DE L'UTILISATION DES DONNÉES HIPPARCOS DANS LA RÉDUCTION ASTROMÉTRIQUE DES PLANÈTES GÉANTES

A. Fienga

1. Introduction

L'idée de faire de l'astrométrie stellaire à $\pm$ 1 mas (milliarcsecond) s'est concrétisée par l'arrivée du catalogue astrométrique Hipparcos. De plus, l'utilisation des phénomènes d'occultation et d'éclipse des satellites avec la planète mère ou entre eux a permis de développer (Arlot, 1981) des théories de leur mouvement beaucoup plus précises que celles de Jupiter, dont les meilleures comparaisons aux observations sont de l'ordre de $\pm$ 100 mas.

L'idée fut donc de tirer profit au maximum du gain de précision sur la position des étoiles pour une meilleure détermination des positions des grosses planètes, en utilisant les éphémérides relatives de leurs satellites.

2. Modèles de réduction

2.1. Modèle utilisant un minimum d'étoiles

Le catalogue Hipparcos a une densité de 3 étoiles par degré carré. Nous avons donc une limitation très nette du nombre d'étoiles par plaque et ainsi une quasi-impossibilité de réduire ces observations en utilisant les modèles classiques à au moins 6 constantes. Cependant, pour des images près du centre, nous pouvons considérer que les distorsions d'échelle sont négligeables, en particulier si des corrections précises de réfraction ont été appliquées; ici le formulaire de Yan en fonction mapping. Ainsi, seuls les "offsets" sont à calculer dans les cas où l'échelle est connue et l'orientation établie par "trail scale". Mathématiquement, un modèle de réduction ne nécessitant qu'une étoile est donc possible. Une simple approche statistique nous permet de confirmer cette hypothèse.

2.2. Pratiquement

Dans le cas d'images proches du centre, seuls les offsets sont à déterminer, en supposant connues l'échelle et l'orientation. Cependant du fait de la forte corrélation entre ces paramètres, avant de fixer ceux-ci, il est nécessaire d'affiner le choix du point tangent afin de minimiser, a priori, l'erreur commise sur la

Table 1. O−C moyens pour 1967, 1973 et 1974.
N_H est le nombre d'étoiles Hipparcos utilisées et N_P, le nombre d'étoiles PPM.

N_H	N_P	$\alpha\,('')$	$\delta\,('')$	σ_α	σ_δ
1	2	0.095 ± 0.086	−0.182 ± 0.089	± 0.429	± 0.412
1	0	0.016 ± 0.009	0.017 ± 0.008	± 0.042	± 0.038

position de ce dernier sur la plaque et ainsi la propagation des erreurs sur les autres paramètres. À ce stade, on considère 2 cas:

- Les observations avec “trail scale”.
  Le “trail scale” est une méthode permettant de visualiser (par une trainée faite par blocage du télescope) sur la plaque l'orientation réelle de celle-ci par rapport à l'équateur de la date. Dans ce cas, on suppose l'orientation nulle, et donc connaissant l'échelle, on détermine les “offsets”.
- les observations sans “trail scale”.
  En général, plusieurs poses sont réalisées par plaque. Cependant, on n'effectue qu'une trainée par plaque, donc les autres poses n'ont pas de trainée de référence. Nous devons donc re-estimer l'orientation pour chaque pose. En général, ces quantités sont très proches de 0 (du fait du peu de mouvements de la plaque). Si les coefficients d'orientation sont bien choisis (et donc les offsets bien déterminés), le χ^2 de la transformation coordonnées tangentielles/coordonnées mesurées est minimal (Guo, 1993). On échantillonne donc la population constituée par tous les coefficients possibles et on cherche la valeur pour laquelle le χ^2 est minimisé, adoptant cette valeur comme coefficient d'orientation et l'offset qui en découle.

3. Résultats et analyse

3.1. Résultats globaux

Les plaques réduites sont des plaques provenant du réfracteur de 26 inch. du Mc Cormick Observatory, Virginie, (15 plaques) et de celui de l'U.S. Naval Observatory, Washington D.C.(26 plaques). Les résultats présentés sont des comparaisons entre les coordonnées observées, c'est-à-dire après réduction, de Jupiter et les coordonnées calculées avec les éphémérides du JPL, DE403, dans un repère topocentrique, apparent de la date.

Les valeurs de la table 1 montrent un gain énorme dans la réduction astrométrique par l'utilisation du catalogue Hipparcos et cela malgré le peu d'étoiles présentes dans le champ.
Ces résultats ont donc un intérêt considérable aussi bien au niveau des techniques de réduction et d'observation qu'au niveau des éphémérides planétaires.

3.2. 1967: Mc Cormick Observatory

Les 48 observations réalisées en 1967 ont été réduites dans tous les cas avec au moins 3 étoiles Hipparcos. Les facteurs d'échelle présentés dans la table 2 ont été déterminés par moindres carrés au cours d'une réduction classique à 6 constantes. On peut remarquer en examinant les (O–C) présentés dans la table 3 une forte valeur des écarts types sur les (O–C) moyens obtenus.

Ainsi, même si les valeurs moyennes calculées à partir d'étoiles Hipparcos semblent être dans l'ordre de grandeur escompté, les écarts types sont non seulement plus importants que l'erreur externe attendue, mais diffèrent entre α et δ de près de 7%. On peut donc supposer que les résultats précédents sont entachés d'une erreur systématique. Une comparaison de ces résultats avec les séries de 1973 et 1974 nous indiquera si cette erreur est commune aux 3 séries et donc est inhérente au modèle utilisé ou aux catalogues, ou si au contraire elle est particulière à cette série.

