



HAL
open science

L'astrolabe impersonnel A. Danjon, modèle O.P.L. de l'Observatoire de Paris

Bernard Guinot

► **To cite this version:**

Bernard Guinot. L'astrolabe impersonnel A. Danjon, modèle O.P.L. de l'Observatoire de Paris. Astrophysique [astro-ph]. Université de Paris, 1958. Français. NNT : 1958PA000004 . tel-02095445

HAL Id: tel-02095445

<https://hal.science/tel-02095445>

Submitted on 10 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

19 JAN

Guinot



1858

THESES
présentées

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE PARIS.

pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences physiques

par

Bernard GUINOT

1ère THESE : L' Astrolabe Impersonnel A. Danjon, modèle
O.P.L. de l'Observatoire de Paris.
Etude des résultats d'une année d'observations.
Variation de la latitude. Catalogue d'étoiles.

2ème THESE : Etude de la constante de l'aberration.

Soutenues le 1958 devant la Commission d'Examen

M.

*A. Danjon
Jaquier
Schiffman*

Président

Examineurs



RESUME DE LA THESE DE DOCTORAT D'ETAT
PRESENTEE A LA FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

par Bernard GUINOT

Aide-Astronome à l'Observatoire de Paris

(Titres : licence d'enseignement de Mathématiques
et Certificat d'Astronomie Approfondie)

Thèse préparée à l'Observatoire de Paris sous la direc-
tion de M. A. Danjon, Directeur de l'Observatoire.

=====

L'ASTROLABE IMPERSONNEL A. DANJON, MODELE O.P.L.
DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

ETUDE DES RESULTATS D'UNE ANNEE D'OBSERVATIONS.
VARIATION DE LA LATITUDE - CATALOGUE D'ETOILES.

==

Un astrolabe impersonnel A. Danjon, construit par la Société "Optique et Précision de Levallois", a été livré en avril 1956 à l'Observatoire de Paris. Cet appareil, dont la description a été donnée par M. Danjon, est destiné à la détermination simultanée de l'heure et de la latitude par l'observation de hauteurs égales d'étoiles.

Grâce à l'expérience acquise par quelques années de pratique sur un premier astrolabe construit à l'Observatoire, nous avons pu préparer à l'avance le programme d'observations et les observations régulières ont commencé en juillet 1956. Les observations ont été, pour la plupart, effectuées par M. Arbey et par nous, chacun étant de service une nuit sur deux.

Dans notre travail, nous présentons d'abord le programme d'observations que nous avons choisi. Ensuite, nous étudions les résultats du point de vue de leur qualité : la précision atteinte est telle que nous sommes amenés à nous interroger sur la validité des méthodes de réduction et sur l'influence des erreurs de certaines constantes astronomiques. Enfin, nous donnons les résultats obtenus pour la variation de la latitude et l'amélioration du catalogue dans lequel nous avons puisé les étoiles observées.

Afin d'éliminer des résultats les erreurs dues au catalogue d'étoiles, nous pratiquons des observations en chaîne, portant sur 12 groupes d'étoiles du FK3, de composition invariable. Pendant un mois, on observe les groupes a et b, puis le mois suivant, b et c, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on revienne au groupe de départ, après une année. Chaque groupe fournit la correction de l'horloge et la latitude à une constante près et l'on peut, par les observations en chaîne, déterminer de proche en proche les 12 constantes pour chacune des inconnues, c'est à dire raccorder les groupes entre eux. On a, en outre, le contrôle des équations de fermeture.

Lorsqu'on observe plusieurs fois le même groupe d'étoiles, on constate que chaque étoile présente un écart moyen presque toujours significatif. Nous montrons que cet écart systématique n'est pas lié à la magnitude de l'étoile, ni à sa couleur, et nous l'attribuons aux erreurs du catalogue d'étoiles. Nous établissons des tableaux de corrections de lissage interne qui permettent : 1) de connaître la précision des observations ; 2) de supprimer les erreurs systématiques qui seraient dues aux étoiles manquées.

Avant d'étudier le raccordement, nous consacrons un chapitre à l'étude du rôle de l'aberration, des parallaxes stellaires négligées et de la nutation. Vis à vis de l'aberration, les résultats des observations de hauteurs égales se conduisent comme les résultats de l'observation d'une étoile zénithale, à un facteur constant près. Une erreur sur la constante de l'aberration affecterait sensiblement les résultats. Nous montrons, d'autre part, que nous pourrions obtenir une valeur satisfaisante de la constante de la nutation après une révolution du noeud de l'orbite lunaire.

Le raccordement fait l'objet du chapitre suivant. Les corrections de raccordement sont grandes par rapport aux écarts-types des résultats. Les équations de fermeture sont petites et non significatives.

Nous présentons ensuite la variation de la latitude instantanée de l'astrolabe. Nous faisons remarquer que le programme d'observations n'a pas à être renouvelé avant quarante ans, ce qui est une qualité précieuse pour l'étude des mouvements séculaires du pôle.

Dans un dernier chapitre, nous faisons usage des corrections de lissage interne et des corrections de raccordement pour corriger les ascensions droites et les déclinaisons des étoiles des groupes. Nous obtenons ainsi, par l'usage de l'astrolabe seul, un petit catalogue d'étoiles d'une très haute précision, tant du point de vue des erreurs individuelles, que de celui des erreurs systématiques. Nous indiquons comment on pourrait construire un catalogue beaucoup plus étendu. L'établissement d'un catalogue de plus de 300 étoiles est actuellement en cours. D'autre part, l'étude statistique des résidus de l'astrolabe nous permet de mettre en évidence les erreurs systématiques du FK3. Alors que les déclinaisons du FK3 sont bonnes dans l'ensemble, pour la zone étudiée ($+20^{\circ}$ à $+78^{\circ}$), les ascensions droites sont systématiquement trop faibles au delà de la déclinaison de $+50^{\circ}$. L'effet est particulièrement apparent pour les ascensions droites comprises entre 0h et 12h.

Ce chapitre nous montre que l'usage de l'astrolabe impersonnel A. Danjon ne s'arrête pas aux mesures de l'heure et de la latitude : il faut désormais considérer cet appareil comme un instrument fondamental de l'astronomie de position.

=====



Planche I

L'astrolabe impersonnel A. Danjon, modèle O.P.L.

L'ASTROLABE IMPERSONNEL A. DANJON, MODELE O.P.L.
DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

ETUDE DES RESULTATS D'UNE ANNEE D'OBSERVATIONS
VARIATION DE LA LATITUDE - CATALOGUE D'ETOILES

=====

I. Introduction

La méthode d'observations de hauteurs égales d'étoiles, donnée par Gauss, devait permettre de tirer le meilleur parti possible du sextant, pour la mesure de la latitude et de la longitude (ou de l'heure). Mais la nécessité d'avoir un instrument spécialement adapté à cette méthode s'est fait sentir et elle a conduit Claude et Driencourt à concevoir, au début de notre siècle, l'astrolabe à prisme [1 à 3]. Cet instrument, qui était destiné aux observations de campagne, devait rester simple et aisément transportable. Cependant, ses qualités remarquables auraient permis des mesures de haute précision, utiles dans les observatoires pour la détermination de l'heure et l'étude de la variation de la latitude, si deux inconvénients ne s'étaient manifestés : l'astrolabe ne permettait qu'un seul pointé par étoile, ce pointé étant affecté d'une erreur personnelle, et la hauteur d'observation variait au cours de la nuit, par suite des déplacements du plan focal et des variations de l'accommodation de l'oeil de l'observateur (1).

Dès 1938, M. Danjon s'est attaché à perfectionner l'astrolabe à prisme : il a imaginé un appareil unique, faisant appel aux propriétés des prismes biréfringents de Wollaston, qui supprime les erreurs dues à la mise au point et constitue un micromètre impersonnel. On trouvera le principe de ce micromètre dans le Bulletin Astronomique [4].

Après avoir fait les premiers essais de son micromètre en Haute Provence, en 1947, sur un astrolabe Jobin modifié, [5 et 6], M. Danjon a fait construire un astrolabe impersonnel par les ateliers de l'Observatoire de

(1) A. Danjon, Bull. Astron., t. 18, p. 255.

Paris. Cet instrument, réalisé par M. Texereau, Ingénieur au Laboratoire d'Optique de l'Observatoire, a été achevé en 1951. Après divers perfectionnements, il est entré en service régulier en 1953. Nous renvoyons encore le lecteur au Bulletin Astronomique [4] où se trouve la description complète de l'instrument.

Les résultats obtenus furent excellents [7]. L'écart-type d'une observation isolée était de $0''{,}24$ et les écarts-types sur les mesures de temps et de la latitude de $0^s{,}009$ et $0''{,}10$. Il apparut cependant que des résultats meilleurs pouvaient être obtenus en réalisant un instrument plus grand et d'une précision mécanique plus poussée. De plus, comme il se révélait que l'astrolabe impersonnel A. Danjon était tout à fait adapté aux mesures de temps et de latitude qui devaient être entreprises au début de l'Année Géophysique Internationale, des demandes d'astrolabes affluèrent, que seule l'industrie pouvait satisfaire. La Société "Optique et Précision de Levallois" s'est chargée de l'étude d'un modèle commercial de l'astrolabe impersonnel et de la construction d'une série de ces instruments qui ont bénéficié de tous les perfectionnements souhaitables.

Le premier des astrolabes O.P.L. (planche I), désigné par le numéro 01, a été livré à l'Observatoire de Paris en avril 1956. Les observations régulières ont commencé en juillet 1956. L'objet du présent mémoire est de montrer la qualité des observations et de donner quelques résultats obtenus. Un intérêt particulier provient du fait que ces résultats ont été acquis en moins d'un an et demi d'observations : c'est là la durée prévue pour les observations de l'Année Géophysique Internationale et l'on aura un aperçu de ce qu'on peut en attendre.

Le lecteur trouvera la description complète de l'astrolabe O.P.L. dans le Bulletin Astronomique [8].

=====

II. L'organisation des observations.

L'usage de l'astrolabe impersonnel ne nécessite pas de catalogue d'étoiles spécial. Les étoiles observées sont choisies parmi celles du catalogue d'étoiles FK3. Cependant, les observations faites à l'aide du petit astrolabe avaient déjà montré que les résultats bruts obtenus en partant des positions du catalogue ne pouvaient pas être utilisés : les valeurs des inconnues différaient systématiquement suivant les groupes d'étoiles observés. Cela était dû, tant aux erreurs systématiques, qu'aux erreurs individuelles des positions des étoiles, comme l'on pouvait s'en assurer après quelques observations des mêmes étoiles. Par exemple, les valeurs de la latitude données par deux groupes d'étoiles observés la même nuit pouvaient différer de $0^{\text{h}},30$.

La qualité des résultats, toutes choses étant égales d'ailleurs, dépend étroitement du choix d'un programme d'observations et de la rigueur avec laquelle ce programme est suivi.

L'organisation des observations, qui a été adoptée pour l'astrolabe O.P.L. de l'Observatoire de Paris, est celle qui a été préconisée dans le manuel d'instructions publié par le C.S.A.G.I. [9]. On a formé des groupes d'étoiles de composition invariable ; le même observateur observe deux groupes consécutifs, au moins, au milieu de chaque nuit.

Il est naturel d'observer toujours les mêmes groupes d'étoiles pour s'affranchir des erreurs de catalogue. Il en résulte que chaque groupe donne des résultats différents pour chacune des inconnues à mesurer et que ces différences doivent être connues pour l'exploitation des résultats. Lorsqu'on avait voulu interpréter les résultats du petit astrolabe, des difficultés s'étaient élevées, dues à l'impossibilité de séparer les différences entre groupes d'éventuelles erreurs personnelles et d'effets de réfraction latérale. C'est pour séparer ces effets qu'on a décidé que la même personne observerait deux groupes consécutifs : la différence des résultats donne le raccordement des deux groupes sans erreurs personnelles. On ne tient compte, pour effectuer le raccordement final de tous les groupes, que de ces différences ainsi obtenues, la même nuit par le même observateur. En n'utilisant que les observations de la même nuit, on réduit les erreurs qui seraient dues aux variations des grandeurs à mesurer, variations qui peuvent être réelles, comme la marche de

l'horloge ou la variation de la latitude, ou fictives, comme celles qui seraient dues à une évolution lente de la réfraction.

Une fois le raccordement des groupes effectué, on en déduit des corrections, que nous appellerons corrections de raccordement. Il faut ajouter ces corrections aux résultats de chaque groupe pour les rendre comparables entre eux. On peut alors étudier les grandeurs mesurées et il est facile de mettre en évidence les erreurs personnelles si elles existent.

Quant à la symétrie par rapport à minuit, elle a deux raisons d'être. La première, comme on le verra plus loin, est de permettre de déduire du raccordement en latitude une valeur de la constante de l'aberration, sans que cette valeur soit affectée par les parallaxes qu'on a négligées pour la plupart des étoiles. La deuxième raison est d'éviter d'observer à trop peu de temps du coucher ou du lever du soleil. A priori, il semble dangereux, du point de vue des effets personnels, d'observer quand le ciel apparaît lumineux dans le champ ; d'autre part, les rapides variations de température au crépuscule peuvent occasionner des réfractions accidentelles. Notons encore un avantage secondaire, mais réel, des observations du milieu de la nuit par rapport à celles qui seraient faites le soir : si deux groupes se sont trouvés mal raccordés, par suite du mauvais temps, on dispose encore d'une longue période pour faire les raccordements supplémentaires en continuant à observer le premier groupe quand on aurait dû l'abandonner.

Les groupes à observer sont au nombre de 12. Chaque groupe dont la durée d'observation est une heure et demie, est séparé du suivant par un intervalle d'une demi heure. L'heure sidérale de l'observation du milieu des groupes est paire.

Les groupes contiennent 28 étoiles du FK3 et du FK3 Supp, de magnitude généralement inférieure à 5,6. Quelques étoiles de magnitude comprise entre 5,6 et 6,0 ont été introduites lorsqu'il était impossible de faire autrement ; elles nous seront utiles dans la recherche d'une équation de magnitude. Le choix des étoiles offert par les deux catalogues était assez riche pour laisser maître, dans une large mesure, de se fixer la répartition dans les groupes. On s'est efforcé d'obtenir une accumulation d'étoiles dans les azimuts à 45° du méridien, pour éviter les inconvénients des étoiles circumméridiennes : rareté, durée d'observation trop longue, grande variation du temps du passage, due à la précession.

Les caractéristiques de l'astrolabe apportent d'ailleurs quelques restrictions au choix des étoiles. A la latitude de Paris, le mouvement azimutal des étoiles ne permet pas d'observer à moins de 20° du méridien au Sud et, au Nord, on ne peut guère s'approcher à moins de 7° du méridien à cause de la trop grande durée du passage et cela malgré la présence sur l'astrolabe de deux distributeurs des contacts. Ces deux distributeurs sont tels que dans tous les cas on enregistre 24 inscriptions sur le chronographe, mais il y a deux durées d'enregistrement possibles ; dans le premier vertical, l'observation dure 26 secondes avec le distributeur à grande course et 13 secondes avec le distributeur à petite course. Le distributeur à petite course doit être utilisé pour les étoiles à moins de 35° du méridien au Sud et à moins de 15° du méridien au Nord. Le choix des étoiles aux azimuts de 45° permet de ne l'utiliser qu'exceptionnellement (3 ou 4 fois par groupe).

On a évité, autant que possible, d'avoir recours aux étoiles du FK3 Supp : les positions et les mouvements propres de ce catalogue sont moins bien connus que ceux du FK3. Les étoiles du FK3 Supp sont également réparties en azimut de sorte qu'un groupe reste équilibré si on les supprime.

