

OBJETS ACCESSIBLES AUX ASTROLABES DE HAUTE PRECISION :
ETOILES ET RADIOETOILES BRILLANTES, PLANETES, SOLEIL

F. Chollet et S. Débarbat
Observatoire de Paris, Paris, France

Capabilities of the Danjon astrolabe and its transformations (with full pupil, photoelectric device, for Sun) are examined regarding both fields of instrumental modifications and improvement of the reduction techniques. For bright objects (stars and radiostars, planets, galilean satellites, Sun) these instruments will insure a valuable contribution to results obtained by the other techniques.

1. INTRODUCTION

En un demi-siècle l'astrolabe à prisme passe du Système Claude à celui de Danjon, quitte le domaine des opérations de campagne et s'introduit dans les observatoires avec Driencourt, Gougenheim et Chandon. Ensuite, au modèle courant des années cinquante, répandu dans le monde à une quarantaine d'exemplaires, sont venus s'ajouter des instruments dérivés aux performances astrométriques. Les résultats déjà obtenus sont trop nombreux pour qu'il soit possible de fournir dans cette étude les détails scientifiques correspondants et même pour que leurs références soient toutes fournies explicitement : celles-ci, sauf pour les recherches les plus récentes, sont à relever dans une bibliographie étendue (Stoyko, 1978, 1980, 1982) dont les trois fascicules sont désignés dans ce qui suit par AS (pour 1978), PAS (pour 1980) et DAS (pour 1982).

2. POSSIBILITES ET LIMITES DE L'ASTROLABE

L'astrolabe classique actuel est celui de Danjon (AS, 43) construit en série par OPL (devenu SOPELEM). Avec un système optique biréfringent, l'instrument tire le parti maximal des propriétés du prisme équilatéral (qui définit la distance zénithale d'observation), corrige les défauts de mise au point de ses prédécesseurs et bénéficie d'un micromètre impersonnel. Il détermine le temps et la latitude avec une précision variable selon les conditions d'emploi, ainsi qu'il ressort des travaux de Guinot au Bureau International de l'Heure (BIH) : ces travaux ont débouché sur un système de pondération, précisé dans les Rapports annuels

successifs de cet organisme, avec une grande disparité entre les différentes stations d'observation.

2.1. Contraintes et avantages de l'astrolabe

L'inégale précision, liée à la situation en latitude des stations est une conséquence des limitations de la méthode des hauteurs égales de Gauss (AS, 165). Celle-ci présente, en contrepartie, l'avantage de ne repérer que des temps, par l'intermédiaire d'une horloge locale. La détermination des deux coordonnées est simultanée. Ce sont traditionnellement, la latitude et la longitude (ou le temps, par UTO - UTC). Mais, depuis un quart de siècle, l'inversion des équations classiques a conduit à en déduire également les coordonnées célestes des objets observés. Cependant, et au contraire de l'instrument méridien dont la zone de déclinaison est large, celle de l'astrolabe est limitée à 60°.

2.2. Site et environnement

La précision, tributaire de la qualité des images, a été étudiée à l'occasion d'une campagne de prospection de site (Laclare, 1969) dont les conclusions ont pu être généralisées. Les sites de ville, et même de grande ville (exemple : Santiago du Chili) sont privilégiés : les réfractations accidentelles y sont moins accentuées que dans les zones plus découvertes. Les emplacements proches de la mer (exemples : San Fernando en Espagne et le Cerga près de Grasse) fournissent des résultats très homogènes. La haute montagne, si favorable à l'astrophysique, ne l'est pas pour de telles mesures : un écoulement laminaire des couches atmosphériques convient mieux qu'une zone de grande transparence soumise à des vents turbulents. L'environnement immédiat du pavillon d'observation comme sa construction jouent un rôle important. Des expériences menées à Paris et la comparaison des images en différents sites, ont montré que les zones plantées d'arbres et d'arbustes (évitant des mouvements d'air ascendant autour de l'instrument au coucher du Soleil) sont un élément stabilisateur des images (exemple : Paris).

2.3. Résultats acquis

Il est souvent difficile de réunir en un même lieu, lequel doit fréquemment satisfaire à d'autres impératifs, toutes les conditions optimales de fonctionnement. En assurant de bonnes conditions de travail aux astrolabes on atteint déjà pour le modèle courant une grande précision. Quelques exemples fournissent des éléments d'appréciation.

