

HIPPARCOS ET LES DISTANCES GALACTIQUES

F. ARENOU, A.E. GÓMEZ

URA 335 du CNRS, Observatoire de Meudon, DASGAL, F-92195 Meudon, France

13 janvier 1993

Abstract

Parallax measurements are the foundation upon which the whole scale of stellar and cosmic distances is based. Hipparcos, the satellite of the European Space Agency, will provide positions, proper motions and trigonometric parallaxes for about 100 000 stars. Parallaxes are primarily used to calibrate the intrinsic luminosity of stars. Some statistical problems arising with this calibration are mentioned.

Pourquoi a-t-on besoin de distances pour étudier les étoiles ? Cela apparaît nécessaire pour connaître leurs propriétés spatiales ou cinématiques, mais n'est pas évident de prime abord en ce qui concerne l'étude de leur état d'évolution. La figure 1, diagramme de Hertzsprung-Russel (H-R), montre la position de différents types d'étoiles, cette position dépendant de la masse, de la composition chimique de l'étoile et de son degré d'évolution. En abscisse, la température de surface de l'étoile est assez facilement obtenue à partir de son spectre ou de sa couleur (observations photométriques). En revanche, en ordonnée, la magnitude absolue M de l'étoile (mesure liée à l'éclat qu'aurait l'étoile si elle était à une distance de 10 parsec) dépend de sa magnitude apparente m ¹, aisément mesurable, mais aussi de sa distance D , par l'intermédiaire de la relation $m - M = 5 \log D - 5$.

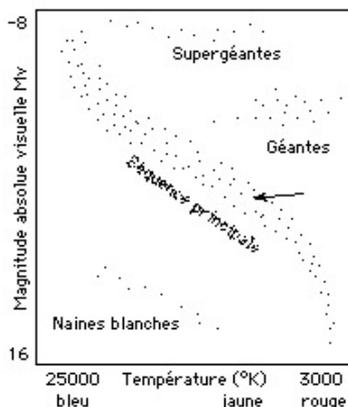


Figure 1: *Diagramme température de surface/magnitude absolue visuelle. Sur la séquence principale se trouvent les étoiles qui brûlent encore l'hydrogène dans leur centre. La position de notre soleil est indiquée par une flèche.*

Pour établir ce diagramme, il est donc nécessaire de connaître la distance d'une étoile, et la seule manière directe de l'obtenir est de mesurer sa parallaxe trigonométrique. Cette parallaxe se

¹après correction des effets dus à l'extinction interstellaire de la lumière

mesure grâce au déplacement apparent d'une étoile sur le ciel pendant l'année, dû au mouvement de la Terre sur son orbite autour du Soleil ; mesurée en secondes d'arc, c'est l'inverse de la distance, mesurée en parsec (figure 2). Mais ce déplacement apparent est malheureusement si petit que la mesure de la parallaxe n'est possible que pour les étoiles proches.

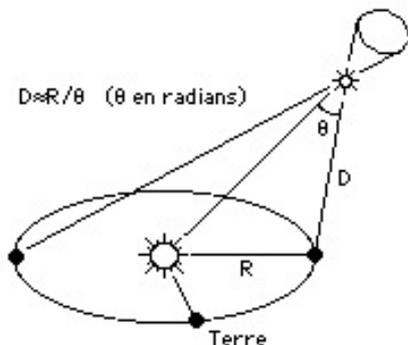


Figure 2: *déplacement parallactique d'une étoile au cours de l'année.*

Jusqu'à présent, la mesure de la parallaxe se faisait exclusivement au sol, nécessitant une modélisation délicate de la réfraction et de la turbulence atmosphériques ainsi que la prise en compte des erreurs systématiques spécifiques à chaque instrument (par exemple, déformation mécanique des télescopes). Tous effets auxquels échappe le satellite Hipparcos de l'Agence Spatiale Européenne, lancé par Ariane en août 1989. Balayant systématiquement le ciel pour observer 118 000 étoiles sélectionnées à l'avance, il fournira dans un référentiel homogène leur position avec une précision de $0.002''$ (une amélioration d'un facteur 20 par rapport au sol), leur mouvement propre (déplacement angulaire sur la sphère céleste de l'étoile au cours du temps) et leur parallaxe précise à $0.002''$ près (amélioration d'un facteur supérieur à 5). Lors de son lancement, on le crut perdu par suite de la défaillance de son moteur d'apogée : et pourtant, il tourne! Et les premiers résultats qu'il a fournis semblent confirmer les espoirs mis en lui : erreurs systématiques inférieures à $0.001''$, découverte de milliers de nouvelles étoiles doubles,...

La précision nominale des parallaxes d'Hipparcos a une implication immédiate sur le volume de l'espace accessible à des mesures directes de distance : au-delà de 500pc ($1/0.002''$), l'erreur relative sur la distance sera supérieure à 100%, rendant la mesure de la distance inutilisable. Bien que ce volume soit supérieur d'un facteur cent à celui utilisable depuis les mesures au sol, il ne représente qu'une petite partie de notre galaxie, comme le montre la figure 3.

