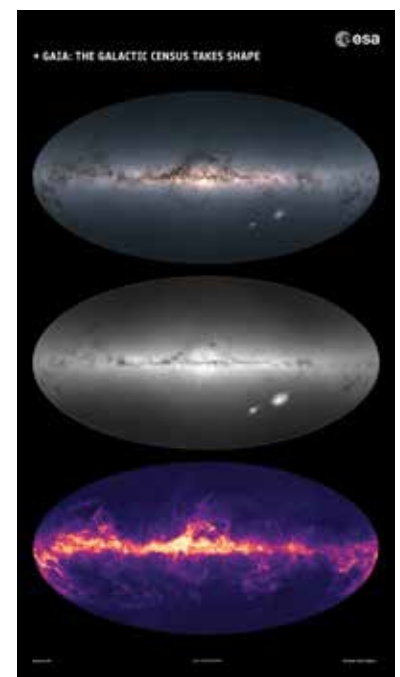
L'ensemble de données détaillées fournit un large éventail de sujets pour la communauté astronomique. En plus des positions, les données incluent des informations sur la luminosité de toutes les étoiles étudiées, de même que des mesures sur la couleur pour la grande majorité d'entre elles, ainsi que des informations sur les variations de brillance et de couleur dans le temps pour plus d'un demi-million

d'étoiles variables. Les données contiennent également les vitesses le long de la ligne de visée pour un sous-ensemble de sept millions d'étoiles, les températures de surface pour environ cent millions d'entre elles et les conséquences de la poussière interstellaire pour 87 millions d'autres.

Gaia observe également des objets dans notre système solaire : la deuxième publication de données reprend les positions de plus de 14.000 astéroïdes connus, ce qui permet la détermination précise de leurs orbites. Il est prévu qu'un échantillon plus important encore soit compilé dans les prochaines publications de Gaia.

Si l'on regarde plus loin encore, Gaia a saisi les positions d'un demi-million de quasars éloignés, qui sont des galaxies lumineuses alimentées par l'activité de gigantesques trous noirs en leur cœur. Ces sources sont utilisées pour définir un cadre de référence pour les coordonnées célestes de tous les objets dans le catalogue de Gaia, une entreprise qui est habituellement réalisée avec des ondes radios, mais qui est désormais également possible sur des longueurs d'onde optiques.

Des découvertes majeures sont attendues une fois que les scientifiques auront



Le recensement galactique prend forme © ESA/Gaia/DPAC

commencé à parcourir les nouvelles publications de Gaia. Il ressort d'ores et déjà d'un examen préliminaire, réalisé par le consortium de traitement des données en vue de valider la qualité du catalogue, que des surprises prometteuses sont au rendez-vous, en ce compris de nouvelles perspectives sur nos connaissances sur l'évolution des étoiles.

Archéologie galactique

'Les nouvelles données de Gaia sont si enthousiasmantes que nous n'avons littéralement qu'à nous baisser pour en ramasser les résultats, tous plus prometteurs les uns que les autres', explique Antonella Vallenari, de l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) et de l'Observatoire Astronomique de Padoue, en Italie, et vice-présidente du conseil exécutif du consortium de traitement des données. 'Nous avons par exemple construit le diagramme d'étoiles d'Hertzsprung-Russell le plus détaillé jamais réalisé sur l'entièreté du ciel et nous pouvons déjà déceler quelques tendances intéressantes. C'est un peu comme si l'on inaugurerait une nouvelle ère dans l'archéologie galactique.'

Baptisé en référence aux deux astronomes qui l'ont inventé au début du 20e siècle, le diagramme de Hertzsprung-Russell compare la luminosité intrinsèque des étoiles avec leur couleur. Il s'agit d'un outil fondamental pour l'étude des populations d'étoiles et de leur évolution.

Une nouvelle version de ce diagramme, basée sur quatre millions d'étoiles localisées dans un rayon de cinq années-lumière du Soleil et issues du catalogue Gaia, révèle de nombreux détails très fins pour la toute première fois. Il est notamment question de la signature de différentes naines blanches – les résidus d'étoiles semblables à notre Soleil – de sorte qu'une distinction puisse être faite entre celles dotées d'un noyau riche en hydrogène et celles où c'est l'hélium qui domine.

