

A PROPOS D'HIPPARCOS

HIPPARCOS est le premier satellite astrométrique. Il a été entièrement conçu et réalisé par l'Agence Spatiale Européenne, et a été lancé par Ariane 4 le 9 août dernier, depuis Kourou. A cause d'une défaillance dans le fonctionnement du moteur d'apogée, HIPPARCOS n'a pu atteindre l'orbite géostationnaire prévue et circule sur une orbite très excentrique, dont l'altitude de périhélie n'est que de 450 km. La mission a été provisoirement révisée, pour tenir compte de cette situation. Mais il paraît intéressant ici de décrire les objectifs initiaux pour que l'on perçoive clairement les enjeux spécifiques et très originaux de cette mission spatiale.

Son nom, qui est l'acronyme de **H**igh **P**recision **PAR**allax **C**ollecting **S**atellite - satellite pour l'acquisition de parallaxes de haute précision -, a été choisi pour rappeler celui de l'astronome grec Hipparque, qui vécut de 190 à 120 avant J.C. En mesurant la position de la Lune par rapport aux étoiles, Hipparque parvint à déterminer la distance de la Lune à la Terre. Il dressa aussi la première carte précise du ciel, qui le conduisit à découvrir, en la comparant aux résultats antérieurs, le mouvement de l'axe de rotation de la Terre par rapport aux étoiles, connu sous le nom de précession des équinoxes.

L'Astrométrie est la branche de l'Astronomie qui s'intéresse aux positions et aux déplacements - apparents et réels - des étoiles et des corps du système solaire. Les déplacements des étoiles, tels qu'on les observe au cours du temps depuis la Terre, sont provoqués par deux effets de nature différente. Le premier, appelée mouvement parallactique, reflète le mouvement annuel de la Terre autour du Soleil; l'amplitude apparente du mouvement parallactique est directement liée à la distance de l'étoile et son observation fournit la distance de l'étoile à la Terre. Le second effet est dû au mouvement particulier de l'étoile elle-même, que l'on observe en projection sur le plan du ciel; on appelle mouvement propre de l'étoile, son déplacement angulaire en un an.

On conçoit donc que les mesures astrométriques permettent de définir un système de référence stellaire. Ce système de référence est construit à une époque donnée par les mesures de position apparente d'un ensemble d'étoiles rassemblées dans un catalogue fondamental. La mesure de leur mouvement propre permet de définir le système de référence à une époque ultérieure: la précision sur ces mouvements propres conditionne évidemment celle sur le système de référence. Comme les coordonnées angulaires des étoiles sont mesurées par rapport à un plan de référence qui est celui de l'équateur terrestre et une direction origine dans ce plan qui est celle de l'équinoxe, ces mesures sont affectées par les mouvements propre et orbital de la Terre, et donc par la précession.

Couplées à des mesures spectroscopiques qui permettent de déterminer la composante radiale de la vitesse de l'étoile, grâce à l'effet Doppler-Fizeau, les mesures astrométriques permettent de déterminer à la fois la distance et les trois composantes de la vitesse des étoiles. Elles rendent donc possibles l'étude de la structure et de l'évolution dynamique de notre Galaxie.

Les observations astrométriques depuis le sol.

Jusqu'à présent, les mesures astrométriques ont été effectuées exclusivement depuis le sol. Elles ont conduit à la constitution de catalogues donnant les positions individuelles des étoiles à une date précisée, leur parallaxe - c'est-à-dire leur distance - et leur mouvement propre. Ces mesures ont pratiquement atteint la limite de ce qu'il est possible de faire depuis le sol, compte tenu des contraintes imposées par l'atmosphère terrestre: la turbulence brouille les images et les déplace aléatoirement; la réfraction qui relève la direction de l'étoile au-dessus de l'horizon, peut se corriger, mais de façon imparfaite, à partir d'une modélisation nécessairement simplifiée de l'atmosphère; les déformations mécaniques des télescopes et des instruments de mesure, sous l'action de la gravité et des effets thermiques, induisent des erreurs systématiques, spécifiques à chaque télescope et difficiles à évaluer.

