

POLHODIE ET CATALOGUES D'ETOILES

I - L'étude de la polhodie résulte de l'observation des mouvements du zénith sur la sphère des fixes en plusieurs stations. La part commune de ces mouvements est attribuée aux déplacements des pôles terrestres. Mais le réseau de coordonnées défini sur la sphère des fixes par les valeurs attribuées aux ascensions droites et aux déclinaisons des étoiles, présente des irrégularités de l'ordre de grandeur des phénomènes à mesurer. L'étude simultanée de la polhodie et des catalogues d'étoiles s'impose.

Le nombre des inconnues à déterminer est considérable. Certaines se séparent mal : par exemple, mouvements séculaires du zénith et mouvements propres des étoiles. On comprend fort bien qu'on se soit attaché à simplifier le problème en faisant porter les observations sur des programmes communs.

2 - Les seuls procédés d'observation suffisamment précis, connus durant la première moitié de ce siècle, exigeaient que les positions des étoiles répondent à des conditions strictes : étoiles d'une étroite zone zénithale, étoiles méridiennes à des distances zénithales symétriques. Il fallait choisir ces étoiles dans des catalogues très étendus, leurs positions étaient incertaines et l'on n'avait pas l'espoir de voir de nombreuses observations postérieures améliorer continûment, à la fois les positions et les mouvements propres : des observations ont dû être entreprises spécialement.

Un programme commun exigeait une latitude commune et dans le tracé de la polhodie, le travail précieux de stations isolées a été pratiquement perdu.

D'autre part, si le mode opératoire impose des conditions trop sévères aux déclinaisons, ces conditions ne se maintiennent pas par suite de la précession. On est amené à changer souvent de programme, donc à refaire l'étude du catalogue et l'on ne peut assurer la continuité des résultats. On est amené aussi à douter de la valeur des observations qui sont faites à l'époque du changement de programme, car c'est alors que les conditions de symétrie sont les plus relâchées. En voici un exemple.

3 - La coordonnée x du pôle instantané, déterminée par le S.I.L. dessiné en 1955, 0 un crochet qui peut apparaître à priori étrange. Déjà au congrès de l'U.A.I. de 1955, à Dublin, j'avais signalé que les résultats obtenus à Paris avec le modèle expérimental des astrolabes impersonnels A. Danjon ne montraient rien de semblable. En utilisant les résultats postérieurs du S.I.L. publiés dans le rapport n° 20 du

Pr. Cecchini, j'ai séparé le terme annuel et le terme Chandler pour les coordonnées x et y , pendant les périodes 1949, 0 à 1955, 0 et 1955, 0 à 1959, 2. Pour cela, j'ai supposé le terme annuel reproductible identiquement chaque année et j'ai déterminé un terme de Chandler sinusoidal. Ce procédé assez grossier a l'avantage sur les méthodes plus élaborées de permettre l'analyse de toute la période envisagée et non seulement une petite centrale. Le terme de Chandler est le suivant

$$\begin{aligned}
 1949,0 - 1955,0 & \left\{ \begin{array}{l} x_c = 0'',27 \sin \frac{2\pi}{1,2} (t - 1954,88) \\ y_c = 0'',27 \cos \frac{2\pi}{1,2} (t - 1954,86) \end{array} \right. \\
 1955,0 - 1959,2 & \left\{ \begin{array}{l} x_c = 0'',24 \sin \frac{2\pi}{1,2} (t - 1954,81) \\ y_c = 0'',24 \cos \frac{2\pi}{1,2} (t - 1954,85) \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Les phases sont en assez bon accord, les amplitudes décroissent légèrement. Nous adoptons, pour la période voisine de 1955, 0 une phase de 1954, 85 et une amplitude de $0'', 25$. Du reste, si l'on utilise séparément les valeurs trouvées avant et après 1955, 0, les conclusions restent les mêmes.

La figure I montre les différences $x_a = x - x_c$, $y_a = y - y_c$. x_a et y_a représentent évidemment le terme annuel, les résidus du terme de Chandler, les variations progressives et les erreurs sur x et y . La brusque variation de l'amplitude de x_a est manifeste. Quand à y_a , si l'amplitude a changé aussi, il semble que ce soit plus tardivement ; on constate de plus que la valeur moyenne de y_a a augmenté de $0'', 05$ environ. Tous ces changements sont survenus au voisinage de 1955, 0 et le plus net d'entre eux, sur x_a , désigne exactement 1955, 0 comme époque critique. On ne voit pas quelle propriété il faudrait attribuer au terme de Chandler pour les faire disparaître : ils ne peuvent représenter qu'une brusque modification de la polhodie annuelle ou une modification d'erreurs systématiques.

