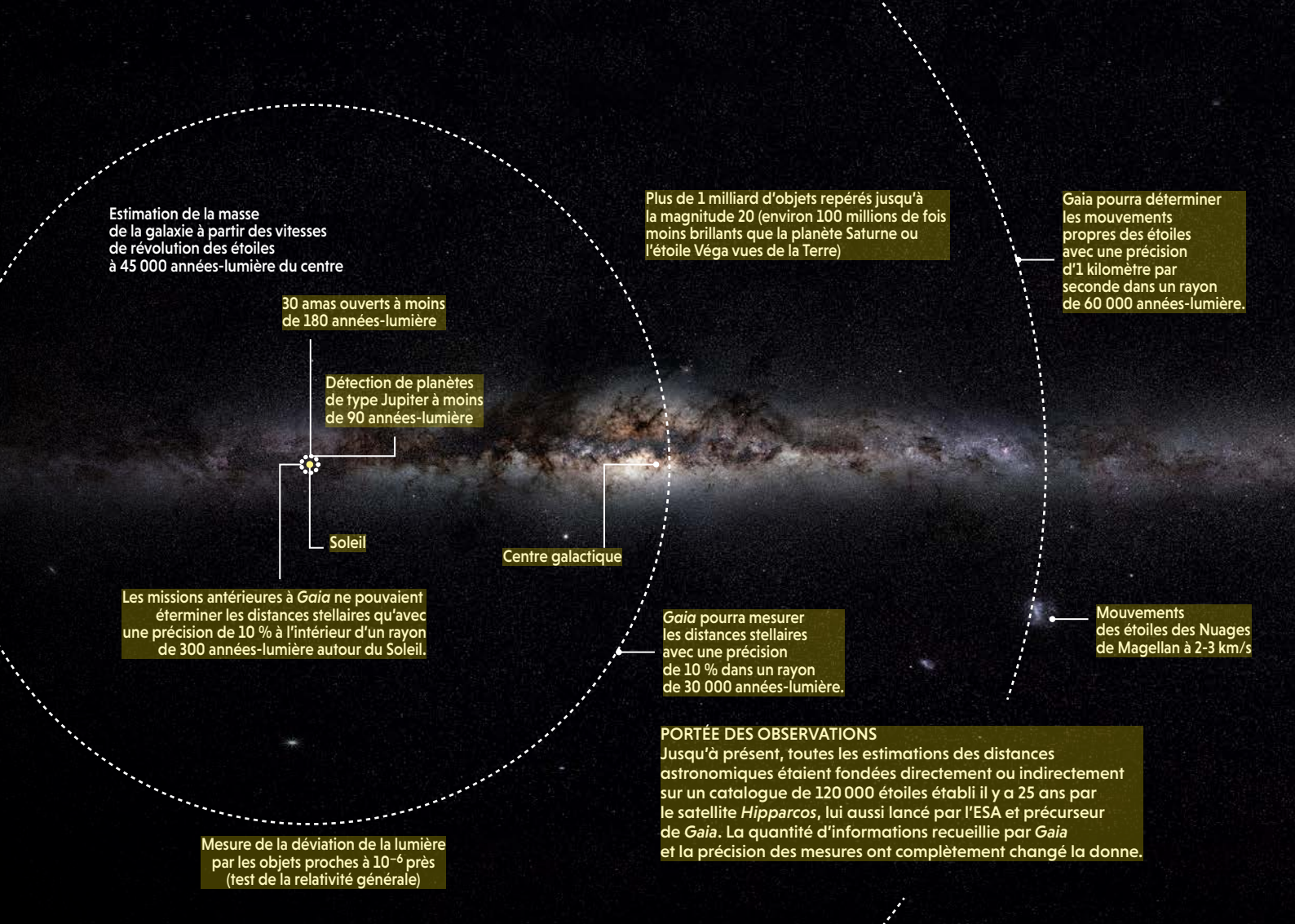




> Les données de *Gaia* sont assez précises pour que les modèles théoriques d'interactions entre galaxies remontent jusqu'aux caractéristiques de la galaxie incidente et même à la date où l'événement s'est produit. Amina Helmi et ses collègues estiment ainsi qu'il y a environ 10 milliards d'années (lorsque l'Univers avait le quart de son âge actuel), la Voie lactée est entrée en collision avec une galaxie à peu près quatre fois moins massive qu'elle. Les chercheurs ont nommé Gaia-Enceladus cette galaxie disparue.