Il est en particulier difficile d'établir par l'observation un système de référence global, couvrant tout le ciel, car les observations doivent être effectuées avec des instruments différents, dont chacun apporte ses erreurs systématiques. Les systèmes de référence actuels souffrent de deux défauts graves. Le premier est le manque de précision sur une région limitée du ciel alors que les mesures radio par interférométrie à grande ligne de base ou celle des pulsars par leur chronométrage fournissent actuellement des précisions entre 0,01 et 0,1". Le second défaut important concerne le manque d'homogénéité entre les deux hémisphères célestes, nord et sud.

La méthode des parallaxes, qui est la seule méthode en permettant une mesure directe, a conduit à déterminer les distances de 10 000 étoiles dans un rayon de 300 années de lumière (a.l.) autour du Soleil, avec une précision angulaire qui ne dépasse pas 0,04" pour un déplacement angulaire en six mois de 0,2" à la distance de 30 a.l., mais qui n'est plus que de 0,02" à la distance de 300 a.l.

Les caractéristiques techniques de la mission HIPPARCOS.

La mission HIPPARCOS s'est construite à partir des objectifs scientifiques élaborés par une très large communauté d'astrométristes et d'astrophysiciens. A la suite d'un appel lancé par l'Agence Spatiale Européenne à la communauté astronomique mondiale en 1982, plus de 200 programmes ont été soumis. Les étoiles à observer ont été sélectionnées en fonction de l'intérêt scientifique de ces programmes, que nous exposerons plus loin, et des caractéristiques techniques de la mission.

Le satellite HIPPARCOS était conçu pour balayer systématiquement la totalité du ciel durant deux ans et demi. Cette durée est bien adaptée à la mesure des parallaxes, dont la période est d'un an. A l'altitude géostationnaire (environ 36 000 km), très au-dessus de l'atmosphère, dans un environnement thermique contrôlé et dans une situation d'impesanteur, les conditions sont optimales pour effectuer des mesures astrométriques aussi bien locales que globales.

L'expérience principale embarquée porte sur 120 000 étoiles plus brillantes que la magnitude 13. L'amélioration attendue était d'un facteur d'au moins 20, puisqu'on

prévoyait de mesurer les positions et les parallaxes avec la précision de 0,002" et les mouvements propres avec une précision de 0,002" par an. Une seconde expérience, appelée TYCHO porte sur 400 000 étoiles de magnitude apparente allant jusqu'à 10 dont HIPPARCOS devait mesurer à la fois les positions, à la précision de 0,03" et les magnitudes, à la précision de 0,05 magnitude, ce qui devait permettre d'étudier la variabilité.

La stratégie d'observation et les consortiums scientifiques d'HIPPARCOS.

L'organisation de la mission avait été programmée à l'avance dans tous ses détails. Un rôle particulièrement crucial est celui du catalogue d'étoiles à observer - 120 000 pour la mission principale, celle qui donnera les plus grandes précisions -. Ce travail a été mené à bien par un consortium de 21 instituts scientifiques, relevant de 7 pays d'Europe, le "Consortium du Catalogue d'Entrée" (INCA). Il a produit la liste définitive des étoiles à observer, liste optimisée en fonction des intérêts scientifiques et des impératifs techniques de l'observation. Ceci a nécessité des observations astrométriques et photométriques préalables, menées depuis le sol sur plusieurs années, de 20 000 étoiles, dont les positions et les magnitudes n'étaient pas connues avec la précision requise pour le fonctionnement du satellite. Un soin particulier a dû être apporté aux étoiles doubles et multiples, ainsi qu'aux étoiles variables. Le Catalogue d'Entrée a été établi après plusieurs itérations et simulations de la mission. L'une des tâches les plus difficiles pour le consortium INCA a été l'identification correcte de chaque étoile, qui peut apparaître dans différents catalogues avec des positions légèrement différentes. Le consortium INCA ne s'est pas contenté de regrouper les données essentielles pour le satellite, il a également mis en route des programmes d'observations au sol de façon à rassembler les données astrophysiques complémentaires, avant les résultats attendus de la mission.