La même étoile peut être observée deux fois dans la nuit avec l'astrolabe : à ses passages Est et Ouest. Les deux passages, qui peuvent se trouver séparés par un intervalle de temps de plus de 6 heures, appartiennent en général à deux groupes différents. Il était souhaitable d'introduire le plus grand nombre possible de ces doubles passages dans le programme d'observations, afin d'étudier le catalogue ; mais les différentes conditions à réaliser en ont réduit le nombre à 116 (58 étoiles). Au total, le nombre d'étoiles observées est de 282 dont 68 du FK3 Supp et le nombre des passages observés pour les 12 groupes est de 340 (2 groupes comprennent 30 étoiles, un, 29 et un, 27 seulement).

Comme les observations entreprises à Paris devront être poursuivies longtemps, on a choisi les étoiles pour que les groupes puissent être observés sans changement pendant quarante ans. Il a fallu, pour cela, tenir compte de la précession qui modifie l'intervalle de temps qui sépare deux passages. Notons que pour les groupes de 6h et 18h sidérales, les intervalles de temps entre les passages restent pratiquement invariables : on s'assurera sans peine que, quel que soit l'azimut, la variation annuelle

du temps sidéral du passage est :

$$m + n \operatorname{tg} \varphi \quad \text{à } 6\text{h} \quad \text{et} \quad m - n \operatorname{tg} \varphi \quad \text{à } 18\text{h},$$

m étant la précession en ascension droite et n la précession en déclinaison. Cette variation, qui est identique à celle d'une étoile zénithale, est de $+4^{\text{S}},60$ à 6h et $+1^{\text{S}},54$ à 18h, à Paris.

Enfin, pour en finir, avec la composition des groupes, signalons que Z étant l'azimut, le rapport $\frac{\sum \cos^2 Z}{\sum \sin^2 Z}$, pour chaque groupe, est voisin de 0,8. Il est nettement plus grand que pour les groupes observés avec le petit astrolabe, ce qui améliore la mesure de la latitude. On trouvera plus loin (tableau VII) la composition des 12 groupes.

En principe, deux groupes consécutifs sont observés chaque nuit de sorte que les milieux de chacun tombent l'un avant minuit vrai, l'autre après. Ainsi, chaque année, une paire de groupes est suivie pendant un mois et un groupe pendant deux mois. Le programme de la nuit change quand le groupe du matin est observé avant minuit, le groupe du soir est alors abandonné, le groupe du matin devient groupe du soir et l'on observe un nouveau groupe du matin. La date du changement de programme est environ le 21 de chaque mois. En fait, si l'on s'en était tenu à ce programme, on n'aurait obtenu qu'un très petit nombre de mesures de certaines paires de groupes et le raccordement entre les groupes, qui ne se fait qu'à l'aide des observations de la même nuit et du même observateur, n'aurait eu qu'une faible valeur. On s'est fixé à 10, au moins, le nombre annuel d'observations des paires de groupes. Cela a conduit les observateurs à observer, pendant la majeure partie de l'année, un troisième groupe. Jusqu'à présent, les 10 différences annuelles ont toujours été obtenues, sauf pour les groupes i et j , observés les premiers, après la mise en station de l'instrument.

Depuis la mise en service de l'astrolabe O.P.L., MM. Arbey et Guinot ont observé régulièrement le programme avec éventuellement le troisième groupe nécessaire. M. Billaud et Mlle Débarbat les ont remplacés pendant les périodes de vacances. Pendant l'hiver, Mlle Débarbat a observé des paires de groupes supplémentaires avant ou après les observations du programme. On a adjoint Mlle Libralon aux observations à partir de juillet 1957. Plusieurs observateurs français et étrangers, qui devaient participer à l'Année Géophysique Internationale, sont venus s'entraîner sur l'instrument ; ils ont observé des groupes isolés qui ont été parfois utilisés. Les observations n'ont subi aucune interruption.

=====

III. Réduction des observations

Les réductions sont faites suivant la méthode déjà utilisée pour le petit astrolabe [7] (1). On établit à l'avance des éphémérides qui donnent le temps sidéral du passage par l'almucantarât de 30° de distance zénithale ($30^\circ 00' 30''$ exactement, car on a tenu compte de $30''$ de réfraction), pour la latitude approchée de l'observatoire. Ces éphémérides permettent d'obtenir rapidement la différence δh entre la distance zénithale réelle d'observation et la distance zénithale calculée à l'aide des valeurs approchées de la latitude et de la correction de l'horloge. δh est corrigé des termes dus aux courbures du parallèle de l'étoile et de l'almucantarât. Les équations de condition qui lient les corrections à apporter aux valeurs approchées des inconnues à δh sont résolues par la méthode des moindres carrés, ce qui se justifie, comme on le verra plus loin.

Les positions des étoiles sont celles des catalogues FK3 et FK3 Supp. Les éphémérides des étoiles FK3 sont calculées à partir des "Apparent Places of Fundamental Stars" (A.P.F.S.), mais on a introduit les corrections de parallaxes pour les étoiles dont les parallaxes sont comprises entre $0'',05$ et $0'',10$. Ces corrections ont été prises dans la Connaissance des Temps.

Le catalogue FK3 Supp ne donne que les positions moyennes. Le calcul des positions apparentes se fait à l'aide des constantes pour la réduction des étoiles de la Connaissance des Temps. On fait usage des formules de Bessel. Pour simplifier le travail, on calcule α et δ pour $0h$ T.U., puis le temps sidéral du passage pour un observateur de longitude telle qu'il observerait le passage à $0h$ T.U.. On interpole ensuite pour obtenir le temps du passage à Paris.

(1) On a relevé les erreurs suivantes :

- p. 284, 4e ligne à partir de la fin. Remplacer (1) par (3).
3e ligne à partir de la fin. Après "droite",
ajouter "parallèle à une droite ...".
- p. 287, Tableau I, différence par seconde. Lire $+0^S,1104$.
- p. 289, Tableau II, θ Cygni, différences premières.
Lire - 202.
- p. 291, Ligne 7, lire décroît au lieu de croît.
- p. 293, formule (4), Supprimer $\cotg z$ dans le terme en y^2
(voir Erratum, Bull. Astron., t. 21, fasc. 2).

A titre de vérification, quelques valeurs de l'éphéméride de chaque étoile sont recalculées indépendamment. Les autres valeurs sont vérifiées par l'examen des différences secondes.

On sait qu'il a été décidé que, à partir de 1960,0, les A.P.F.S. seraient calculés en utilisant une expression plus complète de la nutation [10] et en tenant compte, pour le calcul de l'aberration du mouvement du soleil autour du centre de gravité du système solaire, ainsi que du mouvement de la lune [11] et [12]. De plus, toutes les parallaxes supérieures à 0", 010, tirées du catalogue de Miss Jenkins [13] seront introduites. Pour avoir des résultats homogènes, toutes les réductions des observations comprises entre juillet 1956 et janvier 1960 seront reprises. Le travail nous sera grandement facilité par l'obligeance du Professeur Fricke, Directeur de l'Astronomisches Rechen-Institut de Heidelberg, qui a entrepris de faire calculer par son établissement les éphémérides des étoiles de notre programme, de 1956 à 1960, sur les mêmes bases que celles des A.P.F.S. après 1960. Dès que le nouveau catalogue fondamental FK4 sera prêt, toutes nos réductions seront ramenées uniformément à lui.

Les réductions sont vérifiées par sommation des colonnes chaque fois que cela se peut. Les parties du calcul qui échappent à ce contrôle sont faites en double par deux calculateurs différents. Un programme de réduction sur calculateur électronique a été mis au point, mais la nécessité d'avoir les résultats dans la journée qui suit les observations a empêché sa mise en oeuvre.

Les instants des passages sont enregistrés sur un chronographe imprimant au millième de seconde de Belin. Les moyennes sont faites deux fois. Le chronographe est piloté par une horloge à quartz de temps moyen.

=====

IV. Etude de l'accord interne des groupes.

Généralités.

Avant d'étudier le raccordement des groupes entre eux, nous allons passer en revue les résultats auxquels conduisent les groupes pris isolément.

Les 28 étoiles observées fournissent des équations surabondantes pour calculer les trois inconnues à déterminer par l'observation astronomique : temps, latitude, distance zénithale apparente réelle d'observation. La solution est ajustée par la méthode des moindres carrés et chaque étoile laisse apparaître un résidu. La théorie de la réduction étant supposée exacte, ainsi que les valeurs numériques des constantes qu'elle fait intervenir, ce résidu est dû, soit aux erreurs d'observation, soit aux erreurs dans les positions moyennes des étoiles du catalogue. Lorsqu'on a observé plusieurs fois le même groupe, on étudie les résidus de la même étoile : on reproduit (tableau I) les résidus d'un groupe en 1957. On peut calculer, pour chaque étoile, le résidu moyen et son écart-type, ainsi que l'écart-type d'un résidu pris isolément. On verra, par la suite, que l'écart-type du résidu moyen s'abaisse à $0^{\prime\prime},04$ après un an d'observations; la plupart des résidus moyens sont significatifs. L'étude des paragraphes suivants va nous permettre de décider s'ils représentent des erreurs systématiques d'observation ou des erreurs de catalogue.

Etude des résidus en fonction de la magnitude, du type spectral, de l'azimut.

On reprend le travail déjà fait au sujet du petit astrolabe : on range les résidus moyens et l'écart-type d'un résidu isolé par classes de magnitude, de type spectral et d'azimut. On calcule les valeurs moyennes par classe avec leurs écarts-types. Les conclusions sont les suivantes.

a) magnitude. Toutes les étoiles sont comprises dans les quatre premières classes du tableau II, mais on a formé une classe supplémentaire d'étoiles faibles. Seule la moyenne pour les étoiles brillantes, de magnitude comprise entre 2,1 et 3,0 est significative ($-0^{\prime\prime},061 \pm 0^{\prime\prime},027$), mais il convient de noter qu'elle est du signe opposé à

Tableau I.

Tableau des résidus du groupe h en 1957 (temps sidéral : 14h)
Unité 0^u,01

Date 1957	n° FK3(1)	1 412	2 608	3 576	4 619	5 466	6 627	7 1396	
	Observ.								
III	22	A	-12	+03	+11	+03	+10	+08	-29
	23	G	-13	+03	+10	+20	+52	+17	-28
	30	A	-20	+12	-17	-09	+12	+18	-18
	31	G	-13	-10	-06	+24	+32	+15	-16
IV	2	D	-	-17	-17	-08	-	+15	-31
	5	A	+02	-03	+10	+07	+08	+18	-33
	9	A	-26	-03	+05	+11	+46	+11	-55
	12	G	+01	-27	+06	+18	+20	-04	-25
	15	A	-13	+03	-28	-06	+36	+15	-16
	17	A	-53	-46	-23	-02	+44	-01	-49
V	1	G	-53	-11	-07	-05	+27	+09	-13
	3	G	-08	+03	+15	+23	+44	+04	-12
	4	A	+06	-15	+01	-12	+01	-06	-21
	11	G	+01	-23	-12	+19	00	-08	-21
	19	G	-30	-26	-22	+07	+20	+04	-16
	21	G	-37	-19	-05	-13	+05	-04	+02
	22	A	-56	-64	-03	+18	+28	00	-23
	28	A	-24	-	-	-	-	-04	-39
	29	D	-52	-35	-20	-24	+46	+05	-11
	30	A	-02	-53	-24	+06	+13	+04	-54
	31	D	-41	-20	-24	+14	+16	-32	-05
	Moyenne		-21,2	-17,4	-07,5	+04,5	+24,2	+03,9	-23,0

(1) Les étoiles du FK3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

Tableau I. (suite 1)

n° n°FK3(1)	8	9	10	11	12	13	14
	17225	22172	16752	403	578	398	16051
Date, 1957							
III 22	+07	+45	-12	-16	+05	-24	+19
23	-17	+17	-29	-12	+06	-26	+09
30	+50	+11	-19	-17	-	-	-02
31	-12	+07	+04	-29	+04	-14	+05
IV 2	+15	+19	-23	-40	+04	-38	+33
5	+16	+08	-22	-23	+08	-08	+23
9	+05	+17	-07	-21	+07	+12	+12
12	+15	+62	-43	-27	-07	+14	+06
15	+03	+16	-19	-15	-09	+02	+04
17	+18	+02	-20	-34	+34	+07	+07
V 1	+14	+40	-15	-34	+09	-22	-07
3	+03	+16	-24	-26	+17	-13	-06
4	+06	+48	-12	-21	+02	+29	+09
11	-04	+31	-27	-23	+03	-03	+15
19	+18	+31	-42	-24	+11	+03	+17
21	+15	+43	-01	00	+03	+11	-12
22	+01	+31	-14	-24	+30	-12	+10
28	-02	+07	-18	-22	+14	-16	+32
29	+21	+07	-45	-43	+09	+08	-13
30	-10	+43	-19	-34	+34	-09	+08
31	-02	+21	-12	-32	+25	+15	-10
Moyenne	+07,6	+24,9	-20,0	-24,6	+10,5	-03,7	+07,6

(1) Les étoiles du FK3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

Tableau I. (suite 2)

n° n°FK3(1)	15 639	16 21534	17 1318	18 420	19 612	20 22020	21 416
Date, 1957							
III 22	-28	-11	+22	+43	+29	+17	-07
23	-22	-22	+18	+08	+15	+30	+01
30	-18	+15	+28	00	+31	+25	+11
31	-19	-06	+14	+11	+34	+29	-07
IV 2	-01	00	+27	+11	+43	+04	-02
5	-06	-19	+03	+65	+22	+37	+23
9	-22	+08	+18	+14	+12	+38	00
12	-27	+13	+16	+29	+36	+50	-17
15	-30	+06	+12	-07	+26	+26	+16
17	+31	+12	+36	+03	+33	+19	+30
V 1	-25	-	+15	+25	+09	+32	+13
3	-26	-10	-14	-04	+21	+24	-11
4	-15	+29	+38	-08	+16	+22	+04
11	+22	+33	+22	+24	+37	+25	-10
19	-23	-10	+31	+42	+21	+26	-19
21	-23	+17	+24	+13	+42	+15	-13
22	+17	-18	+38	+33	+21	+34	+30
28	-13	-02	+23	+26	+31	+13	-03
29	-15	+14	+26	+12	+36	+43	+17
30	-11	+11	+28	+36	+21	+14	-10
31	+18	-01	+14	+21	+38	+17	-02
Moyenne	-13,3	+03,0	+20,9	+18,8	+27,3	+24,8	+02,1

(1) Les étoiles du FK3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

Tableau I. (suite 3)

n° n°FK3(1)	22 653	23 23172	24 590	25 433	26 429	27 1332	28 21552	29 15875
Date, 1957								
III 22	-18	-04	+06	+02	+07	+05	-37	-41
23	-08	-31	+13	-05	-	+10	-20	-
30	-02	-56	+27	00	+07	-29	-14	-23
31	-08	-37	+12	-09	+26	-20	+01	-19
IV 2	00	-06	+20	-07	-	-	-01	+03
5	+02	-17	+08	-24	-20	-24	-10	-38
9	-10	-35	+21	-11	-14	-45	-29	+02
12	-19	-39	+14	00	-20	-02	-21	-15
15	+44	-37	+12	-04	-16	+08	-07	-05
17	+22	-26	-02	+24	-23	-16	-04	-26
V 1	-09	-25	+11	+01	+50	-07	-32	-14
3	-07	-51	+09	-07	-	-	-12	+53
4	+05	-45	+17	+22	-21	-19	-38	-26
11	-05	-28	+03	-01	+07	-06	-12	-28
19	+02	-27	+24	+15	-08	-17	+12	-19
21	-16	-21	+09	+02	+08	-01	-21	-10
22	+09	-30	+13	-07	-08	-18	-12	-20
28	+11	-29	+16	-11	+05	-04	+08	-15
29	+08	-27	+35	-	+26	+03	-11	-13
30	+15	-17	+16	+02	+01	-15	+18	-01
31	-17	-37	+24	-14	+32	+21	+22	-41
Moyenne	00,0	-29,8	+14,7	-01,6	+02,2	-09,3	-10,5	-14,8

(1) Les étoiles du FK3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres) ..

celui de la moyenne qui avait été obtenue pour le petit astrolabe. La petitesse de l'équation de magnitude que laisse apparaître le tableau II ne permet pas de savoir s'il s'agit d'un effet instrumental ou d'un effet de catalogue, mais, même si cette équation de magnitude doit être imputée à l'instrument, il n'y a pas lieu de chercher à atténuer l'éclat des images brillantes par un dispositif qui pourrait nuire aux qualités optiques de l'astrolabe ; mieux vaudrait, à la rigueur, s'abstenir d'inclure des étoiles brillantes dans le programme. A Paris, d'autres étoiles brillantes destinées à l'étude de cet effet, seront observées, hors programme.