Le modèle OPL d'astrolabe de Danjon, installé sur le site de Paris en 1956, produit - dès 1961 - le premier catalogue étendu (571 étoiles) obtenu par la méthode des hauteurs égales (AS, 77) (plus de 60 000 passages). Sa précision est équivalente à celle du catalogue fondamental FK4 résultant de la compilation de 150 catalogues : 0.004 s et 0.10" (catalogue astrolabe), 0.006 s à 0.10" (FK4) pour les ascensions droites et les déclinaisons (AS, 76).

Dès 1961, la constante de l'aberration (valeur UAI fixée à 20.47") est déterminée (AS, 78) à l'astrolabe de Paris : 20.511" \pm 0.006", valeur cohérente avec celle qui sera adoptée par l'UAI pour le système de 1964 (20.496").

La première campagne systématique d'observation d'une planète à l'astrolabe en 1963, met en évidence l'insuffisance des théories employées au calcul des éphémérides pour Mars. Les ascensions droites et les déclinaisons sont estimées, à partir de 19 observations seulement, à 0.007 s et 0.05" près (AS, 117). Des campagnes pour Jupiter (AS, 197) menées à Paris en 1965-66-67 confirment, pour cette planète de diamètre important, les résultats obtenus pour Mars. Il en va de même pour Saturne (PAS, 62).

Le terme principal de la nutation est déterminé, en 1977 (DAS, 39) (les observations à l'astrolabe couvrent une période de révolution des noeuds de la Lune) : 9.211" \pm 0.006" et 9.205" \pm 0.008". Ces valeurs sont comparées à d'autres, en 1978 (PAS, 45) ; la valeur estimée comme la plus probable (9.21") est confirmée en 1982 (Capitaine, 1982) par la même voie (9.212" \pm 0.06" et 9.208" \pm 0.006"), et par d'autres techniques. La valeur (9.2025) adoptée par l'UAI en 1979 est maintenant considérée comme trop faible de 0.007" \pm 0.005" (Dickey et al, 1983).

Des campagnes de rattachement en longitude, menées de 1977 à 1979 entre München et d'autres stations (Milano-Merate, Paris, San Fernando), sont effectuées à \pm 0.0010 s, \pm 0.0016 s près (DAS, 46).

3. NECESSITE DES AMELIORATIONS ET MODIFICATIONS TECHNIQUES

Avec l'accroissement de la précision entre le prototype des astrolabes de Danjon et les appareils de série, apparaît - dès le début des années soixante - la nécessité de stabiliser encore mieux la distance zénithale. Danjon envisage déjà le passage à la cellule photoélectrique.

3.1. Modifications techniques

L'emploi d'une équerre optique en CER-VIT matériau à coefficient de dilatation presque nul permet à Billaud et Guinot (AS, 175), dès 1970, de réaliser à Paris un astrolabe à pleine pupille (APP). La distance zénithale se stabilise : variations, au cours d'une nuit, ne dépassant pas 0.15" à 0.50" au lieu d'environ 2%0. Dès la mise en place, le gain de précision atteint souvent 25% ; de plus, la superposition des faisceaux lumineux ouvre la voie à la réalisation d'un instrument automatique à capteur photoélectrique. Avec le temps la stabilité angulaire de l'équerre (donc de la distance zénithale) se maintient : l'astrolabe de San Fernando s'équipe avec une équerre optique en 1983-84.

En collaboration avec les Services techniques de SOPELEM, Billaud met au point, en 1973, un moteur nouveau à asservissement tachymétrique

(AS, 217) : le guidage des images est plus régulier ; il se fait dans le silence ; le fonctionnement par basse température est assuré. L'amélioration ainsi réalisée dans l'entraînement du micromètre amène plusieurs stations à s'équiper de ce moteur (Cerga, San Fernando).

Les premiers astrolabes dérivés de celui de Danjon et équipés photoélectriquement sont réalisés en Chine (AS, 204). Dès l'apparition des modèles de type II qui fonctionnent maintenant (outre celui de type I qui est à Shanghai) aux trois observatoires de Beijing, de Shanghai et du Yunnan, les erreurs externes, comme les erreurs internes, tombent aux deux tiers de la valeur obtenue par un astrolabe de Danjon du même site : 0.0032 s et 0.0065 s au lieu de 0.0050 s et 0.0080 s environ (Current Status of Shanghai Observatory, 1982).

