

été évaluée, soit moins du quart. Et ces 1 800 étoiles sont «à notre porte cosmique», à moins de 12 années-lumière. Ainsi, l'arpentage de l'Univers lointain restait l'apanage des méthodes indirectes, même si les mesures directes de parallaxe étaient des jalons précieux.

Les photographies sur plaques, enregistrées sous forme numérique, se sont révélées d'une importance primordiale pour les mesures de parallaxe, mais aussi pour les mesures d'éloignement fondées sur la photométrie. Pour la première fois, on pouvait mesurer précisément la luminosité des étoiles. Au moyen des mesures d'éloignement cosmique, les astro-

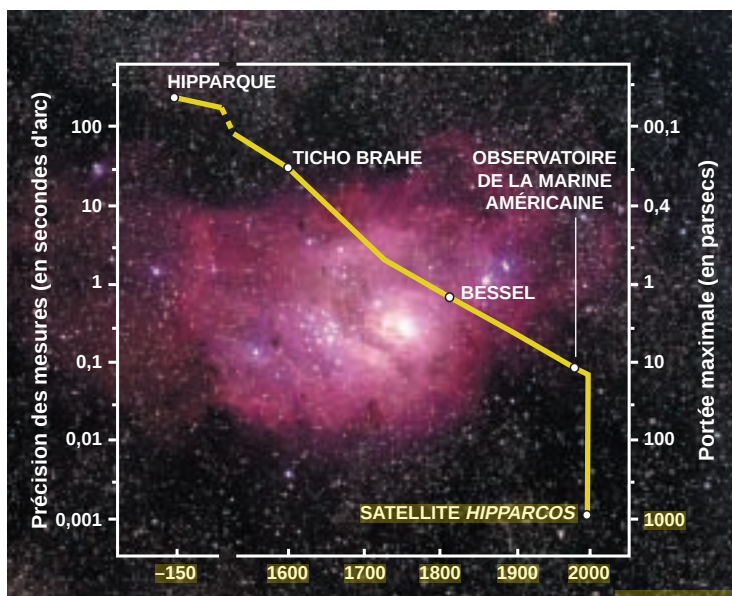
nomes purent enfin sonder l'immensité de l'Univers sur des milliards d'années-lumière, tandis que les mesures de distance à l'aide du déplacement de parallaxe ne permettaient pas de dépasser 300 années-lumière. Pour déterminer des distances supérieures, les astronomes recoururent à des méthodes indirectes, fondées sur des critères de distance établis et calibrés avec des astres dont l'éloignement est connu.

Les étoiles les plus lointaines qui restent accessibles à une mesure de parallaxe sont environ 10 millions de fois plus éloignées de la Terre que ne l'est le Soleil, mais l'Univers observable grâce aux télescopes actuels est aujourd'hui 100 millions de fois plus étendu.

LE SATELLITE HIPPARCOS

Pour découvrir cette immensité, il fallait encore ajouter plusieurs échelons à notre échelle des distances cosmiques. Et pour chacun de ces échelons, il fallait faire des hypothèses sur les propriétés des corps célestes observés, avec le risque qu'une échelle de mesure des distances initialement correcte ne devienne de plus en plus imprécise à mesure que l'éloignement augmente. Ainsi, bien que la parallaxe de plusieurs étoiles proches du Soleil soit connue avec une grande précision, la taille de l'Univers lointain restait mal connue. Pour remédier à ces deux problèmes, il fallait mesurer des parallaxes plus nombreuses et plus précises.

La détermination d'un grand nombre de parallaxes permet aux astronomes de mieux comprendre la formation et la structure intérieure des étoiles, leur



La précision absolue (en jaune) des mesures de la position des étoiles a approximativement doublé tous les 60 ans au cours des 300 dernières années. Le satellite HIPPARCOS a fourni des mesures dont la précision est égale à celle que l'on aurait obtenue dans 300 ans au rythme des progrès passés.

histoire et leur évolution, ainsi que l'origine de leur énergie. La comparaison de nombreuses paires d'étoiles de même type, mais situées à des distances différentes, améliore la précision de l'échelle des distances.

Toutefois, dans le voisinage immédiat du Soleil, il n'y a pas de représentants de types intéressants d'étoiles : les objets très lumineux sont rares dans le cosmos. La parallaxe d'une étoile située à 30 années-lumière mesure environ 0,1 seconde d'arc, et celle d'une étoile distante de 300 années-lumière n'est plus que de 0,01 seconde d'arc. Si l'on veut déterminer ces deux distances avec une précision de l'ordre de 20 pour cent, il faut faire des mesures précises à 0,02 seconde d'arc dans le premier cas, et à 0,002 seconde d'arc dans le second. C'est donc la précision de l'instrument utilisé qui est le facteur limitant pour l'exploration de l'Univers.

Il est extrêmement difficile de mesurer des valeurs de parallaxe avec une précision de 0,002 seconde d'arc. De surcroît, les variations de température, la pesanteur, le vieillissement des matériaux, les modifications infimes des émulsions photographiques, sont autant de sources d'imprécision. À ces difficultés techniques s'ajoutent les perturbations dues à la réfraction variable de la lumière des étoiles par l'atmosphère terrestre, le scintillement des étoiles résultant de perturbations atmosphériques et les irrégularités de la rotation de la Terre.

La quasi-totalité des difficultés tient au fait que les instruments de mesure sont sur la Terre. En 1967, l'astronome français Pierre Lacroute a proposé la

construction d'un instrument de mesure placé dans l'espace. Avec un tel instrument, il espérait déterminer la parallaxe de quelque 700 étoiles avec une précision de l'ordre de 0,01 seconde d'arc. Il fallut attendre 13 ans, pour que l'Agence spatiale européenne (ESA) décide la construction d'un tel satellite. Entretemps, les progrès techniques réalisés allaient permettre de déterminer la position, le mouvement annuel et la parallaxe de quelque 100 000 étoiles avec une précision de 0,002 seconde d'arc.

Ce projet, dénommé HIPPARCOS, en hommage à l'astronome Hipparque de la Grèce antique, était aussi l'acronyme dérivé

des premières lettres de *High Precision Parallax Collecting Satellite* (satellite de haute précision pour la mesure de la parallaxe). Le satellite fut achevé en 1987 et placé en orbite en 1989. Les mesures furent effectuées entre la fin de 1989 et le milieu de 1993. Grâce à HIPPARCOS, les astronomes ont déterminé la parallaxe de près de 120 000 étoiles avec une précision moyenne de 0,001 seconde d'arc, soit presque deux fois meilleure que celle escomptée (on put ainsi évaluer des distances doubles des distances prévues avec la même précision relative). Le volume de l'Univers exploré avec précision est ainsi huit fois plus vaste.

HIPPARCOS a amélioré d'un facteur 100 la précision des coordonnées célestes et a augmenté notablement le nombre de parallaxes fiables : on connaît aujourd'hui avec précision la distance de 50 000 étoiles. Depuis le milieu de l'année 1997, la communauté des astronomes analyse et exploite cette immense mine de données. Outre la précision obtenue sur les mesures de parallaxe, les positions et les mouvements des étoiles, ce satellite permit la découverte de plus de 3 000 nouvelles étoiles doubles et de 8 000 nouvelles étoiles variables, fit dix millions de mesures de brillance extrêmement précises et confirma la théorie générale de la relativité d'Einstein par l'observation de la courbure de la lumière sous l'influence de la pesanteur au voisinage du Soleil.

Ulrich BASTIAN est astronome à l'Institut de calcul astronomique d'Heidelberg.