On constate, d'après les écarts-types des résidus isolés, que la qualité des observations diminue un peu quand la magnitude croît. On pouvait s'attendre à ce résultat, car dès que le ciel devient brumeux ou voilé, les étoiles faibles sont les premières à en pâtir.

b) type spectral. Le tableau III montre que les résidus ne dépendent pas du type spectral. De plus les étoiles des divers types spectraux sont observées avec une précision sensiblement constante. Remarquons toutefois que, comme pour le petit astrolabe, les étoiles de la classe G semblent un peu mieux observées.

c) azimut. On pouvait constater sur les résultats du petit astrolabe que les résidus des étoiles observées dans le Nord-Ouest avaient tendance à être négatifs, tandis que ceux des étoiles du Nord-Est étaient positifs (1). Par la suite, cette tendance s'est affirmée et l'on a montré que cet effet s'expliquait par la présence d'une erreur systématique $\Delta \alpha$ des ascensions droites du catalogue en fonction de la déclinaison [14]. Les résultats de l'astrolabe O.P.L. conduisent à une même conclusion, comme on le lira plus loin.

Quant à la précision des observations, il fallait s'attendre à ce qu'elle soit meilleure pour les étoiles circumméridiennes, dont le passage est observé plus longuement. C'est bien ce qui se produit, si un seul distributeur est utilisé (tableau IV) ; mais, si l'on fait usage des deux distributeurs, les durées d'observation diffèrent beaucoup moins et cet effet disparaît. Le tableau IV illustre bien l'amélioration qu'apporte le distributeur à grande course : les écarts-types restent invariables quels que soient les azimuts et l'on peut en conclure qu'il est inutile de pro-

(1) B. Guinot. Bull. Astron. t. 18, p. 305, fig. 9

Tableau II. Corrélation des résidus et des écarts-types avec la magnitude.

Magnitude	Moyenne des résidus en 0 ^u ,01	Moyenne des écarts-types en 0 ^u ,01
2,1 à 3,0	-6,1 ± 2,7	15,8 ± 0,8
3,1 à 4,0	+2,1 ± 1,9	17,9 ± 0,6
4,1 à 5,0	0,0 ± 1,3	17,2 ± 0,4
5,1 à 6,0	+0,2 ± 1,8	17,3 ± 0,5
5,6 à 6,0	+3,0 ± 5,0	19,0 ± 1,4

Tableau III. Corrélation des résidus et des écarts-types avec le type spectral.

Type spectral	Moyenne des résidus en 0 ^u ,01	Moyenne des écarts-types en 0 ^u ,01
B	+1,7 ± 2,6	17,4 ± 0,6
A	+1,3 ± 1,8	17,3 ± 0,6
F	+0,3 ± 2,2	16,9 ± 0,8
G	-0,1 ± 2,5	16,4 ± 0,6
K	-0,1 ± 2,1	17,6 ± 0,5
M	+0,9 ± 4,7	17,9 ± 1,5

Tableau IV. Corrélation des écarts-types avec l'azimut.

Azimut (à partir du Nord)	Moyenne des écarts-types en 0 ^u ,01	
	distributeur à petite course.	deux distributeurs.
10 - 30	17	14
30 - 50	23	15
50 - 70	22	17
70 - 90	22	17
90 - 110	18	17
110 - 130	19	15
130 - 150	20	16
150 - 170	18	15
190 - 210	20	16
210 - 230	19	15
230 - 250	27	15
250 - 270	21	17
270 - 290	25	17
290 - 310	23	19
310 - 330	21	15
330 - 350	18	17

longer l'observation au delà de 25 secondes (la durée la plus courte est de 26s dans le premier vertical à Paris).

Un effet d'adaptation à l'obscurité.

En étudiant les résidus des étoiles, M. Bonneau a constaté que les résidus des premières étoiles d'un groupe étaient, en général, négatifs. Une étude plus poussée lui a montré que l'effet ne se produisait que lorsque le groupe était le premier de la nuit et de l'observateur.

M. Bonneau a calculé séparément les résidus moyens des étoiles suivant que le groupe avait été observé en premier ou en deuxième lieu, puis, pour chaque étoile, il a fait la différence de ces résidus. Il a formé ensuite la moyenne des 12 différences pour chacune des étoiles de rang n des 12 groupes. La figure I représente les résultats obtenus : la différence se stabilise vers $+0''{,}03$. La première étoile a une différence de $-0''{,}12$. En moyenne, elle présente donc un résidu négatif de $-0''{,}15$ lorsqu'elle est aussi la première de la nuit. Si l'on examine les moyennes des résidus des groupes observés en deuxième lieu, on ne constate aucune tendance des premiers résidus à être négatifs ; d'autre part, les résidus des groupes observés en deuxième et en troisième lieu, toujours par le même observateur, ne diffèrent pas (fig. 2) : c'est donc bien le premier groupe qu'il faut incriminer.

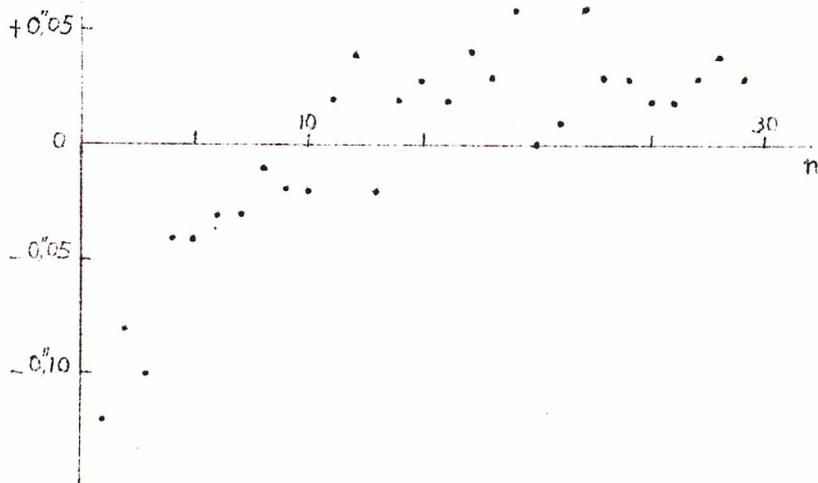


Fig. I. Différences des résidus des mêmes étoiles suivant qu'elles ont été observées dans le 1er ou le 2ème groupe de la nuit et de l'observateur (1er groupe - 2ème groupe). Valeurs moyennes en fonction du rang n de l'étoile dans les groupes.

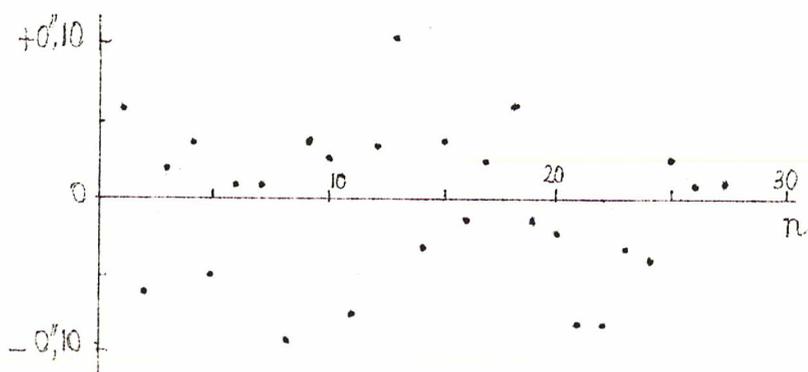


Fig. 2. Différences des résidus des mêmes étoiles suivant qu'elles ont été observées dans le deuxième ou le troisième groupe de la nuit et de l'observateur (2e groupe - 3e groupe). Valeur moyenne en fonction du rang n de l'étoile dans les groupes.

On pouvait se demander si l'effet était dû à l'observateur ou à l'instrument. On a pu en décider en considérant les nuits où deux observateurs avaient travaillé successivement. Pour la première série du deuxième observateur, les résidus étaient encore négatifs, il s'agit donc bien d'un effet personnel. Notons encore que pour les trois observateurs étudiés, l'effet reste identique, en grandeur et en signe.

La cause de cet effet est douteuse. Je pense qu'il pourrait être dû à la variation de la sensibilité chromatique de l'oeil pendant l'accoutumance à l'obscurité. L'astrolabe utilise des pupilles d'entrée excentrées sur l'objectif, le spectre secondaire s'étale dyssymétriquement, au-dessus de l'une des images blanches et au-dessous de l'autre. Supposons que l'observateur maintienne les deux images blanches, qui correspondent au minimum focal, en coïncidence ; s'il se met à pointer les deux pseudo-images rouges obtenues, par exemple, par la brusque interposition d'un filtre entre son oeil et l'oculaire, il les verra écartées : la hauteur d'observation des images rouges n'est pas la même que celle des images blanches. Cet effet devrait donner une équation de type spectral, mais les couleurs des étoiles ne varient pas assez pour la rendre sensible. Par contre, il semble, par expérience personnelle, que les premières étoiles pointées soient visiblement rouges et empâtées.

Cette tentative d'explication importe peu d'ailleurs. L'effet est maintenant bien connu, quantitativement, et les résidus ont été corrigés pour en tenir compte. Mais,

comme il est préférable de supprimer une erreur systématique, plutôt que la corriger a posteriori, depuis le 1er octobre 1957, les observateurs pointent systématiquement au moins 5 étoiles, qui sont rejetées, avant les étoiles du groupe. On voit, sur la figure 1, que cette méthode fait disparaître, en grande partie, cette erreur d'adaptation. Pour les résultats obtenus antérieurement au 1er octobre 1957, on a corrigé les résidus d'après les valeurs du tableau V. Il en résulte de petites corrections qui atteignent $0^s,002$ en temps et $0'',02$ en latitude (tableau VI). Les résultats donnés par la suite tiennent compte de ces corrections, on les a ramenés à ce qu'ils auraient été si le groupe avait été observé en deuxième lieu.

Tableau V. Corrections ajoutées aux résidus pour tenir compte de la variation de distance zénithale au début de la lère série.

rang de l'étoile	1	2	3	4	5	6	7	8-9	10	11-12	13-14	15-30
correction en $0'',01$	+12	+10	+8	+6	+5	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Tableau VI. Corrections ajoutées à la correction de l'horloge et à la latitude pour tenir compte de la variation de distance zénithale d'observation au début de la première série. Unités : en temps, $0^s,0001$
en latitude, $0'',001$

Groupe	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Correction à ΔT	-20	+ 5	+ 2	-11	-12	- 8	-20	- 8	-11	- 5	- 5	+19
à ψ	+17	-21	- 8	-17	-10	-18	+16	+13	- 5	- 2	- 2	+10

Une première estimation de l'écart-type d'une observation isolée.

On a vu que l'écart-type des résidus de la même étoile ne dépendait pas des propriétés de l'étoile, on peut donc le prendre pour caractériser la précision interne des observations. On trouve ainsi :

$$0'',17$$

Par la manière dont elle a été obtenue, cette valeur ne dépend pas des erreurs de catalogue.

Corrections de lissage interne.

Après une année d'observations, on a observé une vingtaine de fois chaque groupe. Le résidu moyen d'une étoile est donc connu avec un écart-type inférieur à $0''{,}04$. On peut songer à utiliser ce résidu moyen, qu'on attribue aux erreurs de catalogue, pour construire un système de corrections de lissage interne.

Supposons qu'au cours de la réduction, on retranche à δh , différence des distances zénithales "observation - calcul", ces résidus moyens. Par la façon même dont ces résidus ont été obtenus, la solution n'est pas modifiée, mais l'accord entre les équations de condition s'améliore. Dans la nouvelle solution ainsi calculée, seuls les écarts-types changent et leurs nouvelles valeurs seront à très peu de chose près celles qui auraient été trouvées en l'absence d'erreurs de catalogue.

Ce n'est pas là la principale utilité des corrections de lissage interne. Il arrive, par temps nuageux, que toutes les étoiles d'un groupe n'aient pas été observées. Le résultat diffère alors de celui qui aurait été donné par le groupe complet, par suite des erreurs de catalogue des étoiles manquantes. Les corrections de lissage interne qui annulent toutes les erreurs de catalogue rendent comparables les résultats des groupes complets et des groupes incomplets.

En pratique, afin d'avoir le résultat final de la réduction sans avoir à attendre que le groupe ne soit plus observable, on utilisera comme corrections de lissage interne les résidus moyens obtenus pendant l'année précédente. Exceptionnellement, pendant la première année, celle qui nous intéresse ici, on a appliqué après-coup les corrections déduites des résidus moyens de la même année. Il en résulte que les écarts-types calculés pour chaque observation d'un groupe sont un peu trop faibles. Il faudrait les majorer de $0''{,}01$ environ.

On donne le tableau complet des résidus moyens M obtenus en 1956-57 (tableau VII). Ces résidus sont à rapprocher de leur écart-type $0''{,}04$ et de celui d'une observation isolée $0''{,}17$. On constate que pour une seule observation d'un groupe d'étoiles, la part des erreurs de catalogue est plus grande que celle des erreurs d'observation.

L'écart-type d'une observation isolée.

Après application des corrections de lissage interne, on obtient l'écart-type en distance zénithale de l'observation de chaque étoile pour le groupe d'étoiles observé.

Tableau VII.

Composition des groupes, on donne le temps sidéral milieu.
Résidus moyens II bruts.