Les moyennes de x_a et y_a pour les deux périodes envisagées donnent les polhodies annuelles de la figure 2. En 1955, l'amplitude s'est réduite de plus de moitié, passant de $0'',38$ à $0'',15$ pour x_a et de $0'',25$ à $0'',12$ pour y_a .

D'autre part, la polhodie s'est déplacée de $0'', 05$ vers les y positifs et le système de référence des coordonnées x et y a certainement varié.

Si la coïncidence des dates du changement de programme et du changement du terme annuel n'est pas fortuite - et je ne crois pas qu'elle le soit - on peut se demander ce que deviennent tous les résultats des analyses portant sur les variations de la nutation forcée. Si grande que soit la confiance qu'on accorde aux résultats du S.I.L., on ne peut se défaire d'un doute parce qu'il y a eu changement de programme en 1955, 0. Certes, il s'agit de circonstances exceptionnelles, le programme antérieur à 1955 ayant été conservé trop longtemps ; en fait,

POLHODIE ET CATALOGUES D'ETOILES

le terme annuel a repris depuis les valeurs qu'on était habitué à lui voir. Une erreur instrumentale annuelle se conçoit bien lorsqu'on utilise un programme très dissymétrique ; l'origine peut en être l'incertitude sur le pas proprement dit d'une vis micrométrique, sur la distance focale, sur la position géométrique d'une image d'étoile vue loin de l'axe optique.

4 - Tous les instruments qui exigent des étoiles des conditions trop particulières, ne pouvant pas se maintenir dans le temps, sont, par nature, inadaptés à l'étude de la polhodie pour la double raison qu'ils obligent à utiliser des étoiles mal connues et à les renouveler souvent. Si de tels instruments peuvent être précieux par leur précision intrinsèque, on ne doit pas leur accorder de rôle fondamental, car ils amèneraient nos successeurs à se poser les mêmes questions que nous actuellement.

Parmi les différentes techniques qui s'offrent aux astronomes, la méthode des hauteurs égales n'est pas très familière. Cela provient sans doute du fait qu'un instrument précis permettant de l'appliquer a longtemps fait défaut. L'astrolabe A. Danjon a rempli cette lacune. Pour s'en rendre compte, il suffit de considérer les résultats des mesures de latitude faites à Paris qui sont donnés en annexe. Bien que ces résultats soient déjà d'une précision qui me paraît surpasser celle des autres instruments, des améliorations de la technique peuvent être envisagées. L'astrolabe A. Danjon n'est vieux que de quelques années et le premier modèle qui est le prototype en service à Paris a atteint d'emblée la précision actuelle. Il est parfois difficile de trouver de bons observateurs qui utilisent l'instrument à la limite de ses possibilités, aussi songe-t-on à des procédés d'enregistrements photographiques et photo-électriques.

Quoiqu'il en soit, puisqu'on dispose d'un instrument approprié et qu'on peut en espérer dans les décades à venir des versions améliorées, il y a lieu de s'interroger sur les qualités de la méthode des hauteurs égales.