En étant associé avec les mesures de vitesse des étoiles réalisées par Gaia, le diagramme permet aux astronomes de différencier les différentes populations d'étoiles d'âges différents que l'on trouve dans des parties distinctes de la Voie lactée, comme dans le disque et le halo, et qui se sont formées différemment. Une observation plus pointue suggère que les étoiles très rapides, que l'on pensait appartenir au halo, englobent deux populations stellaires qui ont vu le jour à travers deux scénarios de formation différents, mais tout cela doit encore faire l'objet d'études plus détaillées.

'Gaia va faire progresser notre compréhension de l'univers à toutes les échelles cosmiques', explique Timo Prusti, scientifique du projet Gaia à l'ESA. 'Même dans le voisinage du Soleil, qui est la région que nous pensions connaître le mieux, Gaia révèle de nouvelles particularités absolument passionnantes.'

Une galaxie en 3D

Pour un sous-ensemble d'étoiles se trouvant à quelques milliers d'années-lumière du Soleil, Gaia a été capable de mesurer la vitesse dans les trois dimensions, révélant en cela des modèles dans les déplacements des étoiles qui or-

bitent autour de la galaxie à des vitesses similaires.

Des études complémentaires devront confirmer si ces modèles sont liés aux perturbations engendrées par la barre galactique, qui est une concentration très dense d'étoiles de forme allongée au centre de la galaxie, par l'architecture en bras spiraux de la Voie lactée, ou encore par l'interaction avec de plus petites galaxies qui ont fusionné avec elle il y a des milliards d'années.

Le niveau de précision de Gaia rend également possible l'observation des mouvements des étoiles au sein de certains amas globulaires – c'est-à-dire des anciens systèmes d'étoiles liés entre eux par la gravité et que l'on retrouve dans le halo de la Voie lactée – ainsi qu'au sein de galaxies voisines et dans les Petit et Grand Nuages de Magellan.

Les données recueillies par Gaia ont été utilisées pour calculer les orbites de 75 amas globulaires et de 12 galaxies naines qui tournent autour de la Voie lactée. Elles fournissent des informations cruciales pour l'étude de l'évolution passée de notre galaxie et de son environnement, des forces gravitationnelles à l'œuvre, et de la répartition de la matière noire inaccessible qui imprègne les galaxies.

'Gaia est vraiment ce qui se fait de mieux en matière d'astronomie', dit Fred Jansen, responsable de la mission Gaia à l'ESA. 'Les données récoltées vont occuper les scientifiques pendant plusieurs années, et nous sommes prêts à être surpris par l'avalanche de découvertes qui vont nous dévoiler les secrets de notre galaxie.'

(Source: ESA)

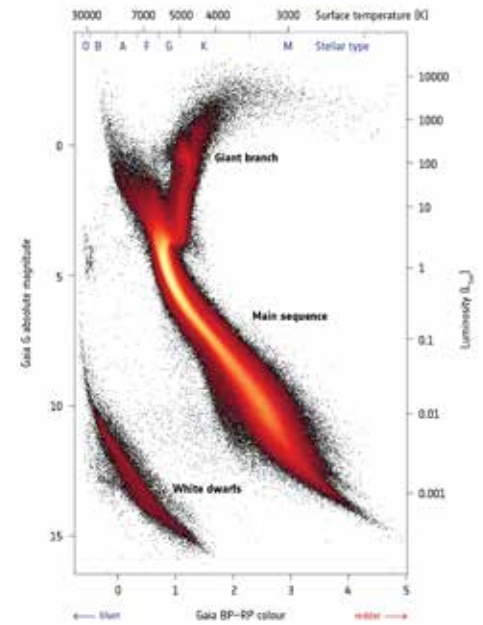


Diagramme de Hertzsprung-Russell. © ESA/Gaia/DPAC



Contributions belges à la mission Gaia

(basé sur un communiqué de presse conjoint de l'Observatoire royal de Belgique, de la KU Leuven, de l'ULB, de l'ULiège et de l'Université d'Anvers)