Résidus moyens $\%$ ramenés au groupe moyen (voir chap. VI)
Unité : 0^h,01

Les étoiles FK3 Supp sont désignées par leur n° GC (5 ch.)

n°	groupe a (0h)			groupe b (2h)			groupe c (4h)		
	n°FK3	M	$\%$	n°FK3	M	$\%$	n°FK3	M	$\%$
1	27	- 1	+ 3,0	893	- 6	- 7,8	00094	-26	-34,2
2	01630	+18	+22,3	852	+ 2	+10,1	174	+ 6	+ 7,2
3	758	0	+ 5,7	05256	-25	-37,2	08826	- 6	+ 4,1
4	45	- 9	- 4,8	830	+ 7	+10,8	33	+25	+ 8,8
5	99	-24	-18,1	836	- 6	- 1,0	42	+24	+ 7,4
6	01136	+ 7	+10,9	175	+11	- 0,2	08902	+16	+23,9
7	851	- 9	- 5,1	89	+15	+ 9,2	89	+17	+ 3,6
8	01474	-13	- 9,0	844	+ 1	+ 7,4	259	+17	+24,4
9	767	- 1	+ 5,0	1613	-11	-21,7	16	-25	-33,8
10	87	+26	+32,4	144	- 2	-12,6	255	-13	- 2,7
11	1575	0	+ 4,2	182	+ 8	- 2,6	09581	+23	+32,7
12	28919	-36	-29,9	115	+ 7	+ 1,7	184	+ 4	+ 3,7
13	792	+ 4	+ 9,1	869	+22	+29,9	1158	-28	-22,9
14	112	- 3	+ 2,6	853	-11	- 7,4	230	+36	+46,4
15	783	+12	+17,9	863	- 4	- 1,2	1089	+10	- 2,7
16	859	- 8	- 4,3	1032	+25	+28,7	32	-27	-36,8
17	122	-15	- 8,9	04944	+ 4	- 5,8	1094	- 8	-20,7
18	30219	-22	-17,3	27	+ 9	+14,9	06259	+ 5	+ 2,9
19	1032	+10	+13,6	01136	+ 1	+ 6,4	1030	-12	-24,0
20	811	+ 4	+ 8,9	1089	- 2	- 7,0	292	+27	+36,9
21	129	- 4	+ 2,2	139	-12	-19,5	01454	-22	-29,9
22	1068	+16	+20,4	1094	-19	-24,1	1068	+ 2	-14,4
23	809	+12	+18,3	32409	-27	-20,7	261	-21	-12,3
24	1568	+18	+23,2	06556	-17	-29,1	46	-14	-20,4
25	803	- 5	+ 1,0	06288	+31	+24,0	100	+16	+ 0,1
26	03759	+13	+19,4	1157	+27	+15,7	211	-25	-26,0
27	880	- 1	+ 2,7	882	-17	-13,0	52	+21	+ 6,9
28	881	+11	+14,7	66	-11	- 7,4	1163	-22	-20,3

Tableau VII. (suite)

n°	groupe d (6h)			groupe e (8h)			groupe f (10h)		
	n°FK3	M	‰	n°FK3	M	‰	n°FK3	M	‰
1	37	-56	-56,4	04858	-40	-33,6	1300	-18	-16,5
2	300	+ 9	+ 9,1	383	- 7	+ 4,0	234	- 8	-11,0
3	296	-27	-27,6	14688	+38	+50,0	405	- 1	- 1,4
4	314	-22	-22,2	12496	+ 7	+13,9	233	- 5	- 8,5
5	1182	-12	-13,2	241	- 2	- 0,1	458	-28	-26,1
6	02836	- 4	- 5,1	403	+22	+33,9	472	- 1	0,0
7	03759	-10	-10,3	1244	- 8	- 0,5	237	- 4	- 8,5
8	1173	-23	-24,6	06288	-24	-14,9	1207	0	- 5,8
9	08965	+17	+15,5	417	-10	+ 2,1	486	+21	+22,3
10	93	+16	+14,6	14491	- 2	+ 8,6	1228	0	- 5,0
11	1116	+15	+10,9	192	-31	-27,9	1176	-11	-16,3
12	06259	- 8	-10,2	185	+ 4	+ 7,5	305	- 7	-12,9
13	174	+17	+14,8	269	- 8	- 5,8	16754	+12	+13,3
14	12761	+16	+16,1	08965	- 2	0,0	08826	+ 9	+ 4,5
15	144	+ 9	+ 7,0	1239	-16	-10,0	296	+34	+27,9
16	310	+44	+44,2	1145	+23	+26,3	1338	+37	+39,0
17	279	+ 6	+ 4,6	175	+14	+20,0	500	- 8	- 6,2
18	355	+33	+33,2	178	- 5	+ 2,7	15162	-13	-14,6
19	108	- 5	- 6,1	06556	+32	+35,4	1239	-11	-16,2
20	358	+ 8	+ 8,0	371	+ 7	+14,5	422	-14	-15,4
21	148	- 3	- 4,9	13143	+ 5	+11,4	18504	+ 5	+ 7,0
22	06048	+19	+16,8	14086	-18	- 9,5	18356	+ 2	+ 4,1
23	211	-14	-16,2	254	- 5	- 3,1	12496	+17	+11,4
24	1096	-34	-34,7	182	+14	+20,7	1195	-12	-17,5
25	1232	+ 7	+ 6,4	395	+17	+28,4	16050	+ 6	+ 5,0
26	122	+12	+11,2	279	+10	+12,1	1318	0	+ 0,2
27	328	- 8	- 8,9	440	+ 1	+13,1	12326	+12	+ 6,0
28				10707	+12	+14,4	10377	-14	-19,2
29				447	- 1	+10,9			
30				260	-27	-17,2			

Tableau VII. (suite)

n°	groupe g (12h)			groupe h (14h)			groupe i (16h)		
	n°FK3	M	☉	n°FK3	M	☉	n°FK3	M	☉
1	1323	-14	- 9,4	412	-15	-13,2	25362	+ 4	+ 0,2
2	19742	+ 2	+ 0,1	608	-12	-28,0	1440	+ 6	+ 5,8
3	18741	+14	+16,7	576	- 4	-20,6	672	- 1	- 4,6
4	371	+ 5	+ 4,2	619	+ 8	- 2,3	1316	+21	+31,9
5	11424	- 1	- 8,6	466	+26	+21,7	618	- 7	- 5,3
6	17225	-12	- 7,3	627	+ 5	- 8,9	456	-10	- 0,6
7	540	+10	+10,4	1396	-22	-37,3	472	+ 7	+13,1
8	317	- 7	-15,3	17225	+ 7	+ 2,8	695	-12	-13,0
9	1370	+23	+25,4	22172	+25	+ 8,5	16985	-26	-16,4
10	1397	0	- 2,0	16752	-20	-22,0	522	- 3	+ 8,2
11	535	- 8	- 6,2	403	-25	-25,4	467	- 8	+ 1,0
12	1395	- 7	- 7,5	578	+10	- 5,8	1460	0	- 0,9
13	405	+14	+14,4	398	- 5	- 2,9	26138	+12	+ 7,8
14	422	-16	-14,2	16051	+ 7	+ 8,2	667	+24	+22,6
15	571	+22	+18,9	639	-14	-25,3	22802	-21	-19,8
16	338	0	- 8,6	21534	+ 2	-14,4	714	-13	-14,4
17	1258	+25	+22,0	1318	+20	+19,0	675	+21	+21,3
18	14086	-11	-13,1	420	+18	+20,8	1400	- 9	+ 0,5
19	1379	+11	+ 4,5	612	+25	+17,4	1468	+ 7	+ 6,3
20	550	+ 4	- 2,4	22020**	+23	+ 6,5	733	-14	-18,2
21	12646*	- 2	-10,5	416	0	+ 2,1	18009	+18	+28,8
22	13364	-41	-49,6	653	- 2	-16,9	1383	+11	+22,6
23	1380	-23	-19,4	23172	-32	-48,6	1494	- 2	- 2,2
24	357	+ 7	- 1,6	590	+14	+ 7,7	20224	+21	+32,2
25	1304	-21	-19,0	433	- 2	- 2,5	534	+ 4	+16,1
26	15319	+43	+42,8	429	+ 1	+ 1,7	1396	-31	-19,7
27	353	- 3	-10,4	1332	-10	-10,1	713	+ 1	- 1,8
28	355	-14	-22,4	21552	-12	-26,4	500	0	+ 8,7
29				15875	-16	-13,7			

* Position moyenne définitive du FK3 Supp (voir erratum FK3 Supp).

** Positions apparentes prises dans les éphémérides soviétiques. Il faudrait ajouter -0^h,25 à M et ☉ pour avoir l'écart par rapport au FK3 Supp.

Tableau VII. (suite)

n°	groupe j (18h)			groupe k (20h)			groupe l (22h)		
	n°FK3	M	\overline{m}	n°FK3	M	\overline{m}	n°FK3	M	\overline{m}
1	550	- 4	- 2,4	598	- 4	-11,7	1515	- 3	- 6,9
2	28537	+16	+ 4,9	848	-11	- 9,1	859	- 3	- 0,2
3	572	+15	+21,2	690	+21	+18,6	25085	- 3	-10,4
4	782	+12	+ 2,2	1583	-39	-35,8	685	-13	-18,8
5	1521	- 3	-14,5	863	- 1	- 2,0	1539	- 3	- 4,0
6	618	+ 2	+ 4,6	1539	+11	+13,7	759	-10	-12,4
7	563	+ 2	+ 9,1	1434	+23	+15,4	1009	-16	- 6,7
8	531	+ 8	+15,0	1575	+20	+23,7	760	+29	+25,7
9	732	- 3	-13,3	25003	+ 5	+ 1,4	714	+ 1	- 3,4
10	25954	-14	-21,9	31998	- 3	- 0,9	724	- 5	-11,9
11	593	+ 2	+ 7,6	22398	-27	-34,8	1510	+ 5	- 1,4
12	555	-15	- 7,3	851	- 3	- 5,6	893	+31	+31,5
13	27677	-19	-30,0	852	-21	-17,7	881	+ 1	+ 8,7
14	28242	- 8	-19,5	627	- 3	-10,7	1549	+42	+40,2
15	703	+ 9	+ 2,7	681	+10	+ 5,0	1	-13	- 3,9
16	568	0	+ 7,5	1565	+ 1	+ 4,4	46	+ 6	+ 9,8
17	803	+12	+ 3,5	869	+ 3	+ 5,9	740	-11	-17,8
18	1515	+10	+ 0,4	823	+15	+18,6	1521	+ 3	- 3,5
19	770	-17	-21,6	26569	- 6	- 8,0	1629	+ 1	+ 9,2
20	554	- 2	+ 2,1	32388	+50	+47,9	26475	- 9	-15,9
21	573	+17	+24,7	1462	-35	-42,2	726	+ 4	- 3,2
22	1414	- 5	+ 2,4	639	+29	+21,8	55	+14	+17,8
23	1397	- 2	+ 4,6	1479	-28	-33,2	57	- 3	+ 4,9
24	1440	+43	+47,6	1488	+12	+ 7,7	63	+21	+26,1
25	565	-17	-13,3	670	0	- 6,6	19	+10	+19,1
26	1572	- 9	-17,9	899	+ 4	+ 4,6	42	-37	-27,6
27	809	-28	-34,2	857	-10	- 6,3	738	-37	-44,4
28	30391	+43	+32,2	664	-13	-20,0	1054	+ 3	+10,1
29	1465	-54	-52,4						
30	759	+ 9	+ 5,8						

La figure 3 montre la distribution de ces écarts-types pour MM. Arbey et Guinot. On trouve comme valeur modale 0",17 (la valeur moyenne en diffère peu). Il en résulte que la valeur la plus fréquente (et la valeur moyenne) des écarts-types sont, pour des groupes complets :

sur le temps : 0^s,0043
sur la latitude : 0",050

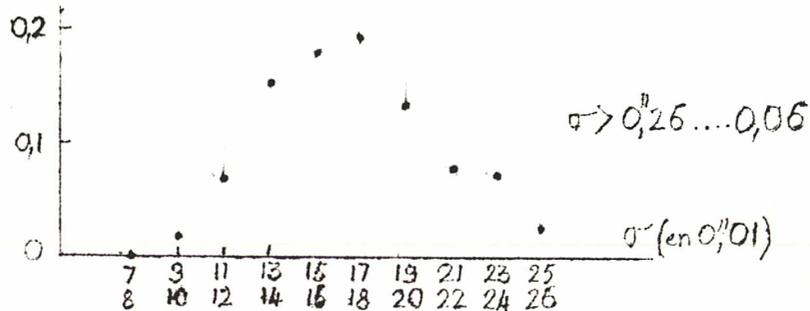


Fig. 3. Fréquence relative des écarts-types d'une observation isolée.

Si l'on ne fait pas les corrections de lissage interne, on trouve un écart-type de 0",24, en moyenne, pour une observation isolée et de 0^s,006 et 0",07 sur le temps et la latitude. Mais ces nombres ne représentent pas la précision des observations.

On peut rechercher si l'écart-type évolue dans le temps. Pour cela, on en fait les moyennes mensuelles (tableau VIII). Ces moyennes portent sur les résultats de MM. Arbey et Guinot qui sont de même qualité. L'évolution est peu apparente. L'accord des fortes valeurs en juillet-août 1956 et 1957 est probablement fortuit : en 1956, les observateurs manquaient d'entraînement et ils n'utilisaient que le distributeur à petite course. Seules les valeurs de 1957 peuvent laisser penser que la dispersion augmente pendant l'été.

Tableau VIII. Moyennes mensuelles des écarts-types pour MM. Arbey et Guinot.

mois	moyenne des écarts-types	mois	moyenne des écarts-types
1956 juillet	0",20	1957 avril	0",18
août	22	mai	18
sept.	19	juin	20
oct.	19	juillet	21
nov.	16	août	21
déc.	20	sept.	17
1957 janvier	16	oct.	17
février	17	nov.	17
mars	16	déc.	19

Par des circonstances atmosphériques excellentes, l'écart-type s'abaisse parfois à $0'',10$. Il a même atteint deux fois $0'',09$. Ces valeurs se rapportent à des groupes complets de 28 étoiles et il est difficile d'admettre qu'elles sont dues au hasard. La précision intrinsèque de l'astrolabe est donc caractérisée par un écart-type de $0'',10$ au plus ; la limitation de précision est apportée habituellement par l'agitation atmosphérique.

=====

V. Influence des erreurs sur certaines constantes de l'astronomie.

Généralités.

Les 12 groupes observés ont été désignés par les lettres a à l. Les résultats de chaque groupe porteront en indice la lettre du groupe. Le but du raccordement est de déterminer les différences systématiques en temps, telles que $\Delta T_a - \Delta T_b$, ΔT étant la correction de l'horloge (1), et en latitude : $\varphi_a - \varphi_b$. Mais ce n'est pas tout, l'observation donne aussi la distance zénithale réelle d'observation z et, pour les travaux sur les catalogues d'étoiles, nous aurons à utiliser les différences $z_a - z_b$, etc ...

Après un an d'observations, la chaîne des différences est fermée et les sommes telles que

$$(\Delta T_a - \Delta T_b) + \dots + (\Delta T_l - \Delta T_a),$$

doivent être nulles. Elles ne le sont pas, en général, par suite des erreurs d'observation, des variations périodiques diurnes ou semi-diurnes des grandeurs à mesurer et des erreurs dans le calcul des coordonnées apparentes des étoiles.

Les variations à courte période de la latitude et de la correction de l'horloge ne sont pas encore très bien connues et leur détermination expérimentale pourra faire l'objet d'analyses des résultats obtenus pendant un laps de temps assez long. Par contre, on peut prévoir la forme des corrections à apporter aux résultats pour tenir compte des erreurs sur les constantes astronomiques qui entrent dans la réduction. Une erreur sur la constante de l'aberration, par exemple, a un rôle qui est propre au mode d'observation et que nous allons étudier. Nous verrons aussi que l'erreur sur la nutation modifie peu à peu le raccordement et qu'on peut en déduire, avec une approximation satisfaisante, la correction à la constante de la nutation.

Influence de la constante de l'aberration sur les résultats.

Rappelons, pour fixer les notations, que dans les observations de hauteurs égales on calcule δh , qui est :

(1) Il faut tenir compte de la marche de l'horloge pour comparer les résultats des groupes. L'erreur sur la marche est tout à fait négligeable.

δh = distance zénithale observée - distance zénithale calculée. Pour faire le calcul de δh , on passe par l'intermédiaire des instants de passage, calculé et observé, mais il convient de garder ici la définition portant sur les distances zénithales. Précisons : la distance zénithale observée se déduit de la distance zénithale apparente d'observation par le calcul supposé exact de la réfraction et de termes correctifs, elle n'est fixée qu'à une constante près. La distance zénithale calculée se déduit du temps du passage au moyen des valeurs approchées de la correction de l'horloge et de la latitude et au moyen des coordonnées α et δ de l'étoile : c'est la distance zénithale calculée qui sera affectée par les erreurs sur les constantes astronomiques qui entrent dans la réduction.

Soient $x/\cos\varphi$, y et $-dz$ les corrections à ajouter à la correction de l'horloge, à la latitude et à la distance zénithale instrumentale d'observation dont on avait choisi des valeurs approchées arbitraires ; on a à résoudre le système des n équations, n étant le nombre des étoiles du groupe :

$$(1) \quad x \sin Z + y \cos Z - dz + \delta h = 0.$$

Z est l'azimut compté à partir du Nord, positivement vers l'Est. Pour résoudre graphiquement ces équations, on trace, à partir de l'origine O des axes x , y , une demi-droite qui fait l'angle $Z + 180^\circ$ avec Oy (compté dans le sens inverse). On porte sur cette demi-droite la distance $OH = \delta h$ et l'on fait passer par H une droite D qui lui est perpendiculaire. En l'absence de toute erreur, les droites D enveloppent un cercle de centre x , y et de rayon dz . Après avoir résolu les équations (1), on peut tracer les droites de hauteur Δ en portant, cette fois, à partir de l'origine la distance $\delta h - dz$. Les droites de hauteur, qui sont à la distance dz des droites D sont concourrantes au point x , y qu'on appelle ω .