UNE GALAXIE NAIN AURAIT TRAVERSÉ LA VOIE LACTÉE

La fusion de la Voie lactée avec Gaia-Enceladus semble avoir été l'un des événements les plus importants de l'histoire de notre galaxie. Mais cet événement, évidemment, n'est pas unique. Considérons ce qui se serait passé si une galaxie naine avait carrément traversé le disque de la Voie lactée. Un tel événement produirait une perturbation locale, les étoiles se trouvant entraînées dans le sillage de la galaxie naine sans toutefois être complètement expulsées du disque, retenues qu'elles sont par sa gravité. Les étoiles perturbées acquerraient ainsi un mouvement d'oscillation autour du plan galactique en

même temps qu'elles continueraient leur orbite autour du centre de la Voie lactée, tels les chevaux de bois d'un manège. Existe-t-il aujourd'hui des indices d'un tel événement ?

Si l'on s'en réfère aux données de *Gaia*, la réponse est oui. C'est ce qu'a montré une étude dirigée par Teresa Antoja, de l'institut des sciences du cosmos de Barcelone, et publiée en 2018. Les chercheurs ont analysé les positions et les vitesses de près de 1 million d'étoiles du voisinage solaire et en particulier la relation entre leur vitesse dans la direction perpendiculaire au plan galactique et leur distance à ce plan. La comparaison de ces données avec des simulations montre qu'elles sont compatibles avec la survenue, il y a environ 500 millions d'années, d'un événement comme celui que nous venons de décrire. Cette date coïncide avec le dernier passage de la galaxie du Sagittaire (une des galaxies naines proches de la Voie lactée) au point de son orbite le plus proche du centre galactique. Les données de *Gaia* démontrent ainsi que la dynamique du disque galactique est beaucoup plus complexe qu'on ne l'imaginait et qu'il faut réviser nos modèles actuels.

L'étude des amas stellaires, ces groupes d'étoiles qui se sont formées à partir d'un >

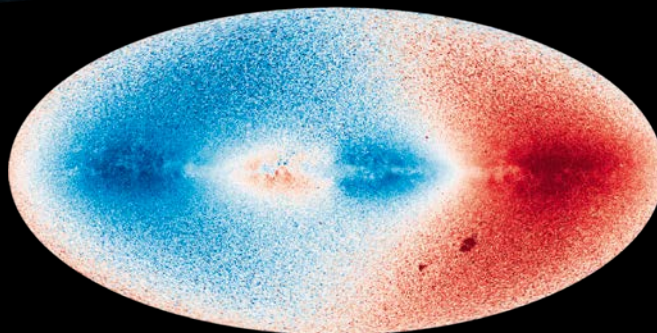
LE PASSÉ ET LE PRÉSENT DE LA VOIE LACTÉE

Par le passé, la Voie lactée s'est agrandie en fusionnant successivement avec des galaxies plus petites. Les vestiges de ces interactions subsistent aujourd'hui dans les propriétés des étoiles, puisque les astres provenant d'une galaxie naine engloutie autrefois par la Voie lactée présentent encore aujourd'hui des mouvements et des caractéristiques communes. Grâce aux cartes des positions et des vitesses élaborées par *Gaia* (ci-dessous), les astronomes commencent à reconstituer certains détails de l'histoire de notre galaxie (page ci-contre).



LES POSITIONS ET LES ÉCLATS DES ÉTOILES
Carte du ciel obtenue à partir des données du second catalogue *Gaia*. En plus des étoiles de la Voie lactée, on observe les deux Nuages de Magellan (en bas à droite), deux galaxies satellites de la nôtre.