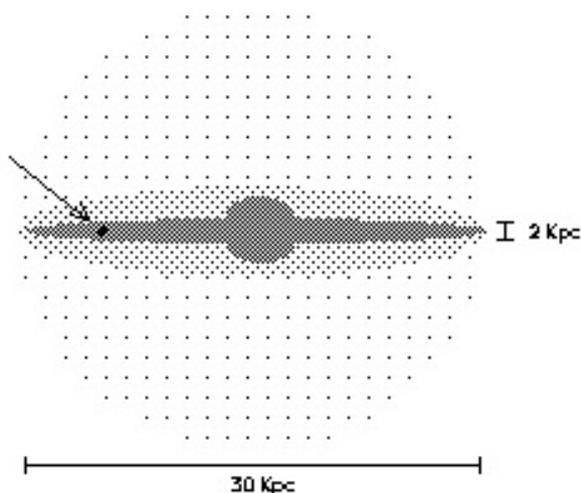


Figure 3: *Coupe schématique de notre Galaxie ; la zone indiquée par la flèche correspond au volume accessible par Hipparcos.*

Comment alors déterminer la distance des étoiles plus éloignées ? Les parallaxes trigonométriques servent à calibrer la magnitude absolue moyenne de groupes "homogènes" d'étoiles,

c'est-à-dire ayant des propriétés physiques voisines ; une étoile plus lointaine, mais qui partage ces propriétés, aura approximativement cette magnitude absolue, ce qui fournit sa distance.

Malheureusement, les différents types d'étoiles sont plus ou moins bien représentés dans le volume accessible à des mesures directes de distance. D'autres méthodes sont donc utilisées : ajustement de la séquence principale de diagrammes H-R d'amas stellaires (groupes d'étoiles de même âge, de même composition chimique, mais d'éclats différents), utilisation de données cinématiques (vitesse dans la direction de visée et dans le plan tangent du ciel²), calibration de la magnitude absolue d'étoiles pulsantes pour lesquelles on peut établir une relation entre la période de pulsation et la luminosité, etc...

En étendant la calibration directe de la luminosité à des régions du diagramme H-R pour lesquelles il fallait jusqu'alors se servir de méthodes indirectes, et en améliorant ces dernières, Hipparcos va jouer un rôle primordial pour l'établissement de l'échelle des distances dans l'univers.

Les problèmes de nature statistique ne sont pas longs à apparaître, liés aux erreurs observationnelles (problème de données incomplètes), aux biais d'échantillonnage ou aux mélanges de populations. Prenons par exemple le biais dit de Malmquist : si l'on étudie une petite zone du diagramme H-R – c'est-à-dire des étoiles de caractéristiques spectrales voisines mais avec une certaine distribution en magnitude absolue – alors la magnitude absolue moyenne ne sera pas obtenue directement comme la moyenne des magnitudes absolues individuelles déterminées par la distance. En effet, les étoiles que l'on voit en observant le ciel ne sont pas forcément les plus proches, mais bien les plus brillantes : un échantillon limité en magnitude apparente donnera donc un estimateur biaisé de la magnitude absolue moyenne (sous certaines hypothèses simplifiées, Malmquist a montré que le biais est de $\frac{3 \ln 10}{5} \sigma_M^2$ où σ_M est la dispersion intrinsèque des magnitudes absolues dans cette zone du diagramme H-R). Prenons maintenant le cas d'un échantillon limité en distance, on aura là encore une estimation biaisée de la magnitude absolue moyenne : en effet, en dehors du volume ainsi délimité, il y a plus d'étoiles qu'à l'intérieur ; compte-tenu de l'erreur aléatoire de mesure sur la distance, on va donc faire rentrer plus d'étoiles dans l'échantillon qu'on va en faire sortir, biaisant dans l'autre sens la magnitude absolue moyenne. Enfin, faut-il adopter une démarche bayésienne pour obtenir un "meilleur" estimateur de la magnitude absolue d'une étoile, sachant sa parallaxe affectée d'erreur, sa magnitude apparente et d'autres propriétés (observables ou dérivées) de l'étoile ?

La plupart du temps, pour résoudre ces problèmes, on fait appel à des hypothèses simplificatrices (de normalité, par exemple) qui s'avèreront sans doute trop simplistes avec l'avènement d'Hipparcos : de quoi laisser beaucoup de travail aux statisticiens...

Références concernant la mission Hipparcos :

The Hipparcos Mission, 1989, ESA-SP 1111, Volume II, Perryman M.A.C. & Turon C. eds.
Hipparcos, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* special issue, 1992, sous presse.

Références concernant l'estimation des magnitudes absolues :

Lutz, T.E., Kelker, D.H., 1973, *Publ. Astr. Soc. Pacif.* **85**, 573

Malmquist, K.G., 1936, *Stockholm Obs. Medd.* **26**

Smith H., 1987, *Astron. Astrophys.* **171**, 336 (I), **171**, 342 (II), **181**, 393 (III), **188**, 233 (IV)

²qui fait intervenir le produit du mouvement propre par la distance