Le problème qui se pose est le suivant : dans quelle mesure une erreur sur la constante de l'aberration affecte le point ω (x, y) et aussi dz , que nous appellerons désormais, pour simplifier le langage, le rayon du cercle ajusté ?

Considérons la sphère céleste (fig. 4) sur laquelle sont portés le zénith vrai Z , l'almucantarât qui correspond à la distance zénithale constante d'observation, les positions vraie et apparente A et A' de l'astre et l'apex du mouvement de l'observateur V . On définit A , A'

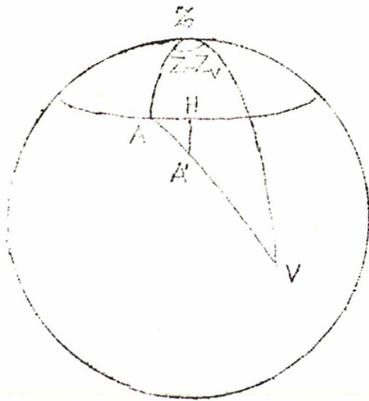


Fig. 4

et V par leur coordonnées horizontales, azimut et distance zénithale : $A(Z, z)$, $A'(Z', z')$, $V(Z_V, z_V)$. Appelons encore v le côté AV du triangle $\triangle AV$ et U son angle en A ; son angle en Z est $Z - Z_V$. On sait que A, A' et V sont sur un grand cercle et que $AA' = k \sin v$, k représentant la constante de l'aberration.

AA' se projette en AH sur l'almucantarât. $HA' = -k \sin v \cos U$ est, en grandeur et en signe, la correction qu'il faut ajouter à la distance zénithale calculée, ou retrancher à δh , pour tenir compte de l'aberration. On pose :

$$HA' = -d\delta h.$$

Désignons par δh_y et δh les distances zénithales "observation - calcul", suivant qu'on a fait le calcul en négligeant l'aberration ou en en tenant compte,

$$\delta h = \delta h_y + d\delta h.$$

δh est la quantité qui doit être utilisée pour la réduction, puisque la distance zénithale observée est apparente. Or, en considérant le triangle $\triangle AV$, on peut écrire :

$$(2) \quad -d\delta h = -k \cos z_V \sin z + k \sin z_V \cos z \cos(Z - Z_V).$$

Si l'on néglige la durée de l'observation d'un groupe, Z_V et z_V sont des constantes et la formule (2) s'interprète aisément : les effets sur le rayon et ceux sur le temps et la latitude se séparent comme nous allons le montrer. Posons :

$$(3) \quad d\delta h_1 = k \cos z_V \sin z$$

$$(4) \quad d\delta h_2 = -k \sin z_V \cos z \cos(Z - Z_V).$$

I. Correction au rayon.

$d\delta h_1$ reste constant. Il exprime un changement du rayon du cercle ajusté : $dR = d\delta h_1$. Lorsque l'apex est au dessus de l'horizon, il faut augmenter le rayon pour tenir compte de l'aberration. Les expressions (2), (3) et (4) restent également vraies si $d\delta h_y$ représente la différence des distances zénithales "observation - calcul" pour une valeur approchée k_0 de k . Il suffit de remplacer k par dk , dk étant la correction à ajouter à k_0 pour

obtenir la valeur exacte de la constante de l'aberration. Il en résulte que, pour un groupe déterminé que l'on commence à observer le matin (l'apex est alors au dessus de l'horizon) et que l'on suit jusqu'à ce qu'il s'observe le soir, le rayon du cercle ajusté doit évoluer si la valeur de la constante de l'aberration, utilisée pour les réductions, n'est pas exacte. En particulier, si cette valeur est trop faible, comme il paraît vraisemblable, le rayon du cercle ira en augmentant. Cette pulsation du cercle ajusté pourrait à elle seule fournir la constante de l'aberration si l'on pouvait supposer que la distance zénithale apparente d'observation reste constante durant l'année. Il ne semble pas, malheureusement qu'il en soit ainsi. Remarquons déjà que si l'on retouche l'inclinaison des fils du réticule, on la fait varier. Mais, comme le rayon varie dans le même sens pour tous les groupes, si l'on forme les différences de rayon entre groupes, la somme de ces différences, pour un an, qu'on appellera ξ_R ,

$$\xi_R = (dz_a - dz_b) + \dots + (dz_1 - dz_2),$$

ne sera pas nulle et elle sera fonction de la constante de l'aberration.

Indiquons maintenant la grandeur de ces effets. Soit T le temps sidéral de l'observation d'un groupe. Si l'on considère la sphère céleste (fig. 5), on constate que la

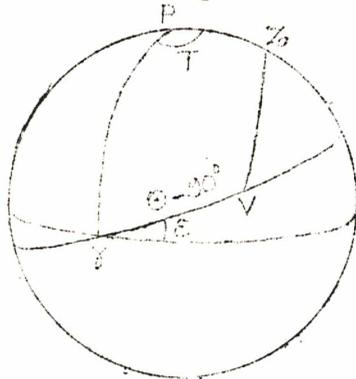


Fig. 5

connaissance de T suffit à déterminer la position du point vernal et de l'écliptique par rapport à la sphère locale. La longitude de l'apex est $\odot - 90^\circ$, où \odot représente la longitude du soleil. dR , ou $d\phi_{h_1}$, est une fonction sinusoidale de \odot . Le tableau IX donne l'expression de dR pour chaque groupe d'étoiles observé à Paris.

Si l'on prend, par exemple, $dk = + 0''{,}04$, l'amplitude de la variation du rayon pourrait être, au maximum, de $0''{,}036$ pour le groupe d que l'on aurait observé le plus longtemps possible.

La figure 6 représente la variation de $-dR$. C'est la variation du rayon des groupes calculé avec la valeur approchée k_0 à laquelle il faudrait ajouter la correction dk . Sur la figure, on a hachuré les aires comprises entre

les groupes consécutifs pour les périodes où ils doivent normalement être observés. On constate que les différences varient peu et qu'elles sont voisines de 0,16 dk.

Tableau IX. Corrections à ajouter au rayon pour tenir compte d'une erreur dk de la constante de l'aberration.

groupe,	temps sidéral	dR
a	0h	+ 0,36 sin (☉ - 24°) dk
b	2	+ 0,41 46
c	4	+ 0,45 68
d	6	+ 0,45 90
e	8	+ 0,45 117
f	10	+ 0,41 134
g	12	+ 0,36 156
h	14	+ 0,29 180
i	16	+ 0,20 212
j	18	+ 0,15 270
k	20	+ 0,20 328
l	22	+ 0,29 0

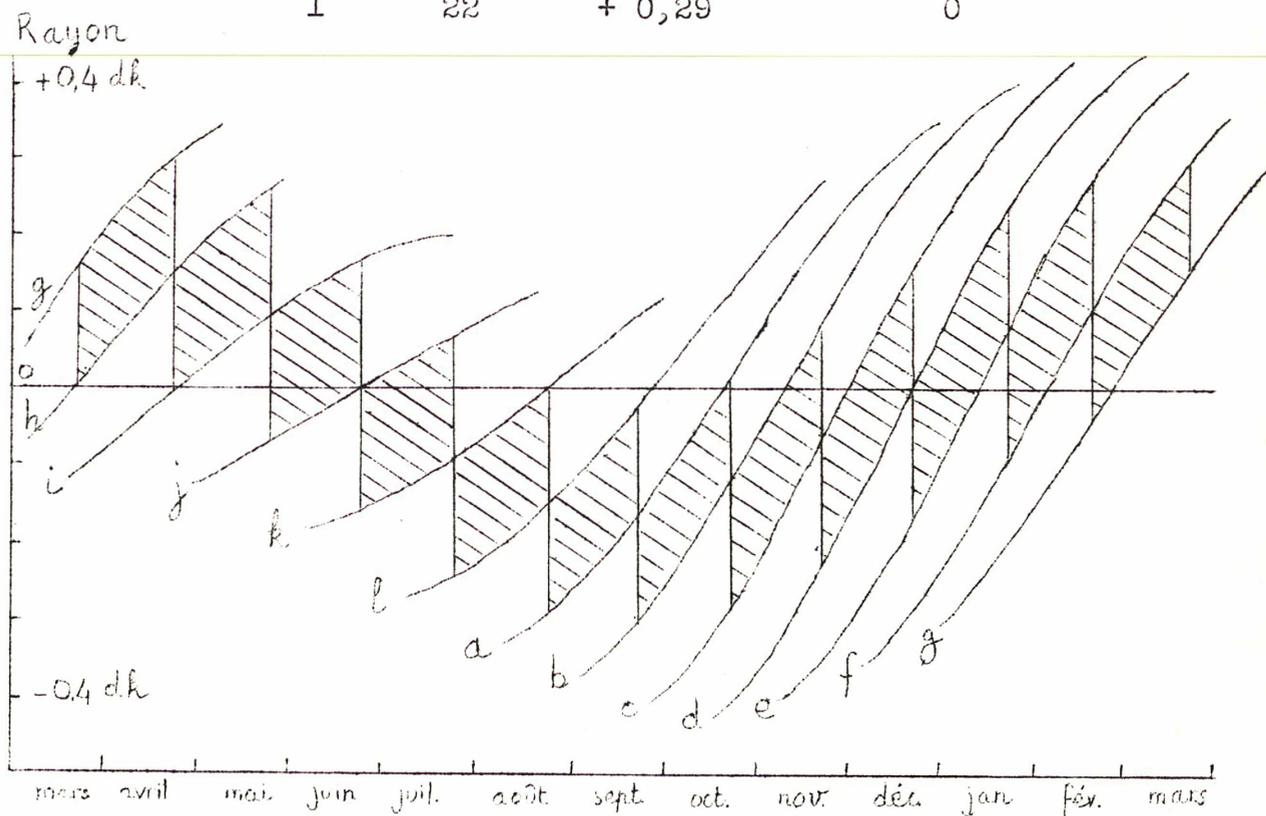


Fig. 6. Variation du rayon de chaque groupe, due à une erreur dk de la constante de l'aberration (dk et rayon dans la même unité).

Soit R la valeur de dz qu'on trouverait en faisant usage de la valeur exacte de k . On a, dz étant la valeur correspondant à la valeur approchée k_0 :

$$R = dz + dR.$$

Tous les groupes ne donneront pas la même valeur de R à cause des erreurs de catalogue. Mais on doit avoir :

$$(R_a - R_b) + \dots + (R_l - R_a) = 0.$$

On a donc :

$$-\varepsilon_R = (dR_a - dR_b) + \dots + (dR_l - dR_a),$$

en considérant que les différences restent constantes pour chaque paire de groupes. On voit que ε_R est voisin de $+2,0 dk$. On a donc là un moyen de mesurer la constante de l'aberration et cette fois les variations de la distance zénithale au cours de l'année n'interviennent pas : il suffit que la distance zénithale reste constante au cours de la nuit. Pour un calcul précis, on tiendra compte des valeurs réelles variables des différences $dR_a - dR_b, \dots$; cela s'impose, notamment, si les groupes ont été observés en dehors de la période assignée par le programme.

Remarquons, enfin, qu'il y a un terme annuel dans la variation du rayon, dû à l'aberration. Si le programme est rigoureusement suivi, l'amplitude de ce terme est $0,3 dk$.

2. Corrections au temps et à la latitude.

Le deuxième terme de $d\delta h$:

$$d\delta h_2 = -k \sin z_V \cos z \cos(Z - Z_V),$$

est nul en moyenne, il n'exprime aucun changement de rayon. Son interprétation est très simple : les droites de hauteur (fig. 7), qui tracées en tenant compte de l'aberration se seraient coupées en ω' se coupent en ω si on la néglige. ω s'obtient en portant dans la direction opposée à l'apex la longueur

$$\omega\omega' = k \cos z \sin z_V.$$

Cela permet d'énoncer une proposition générale : le zénith apparent déterminé par la méthode des hauteurs égales se conduit, vis à vis de l'aberration, comme une étoile zénithale, mais il faut multiplier l'effet par

$\cos z$, z étant la distance zénithale constante d'observation.

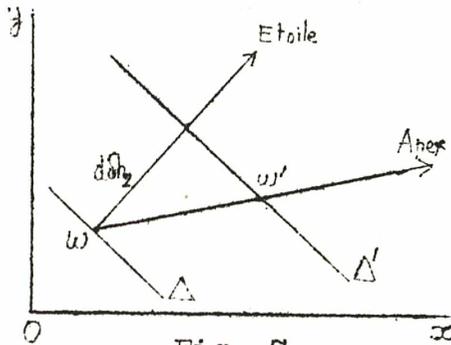


Fig. 7

Comme première application, on peut retrouver le résultat connu sur l'aberration diurne : l'apex se trouve à l'Est et dans l'horizon. La vitesse de l'observateur est $V \cos \varphi$, V étant la vitesse équatoriale due à la rotation de la terre (il suffit, ici, de supposer la terre sphérique). On a :

$$\omega \omega' = \frac{V \cos \varphi}{c} \cos z$$

La correction à ajouter à ΔT , si l'on n'a pas tenu compte de l'aberration diurne est : $V/c \cos z$. Elle dépend de la distance zénithale, mais non de la latitude. Pour l'astrolabe, cette correction invariable est +0s,0184. D'autre part, si l'on se reporte à la formule (3), on voit qu'il n'y a pas de changement de rayon, ce qui était évident a priori.

Si l'on considère maintenant l'aberration annuelle, on retrouve une méthode maintes fois appliquée pour déduire la constante de l'aberration des observations de latitude faites aux lunettes zénithales.

On suppose que l'on observe un groupe de temps sidéral de passage T à différentes époques de l'année. Comme on l'a montré à propos du rayon, l'écliptique garde une position fixe par rapport au système de référence local. Le zénith apparent Z' se trouve entre Z et l'apex V (fig. 8) et

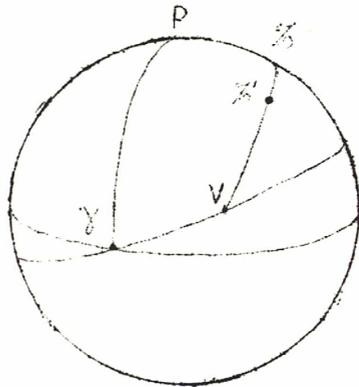


Fig. 8

$$ZZ' = k \cos z \sin \gamma.$$

Or, $\sin \gamma$ est proportionnel à la projection de ZV sur l'horizon et ω décrit, par rapport à ω' , au cours de l'année, une ellipse dont le demi-grand axe est $k \cos z$. On peut calculer le lieu de ω en utilisant les constantes pour la réduction des étoiles de Bessel : on recherchera l'effet de l'aberration en α

et en δ pour une étoile d'ascension droite T et de déclinaison φ . Commençons par la latitude.