CARTE DES VITESSES
Cette carte du ciel montre la vitesse de chaque étoile le long de la ligne de visée : dans les tons rouges, celles qui s'éloignent du Soleil, et en bleu, celles qui s'en rapprochent. Cette information, alliée aux données sur le mouvement propre sur le fond du ciel et à la parallaxe, permet de reconstituer le mouvement de révolution de ces étoiles autour du centre galactique.



> même nuage de gaz et de poussière, bénéficient également des données de *Gaia*. Du fait de leur origine commune, les étoiles d'un amas ont le même âge et la même composition chimique initiale, ainsi qu'un même mouvement d'ensemble dans l'espace, vestige de celui du nuage originel. Malheureusement, lorsque nous observons le ciel, les étoiles d'un même amas nous apparaissent, sur le fond de la voûte céleste, superposées à d'autres étoiles qui se trouvent à l'avant-plan ou à l'arrière-plan de l'amas. Seule la coïncidence des mouvements et des parallaxes permet de distinguer les étoiles qui appartiennent à l'amas des autres.

Plusieurs équipes ont exploité cette idée pour découvrir des groupes d'étoiles ayant des comportements communs. Grâce à la précision des données de *Gaia*, on a découvert des dizaines d'amas stellaires inconnus jusque-là. De surcroît, l'analyse des amas déjà connus (environ 3000) a révélé que beaucoup d'entre eux sont en réalité bien plus étendus qu'on ne le croyait et que, par ailleurs, certains n'étaient pas de véritables amas, mais de simples astérismes (des étoiles qui semblent regroupées sur la voûte céleste, mais qui n'ont en fait aucun

lien physique entre elles). Tel était le cas par exemple des « amas » les plus âgés de la partie interne du disque galactique. D'après les modèles théoriques, de tels amas auraient dû se désagréger rapidement sous l'effet de leurs nombreuses interactions avec les autres étoiles du disque et auraient dû s'y dissoudre depuis longtemps. Ces vieux amas jetaient donc un doute sur la validité des modèles. Or *Gaia* a permis de montrer qu'en fait, ces « amas » inexplicables n'existent pas.

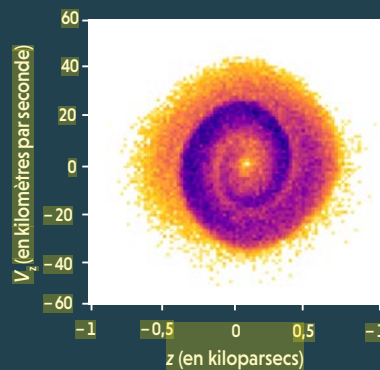
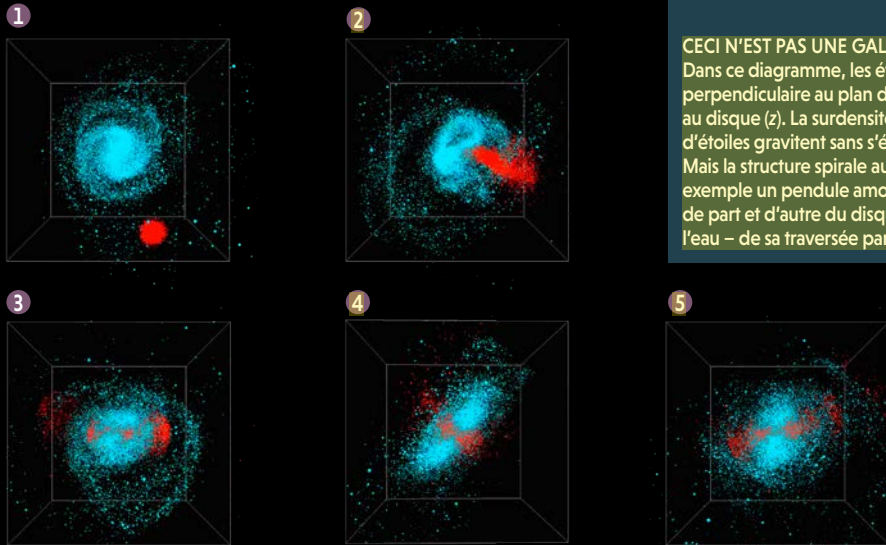
DES APPORTS À LA PHYSIQUE DES ÉTOILES

Les résultats de *Gaia* vont plus loin que la reconstitution du passé de la Voie lactée. En particulier, l'abondance des mesures commence à remplir des trous qui subsistaient dans notre compréhension de la structure et de l'évolution des étoiles.