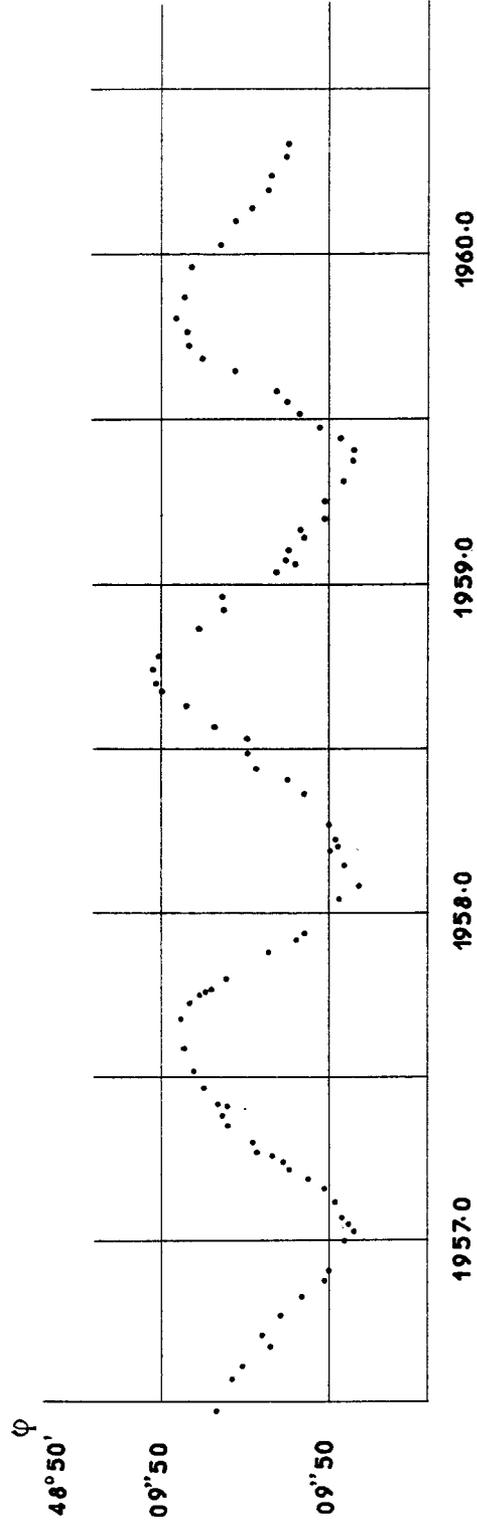
5 - Tout d'abord, cette méthode partage avec d'autres l'avantage de donner les deux coordonnées du zénith sur la sphère des fixes et elle permet d'étudier aussi bien la latitude que la longitude. Les variations de longitude entre les stations et les variations de TUO par rapport à un étalon de temps [1 et 2], ne sont pas moins importantes que la variation de la latitude ; la première réforme à faire serait de changer le nom du S.I.L., si l'on attribue à cet organisme le soin de publier les coordonnées du pôle.

Un avantage essentiel de la méthode des hauteurs égales est qu'elle permet d'utiliser les étoiles fondamentales. Les groupes d'étoiles ne doivent remplir que des conditions très lâches de symétrie et l'on a aucune peine à les former avec les seules étoiles du FK3 [3] Par exemple, à la hauteur de 60° , on dispose à latitude moyenne, de près de 1000 passages d'étoiles du FK3 de magnitude inférieure à 6,0 et à peu près autant de passages d'étoiles du FK3 Supp.

Un deuxième avantage essentiel lié au précédent et complémentaire est qu'on peut conserver le même programme d'une façon pratiquement indéfinie. L'intervalle de temps séparant deux passages est généralement

Observatoire de Paris. Astrolabe impersonnel A. Danjon.

Moyennes brutes de la latitude instantanée. Points de poids égaux (Moyenne portant sur 14 groupes environ.)