Les problèmes posés par le traitement des données du programme TYCHO sont traités par un consortium scientifique spécifique.

Une fois les données recueillies par le satellite, elles doivent être transmises sans délai à la station terrestre du Centre Européen d'Opérations Spatiales (ESOC) à Darmstadt, car il n'est pas possible de les stocker à bord. Ensuite, ces données doivent être réduites. Etant donnée l'importance et la complexité de cette tâche de réduction, elle a été confiée à deux consortiums scientifiques qui effectuent le même travail en parallèle. Ils ont démarré leur travaux en 1982 et établiront les résultats astrométriques finals pour ces 120 000 étoiles; il sera alors possible de traiter les problèmes astrophysiques, dans un délai évalué à 3 ans après la fin des observations.

Ce qu'HIPPARCOS aurait permis de faire.

Avoir des observations plus précises sur un plus grand nombre d'astres ne permet pas seulement d'améliorer la précision de résultats antérieurs; cela permet aussi d'entreprendre des études que l'on ne pouvait pas mener jusque là. Ces deux possibilités qui sont offertes par HIPPARCOS sont également fondamentales. Nous nous bornons ici à donner quelques exemples significatifs.

D'un point de vue purement astrométrique, la définition d'un système de référence très précis et dense sur le ciel, couplée à l'interférométrie à très grande ligne de base devrait pouvoir permettre le raccord au système de référence extragalactique inertiel, grâce à l'observation des mêmes étoiles qui rayonnent en radio à la fois par HIPPARCOS et en interférométrie radio; ceci permettrait de faire un bon en avant dans la précision avec laquelle on connaît les propriétés des planètes et autres corps du système solaire, et en particulier les effets non gravitationnels sur le mouvement de la Lune et les effets d'origine relativiste sur tous ces mouvements.

Dans le domaine de la connaissance des distances, le bond en avant promettait d'être prodigieux: le nombre d'étoiles mesurées devait passer de 10 000 à 120 000, et la distance atteinte de 300 à 1500 a.l. Les applications de ces mesures de distances sont extrêmement nombreuses, parce que la plupart des paramètres physiques d'une étoile, comme sa puissance intrinsèque ou sa masse ne peuvent se mesurer depuis la Terre que si on connaît la distance. La variété des étoiles est très grande, et l'éventail de leurs luminosités considérable, de 1 à 10^{10} . Ces étoiles ne sont pas également réparties dans l'espace, certaines d'entre elles, et en particulier les plus lumineuses, sont très rares; elles sont donc absentes du trop petit volume d'espace actuellement accessible aux mesures de distance et leurs propriétés intrinsèques sont donc très mal calibrées. Ceci a deux conséquences, la première porte sur la connaissance précise de leurs propriétés physiques et de leur évolution et la seconde sur la connaissance des distances à beaucoup plus grande échelle dans l'Univers, puisque ce sont justement ces étoiles intrinsèquement lumineuses que l'on parvient à observer dans les galaxies extérieures. Les étoiles variables pulsantes du type céphéide jouent un rôle important dans la détermination des distances extragalactiques; aucune d'elle n'est assez proche pour que sa parallaxe puisse être mesurée depuis le sol, et l'impact d'HIPPARCOS dans ce domaine devait être fondamental.