Pour Paris et $z = 30^\circ$, on en déduit les corrections du tableau X à ajouter à la latitude. La figure 9 représente les pseudo-variations de la latitude lorsqu'on fait usage d'une valeur approchée de k . Comme pour l'étude du rayon, on calculera, ou l'on mesurera sur le graphique les différences $d\varphi_a - d\varphi_b, \dots$. Ici aussi, on a hachuré les aires comprises entre les groupes consécutifs, pour les périodes

Tableau X. Corrections à ajouter à la latitude pour tenir compte d'une erreur dk de la constante de l'aberration.

groupe	temps sidéral	$d\varphi$	
a	0h	- 0,69	$\sin(\odot - 541^\circ)dk$
b	2	- 0,56	7
c	4	- 0,45	41
d	6	- 0,38	90
e	8	- 0,45	140
f	10	- 0,56	173
g	12	- 0,69	199
h	14	- 0,77	223
i	16	- 0,81	242
j	18	- 0,83	270
k	20	- 0,81	294
l	22	- 0,77	317

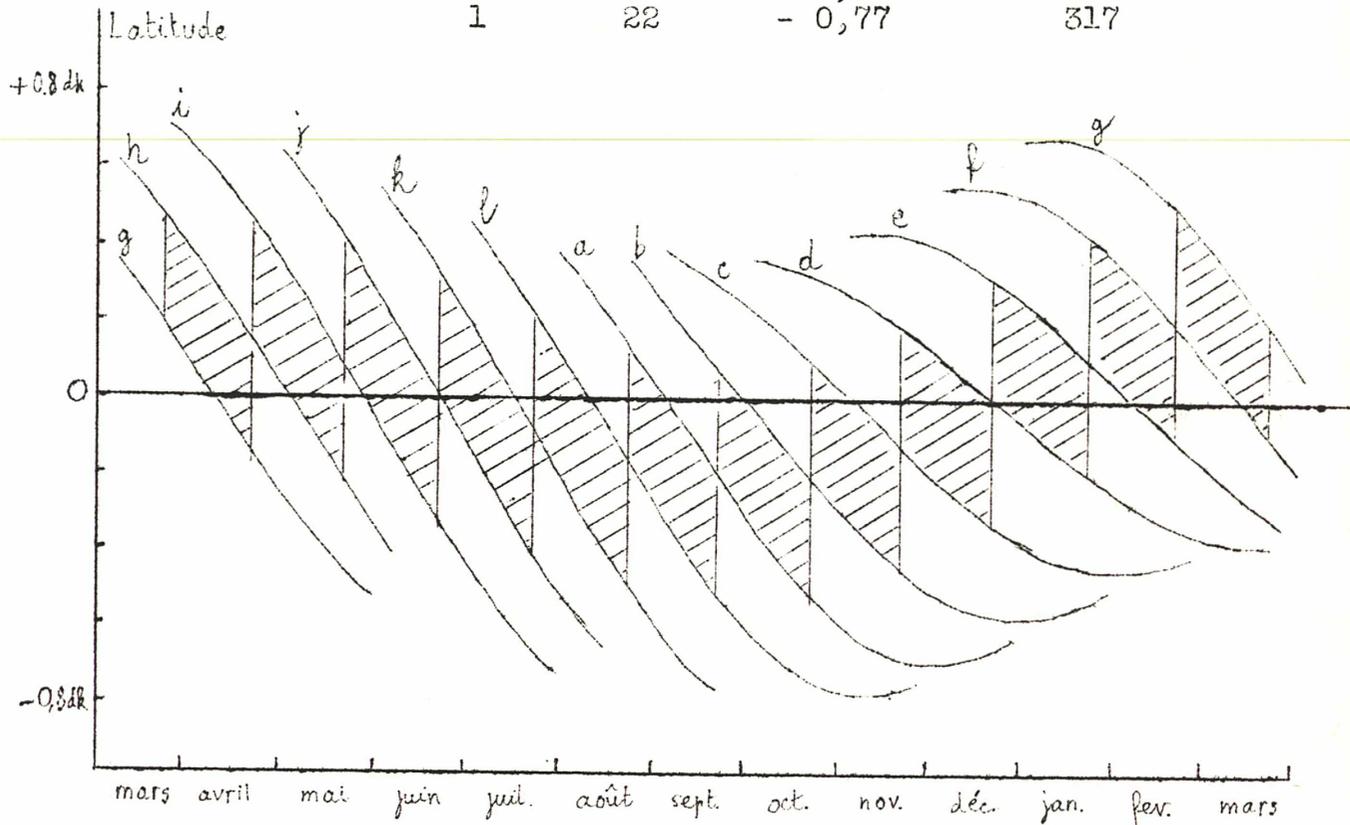


Fig. 9. Variation de la latitude donnée par chaque groupe, due à une erreur dk de la constante de l'aberration (dk et latitude dans la même unité).

d'observation du programme : dans ces périodes, les différences entre groupes varient peu et l'on en déduit l'ordre de grandeur de l'équation de fermeture à attendre : - 3,8 dk. Comme pour le rayon, les différences systématiques entre groupes, dues au catalogue, s'éliminent. Pour faire le calcul exact de la constante de l'aberration, on calculera la valeur de dk pour chaque observation d'une paire de groupes. Nous donnerons plus loin l'application numérique de cette méthode.

La correction de l'horloge, pour des groupes observés au milieu de la nuit, est presque stationnaire. Faisons, comme pour le rayon et la latitude, le calcul de ses pseudo-variations. Appelons dAT la correction qu'il faudrait ajouter à la correction de l'horloge, si l'on avait fait la réduction en négligeant l'aberration, pour obtenir le résultat exact (1). Posons :

$$dx = dAT \cos \varphi,$$

Les expressions de dx, pour les groupes observés à Paris, sont données dans le tableau XI. Ici, on voit que l'équation de fermeture du raccordement en temps sera peu affectée par une erreur sur la constante de l'aberration : aux dates du changement du programme, dx est maximum (fig. 10). Mais les corrections de l'horloge, données par un groupe qui serait suivi aussi longtemps que possible, subissent une évolution. Par exemple, si la constante de l'aberration était trop faible de 0",04, la correction de l'horloge pourrait décroître de 0s,003, puis croître de la même quantité. Un tel effet pourrait être mis en évidence en se référant à de bonnes horloges à quartz.

Ainsi, tous les résultats de l'astrolabe sont affectés d'une façon sensible par une erreur sur la constante de l'aberration. On peut en déduire une valeur de cette constante, mais il faut, auparavant, examiner le rôle des parallaxes stellaires qu'on a négligées au cours de la réduction.

Influence des parallaxes négligées.

Le calcul est identique à celui fait à propos de l'aberration, en ce qui concerne le déplacement d'une droite de hauteur quand on omet la parallaxe de l'étoile.

(1) Dans l'étude des termes correctifs à ΔT , on a omis systématiquement le facteur de conversion de temps sidéral en temps moyen. Son influence est négligeable.

Tableau XI. Corrections à ajouter à la correction de l'horloge, pour tenir compte d'une erreur dk de la constante de l'aberration.

groupe	temps sidéral	$d\Delta T \cos \psi$	
a	0h	- 0,79	$\cos \odot$ dk
b	2	- 0,81	$\cos(\odot - 32^\circ)$ dk
c	4	- 0,85	52
d	6	- 0,87	90
e	8	- 0,85	118
f	10	- 0,81	148
g	12	- 0,79	180
h	14	- 0,81	212
i	16	- 0,85	242
j	18	- 0,87	270
k	20	- 0,85	298
l	22	- 0,81	328

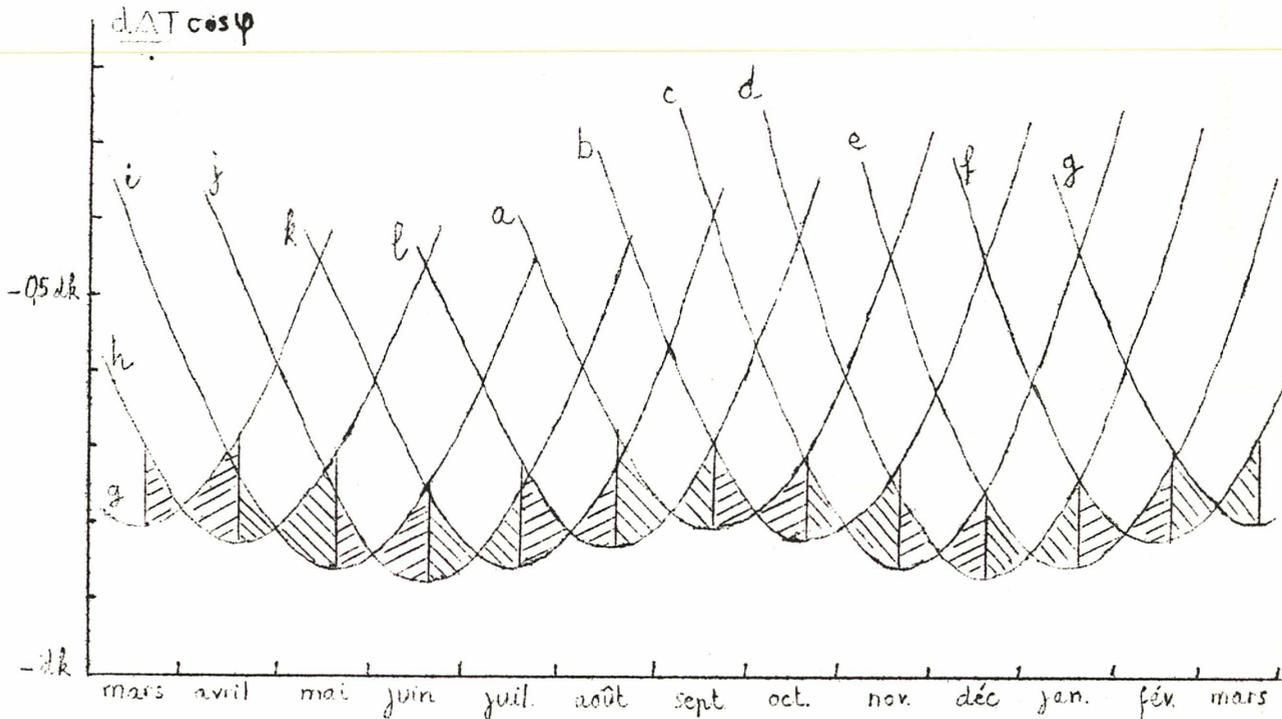


Fig. 10. Variation de la correction de l'horloge donnée par chaque groupe, due à une erreur dk de la constante de l'aberration (dk et $d\Delta T \cos \psi$ dans la même unité).

Il suffit de remplacer, dans la formule (2), $\odot - 90^\circ$ par \odot et k par Π , Π étant la parallaxe de l'étoile. Mais, alors que pour l'aberration, k était une constante pour toutes les étoiles, ici cette circonstance simplificatrice ne se produit plus. En toute rigueur, il faudrait calculer l'effet des parallaxes sur un groupe en tenant compte des valeurs individuelles des parallaxes. Les erreurs sur ces valeurs n'auraient qu'un rôle négligeable, étant donné le nombre des étoiles du groupe.

Comme les réductions doivent être refaites avec les éphémérides améliorées que nous fournira l'institut de calculs de Heidelberg (voir chapitre III), éphémérides qui contiendront les corrections pour les parallaxes supérieures à $0''{,}010$, nous n'avons pas apporté de corrections pour les parallaxes inférieures à $0''{,}050$ qui sont négligées dans les réductions actuelles. Recherchons, au moins d'une façon approchée, quel est l'effet global de ces parallaxes négligées.

Soit $d\delta h$ la correction qu'il faudrait ajouter à δh pour tenir compte de la parallaxe.

$$(5) \quad d\delta h = \Pi [\cos z_0 \sin z - \sin z_0 \cos z \cos(Z - Z_0)],$$

z_0 et Z_0 , désignant la distance zénithale et l'azimut du soleil. Pour un groupe d'étoiles, en considérant z_0 et Z_0 comme constants, la modification du rayon du cercle ajusté est donnée par l'expression :

$$dR = \Pi_m \cos z_0 \sin z,$$

où Π_m est la moyenne des parallaxes du groupe (on considèrera comme nulles les parallaxes dont on a tenu compte). Les modifications à ΔT et ψ sont :

$$d\Delta T = - \frac{\sum d\delta h \sin Z}{\sum \sin^2 Z}, \quad d\psi = - \frac{\sum d\delta h \cos Z}{\sum \cos^2 Z}$$

On voit, en développant les numérateurs, qu'ils contiennent, d'une part des termes en $\sum \Pi$ et, d'autre part des termes en $\sum \Pi \sin Z$, $\sum \Pi \cos Z$, $\sum \Pi \sin^2 Z$ et $\sum \Pi \cos^2 Z$. Comme on a tenu compte des grandes parallaxes, ces derniers termes sont petits vis à vis de ceux en $\sum \Pi$. On corrigera donc la plus grande partie de l'effet des parallaxes négligées en ne tenant compte que des termes en $\sum \Pi$, ou, ce qui revient au même, en attribuant aux parallaxes des étoiles d'un groupe une valeur moyenne Π_m , supposée la même pour toutes. Le calcul est alors identique à celui fait à propos de l'aberration : il suffit de remplacer, dans les expressions finales des corrections aux inconnues \odot par $\odot + 90^\circ$

et k par Π_m, Π_m' , qui varie peu d'un groupe à l'autre est en moyenne égal à $0''$, 014.

Il en résulte les effets suivants :

1. Sur le rayon. Les maxima ne se trouvent pas aux dates de changement de programme (milieu de la période de deux mois d'observation d'un groupe), mais tantôt avant, tantôt après. Le raccordement n'en sera pas affecté en ce qui concerne son équation de fermeture, mais il présentera une petite ondulation, fonction de T , de période 24h.

2. Sur la latitude. On aboutit aux mêmes conclusions que pour le rayon.

3. Sur le temps. Les corrections sont nulles au milieu de la période d'observation des groupes. Il y aura une équation de fermeture qui sera de l'ordre de $+0^s$, 004 et qui pourra être répartie également sur toutes les différences.

Les approximations que nous avons faites : observations supposées concentrées à l'heure milieu du groupe, parallaxes négligées supposées constantes, en moyenne, dans les divers azimuts et pour tous les groupes, permettent une représentation simple des phénomènes. Elles sont suffisantes pour déduire la constante de l'aberration de quelques années d'observations.

On estime que la constante de l'aberration, ainsi mesurée, par erreur de fermeture annuelle, n'est pas exempte d'erreurs systématiques. Ces erreurs seraient dues à la réfraction et aux variations diurnes de la latitude. Si, toutefois, on voulait calculer une valeur précise après un grand nombre d'années d'observations, il y aurait lieu de tenir compte de toutes les parallaxes et de calculer le rôle exact de l'aberration, étoile par étoile.

Influence de la précession et de la nutation.

On aura une représentation suffisante des effets de la précession et de la nutation en supposant, ici encore, que toutes les observations d'étoiles d'un groupe sont concentrées à l'heure sidérale centrale T du groupe. En effet, ce que nous avons en vue est de rechercher la correction à la constante de la nutation. Cette correction est petite et une erreur relative, due au calcul, qui atteindrait, par exemple, un dixième, est tout à fait négligeable devant les erreurs de mesure. Le calcul exact ne présente

d'ailleurs aucune difficulté théorique, mais sa complexité cache le principe de la mesure.

La précession et la nutation étant un mouvement des axes auxquels sont rapportées les positions des étoiles, elles ne produisent qu'un mouvement d'ensemble des droites de hauteur et du cercle ajusté, sans variation de rayon de ce dernier. Les variations de ΔT et de φ sont identiques à celles qu'on constaterait si l'on avait observé le passage au zénith d'une étoile d'ascension droite T et de déclinaison φ . La correction au temps sidéral vrai du passage est égale à la correction de l'ascension droite et la correction à la latitude, à celle de la déclinaison.

Soit p la constante de la précession. Si cette constante est erronée, l'accord interne des groupes subsiste, mais il apparaît dans le raccordement des corrections proportionnelles au temps t :

$$\begin{array}{ll} pt \sin \varepsilon \sin T \operatorname{tg} \varphi & \text{pour la correction de l'horloge} \\ pt \sin \varepsilon \cos T & \text{pour la latitude} \end{array}$$

Appelons ΔN et $\Delta \Omega$ les corrections qu'il faudrait ajouter à N et Ω , nutations en longitude et en obliquité, pour passer des valeurs approchées aux valeurs exactes. Les corrections aux résultats sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \Delta(\Delta T) &= \Delta N \sin \varepsilon \sin T \operatorname{tg} \varphi - \Delta \Omega \cos T \operatorname{tg} \varphi \\ \Delta \varphi &= \Delta N \sin \varepsilon \cos T + \Delta \Omega \sin T \\ \Delta R &= 0 \end{aligned}$$

Les facteurs de ΔN et $\Delta \Omega$ sont constants pour un groupe d'étoiles.

