

assez simple. En revanche, lorsque deux étoiles proches l'une de l'autre passent devant la grille, le détecteur additionne les deux signaux. Si la distance angulaire séparant les deux étoiles est supérieure à 0,15 seconde d'angle, nous savons séparer les deux composantes qui ont produit le signal complexe observé. En combinant les observations de l'astre dans diverses orientations par rapport aux barreaux de la grille, on retrouve sans ambiguïté la luminosité de chacune des deux étoiles, leur position relative sur le ciel et, finalement, leur parallaxe. En outre, pour certains systèmes doubles à très courte période (quelques années), nous avons détecté un petit mouvement du centre de la distribution lumineuse correspondant à sa rotation autour du centre de masse du système : les deux étoiles sont, par exemple, de même masse, mais leurs luminosités sont différentes. Dans ces cas favorables, nous avons estimé le rapport des masses des deux étoiles, et nous avons donc calculé directement ces masses.

Avant que les résultats finaux ne soient disponibles, des utilisations restreintes des résultats provisoires ont été accordées par le Comité scientifique *HIPPARCOS*. Si une étoile est accompagnée d'une planète, le centre des masses du système, autour duquel tournent l'étoile et la planète, ne coïncide pas avec le centre de l'étoile : celle-ci décrit alors une orbite autour du centre de masse. En décembre 1995, des astronomes ont révélé qu'une planète gravite autour de l'étoile 51 Pégase. Peu après, plusieurs autres planètes ont été annoncées, autour de 47 de la Grande Ourse et de 70 de la Vierge notamment. Ces résultats étaient obtenus par des mesures du mouvement de l'étoile le long de la ligne de visée, par effet Doppler (à chaque orbite, l'étoile s'éloigne, puis se rapproche de nous). La mesure par *HIPPARCOS*, avec une précision de un pour cent, des distances des étoiles a fixé une limite supérieure aux masses des planètes : 22 fois la masse de Jupiter pour 47 de la Grande Ourse et 65 fois la masse de Jupiter pour 70 de la Vierge. Pour des masses plus grandes, nous aurions, avec l'ensemble des mesures de position, détecté le mouvement de l'étoile autour du centre de masse du

système. Ces masses sont inférieures à la limite au-delà de laquelle l'objet est une naine brune, étoile qui ne s'est pas allumée : c'est un élément supplémentaire en faveur de la nature planétaire de ces objets. Nous n'avons pas pu donner de limite pour la masse de la planète de 51 Pégase : le déplacement de l'étoile sur le ciel est trop faible.

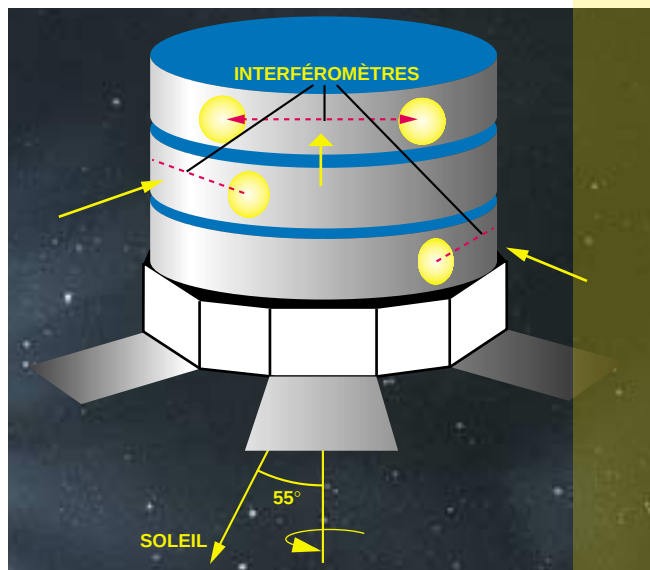
Positionner la supernova

En février 1987, l'explosion d'une étoile dans les nuages de Magellan, à 150 000 années-lumière, a donné aux astronomes l'occasion exceptionnelle d'étudier une supernova. Les centres des images radio et optiques étaient écartés de près de 0,5 seconde d'angle : cette différence provenait-elle d'une différence d'origine des signaux, ou des systèmes de coordonnées utilisés par les radio-astronomes et par les observateurs dans le visible ? En comparant, de proche en proche, la position des étoiles du

guidage des sondes spatiales et à la préparation des rendez-vous avec les planètes ou avec les satellites. Ainsi, le groupe de pilotage de la sonde américaine *Galileo* a utilisé les mesures *HIPPARCOS* pour préparer la rencontre avec l'astéroïde Ida le 28 août 1993. Plus récemment, des astronomes de l'Observatoire européen austral ont calculé avec ces données un calendrier très exact de la collision de la comète Shoemaker-Levy 9 avec Jupiter en juillet 1994, permettant d'optimiser la préparation des observations.