Table 2. Facteurs d'échelle pour la série 1967.

(″/mm)	X	Y
Calculés	20.75890 ± 0.00055	20.75894 ± 0.00059
Théoriques (T=3°C)	20.75770 ± 0.00140	20.76110 ± 0.00130
valeur moyenne théorique	20.75800 ± 0.00100	20.75800 ± 0.00100

Table 3. O−C moyens pour 1967.

N_H	N_P	$\alpha\,('')$	$\delta\,('')$	σ_α	σ_δ
0	3	−0.041 ± 0.172	−0.431 ± 0.174	±0.517	±0.523
3	0	0.028 ± 0.023	0.016 ± 0.017	±0.068	±0.053

3.3. 1973/1974: U.S. Naval Observatory

On a donc utilisé pour le calcul du facteur d'échelle un modèle à 6 constantes avec 1 (ou 2) étoiles Hipparcos et 2 (ou 1) étoiles PPM respectivement. Les résultats de la table 4 montrent non seulement

Table 4. Facteurs d'échelle pour les séries 1973-74.

(″/mm)	X	Y
Calculés	20.84164 ± 0.00001	20.84587 ± 0.00002
Théoriques	20.85100 ± 0.00100	20.85100 ± 0.00100

une anisotropie significative des facteurs d'échelle en x et en y de l'ordre de 4 mas/mm mais un décalage d'environ 10 mas/mm entre la valeur observée et la valeur fournie par l'U.S.N.O. En prenant ces nouveaux facteurs d'échelle comme paramètre, nous avons réduit ces mêmes plaques en n'utilisant qu'un nombre limité d'étoiles Hipparcos (généralement 1). Les résultats présentés dans la table 5 ne décèlent pas d'erreurs systématiques puisque les écarts-types ne sont pas significativement différents en α et δ et ont une valeur coïncidant avec celle attendue. Les valeurs moyennes et leurs erreurs sont, elles aussi, cohérentes.

3.4. Discussion

La particularité de la série de 1967 est d'avoir été réalisée sans "trail scale" donc sans orientation de référence. On peut donc penser que les effets décelés pour la série de 1967 sont dûs à une mauvaise détermination de la rotation des plaques, une sous-estimation du paramètre d'offset pouvant entraîner ce genre d'effet. De plus des effets relatifs aux gradients de température et aux conditions météorologiques (inconnues et supposées voisines des conditions normales de température et de pression) peuvent aussi entrer en ligne de compte. Des études relatives aux distorsions des plaques photographiques du réfracteur de Mc Cormick en fonction des gradients de température ont été réalisées en 1972 (Mc Alister et al). À l'époque, l'ordre de grandeur de ces corrections fut négligé mais il serait bon de reprendre de telles études

Table 5. O−C moyens pour 1973 et 1974.

N_H	N_P	$\alpha\,('')$	$\delta\,('')$	σ_α	σ_δ
1	2	0.167 ± 0.099	−0.050 ± 0.103	±0.410	±0.427
1	0	0.010 ± 0.007	0.018 ± 0.008	±0.029	±0.030

afin d'estimer les corrélations plaque/gradient de température et flexion du tube/gradient de température avec une précision actuelle, à savoir de l'ordre du mas.

4. Ajustement aux éphémérides planétaires

Comme nous l'avons vu, l'emploi d'un catalogue d'une telle précision permet de déceler ou d'accentuer des effets peu ou mal connus. De fait, la question du facteur d'échelle pour des sytèmes satellitaires comme le système galiléen reste posée.
D'autre part, jusqu'à présent, les positions absolues des planètes géantes n'étaient connues qu'à 100 ou 200 mas près induisant des problèmes de raccordement entre le FK5 et l'IERS, non encore résolus. Il va donc être extrèmement intéressant de refaire l'ajustement de ces théories non plus sur un seul type d'observations, comme c'est le cas dans DE403 et les données radar, mais aussi avec des données optiques bénéficiant de l'apport d'Hipparcos. Des conséquences dynamiques et planétaires pourraient en découler.

5. Conclusion

Hipparcos a permis un gain de 100 dans la connaissance astrométrique des étoiles. Cependant, sa faible densité d'étoiles par degré carré paraissait être un obstacle à son utilisation optimale dans les réductions astrométriques CCD ou photographiques. Nous avons montré que l'on pouvait pallier cet inconvénient et obtenir des positions absolues de Jupiter à 30 mas près, ce qui n'avait pas été encore atteint. Enfin, une telle avancée ne peut rester sans conséquence sur les éphémérides actuelles des planètes géantes et en particulier de Jupiter.

6. Références

Arlot, J.-E., 1981, Thèse de doctorat d'état de l'observatoire de Paris.

Guo, X., 1993, *Astron. J.*, **105**, 2182.

McAlister, H.,Ianna, P., and Fredrick, L., 1974, *Astron. J.*, **79**, 1445.

Pascu, D., Seidelmann, P.K., Schmidt ,R.E., Santoro, E.J., Hershey, J.L., 1987, *Astron. J.*, **93**, 963.

Pascu, D., and Schmidt, R.E., 1990, *Astron. J.*, **99**, 1974.

Yan, H., and Ping, J., 1995, *Astron. J.*, **110**, 934.

Yan, H., 1996, *Astron. J.*, **112**, 1312.