Les termes à courte période par rapport à la durée d'observation d'un groupe (deux mois) se traduiront donc par des oscillations des résultats.

Les termes annuels et semi-annuels affecteront le raccordement d'une façon constante et n'apparaîtront pas.

Les termes à période voisine de l'année affecteront le raccordement, celui-ci évoluera lentement d'année en année, l'effet sera difficile à mettre en évidence.

Plus intéressant est le rôle de l'erreur sur la constante de la nutation : la différence des résultats de deux groupes présentera une variation sinusoïdale en fonction du temps, de période 19 ans, qu'il sera facile de séparer

de la variation progressive due aux erreurs sur les mouvements propres ou la précession. C'est ainsi que J. Jackson [15], puis Spencer Jones [16], ont pu déduire la constante de la nutation des observations de latitude faites avec la lunette zénithale flottante Cookson de l'Observatoire de Greenwich.

Comme notre programme n'a pas à être changé avant que s'achève la révolution du noeud de l'orbite lunaire (et même deux révolutions), on peut s'attendre à obtenir une bonne valeur de la constante de la nutation \mathcal{N} . Recherchons quel sera l'écart-type de \mathcal{N} après 19 ans d'observations, en supposant que la qualité des résultats reste identique à ce qu'elle a été jusqu'à présent.

Considérons deux groupes successifs, observés autour des temps sidéraux T_1 et T_2 . Soit G la différence de leurs résultats en correction de l'horloge, due à la nutation. On peut écrire, avec une approximation suffisante :

$$G = (T_2 - T_1) \frac{d}{dT} (N \sin \varepsilon \sin T \operatorname{tg} \varphi - \Omega \cos T \operatorname{tg} \varphi),$$

avec : $T_2 - T_1 = 2h$ ou $0,524$ radian.

Appelons θ la longitude du noeud de l'orbite lunaire.

$$N = -1,871 \mathcal{N} \sin \theta,$$

$$\Omega = \mathcal{N} \cos \theta.$$

D'où pour Paris, avec $T = 1/2 (T_2 + T_1)$:

$$G = \mathcal{N}(-0,446 \cos T \sin \theta + 0,599 \sin T \cos \theta).$$

La demi-amplitude de la variation de G variera de $0,45 \mathcal{N}$ à $0,60 \mathcal{N}$. Prenons la valeur moyenne $0,53 \mathcal{N}$ pour continuer le calcul d'erreur.

En réalité, la différence observée G comprendra un terme constant G_0 , dû aux erreurs de position des étoiles à l'instant $t = 0$, et un terme progressif μt , dû aux erreurs sur les mouvements propres et la précession, et

$$(6) \quad 0,53 \mathcal{N} \sin(T - \theta) + G_0 + \mu t - G = 0$$

Chaque année, pour la durée d'observation de la paire de groupes, qui est, en principe d'un mois, on peut considérer θ constant. Lorsque le noeud aura accompli une révolution, on disposera de 19 équations (6), à trois inconnues, qu'on pourra résoudre par la méthode des moindres carrés. L'écart-type sur G est connu d'après l'accord des différences entre groupes : adoptons la moyenne des écarts-types des différences obtenues en 1956/57, moyenne qui est de $0s,0020$ ou $0'',030$. Cet écart-type sera aussi

l'écart-type σ des résidus des équations (6).

Quant à l'écart-type sur $0,53 \mathcal{K}$, il est donné par le produit de $0'',030$ par la racine carrée du rapport :

$$\frac{n \sum n^2 - (\sum n)^2}{\Delta}, \text{ avec } \Delta = \begin{vmatrix} \sum \sin^2(T-\theta) & \sum \sin(T-\theta) & \sum n \sin(T-\theta) \\ \sum \sin(T-\theta) & n & \sum n \\ \sum n \sin(T-\theta) & \sum n & \sum n^2 \end{vmatrix}$$

Dans ces expressions, n est le nombre d'années écoulées depuis la première observation de la paire de groupes. Les sommes sont étendues aux diverses valeurs de n et de θ pour les 19 équations. Le rapport varie avec la valeur initiale de θ . En se plaçant dans les meilleures conditions, on a :

$$0,53 \sigma_{\mathcal{K}} = \frac{\sigma}{\sqrt{\sin^2(T-\theta)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{9,5}}$$

La paire de groupes envisagée donne donc \mathcal{K} avec un écart-type de $0'',018$, mais si l'on utilise toutes les observations on dispose de 12 paires de groupes et, si l'on attend quelques années supplémentaires pour obtenir le maximum de précision sur \mathcal{K} , pour chaque paire de groupes, l'étude du raccordement en temps livrera finalement la constante de la nutation avec un écart-type de $0'',0053$.

L'étude de la latitude est analogue. Soit L la différence des latitudes de deux groupes :

$$\begin{aligned} L &= (T_2 - T_1) \frac{d}{dT} (N \sin \varepsilon \cos T + Q \sin T) \\ &= \mathcal{K} (0,390 \sin T \sin \theta + 0,524 \cos T \cos \theta). \end{aligned}$$

La demi-amplitude de la variation de L varie peu, on prendra sa valeur moyenne : $0,46 \mathcal{K}$ et on écrira encore, en tenant compte des différences dues au catalogue d'étoiles :

$$0,46 \mathcal{K} \cos(T - \theta) + L_0 + \mu' t - L = 0$$

Étant une constante, \mathcal{K} , L_0 et μ' , les inconnues. θ peut être considéré comme une constante chaque année. L'écart-type de L est, on le verra dans le chapitre suivant, voisin de $0'',025$. Il en résulte que \mathcal{K} sera donné avec un écart-type de $0'',018$ par l'observation d'une paire, si l'époque initiale est bien choisie, et avec un écart-type de $0'',0051$ par l'observation des 12 paires de groupes.

Finalement, en combinant les résultats de temps et de latitude, on aura \mathcal{K} avec un écart-type de $0'',0037$ (er-

reur probable : 0",0024).

Il se peut que dans une vingtaine d'années des résultats bien meilleurs aient été obtenus, mais, à l'heure actuelle, cette précision présente de l'intérêt. Il convient de noter que l'organisation des observations est mal adaptée à l'obtention de la constante de la nutation : il faudrait, pour augmenter la précision, observer des groupes écartés et non des groupes contigus. La précision réellement obtenue sera, en fait, supérieure à ce que nous venons de calculer lorsqu'on tiendra compte de ce que trois groupes consécutifs ont souvent été observés.

La réfraction.

La valeur de la réfraction à 0°C. et à la pression de 760 mm, pour la distance zénithale apparente de 30° a été prise égale à 34",69. Le rayon du cercle ajusté est directement affecté par une erreur sur cette constante, comme par les erreurs de zéro du baromètre et du thermomètre, mais la latitude, la correction de l'horloge et le raccordement des trois inconnues n'en dépendent pas : les résultats que nous donnerons par la suite ne peuvent donc aucunement être affectés par ces erreurs.

Plus grave serait une anomalie de la réfraction dont le calcul ne permettrait pas de tenir compte et plus particulièrement une dyssymétrie suivant l'azimut. De tels effets sont indécélables dans les observations, comme l'étude des chapitres suivants le montrera.

=====

VI. Raccordement des groupes.

Après application des corrections de lissage interne dont il a été question au chapitre IV, on dispose de résultats homogènes, même si les groupes sont incomplets ; les écarts-types sont dépouillés de la part due au catalogue d'étoiles. On forme les différences entre groupes consécutifs de la même nuit et du même observateur. Pour tenir compte de la qualité des observations et aussi du nombre d'étoiles lorsque le groupe est incomplet, on fait usage d'une pondération : le poids est inversement proportionnel au carré de l'écart-type. Le tableau suivant indique les poids utilisés.

écart-type sur $\Delta\tau$ en 0s,001 sur φ en 0",01	poids
5	4
6	3
7 et 8	2
9 à 13	1
14	0

L'écart-type est souvent inférieur à 5 des unités envisagées, mais on a limité les poids à 4. Le rôle de cette pondération n'est pas de favoriser des observations exceptionnelles, mais simplement de diminuer le rôle des observations anormalement mauvaises. Le poids 4 est celui qui est normalement obtenu, les poids inférieurs proviennent d'observations de débutants ou sont dus à des circonstances atmosphériques mauvaises.

Les différences entre les résultats des groupes sont pondérées en fonction des poids des résultats.

poids des deux résultats		poids de la différence
1	1	1
1	2	1
1	3	1
1	4	2
2	2	2
2	3	2
2	4	3
3	3	3
3	4	3
4	4	4

Raccordement des groupes en temps.

Nous reproduisons intégralement le tableau des différences pour les 12 groupes, corrigées de la marche de l'horloge (tableau XII). Puis nous donnons les moyennes pondérées de ces différences (tableau XIII). L'erreur de fermeture +0s,0014 n'est pas significative.

Le tableau XIII montre des différences remarquables. En particulier, le groupe b (temps sidéral 2h) fournit des corrections de l'horloge plus élevées de 0s,023 que le groupe c (temps sidéral 4h). Ce résultat est confirmé par les observations de quatre personnes. Comme la correction de l'horloge est donnée, par une seule observation d'un groupe, avec un écart-type de 0s,004 ou 0s,005, pour profiter pleinement des ressources de l'astrolabe, il faut appliquer les corrections de raccordement aux résultats. On aurait pu ramener tous les résultats à ceux d'un groupe particulier. Mais, afin de ne pas attribuer un rôle privilégié à un groupe arbitrairement choisi, les résultats sont ramenés au groupe moyen, groupe qui donnerait, par définition, la moyenne des résultats de tous les autres groupes s'ils pouvaient être observés simultanément. Par exemple, on peut calculer tous les écarts à j, puis en faire la moyenne, qui est l'écart j - m, où m désigne le groupe moyen. On en déduit les écarts au groupe moyen. Ceci suppose qu'auparavant on ait pu faire disparaître l'erreur de fermeture : nous nous bornons à la répartir également sur toutes les différences.

Tableau XIII. Valeurs moyennes des différences systématiques en ΔT et leurs écarts-types.

groupes	différence en 0s,001	nombre de paires
j - k	+ 15,0 ± 4,1	5
k - l	+ 3,2 ± 2,2	12
l - a	- 8,0 ± 1,7	10
a - b	- 10,0 ± 2,5	11
b - c	+ 23,0 ± 1,7	10
c - d	- 12,1 ± 1,7	12
d - e	+ 3,0 ± 1,7	13
e - f	+ 0,5 ± 1,1	15
f - g	- 0,5 ± 1,5	14
g - h	- 12,8 ± 1,5	13
h - i	+ 1,7 ± 1,8	15
i - j	- 1,6 ± 1,5	16
erreur de fermeture	+ 1,4 ± 7,1	

Les corrections à ajouter à ΔT pour passer au groupe moyen sont les suivantes.

groupe	a	b	c	d	e	f
correction à ajouter en $0s,001$	+0,1	-10,0	+12,9	+0,7	+3,6	+3,9

groupe	g	h	i	j	k	l
correction à ajouter en $0s,001$	+3,3	-9,6	-8,0	-9,7	+5,1	+8,2

On ne peut porter aucun jugement sur les résultats en temps de l'astrolabe sans apporter au préalable ces corrections. Nous ne donnerons pas dans le présent mémoire l'étude des corrections de l'horloge. M. Arbey l'a entreprise et notre rôle s'est borné à lui fournir les corrections de raccordement.

Il est difficile de savoir quelle est la valeur de ce raccordement. Les corrections sont obtenues de proche en proche et ce qui est le plus à craindre est l'introduction d'une erreur périodique. Il ne semble pas toutefois qu'une telle erreur puisse avoir une amplitude supérieure à $0s,005$. Nous serons fixés sur ce point ultérieurement lorsque nous disposerons de plusieurs années d'observations. Les résultats obtenus en 1957 donneraient les valeurs suivantes des corrections, en faisant coïncider les corrections pour le groupe j.

groupe	j	k	l	a	b	c
correction à ajouter en $0s,001$	-9,7	-1,3	+6,3	-0,8	-15,4	+6,9

L'accord est satisfaisant.

Raccordement des groupes en latitude.

Nous donnons également toutes les différences de latitude obtenues (tableau XIV). Pour avoir la différence réelle due au catalogue, il faudrait ajouter aux valeurs mesurées un terme en dk , dk étant la correction à ajouter à la constante de l'aberration. Le facteur de dk figure dans le tableau, il varie peu au cours d'une période d'observation d'une paire de groupes et il est possible d'en faire la moyenne pondérée en même temps que celle

Tableau XIV. Différences systématiques en latitude (même nuit, même observateur). On donne pour chaque paire de groupes :

- la date, numéro du mois et jour (date du soir), années 1956 et 1957.
- l'initiale de l'observateur : voir tableau XII
- la différence des latitudes en 0",01
- le facteur de dk
- le poids.

j - k				k - l			
VII	23	G - 3	+ 0,31 4	VII	26	A + 2	+ 0,30 3
VIII	9	G + 9	25 2	VIII	6	A + 2	32 1
	10	A - 5	25 3		7	G - 1	32 2
	11	G - 6	24 3		8	A -18	32 1
	16	G -11	22 1		10	A - 0	33 2
					12	A - 9	33 1
					16	A +13	33 1
					18	A -14	33 3
					19	G +28	33 3
					30	A - 1	31 2
				IX	10	B + 2	27 1
					19	B -23	22 1
l - a				a - b			
VII	25	G + 6	+ 0,24 2	IX	20	G +15	+ 0,29 4
VIII	6	A +19	26 3		21	B - 2	0 29 2
	27	G -10	31 2		22	G - 8	29 3
	28	A + 5	31 1		23	B + 3	30 2
	30	A - 3	32 3	X	9	B -12	31 2
IX	12	B - 3	33 3		10	A + 1	31 2
	14	B - 7	33 1		11	B + 6	31 4
	17	B +24	32 1		12	A -16	31 3
	19	B +15	32 2		14	A - 8	31 3
XI	8	A -11	15 2		16	A - 5	31 3
				XI	5	A -13	29 4
b - c				c - d			
X	21	B + 2	+ 0,25 1	XI	20	G + 4	+ 0,33 4
XI	5	A +10	30 4		21	A -11	33 4
	8	G + 7	30 4		22	G + 7	33 4
	18	G + 1	30 4		30	G - 3	33 3
	20	G - 6	30 4	XII	24	G - 1	34 4
	21	A +13	30 4		30	G - 8	31 4
	22	G + 5	30 4	I	6	A - 7	30 4
	30	G + 5	28 3		11	G - 8	28 4
I	19	D + 9	22 3		12	A - 5	28 4
	21	D +12	21 2		17	G + 5	26 4
					18	A -18	26 4
					20	A - 0	25 4