En France, l'astrolabe photoélectrique (ASPHO) du Cerga, imaginé par Billaud, Texereau et Guinot, est constitué optiquement par un télescope de Maksutov-Cassegrain (DAS, 7) ; une grille remplace le micromètre traditionnel. Le programme d'observation, mis en place pour la détermination préférentielle du temps, conduit à un écart type, pour les différences calculées par rapport aux résultats du BIH, de l'ordre de 0.002s (Billaud, 1983). Cette valeur, de l'ordre de la moitié de l'erreur interne et du tiers de l'erreur externe des astrolabes photoélectriques de Chine, n'est que double de celle obtenue au BIH à partir des résultats d'une cinquantaine de stations indépendantes.

3.2. Techniques de réduction

Pour les astrolabes classiques l'instabilité relative de l'angle du prisme, remarquée dès 1958 (AS, 37), a fait l'objet de plusieurs expériences. Les plus étendues (AS 103, DAS 11 et 42, PAS 40, Andrei 1982, Bénévidès et Clauzet, 1983) amènent à reconsidérer l'évolution des constantes instrumentales au cours de la nuit. Les fluctuations de la distance zénithale d'observation peuvent se représenter par une fonction linéaire du temps ou par les variations de la température au voisinage de l'instrument. L'amplitude des termes correctifs est de quelques centièmes de degré, mais peut atteindre 0%25 par degré centigrade (ce qui, à Paris en hiver, correspond à peu près à 0%25/heure).

Pour l'astrolabe à pleine pupille, la stabilité en distance zénithale met en évidence l'insuffisance des termes du premier ordre pour la réfraction (conséquences similaires). La prise en compte d'autres termes (notamment l'humidité, grâce à un système de capteurs placés au voisinage de l'objectif de l'astrolabe) s'impose. Les premières analyses montrent que l'équation de fermeture (des 12 groupes du programme de Paris pour les données de l'année 1983) est diminuée de 30% environ : elle passe de 0%35 à 0%26.

Les observations de Mars à l'astrolabe présentent un "effet de phase" autour de l'opposition (DAS, 61) analogue à celui observé aux instruments méridiens. Primitivement pris en compte par une correction empirique (DAS, 62) cet effet s'identifie à la conséquence d'une répartition non homogène de la lumière dans l'image de la planète (Chollet 1982).

A San Fernando il est montré que le nouveau modèle adopté pour Mars n'est pas applicable à Jupiter (Sanchez, 1983) ; la très grande différence de nature des surfaces des deux objets en est certainement responsable. Pour Jupiter un modèle vient d'être élaboré (Chollet, 1983) ; il annule convenablement l'effet de phase. De tels modèles peuvent être établis lorsqu'on dispose de mesures photométriques précises.

Il a été constaté depuis longtemps qu'il faut, dans l'analyse des observations et compte tenu de leur précision, introduire les corrections de marées terrestres (PAS, AD) ; les analyses montrent maintenant qu'il est nécessaire de prendre en considération l'influence des marées océaniques (Capitaine, 1983). Les effets sont de l'ordre de quelques centièmes ou millièmes de seconde de degré, ce qui montre - à la fois - l'aptitude de l'astrolabe à les déceler et la nécessité de les introduire désormais dans la réduction des observations astrométriques.

La déviation des rayons lumineux par le Soleil donne lieu, dans le cas de l'astrolabe, à des corrections du même ordre de grandeur ; leur application (Li, 1983) diminue les erreurs de fermeture d'un tiers environ (0.0034 à 0.0022 s en moyenne sur le temps) et il y a amélioration du calcul de UT1 - UTC du BIH.

3.3. Evolution technique

L'astrolabe de Danjon comme le premier astrolabe à pleine pupille (installé à Paris en 1970) ont un champ de 60° en déclinaison. Mais l'équerre optique peut prendre d'autres valeurs angulaires ; c'est ce qui est réalisé au Cerga en 1978, où la distance zénithale nouvelle est de 45°. La zone de déclinaison s'étend ainsi à 90° ; de telles équerres permettront des raccordements plus fiables des différentes stations.