La compréhension de la structure géométrique et de la cinématique de notre Galaxie devait également progresser de façon spectaculaire grâce à la connaissance dans un système à trois dimensions de la position et de la vitesse d'un nombre important d'étoiles, appartenant à des systèmes de populations différents, tels que le disque, structuré en réalité en plusieurs composantes d'épaisseur et de contenu différents, et le halo. Ces composantes se sont probablement formées à des époques différentes, et il est important de relier les âges, donnés par l'analyse spectroscopique qui fournit la composition chimique, et la cinématique. On pense actuellement que les étoiles du disque ont des orbites contenues dans ce plan et quasi circulaires; au contraire, les étoiles du halo, qui sont les plus vieilles que l'on connaisse, ont des orbites très excentriques. Nul jusqu'ici n'a pu reconstituer une orbite et l'on ignore s'il existe des catégories d'étoiles qui assurent la transition entre celles du disque et celles du halo; ce point est important pour cerner le rythme auquel s'est effectué l'effondrement de la protogalaxie qui a donné naissance au système actuel et en particulier la formation du disque.

L'observation par HIPPARCOS d'un grand nombre d'étoiles de même type spectral et de durée de vie assez longue, permettrait de connaître, compte tenu de leurs

âges, le rythme des variations du taux de formation des étoiles au cours du temps, dont la connaissance est essentielle pour la description que l'on veut faire de l'évolution des galaxies. Les étoiles très chaudes, à courte durée de vie et qui sont donc jeunes quand on les observe, fourniraient des informations sur la structure spirale dans laquelle elles se forment, la rotation galactique et les irrégularités du potentiel gravitationnel.

Perspectives actuelles.

On voit donc que les résultats espérés d'HIPPARCOS intéressent des domaines de l'astronomie très vastes, bien plus larges que la seule astrométrie. C'est probablement pour cela que les problèmes rencontrés par la mise sur orbite ont beaucoup ému la communauté astronomique internationale toute entière. Comme il n'y a pas actuellement de projet spatial similaire et qu'il est exclu d'obtenir les mêmes résultats depuis le sol, l'avenir de la mission est décisif.

Dans un premier temps, il faut attendre de savoir ce que pourra être la mission révisée; on a d'abord parlé d'une durée de vie du satellite limitée à 6 mois, du fait de la vulnérabilité des panneaux solaires aux rayonnements environnants. Cette durée est beaucoup trop courte pour que l'on puisse espérer des mesures de parallaxes et de mouvements propres; la mission se restreindrait alors aux seules mesures de positions, dont on espère une précision allant de 0,02 à 0,05", ce qui excluerait toute la composante astrophysique du programme. Pour TYCHO, on espère atteindre la précision de 0,1", en ramenant le programme à 200 000 étoiles. Si, comme les premiers résultats après le déploiement des panneaux solaires permettent de l'espérer, la mission peut durer plus longtemps, la situation serait moins catastrophique, mais le programme nominal ne pourra en aucun cas être réalisé.

Dans un second temps, et compte tenu de ce que pourra être la mission révisée, l'Agence Spatial Européenne est confrontée à la construction de HIPPARCOS II qui n'existe pas aujourd'hui; un tel lancement serait justifié par plusieurs considérations. Tout d'abord, l'intérêt scientifique de la mission, toujours aussi considérable; il n'existe aucun autre projet au monde permettant d'atteindre ces objectifs. Ensuite, le coût qui serait environ le tiers du précédent, sans compter le travail humain investi depuis 8 ans, que l'on évalue à plus de 1 000 hommes/année. Enfin, avec les résultats de la mission dégradée HIPPARCOS I, HIPPARCOS II donnerait des mouvements propres très significativement meilleurs que ceux qui étaient attendus de la première mission seule.

Lucienne Gouguenheim

LES NOUVELLES PUBLICATIONS DU CLEA

(à commander au secrétaire)

"Les phénomènes lumineux" : série de 20 diapositives avec livret, par Françoise Suagher (50 francs)

"Simulations en astronomie sur ordinateur" (fascicule n°12) par Michel Toulmonde (30 francs)