Katholieke Universiteit Leuven

'Gaia est la mission spatiale la plus incroyable à laquelle j'ai collaboré', dit Dr. Joris de Ridder, chef de projet Gaia pour la KU Leuven. 'Il impacte tous les domaines de recherche en astronomie, le mien inclus. Ici, à l'Institut d'Astronomie de la KU Leuven, nous dirigeons l'équipe qui se charge de la classification des étoiles variables détectées par Gaia. Beaucoup d'étoiles montrent des très petites variations de luminosité à cause de modifications périodiques de leur taille et de leur température. De la même manière que le son produit par un violon diffère de celui produit par une contrebasse, différents types d'étoiles présentent différents types de variations en luminosité, révélant ainsi leur nature. Notre tâche s'avère être un défi à cause du très grand nombre d'étoiles observées par Gaia. Par conséquent, nous avons développé un programme d'intelligence artificielle qui est capable de reconnaître automatiquement les étoiles variables. La carte actuelle de Gaia inclut déjà plus de 550.000 étoiles variables, mais il y en a encore beaucoup d'autres qui s'y ajouteront !'

Observatoire royal de Belgique

L'Observatoire royal de Belgique (ORB) a apporté une contribution significative au projet Gaia en calculant un aspect important du mouvement des étoiles : la vitesse à laquelle une étoile se rapproche ou s'éloigne de nous. C'est ce que les scientifiques appellent 'la vitesse radiale de l'étoile'. En traitant les données du Spectromètre de Vitesse Radiale, un instrument à bord du satellite Gaia (Radial Velocity Spectrometer), les scientifiques ont calculé les vitesses radiales de plus de 7 millions d'étoiles. Ces données sont publiées pour la première fois aujourd'hui. 'Cette information nous mènera vers une meilleure compréhension de la structure et de la formation de notre galaxie', explique Dr. Ronny Blomme, chef de projet de l'équipe Gaia de l'Observatoire. L'Observatoire contribue aussi au traitement de données liées aux astéroïdes. Le catalogue actuel de Gaia contient les positions précises de plus de 14.000 astéroïdes. 'Nous

sommes ravis', dit Dr. Thierry Pauwels, qui travaille sur un logiciel construit pour traiter les données du système solaire collecté par Gaia. 'C'est la première fois que notre contribution à Gaia est présentée au public.'

Université libre de Bruxelles

'Avoir fait partie d'un si grand projet depuis ses débuts, alors qu'il n'est qu'un concept sur papier, jusqu'à sa première grosse diffusion de données est vraiment très excitant', déclare Dimitri Pourbaix, l'investigateur principal belge de Gaia. 'Malgré tout, ce sont juste les prémises du produit final qui sera livré dans quelques années.' En plus de la coordination belge du projet Gaia, Dimitri Pourbaix dirige aussi la partie du consortium de traitement de données de Gaia (Gaia Data Processing and Analysis Consortium) en charge du traitement des données des objets : objets du système solaire (inclus dans le présent catalogue), étoiles binaires ou multiples, et objets étendus (tous les deux à paraître dans le catalogue final). Plus spécifiquement, l'équipe de l'ULB couvre 3 sous-classes du segment des étoiles multiples : les systèmes résolus (les composantes qui peuvent être distinguées visuellement) ; les systèmes astrométriques (ceux qui sont perçus comme étant des étoiles uniques, mais avec un mouvement perturbé), et, finalement, les systèmes multiples à éclipses (objets dont le changement de luminosité est causé par un compagnon qui bloque une partie de la lumière).

Université de Liège

L'institut STARS de l'Université de Liège a beaucoup collaboré avec l'ORB pour les mesures des vitesses radiales des étoiles observées par le Spectromètre de Vitesse Radiale (Radial Velocity Spectrometer), un instrument à bord du satellite Gaia. Ces vitesses permettent de mieux comprendre comment les étoiles se déplacent autour de notre galaxie. 'Un domaine spécifique de l'équipe de Liège pour ce présent catalogue est la séparation des objets observés en deux catégories : les étoiles simples et les étoiles multiples', explique Dr. E. Gosset, responsable de la chaîne spectroscopique d'étoiles multiples dans le projet Gaia. 'Les étoiles multiples sont des objets qui sont dans des systèmes d'étoiles binaires ou multiples. L'équipe de Liège s'intéresse aux systèmes binaires en tant que tels, mais, pour ce présent catalogue, le but est limité à la reconnaissance des systèmes multiples afin de les éliminer du traitement spectroscopique. Cela nous permettra de livrer un catalogue final avec des objets bien définis.' L'analyse des étoiles multiples est donc reportée à la prochaine Diffusion de Données de Gaia. Le présent catalogue contient déjà plus de 7 millions d'étoiles ; c'est la première fois qu'une si grande base de données de mesures de vitesses radiales a été diffusée. L'équipe de Liège est aussi impliquée dans la détection des objets extragalactiques tels que les quasars (noyaux actifs de galaxies très distantes). 'C'est la première fois que les quasars sont mesurés par un satellite astrométrique', explique Ludovic Delchambre qui a récemment défendu une thèse de doctorat lié au groupe de Gaia consacré au traitement de données des quasars. 'Près de 500.000 quasars seront observés par Gaia; cela permettra de définir un cadre de référence bien défini.'