La potentialité, augmentée vers le nombre des objets accessibles, est aussi accrue en direction d'un objet dont l'observation a toujours été délicate : le Soleil . L'idée s'appuie sur des expériences menées, au début des années soixante à Besançon (par Bénévidès et Grudler), à Paris (par Débarbat) puis à Sao Paulo (par Bénévidès et d'autres), sur la Lune dont l'image dépasse largement le champ de l'instrument . Les observations s'effectuent en tangentant les bords supérieur et inférieur de chacune des deux images fournies par le biréfringent de l'astrolabe. Mais, dans le cas de la Lune, l'un des bords est souvent invisible, l'autre est irrégulier ; dans le même temps, la mise en place du laser-lune rendait inutile la poursuite des essais.

La première réalisation d'un astrolabe apte à observer astrométriquement le Soleil se fait au Brésil en 1973 (Leister, 1977) : une lame protectrice est posée sur le capot de l'instrument. En France et dès l'année suivante une lame filtre est placée au-dessus du prisme équilatéral de l'astrolabe de Danjon (AS, 228 et DAS, 24). L'observation porte sur le passage de chaque bord, à l'Est et à l'Ouest. La multiplication des pointés nécessite l'introduction d'une autre technique. Reprenant une idée de Beck (1891), de Nusl et Fric (1903), plus récemment (1967)

réétudiée par D.V. Thomas (AS, 133), Laclare et Demarcq réalisent au Cerga un astrolabe solaire équipé de prismes travaillant en réflexion (DAS, 47) ; ils sont fabriqués en céramiques microcristallines à faible coefficient de dilatation, traitées pour l'image solaire. Le filtre-lame à faces parallèles est également amélioré par emploi d'une silice fondue et d'un traitement protecteur chrome-nickel. Deux, puis cinq, prismes sont montés sur l'astrolabe solaire ; depuis 1983, et pour la première fois, l'orbite du Soleil est entièrement couverte au Cerga dont la latitude est de 44°. En 1984 il y aura dix prismes (10 fois 4 mesures).

3.4. Résultats acquis

En vingt ans, l'astrolabe de Danjon (et ses avatars) est devenu instrument complet de l'astrométrie optique. L'Union Astronomique Internationale a, par sa Commission 8, reconnu sa capacité à concurrencer les instruments plus traditionnels de ce domaine dans diverses résolutions, la dernière en date ayant été prise à Patras en août 1982.

4. LES OBJETS D'OBSERVATION DE L'ASTROLABE

Améliorations techniques et amélioration des méthodes de réduction sont les conséquences des qualités instrumentales de l'astrolabe de Danjon adapté à la méthode de Gauss. Les modifications plus profondes, telle que l'astrolabe solaire, ont montré la capacité de l'instrument à se conformer aux exigences des astronomes. Les résultats acquis conduisent à orienter les travaux vers l'observation d'objets pour lesquels une haute précision est requise.

4.1. Étoiles et radioétoiles brillantes

La magnitude limite des astrolabes de Danjon est 6 (6.2 en des sites particuliers) ; celle des astrolabes photoélectriques est 7 ou 7.2. La plupart des étoiles du catalogue fondamental de référence (FK4, bientôt FK5) sont accessibles. Avec la poursuite de la coopération internationale, qui a permis la réalisation du premier Catalogue Général d'Astrolabe (CGA) en 1978 (PAS, 33) et dont la précision atteint 0.004 s en ascension droite et 0.06" en déclinaison, c'est un catalogue plus complet qu'on peut espérer voir se réaliser d'ici la fin du présent siècle (San Fernando en est à son 4ème catalogue, Santiago du Chili à son 2ème). Il sera tout particulièrement intéressant de le comparer avec le catalogue définitif qui sera obtenu par le satellite Hipparcos ; ce dernier, exempt d'erreurs internes, permettra de déceler celles des catalogues d'astrolabe, de les corriger et d'employer les observations anciennes à des études de statistique stellaire.

Dès 1973, il s'impose (Symposium UAI n° 61 de Perth "New Problems in Astrometry") que les objets rayonnant dans le domaine des ondes radioélectriques prennent de l'importance : leurs répliques optiques sont activement recherchées ; les radioastronomes s'intéressent aux comparaisons entre les positions "optique" et "radio" ; β Persei (Algol) sert