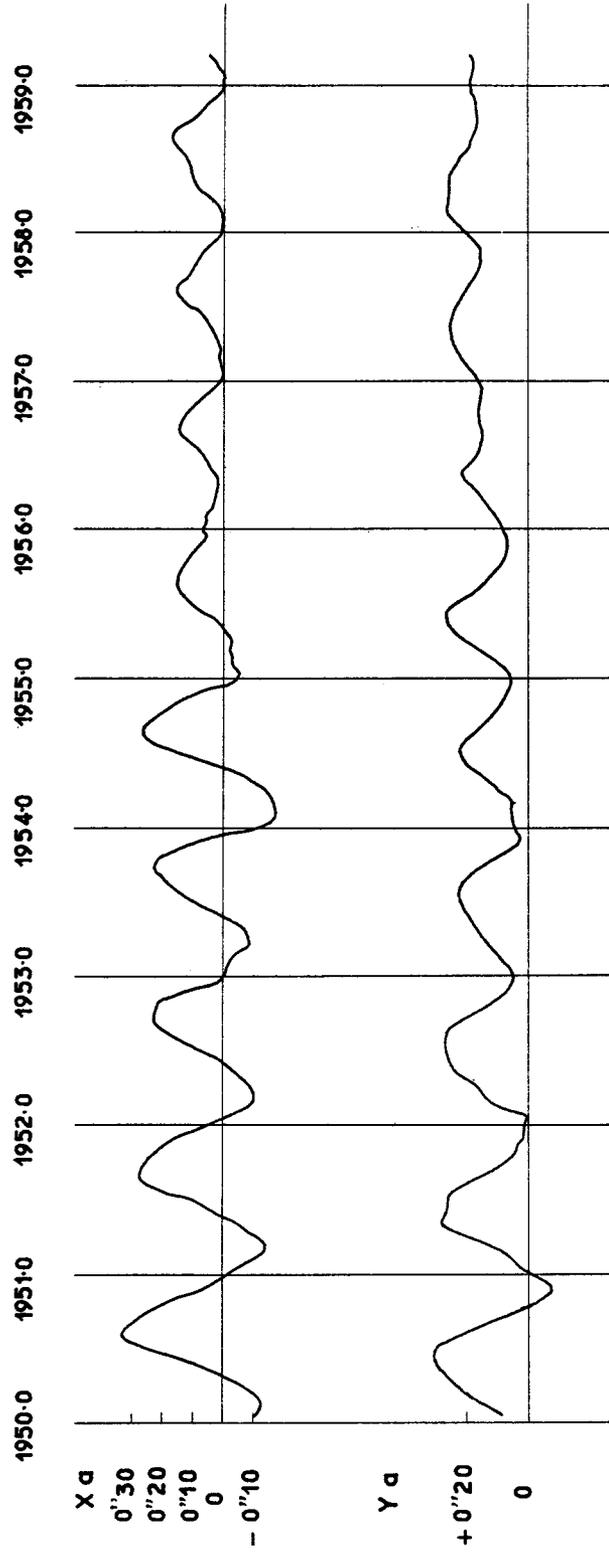


Fig 1

variable, mais en ménageant des intervalles de temps suffisants, on n'a aucune difficulté à constituer des groupes observables pendant 50 ans [3].

Les étoiles restent toujours observées dans les mêmes conditions, la précession en déclinaison étant compensée par une variation de l'azimut de visée, sans conséquence sur les résultats (la précision du degré sur l'azimut peut suffire - en outre, on tient compte des variations d'azimut).

De bonnes mesures de la latitude et de la longitude ne sont pas incompatibles avec une variation progressive de la hauteur d'observations, pourvu que le programme soit bien conçu. Il suffit, en effet, de choisir les passages successifs dans des azimuts très différents pour s'affranchir des effets dus, par exemple, à une erreur sur le calcul de la réfraction ou à une variation thermique instrumentale. Une variation de la hauteur instrumentale de $0''{,}15$ entre le début et la fin d'un des groupes en usage à Paris, non compensée dans la réduction, ne donnerait pas d'erreur supérieure à $0''{,}01$ sur la position du zénith. Une médiocre connaissance de la réfraction et aussi des constantes instrumentales qui définissent la hauteur est suffisante. D'autre part, les mesures auxiliaires qui servent à fixer cette hauteur restent séparées des mesures astronomiques dans le cours des réductions, ce qui simplifie les travaux de révision des résultats. Nous en verrons un exemple.

Le catalogue fondamental n'est pas assez homogène pour qu'on puisse obtenir des informations valables sur la polhodie en observant n'importe quelles étoiles à n'importe quel moment. On est donc obligé de former un système de corrections à ses positions par une méthode analogue à celles qui ont eu cours au S.I.L. Ainsi, à Paris, le raccordement en chaîne nous montre que l'amplitude de la variation des corrections qu'il faut apporter aux résultats du FK3 est de $0''{,}15$ pour la latitude et de $0s{,}023$ pour le temps. [3]

L'avantage de la méthode des hauteurs égales semble donc se borner à l'absence de changements de programme.

En fait, il est bien plus considérable, mais il n'est pas immédiat. Tous les astronomes collaborent à l'amélioration du catalogue fondamentale et le matériel d'observations accumulé deviendra de plus en plus abondant. En vertu d'une remarque faite précédemment, le passage d'un système de positions à un autre peut se faire très facilement. Il suffit de calculer n systèmes de corrections à la latitude et à l'heure, de la forme :

$$\Delta \varphi_i = F_i + F'_i t \quad , \quad \Delta \lambda_i = L_i + L'_i t \quad ,$$

i étant le nom du groupe et n le nombre de groupes. Ces corrections, ajoutées aux résultats du catalogue 1, donnent rigoureusement les résultats du catalogue 2. Pour passer du FK3 au FK4, par exemple, il ne faudra que quelques journées de travail de bureau (sans ordinateur électronique), pour convertir tous les résultats obtenus à Paris, depuis 1956.

6 - On voit se dessiner deux efforts parallèles : celui de la station polaire qui améliore son catalogue par des méthodes de raccordement,

POLHODIE ET CATALOGUES D'ETOILES

celui de l'observatoire qui améliore le catalogue fondamental à l'aide de son service méridien. Avec les méthodes de Talcott et des observations zénithales, ces efforts sont effectivement parallèles, en ce sens qu'ils ne se rejoignent pas. Le rattachement d'un petit catalogue d'une forte homogénéité avec le catalogue fondamental, plus dispersé et moins homogène, ne s'opère que de temps à autre, à l'aide d'instruments moins précis que ceux qui ont servi à l'étude de la latitude. Le résultat en est douteux.