HIPPARCOS n'a observé notre galaxie, qui s'étend sur près de 100 000 années-lumière, que dans un rayon d'environ 500 années-lumière autour du Soleil. Toutefois, en combinant les mouvements propres précis et homogènes qu'il a mesurés à des mesures de vitesses le long de la ligne de visée, acquises par des mesures au sol, nous calculerons le déplacement en trois dimensions d'un grand nombre d'étoiles. Nous améliorerons ainsi les modèles de l'histoire de la Galaxie, et nous préciserons sa rotation et la répartition des masses. Grâce aux parallaxes, la fonction de luminosité, nombre d'étoiles par unité de volume et par intervalle de luminosité intrinsèque, sera calculée de manière directe pour la première fois sur un échantillon complet : nous connaîtrons mieux la population stellaire dans le voisinage solaire et, surtout, nous pourrions tester les mécanismes de formation des étoiles pour des situations très diverses. D'autres paramètres, tels la température de surface ou le rayon des étoiles seront déduits des parallaxes *HIPPARCOS* associées à des observations spectroscopiques provenant du satellite infrarouge *ISO*, en particulier pour les étoiles naines rouges et froides.

Le satellite *HIPPARCOS* a fonctionné jusqu'au 15 août 1993. Les responsables de la mission au centre de contrôle de l'Agence spatiale européenne, à Darmstadt, ont alors décidé l'arrêt des opérations : diverses avaries du système de guidage et surtout des pannes à répétition de l'ordinateur de bord rendaient impossible l'acquisition des données. Quel-



8. LE PROJET GAIA, actuellement étudié par l'Agence spatiale européenne, succédera peut-être à *HIPPARCOS* après 2010. Le satellite transporterait trois interféromètres empilés. L'interférométrie, déjà utilisée avec des télescopes terrestres, mais jamais encore dans l'espace, produit des images plus précises que l'observation directe.

voisinage fournie par *HIPPARCOS*, J. E. Reynolds, L. Staveley-Smith et leurs collaborateurs, du Télescope national australien d'Epping, ont identifié un défaut local dans le système de référence optique. L'émission radio et l'émission optique ont donc la même origine et sont imputables au même phénomène, l'explosion d'une étoile en supernova.

Les données d'*HIPPARCOS* ont aussi été utilisées, par un curieux retour aux sources, pour la navigation : un système de référence précis est indispensable au

ques mois après, et alors que le traitement des données n'était pas terminé, des projets ambitieux étaient déjà proposés pour sa succession. En Europe, le projet *GAIA* (acronyme anglais pour interféromètre astrométrique global pour l'astrophysique) est à l'étude depuis la fin de 1993. *GAIA* réaliserait des mesures d'une précision de 5 à 20 microsecondes d'angle, supérieure à celle d'*HIPPARCOS*, par la technique d'interférométrie optique : cette technique consiste à former une figure d'interférence avec deux images issues de deux télescopes assez distants. La résolution de l'image augmente la distance séparant les deux télescopes. Cette technique, utilisée au sol (huit interféromètres sont en service dans le monde), ne l'a jamais été dans l'espace.

GAIA serait constitué d'un empilement de trois interféromètres identiques dont les axes de visée feraient un angle constant entre eux. En outre, grâce à une sensibilité 40 fois supérieure à celle d'*HIPPARCOS*, il observerait 50 millions d'étoiles, dans six bandes de couleur. Avec un tel instrument, on mesurerait géométriquement pour la première fois des distances en dehors de la Voie lactée. Il serait lancé peu après 2010 et fonctionnerait cinq ans. Les astronomes américains ne sont pas en reste : le projet *SIM* (pour mission d'interférométrie spatiale), à l'étude pour un lancement vers 2004, vise une précision de quelques microsecondes d'angle (cinq fois supérieure à celle de *GAIA*), mais pour seulement quelques dizaines de milliers d'étoiles dont certaines seraient cent fois moins lumineuses, avec un objectif majeur : la détection et la caractérisation de planètes extra-solaires.

François MIGNARD est directeur de recherche au CNRS et dirige le CERGA à Grasse. Christian MARTIN a soutenu récemment une thèse sur le traitement des données *HIPPARCOS*.

The HIPPARCOS Mission, ESA SP-1111, 3 volumes, 1989.

HIPPARCOS : une nouvelle donne pour l'astronomie, sous la direction de D. Benest et C. Froeschlé, Société française des spécialistes d'astronomie, 1992.

Astronomy and Astrophysics, volume 304, 1995.

Roger ANGEL et Neville WOOLF, *À la recherche de la vie*, in *Pour la Science*, juin 1996.