d'origine. Une campagne systématique d'observations optiques (DAS, 60) de cet objet est presque aussitôt entreprise à l'astrolabe de Paris (hiver 1975-1976) tandis que des positions plus anciennes sont recherchées (PAS, 46). Une coopération internationale est proposée aux différents astrolabes (DAS, 59) à l'issue de l'AG de l'UAI de Montréal de 1979 (dix-sept stations acceptent d'y participer). Dans la liste de radioétoiles établie par le Working Group "Identification of Radio/Optical Astrometric Sources" de la Commission 24, la contribution des astrolabes atteint près de la moitié des objets : 25 à 31 (selon le type d'astrolabe) dont 16 étoiles du catalogue fondamental (FK5) sur une liste de 69 objets. Des campagnes systématiques sont en cours dans différents observatoires des deux hémisphères. Une partie de ces radioétoiles sera très spécifiquement observée simultanément par la technique d'interférométrie à très longue base (VLBI) et par le satellite Hipparcos (Lestrade et al. 1983). D'ici là, et notamment pour β Persei, des comparaisons "position optique" et "position radio" pourront être menées. On dispose à Paris de 8 campagnes successives (Débarbat et al. à paraître) de cette brillante radio-étoile dont les irrégularités du mouvement traduisent la multiplicité. Les ascensions droites sont généralement estimées à quelques millièmes de seconde d'heure et les déclinaisons à un dixième de seconde de degré près ; la coopération internationale devrait amener à déterminer les positions à une unité du dernier ordre seulement.

4.2. Planètes et satellites galiléens

Des planètes ont fait l'objet de campagnes systématiques à des astrolabes depuis vingt ans (DAS, 43). A titre d'exemple : Jupiter à Paris et Besançon en 1965-66 ; Mars à Paris, San Fernando, le Cerga en 1975-76 ; Saturne à San Fernando de 1970 à 1978 ; Uranus à Santiago du Chili depuis 1976 ; Vesta à Alger en 1963 et 1970. La comparaison avec les éphémérides dévoile les insuffisances des théories ; la cohérence des mesures, avec une précision le plus souvent de l'ordre de 0.05" pour une campagne, est caractéristique de la stabilité de l'instrument pour ce genre d'observation ; elle se conserve malgré la disparité des observateurs, pour les différents objets. Dans le cas particulier de Jupiter, la contribution pourra aussi s'établir par l'intermédiaire de ses satellites galiléens (AS, 208). Moins sujets à d'éventuelles erreurs systématiques d'observation que la planète, du fait qu'ils donnent des images ponctuelles, ils permettront de déterminer indirectement sa position en utilisant l'une ou l'autre des éphémérides établies pour ces satellites au Jet Propulsion Laboratory et au Bureau des Longitudes.

La confrontation avec les valeurs issues d'autres techniques, d'autres instruments (de même type ou de type différent) permettra de déceler d'éventuels effets observationnels. Déjà pour Vénus, à phase très importante, il a été remarqué à Sao Paulo que les corrections traditionnelles ne convenaient pas. Un modèle approprié est en cours d'étude (Chollet, 1983). Les mesures de plus grande précision font toujours apparaître des effets négligés aux instruments du passé ; leur introduction dans les mesures anciennes conduit à une nouvelle exploitation des longues séries temporelles dont la mécanique du Système solaire a besoin.

4.3. Soleil

Les campagnes d'observation du Soleil à Sao Paulo depuis 1973 et au Cerga depuis 1974 (AS, 228), sont régulièrement analysées (Bougeard, Chollet, Laclare, 1983). Elles montrent une augmentation constante de leur homogénéité à mesure que s'élabore l'instrumentation adéquate à l'objet observé (DAS, 11), et que s'améliorent les méthodes de traitement de données d'observation et d'analyse. A l'instrument primitif s'est bientôt substitué un véritable astrolabe solaire : les campagnes s'allongent progressivement ; la distance zénithale d'observation devient de plus en plus stable, le diamètre du Soleil peut être mesuré (Laclare, 1983), ($959^{\circ}37 \pm 0^{\circ}02$),... La technique de réduction des observations (relations classiques de Hough de 1915, utilisation des seules observations aux deux passages Est et Ouest) conduit, pour les données de 1978, à des résultats dont la précision, sur un nombre très limité de passages est déjà équivalente à celle obtenue sur de longues séries de données (DAS, 55). Avec l'augmentation du nombre de prismes (couverture plus large de l'orbite) des variations du diamètre du Soleil sont décelées. Leur amplitude, de l'ordre de $0^{\circ}5$, dépasse largement la précision des déterminations qui se font à $\pm 0^{\circ}05$ près (Bougeard et Laclare, 1983). Il est devenu nécessaire de prendre en compte d'autres termes des développements ; il faut maintenant envisager, compte tenu de ces précisions, un modèle de représentation des erreurs de catalogue plus élaboré, du type de ceux de Brosche et de Schmaeder ; l'utilisation des passages incomplets est couramment faite (Bougeard, 1982). Des travaux sont en cours dans ces différents domaines (Laclare, Chollet, Bougeard).