Avec la méthode des hauteurs égales, les efforts sont confondus et le travail effectué dans une station est profitable à tous. On a montré, en effet, que les observations de latitude et de longitude conduisaient sans supplément de travail à un catalogue de haute précision, en ascension droite et en déclinaison, portant sur une large zone de déclinaisons (60° avec les astrolabes à prisme). La puissance corrective des observations de hauteurs égales, vue par Chandler, s'est trouvée amplement confirmée.

Les résultats des observations de Paris, réduits indépendamment chaque année, sont en remarquable accord entre eux (pour les deux premières années, voir [4]. Les observations faites dans les observatoires de latitude voisine de Neuchâtel et Potsdam, confirment parfaitement les valeurs trouvées, tant pour les erreurs individuelles que pour les erreurs systématiques du FK3 [5]

7 - Rappelons quelques propriétés des catalogues d'étoiles établis par la méthode des hauteurs égales.

Le pôle défini par les positions mesurées s'approche très près du pôle céleste. Les erreurs dépendant de α sont bien éliminées parce que la méthode ne comporte pas l'intervention de constantes instrumentales dont l'évolution au cours de la nuit est mal connue, et parce que les deux passages Est et Ouest d'une même étoile sont séparés par plusieurs heures. L'amplitude totale des erreurs $\Delta \delta_\alpha$ et $\Delta \alpha_\alpha$ ne paraît pas excéder $0''.03$ et $0s,003$. $\Delta \alpha_\alpha$ bénéficie de la propriété très particulière qu'elle ne croît pas avec la déclinaison. Bien entendu, la méthode donne un catalogue homogène, mais ne place pas l'équinoxe ; les ascensions droites ne sont définies qu'à une constante près.

Quant aux erreurs dépendant de δ elles nous intéressent assez peu pour l'étude du pôle, puisqu'elles sont constantes en un lieu donné. Cependant rappelons que $\Delta \alpha_\delta$ est éliminée, tandis que $\Delta \delta_\delta$ peut subsister, mais avec une forme connue. En pratique, d'ailleurs, $\Delta \delta_\delta$ se réduit à une constante.

Les erreurs sur les positions individuelles deviennent infimes. 9/10 des ascensions droites du programme de Paris sont maintenant connues avec une erreur inférieure à $0s,003$ séc δ et 9/10 des déclinaisons avec une erreur inférieure à $0'',03$ (Voir [4]

Comme les stations opérant avec la méthode des hauteurs égales à des latitudes très différentes comportent des zones communes, on parvient par les seules observations d'heure et de latitudes à rapporter toutes les observations à un seul catalogue de haute qualité.

8 - Dans l'immédiat, on peut déjà compter sur une très bonne approximation de départ. Il y a tout lieu de croire que le FK4 sera une amélioration considérable du FK3. Il ne faut pas juger le catalogue

fondamental sui paraîtra dans quelques mois sur la qualité actuelle du FK3.

D'autre part, des observations de hauteurs égales ont été entreprises spécialement pour faire bénéficier un grand nombre d'étoiles fondamentales des propriétés de cette méthode. Ces observations ont pour but d'accélérer le travail qui pourrait être fait par les seules stations de latitude et de longitude et d'accroître son poids, mais il ne peut pas être comparé aux opérations de rattachement que l'on a dû faire pour les étoiles du S.I.L., par exemple.

Une chaîne d'astrolabes destinée à l'amélioration du catalogue fondamental est en projet (2e conférence astrométrique, Cincinnati, mai 1959). Pour sa part, l'Observatoire de Paris a déjà observé près de 20 000 passages spéciaux portant sur 500 étoiles du FK3 et du FK3 Supp. Ces observations sont en cours de réduction. Un tiers du travail de calcul est achevé et les résultats (présentés à Cincinnati) justifient nos espoirs. La réduction sera achevée au début de 1961.

L'amélioration des positions fondamentales par la méthode des hauteurs égales n'est pas une simple considération théorique. Le travail est entrepris, des résultats partiels ont été publiés, et il est indubitable que dans quelques années nous disposerons d'un catalogue parfaitement adapté aux mesures de latitude et de longitude.