L'un des principaux outils de la physique stellaire est le diagramme de Hertzsprung-Russell (H-R). Il a été conçu il y a plus d'un siècle par l'astronome danois Ejnar Hertzsprung et de façon indépendante par l'Américain Henry Norris Russell qui eut, comme lui, l'idée

CANNIBALISME GALACTIQUE

Les simulations informatiques reconstituent les mouvements que devraient adopter au cours du temps (1 à 5) les étoiles de deux galaxies (en rouge et en bleu) qui entrent en collision. Lorsqu'on les compare aux données observationnelles de *Gaia*, ces simulations nous font remonter dans le passé de la Voie lactée. Par exemple, ce type d'analyse a révélé récemment qu'il y a 10 milliards d'années la Voie lactée a englouti une galaxie quatre fois plus petite qu'elle, nommée depuis Gaia-Enceladus.



CECI N'EST PAS UNE GALAXIE...

Dans ce diagramme, les étoiles (en couleurs) sont repérées par leur vitesse perpendiculaire au plan du disque galactique (V_z) et leur distance au disque (z). La surdensité visible au centre indique qu'un grand nombre d'étoiles gravitent sans s'éloigner du disque et en restant dans son plan. Mais la structure spirale autour est typique de ce que montrerait par exemple un pendule amorti. Elle suggère que nombre d'étoiles oscillent de part et d'autre du disque galactique, vestige – tels des ronds dans l'eau – de sa traversée par une galaxie naine il y a 500 millions d'années.

d'y placer les étoiles observées en fonction de leur température (en abscisse) et de leur luminosité (en ordonnée), deux grandeurs qui évoluent de la naissance à la mort de l'étoile.

UN DIAGRAMME H-R PORTANT SUR 4 MILLIONS D'ÉTOILES

Lorsque nous observons une étoile et que nous mesurons ses propriétés, sa position dans le diagramme H-R dépend essentiellement de son âge d'une part et de sa masse et de sa composition chimique d'autre part. Cependant, nous ne disposons jusqu'ici que de données partielles sur certaines étapes de la vie stellaire correspondant à leur passage dans des régions particulières du diagramme H-R. *Gaia* a changé la donne. Puisque le satellite mesure les distances stellaires, la luminosité apparente d'un astre (sa luminosité vue de la Terre) donne accès à sa luminosité absolue (sa luminosité intrinsèque). En conséquence, nous pouvons placer les étoiles sur le diagramme avec une telle précision que nous commençons à y voir des détails impossibles à apprécier auparavant.

Sur la base des données de *Gaia*, on a réalisé un diagramme H-R contenant plus de 4 millions

d'étoiles, celles pour lesquelles les données étaient les plus précises. À titre de comparaison, celui réalisé à l'époque de *Hipparcos* n'incluait les propriétés que de 20 000 étoiles. Ces nouvelles données font ressortir très clairement plusieurs populations d'étoiles, en particulier celles de la séquence principale (les étoiles qui, comme le Soleil, en sont encore à fusionner l'hydrogène de leur cœur), les géantes (qui fusionnent l'hydrogène dans leur enveloppe ou ont déjà atteint l'étape de la fusion de l'hélium) et les naines blanches (des résidus stellaires compacts qui subsistent après qu'une étoile comme le Soleil a épuisé son combustible nucléaire). Les naines blanches sont très nombreuses, mais difficiles à observer parce qu'elles émettent très peu de lumière. Leur distribution en luminosité (combien on observe de naines blanches pour chaque luminosité) et leur distribution en masse (combien il y a de naines en fonction de la masse) nous renseignent sur l'histoire de la production stellaire dans la galaxie. Les données de *Gaia* contiennent un échantillon de plus de 15 000 naines blanches du voisinage solaire, contre à peine 250 auparavant. Les détails du nouveau diagramme H-R ➤