Université Antwerpen

Les scientifiques de l'Université d'Anvers (Universiteit Antwerpen) ont contribué aux mesures des vitesses radiales et à l'étude de la variabilité stellaire. 'Époustouflant !', dit Dr. Katrien Kolenberg de l'Université d'Anvers. 'De plus, comme nous connaissons maintenant les positions et les mouvements de ces étoiles, une carte 3D, je me sens comme un détective spatial qui vient juste de recevoir une nouvelle, ou plutôt des dizaines de milliers de 'lampe de poche' pour dévoiler l'histoire et le futur de notre galaxie.'

GLOSSAIRE

Étoiles binaires: une étoile binaire est un système composé de deux étoiles qui orbitent l'une autour de l'autre, ou, plus précisément, autour de leur centre de masse. Des études récentes suggèrent que plus de la moitié des étoiles font partie de systèmes binaires ou multiples.

Parallaxe: la parallaxe est la différence apparente de position d'un objet vu selon deux lignes de vue différentes – tenez un doigt en face de vous, fermez un oeil à la fois, et vous constaterez que votre doigt ou d'autres objets bougent à chaque fois que vous passez d'un oeil à l'autre. Plus l'objet est éloigné, moins il bouge, et plus petite est la parallaxe. Les astronomes utilisent la parallaxe pour mesurer la distance des objets astronomiques proches, en utilisant des positions opposées de l'orbite terrestre autour du Soleil comme lignes de vue, et en appliquant des calculs géométriques de base.

Mouvement propre: les étoiles ne sont pas immobiles mais bougent autour du centre de notre galaxie. Notre Soleil, par exemple, tourne à une vitesse de 220 kilomètres par seconde autour du centre galactique. Le mouvement propre est le mouvement apparent des étoiles sur la sphère céleste, comme on peut le voir si l'on se place dans le centre de notre système solaire.

Quasars: un quasar, ou objet quasi stellaire (QSD), consiste en un trou noir supermassif entouré d'un disque d'accrétion de gaz et de poussière. Comme la matière entourant le disque tombe vers le trou noir, d'énormes quantités d'énergie sont émises, ce qui fait que le quasar est un des objets les plus lumineux de notre Univers.

Vitesse radiale: la vitesse radiale d'une étoile est la mesure de la vitesse à laquelle elle se déplace vers nous (vitesse radiale négative), ou s'éloigne de nous (vitesse radiale positive). La vitesse radiale d'une étoile est mesurée grâce à l'effet Doppler : la lumière provenant de l'étoile est décalée vers des longueurs d'ondes plus courtes (vers le bleu) quand elle se déplace vers nous, et vers des longueurs d'ondes plus longues (vers le rouge) quand elle s'éloigne de nous. C'est similaire au changement de ton d'une sirène d'une ambulance qui s'approche ou s'éloigne de nous.

Étoiles variables: une étoile variable est une étoile dont la luminosité fluctue. Cette variation peut être causée par une modification de la lumière émise (changement intrinsèque) ou par quelque chose qui bloque partiellement la lumière (changement extrinsèque). Toutes les étoiles sont variables à un certain degré (la luminosité de notre Soleil change d'environ 0,1 % durant son cycle solaire), mais des changements plus drastiques peuvent être aperçus dans les objets tels que les étoiles binaires à éclipses, quand une



étoile passe devant une autre et bloque une partie de sa lumière, ou tels que les étoiles géantes pulsantes, où l'étoile gonfle et se rétrécit, changeant ainsi sa taille et sa luminosité. Les taches sombres et brillantes sur la surface de l'étoile, telles que les taches solaires, peuvent causer des variations de luminosité observables.

Gaia lors de son intégration au Centre Spatial Guyanais. © ESA-CNES-Arianespace / Optique Vidéo du CSG - P. Baudon