En effet, quand on mesure la valeur instantanée de la latitude et de la longitude, divers facteurs physiques imposent une limitation à la précision : réfractions zénithales, agitation des images. La sensibilité des appareils modernes à la turbulence atmosphérique, montre que nous ne sommes plus très loin de cette limite et que nous n'avons plus à attendre un gain considérable dans les mesures. Comme nous sommes intéressés par la valeur instantanée d'un phénomène irrégulier, soumis à des variations locales, la statistique ne nous est d'aucun secours. Il y a donc une limite dans la précision de la position des étoiles qu'il n'est pas utile de dépasser.

Or les observations portant toujours sur les mêmes objets en vue de déterminer les positions et les mouvements propres fournissent une amélioration continue de ces positions et de ces mouvements propres.

Avec les astrolabes A. Danjon, il semble qu'après une dizaine d'années d'observations en une station isolée, les erreurs des positions du catalogue ne puissent plus être mises en cause. Reste à étudier les mouvements propres, ceci est d'autant plus facile que le programme n'a pas à être changé.

8 - En résumé, la méthode des hauteurs égales a les propriétés suivantes :

- Elle permet d'observer les étoiles fondamentales d'une large zone.

- Elle permet de conserver le même programme indéfiniment.

- Elle est auto-corrective, c'est-à-dire qu'elle permet l'amélioration des positions des astres observés.

- Elle permet d'avoir de nombreuses étoiles en commun entre stations de latitudes très différentes, et de former un système de positions homogène auquel on peut rapporter toutes les observations en tous points de la terre.

POLHODIE ET CATALOGUES D'ETOILES

Cet ensemble de propriétés la désigne comme la meilleure méthode d'étude de la polhodie. Même si l'on juge utile de maintenir des stations sur un même prallèle, il y a lieu d'installer des stations munies d'astrolabes, aussi dispersées que possible à la surface du globe. C'est par l'étude des résultats en de telles stations, rapportées au catalogue homogène qu'elles établiront, que l'on finira par avoir des éclaircissements sur les déplacements locaux du zénith et, par suite, sur la forme de la polhodie.

Il y aurait lieu, en outre, d'encourager les recherches sur les instruments destinés à appliquer la méthode des hauteurs égales.

Paris, le 11 Mai 1960

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. DANJON : Comptes Rendus, 249, 1959, p. 206.
- [2] B. GUINOT et S. DEBARBAT : Comptes Rendus, 250, 1960, p. 2124.
- [3] B. GUINOT : Bull. Astron., t. 22, 1958, p. 1-71.
- [4] B. GUINOT : Bull. Astron., t. 23, 1959, p. 91-97.
- [5] J.P. BLASER et M. CAVEDON : Publications de l'Observatoire de Neuchâtel, n° 9, déc. 1959.

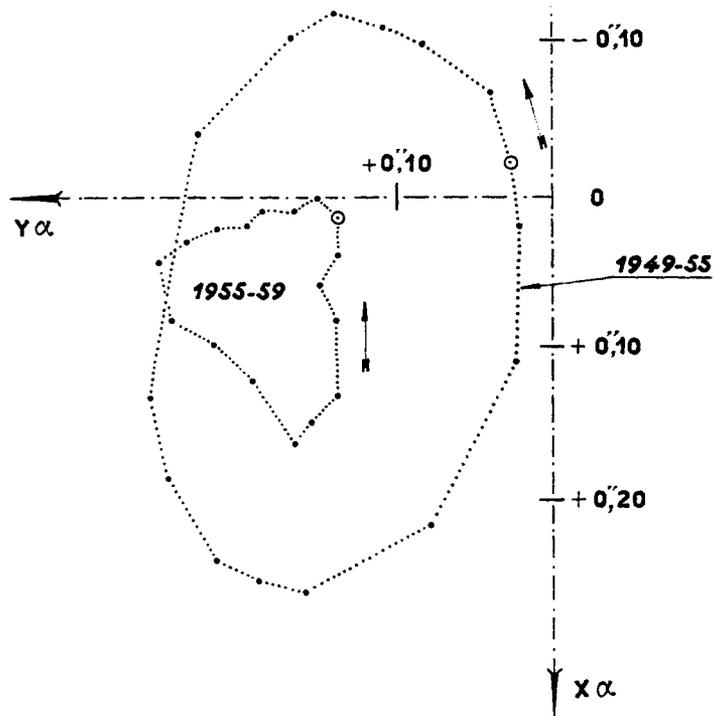


Fig. 2