5. CONCLUSION

Imaginé à la fin du 19^{ème} siècle, utilisé en campagne pour les relevés hydrographiques, employé lors des opérations mondiales de longitudes de 1926 et 1933, introduit dans les observatoires astronomiques, l'astrolabe - en devenant de Danjon - a ouvert la voie aux modifications ultérieures qui ont permis à ces instruments de couvrir les différents domaines de l'astrométrie à l'instar de ses prédécesseurs, jusqu'à inspirer le système de mesures angulaires d'Hipparcos.

L'astrolabe a ainsi vu se développer ses possibilités d'observations par modifications techniques destinées à en faciliter l'emploi, à en améliorer le rendement, à accroître son champ d'activité. Normalement concurrencé par de nouvelles techniques dans l'observation stellaire (satellite Hipparcos), dans la mesure de la rotation de la Terre (Connected Element Radio Interferometry et VLBI) comme dans celle du mouvement du pôle terrestre (méthode dite Doppler et tirs laser sur satellites artificiels), il reste un instrument de haute qualité pour l'observation des planètes et du Soleil (une mesure individuelle de position se fait à moins de $0^{\circ}3$, et sur cette campagne l'erreur quadratique moyenne ne dépasse guère $0^{\circ}05$) ; c'est cette qualité qu'il faut veiller à ne pas compromettre par des calculs de réduction insuffisamment élaborés.

A la fin du présent siècle, les astronomes disposeront du catalogue définitif produit par Hipparcos ainsi que de nombreuses mesures de positions de radioétoiles par radio-interférométrie ; mais c'est par comparaison avec les mesures optiques effectuées depuis le sol que le raccordement des étoiles brillantes sera assuré avec les catalogues anciens.

Note ajoutée aux épreuves

L'astrolabe de Danjon a été utilisé comme instrument mobile pour des mesures géodésiques aux Etats-Unis en 1982-1983 (Timing System Design Considerations for a mobile Astrolabe, C.F. Lukac, P.J. Wheeler, R.E. Keating, R.T. Clarke ; Proceedings of the PTTI, December 1983) . La précision des déterminations des positions géographiques est la même que celle obtenue lorsque cet instrument était à poste fixe à l'US Naval Observatory.

Références

- Andréi, A.H. 1982, Diss. de Mestrado, Dep. Astron. Univ. Sao Paulo.
 Bénévidès, P. et Clauzet, L.B.F. 1983, A and A, à paraître.
 Billaud, G. 1983, Comm. Coll. GSV, Paris, à paraître.
 Bougeard, M. 1982, Mem. de DEA, Univ. de Paris.
 Bougeard, M. et Laclare, F. 1983, Comm. Coll. GSV, Paris, à paraître.
 Bougeard, M. Chollet, F. et Laclare, F. 1983, A and A, 126, 161.
 Capitaine, N. 1982, Thèse, Univ. Pierre et Marie Curie - Paris VI.
 Capitaine, N. 1983, Comm. pers.
 Chollet, F. 1982, C.R. Acad. Sci., 294, 191.
 Chollet, F. 1983, Comm. pers. et Comm. Coll. GSV, Paris, à paraître.
 Dickey, J.O., Williams, J.G., Newhall, X.X. and Yoder, C.F. 1983, Comm. A.G. de l'UGGI, Hamburg, août 1983.
 Laclare, F. 1969, Thèse, Univ. Paris.
 Laclare, F. 1983, A and A, 125, 200.
 Leister, N.V. 1977, Tese di Mestrado, Dep. Astron. Univ. Sao Paulo.
 Lestrade, J.F., Preston, R.A., Mutel, L. and Phillips R.B., IAU Symp. n° 109.
 Sanchez, M. 1983, Comm. pers.
 Stoyko, A. 1978, Bibliographie astrolabe, Pub. Obs. Paris.
 Stoyko, A. 1980, Premier Supp. à Stoyko, A. 1978, Pub. Obs. Paris.
 Stoyko, A. 1982, Deuxième Supp. à Stoyko, A. 1978, Pub. Obs. Paris.