Tableau XIV, (suite)

d - e				e - f				
XII	30	G + 7	+0,33 0	XI	29	D -12	+0,11 3	
I	6	A + 9	33 4		30	A - 8	12 4	
	10	A - 6	33 4	I	16	A - 1	31 4	
	11	G + 3	33 4		26	A - 4	31 3	
	12	A +19	33 4		27	G - 4	31 4	
	19	G + 4	31 4	II	3	A - 1	32 4	
	20	A 0	31 4		20	G - 4	31 4	
	21	G + 6	31 4		25	A - 1	30 4	
	22	A - 4	31 4		27	A - 4	29 4	
	27	G + 1	31 4		28	G + 5	29 4	
II	4	G - 4	29 2	III	1	A - 3	28 3	
	6	G - 9	28 4		15	A - 4	25 4	
III	4	D + 1	18 4		20	G + 4	22 4	
f - g				g - h				
II	27	A - 1	+0,30 4	III	21	A +11	+0,31 4	
III	2	G -18	30 3		22	G + 8	31 4	
	3	A - 7	30 4		29	A - 7	31 3	
	4	G -11	30 3		30	G +14	31 4	
	11	A - 4	30 3	IV	4	A - 5	31 4	
	15	A - 9	29 4		8	A - 9	31 4	
	20	G - 7	28 4		11	G +16	30 4	
	22	G - 8	28 4		14	A + 6	30 4	
	29	G + 7	26 3		21	D +20	30 2	
	31	A - 9	25 3	V	1	G + 1	29 4	
IV	1	G - 9	25 4		3	G +24	29 3	
	5	G - 2	25 3		4	A +18	28 3	
	9	G -19	24 3		11	G + 7	28 4	
	14	A - 7	22 4		i - j			
h - i				IV	30	A -11	+0,27 3	
IV	1	D - 4	+0,25 4	V	15	A +23	28 1	
	3	G 0	25 3		22	A -16	29 3	
	4	A - 6	26 3		25	G -15	30 2	
	5	D - 7	26 1		27	G + 3	30 4	
	9	D + 7	27 2		28	A - 1	30 4	
	14	A - 5	28 4		29	G + 1	30 2	
	16	A -13	29 2		30	A +19	30 3	
V	11	G + 4	31 4		31	G + 4	31 4	
	16	D -11	31 1	VI	1	A + 3	31 4	
	19	G - 8	31 4		5	A + 7	31 3	
	21	G - 2	31 4		11	A + 2	31 3	
	22	A - 7	31 4		25	A + 1	30 3	
	28	A -13	31 4		26	G +21	30 3	
	30	A -10	31 4		27	A + 3	29 3	
VI	1	A 0	31 3		28	G + 6	29 3	

des différences. Ces moyennes sont données dans le tableau XV. L'erreur de fermeture devrait être nulle et par suite :

$$k = 20'',480 \pm 0'',024 \text{ (écart-type)}$$

Tableau XV. Valeurs moyennes des différences systématiques en latitude avec leurs écarts-types et le coefficient de l'aberration.

groupes	différence en 0'',01	coefficient de l'aberration	nombre de paires
j - k	- 2,9 \pm 3,1	+ 0,26	5
k - l	+ 0,5 \pm 4,0	+ 0,31	12
l - a	+ 3,0 \pm 3,6	+ 0,29	10
a - b	- 3,1 \pm 2,9	+ 0,30	11
b - c	+ 5,7 \pm 1,8	+ 0,28	10
c - d	- 3,8 \pm 2,0	+ 0,30	12
d - e	+ 1,9 \pm 2,0	+ 0,30	13
e - f	- 2,6 \pm 1,2	+ 0,26	13
f - g	- 7,3 \pm 1,6	+ 0,27	14
g - h	+ 7,4 \pm 2,5	+ 0,30	15
h - i	- 4,9 \pm 1,4	+ 0,29	15
i - j	+ 2,6 \pm 2,5	+ 0,30	16
erreur de fermeture	- 3,5 \pm 8,7	+ 3,6 dk	

Comme pour les mesures de temps, nous déduirons des différences entre groupes un tableau de corrections pour passer au groupe moyen. L'erreur de fermeture sera répartie comme si elle était due uniquement à l'erreur sur la constante de l'aberration, ce qui équivaut pratiquement à une équipartition. Les corrections à ajouter à φ sont les suivantes :

groupe	a	b	c	d	e	f
correction à ajouter en 0'',01	+1,5	-1,3	+4,7	+1,2	+3,6	+1,2
groupe	g	h	i	j	k	l
correction à ajouter en 0'',01	-5,8	+2,0	-2,1	0,0	-2,6	-1,8

Là encore, l'erreur la plus à craindre serait une erreur périodique en fonction du temps sidéral du passage: cette erreur affecterait le terme annuel de la variation de la latitude. L'amplitude d'une telle erreur est sans doute inférieure à $0''{,}05$. Les premiers résultats de 1957/58 donneraient les valeurs suivantes des corrections (en faisant coïncider les corrections pour le groupe j) :

groupe	j	k	l	a	b	o
correction à ajouter en $0''{,}01$	0,0	+3,6	+2,8	+1,6	-2,0	+0,3

L'accord est satisfaisant.

Raccordement des groupes en distance zénithale.

La correction de l'horloge et la latitude ne dépendent que des observations astronomiques et elles ne sont pas affectées par des erreurs sur des mesures auxiliaires : c'est ainsi qu'on a pu dire que l'astrolabe était un instrument sans constantes instrumentales. La distance zénithale observée (ou le rayon du cercle ajusté) dépend, au contraire, de plusieurs mesures auxiliaires : mesure de la position du micromètre pour le contact moyen (v_m), mesure de la position du micromètre pour le dédoublement nul qui correspond à la distance zénithale d'observation lorsque les deux images coïncident au foyer (v_0), mesure des éléments qui interviennent dans le calcul de la réfraction. De l'accord interne des séries, on déduit un écart-type du rayon. Mais à cette erreur, due aux observations astronomiques, il faut encore ajouter la part due aux erreurs des mesures dont il vient d'être question - et cette part est prépondérante. La mesure de v_0 se fait, par exemple, avec un écart-type qui est de l'ordre de $0''{,}05$, alors que le plus souvent les observations astronomiques donnent le rayon avec un écart-type de $0''{,}03$. En outre, le parallélisme de la droite qui joint les centres des deux images de l'étoile et des fils ne s'apprécie pas sans erreur personnelle. Cette erreur, qui affecte la distance zénithale seulement, mais non les mesures de temps et de latitude, et qui atteint $0''{,}3$, peut varier pour le même observateur. Pour ces raisons, le raccordement en rayon sera moins bien assuré que les autres. D'autre part, nous ne ferons pas usage de pondération.

Nous ne tenterons pas de déduire de ce raccordement une valeur de la constante de l'aberration. Cette valeur serait trop peu précise et, surtout, elle risquerait

Tableau XVI.

Différences systématiques en rayon (même nuit, même observateur). On donne, pour chaque paire de groupes :
 - la date, numéro du mois et jour (années 1956 et 1957)
 - l'initiale de l'observateur (voir tableau XII)
 - la différence des rayons en 0",01.

j - k		k - l		l - a		a - b		b - c	
VII	23 G - 8	VII	26 A +14	VII	25 G - 6	IX	20 G +22	X	21 B -21
VIII	9 G -19	VIII	6 A - 5	VIII	6 A + 6		21 B - 5	XI	5 A +18
	10 A -16		7 G - 8		27 G - 1		22 G + 5		8 G +11
	11 G -10		8 A -17		28 A +15		23 B - 6		18 G - 1
	16 A -24		10 A -10		30 A -21	X	9 B + 1		21 A + 3
			12 A - 2	IX	12 B + 4		10 A + 4		20 G -14
			16 A -15		14 B - 8		11 B +15		22 G + 5
			18 A -18		16 G -26		12 A +17		30 G +16
			19 G + 1		17 B 0		14 A +17	I	19 D - 5
			30 A + 6		19 B + 1		16 A +14		21 D - 4
		IX	10 B + 6	XI	1 A +13	XI	5 A +11		
			19 B -31		8 A -24				
c - d		d - e		e - f		f - g		g - h	
XI	20 G +14	XII	30 G -24	XI	29 D - 4	II	27 A + 7	III	21 A + 3
I	21 A + 7	I	6 A + 6		30 A + 1	III	2 G 0		22 G + 5
	22 G - 3		10 A + 3	I	16 A +10		3 A -10		29 A + 8
	30 G - 4		11 G + 1		26 A - 1		4 G - 4		30 G +16
XII	24 G - 4		12 A - 2		27 G +11		11 A - 9	IV	4 A +14
	30 G - 7		19 G -22	II	3 A +14		15 A + 2		8 A - 7
I	6 A - 4		20 A + 1		20 G +29		20 G + 8		11 G +15
	11 G + 2		21 G - 4		25 A + 8		22 G + 1		14 A + 3
	12 A -10		22 A -11		27 A +16		31 A +15		21 D + 5
	17 G - 6		27 G -15		28 G +10	IV	1 G - 7	V	1 G + 6
	18 A + 8	II	4 G -28	III	1 A +12		3 D 0		3 G + 5
	20 A -13		6 G + 1				5 G -15		11 G - 1
		III	4 D -15				7 D + 7		13 G 0
							9 G - 3		
							14 A - 2		
h - i		i - j		j - k					
IV	1 D -28	V	15 A - 6	VI	11 A +19				
	3 G - 8		22 A +12		12 G -10				
	5 D -19		25 G +10		25 A + 6				
	9 D + 6		27 G 0		26 G +14				
	14 A -11		28 A + 9		27 A +12				
	16 A -10		29 G + 7		28 G - 2				
V	11 G - 3		30 A + 4	VII	3 A -11				
	16 D - 7		31 G +11		4 G -10				
	19 G - 8	VI	1 A + 3		5 A -14				
	21 G + 5		5 A +13		18 G +15				
	22 A -18		11 A +21		19 A -13				
	28 A -25		25 A + 2						
	30 A -10		27 A - 7						
VI	1 A -14		28 G - 3						

d'être systématiquement erronée par suite de la variation de la distance zénithale lors de l'observation des premières étoiles (voir chapitre IV). Cet effet, qui produit une différence constante entre les rayons du premier et du deuxième groupe, a la même forme que l'effet d'une erreur sur la constante de l'aberration et il se traduit, à la fin de l'année, par une équation de fermeture. Il ne paraît pas possible, actuellement, d'estimer la part de cette variation dans l'erreur de fermeture. Mais, comme nous procéderons à l'équipartition de l'erreur de fermeture, le raccordement sera correct, et il nous sera utile pour l'étude des catalogues d'étoiles.

Nous donnons encore intégralement le tableau des différences de rayon pour la première année d'observations (tableau XVI). Certaines dates figurent dans les tableaux relatifs à la correction de l'horloge et à la latitude, mais non dans le tableau XVI. Cela provient de ce que nous avons fait l'essai de nombreux prismes destinés à d'autres astrolabes : deux groupes consécutifs observés avec deux prismes différents ne donnent des résultats comparables qu'en temps et en latitude. D'autre part, quelques valeurs supplémentaires proviennent de groupes très incomplets qui n'ont pas été utilisés pour le temps et la latitude, mais qui peuvent être conservés pour le rayon à cause de la prépondérance des erreurs sur les mesures des constantes instrumentales.

Les valeurs élevées des différences j - k de 1956 nous paraissent suspectes. Peut-être les observateurs n'étaient-ils pas assez entraînés ? Nous avons préféré utiliser les différences j - k de 1957 pour effectuer le raccordement et nous les avons fait figurer dans les tableaux XVI et XVII.

Tableau XVII. Valeurs moyennes des différences en rayon avec leurs écarts-types.

groupes	différences en 0 ^u ,01	nombre de paires
j - k (1956)	- 15,4 ± 4,1	5
k - l	- 6,6 ± 3,6	12
l - a	- 3,9 ± 3,9	12
a - b	+ 8,6 ± 2,8	11
b - c	+ 0,8 ± 4,1	10
c - d	- 1,7 ± 2,3	12
d - e	- 8,4 ± 3,2	13
e - f	+ 9,6 ± 2,7	11
f - g	- 0,7 ± 2,0	15
g - h	+ 5,5 ± 1,8	13
h - i	- 10,7 ± 2,6	14
i - j	+ 5,4 ± 2,1	14
j - k (1957)	+ 0,4 ± 3,8	11
Erreur de fermeture de k à k	- 1,7 ± 10,4	

En calculant encore les corrections à ajouter pour passer au groupe moyen, on trouve, après équipartition de l'erreur de fermeture :

groupe	a	b	c	d	e	f
correction à ajouter en 0",01	-7,3	+1,4	+2,4	+0,8	-7,4	+2,3

groupe	g	h	i	j	k	l
correction à ajouter en 0",01	+1,8	+7,4	-3,2	+2,4	+2,9	-3,5

Donnons encore les corrections obtenues pour 1957/1958, en faisant coïncider celles du groupe k.

groupe	k	l	a	b	c
correction à ajouter en 0",01	+2,9	-0,7	-7,0	+7,8	+4,5

L'accord est moins bon que pour les deux autres inconnues : la différence $a - b$ passe de $+0",066$ en 1956 à $+0",148$ en 1957, ce qui paraît assez invraisemblable d'après les écarts-types. Néanmoins, ce raccordement est suffisant pour l'étude du catalogue.

Remarques sur le raccordement.

Lorsqu'on avait étudié les résultats du petit astrolabe, on avait trouvé que la latitude pouvait différer de $0",3$ suivant les groupes observés. Les observations faites par la suite ont confirmé ce résultat. Les corrections de latitude, pour l'astrolabe O.P.L. sont beaucoup plus petites. Cela ne doit pas surprendre : le nombre des étoiles de nouveaux groupes est sensiblement plus grand (50% en plus) et, surtout, la composition des groupes est plus régulière. A cause de la seule erreur du catalogue de la forme $\Delta\alpha_g$, la latitude peut changer sensiblement si l'on modifie la proportion des étoiles observées au Nord-Est et au Nord-Ouest.

La correction de l'horloge est plus affectée que la latitude par le raccordement. En effet, les étoiles sont nombreuses vers les azimuts 45° (Nord-Est) et 315° (Nord-Ouest) ; ces étoiles ont des déclinaisons voisines de $+60^\circ$ et l'erreur systématique de leurs ascensions droites, de la forme $\Delta\alpha_x$ est considérable dans le FK3.

Après ce premier cycle d'observations des groupes, nous n'avons eu aucune difficulté à assurer le raccordement. Les erreurs de fermeture se sont trouvées petites. On peut voir sur les tableaux des différences qu'il serait inutile de rechercher une variation des différences entre le soir et le matin. S'il y a des erreurs systématiques dans le procédé d'observations en chaîne, ces erreurs sont certainement très inférieures aux erreurs dues au catalogue, elles apparaîtront peut-être plus tard, dans les moyennes ; mais en attendant, les corrections de raccordement gardent toute leur valeur.

Notons enfin que nous n'avons pas tenu compte de la nutation diurne. Cette nutation, ayant pour période le jour sidéral et pour amplitude $0''{,}018$, affecte d'une façon invariable chaque groupe. Les corrections pour la nutation diurne sont donc incluses dans le raccordement et les résultats en temps et en latitude s'en trouvent de ce fait corrigés.

=====

VII. La variation de la latitude.

Nous sommes maintenant en possession des corrections de raccordement et nous pouvons étudier la variation de la latitude. Mais les résultats que nous donnerons sont provisaires. Le raccordement s'améliorera d'année en année et il peut avoir à subir des retouches non négligeables. Le nombre de groupes observés par nuit claire a été le plus souvent supérieur à 2, il a atteint 5 et même 6. Il s'ensuit que les inexacitudes du raccordement ne peuvent causer que l'introduction de termes à longue période dans la variation de la latitude et surtout d'un terme annuel. Les écarts individuels du raccordement, c'est-à-dire ses rugosités, sont fortement aplanis.

Nous avons dit précédemment qu'il paraissait fort peu probable que l'amplitude de l'erreur annuelle du raccordement dépasse $0'',05$. L'amplitude du pseudo-terme annuel introduit dans la latitude serait un peu réduite, puisque plusieurs groupes sont observés simultanément, et elle est sans doute inférieure à $0'',04$. Le terme annuel de la variation de la latitude a une amplitude voisine de $0'',15$ à Paris, d'après les données du Service International des Latitudes. Après une seule année d'observations les erreurs de raccordement ne sont donc pas négligeables.

Afin de faciliter les analyses futures, je rappelle ici que les seules corrections apportées à la latitude sont :

1. Les corrections de la variation de la distance zénithale pour les premières étoiles de la nuit (tableau VI)
2. Les corrections de raccordement, après équipartition de l'erreur de fermeture, qui comprennent la correction de nutation diurne.

Les réductions sont faites à partir des positions apparentes des "Apparent Places of Fundamental Stars", ou de positions moyennes en utilisant les mêmes constantes pour la réduction que les A.P.F.S.. Les parallaxes sont utilisées lorsque leurs valeurs (selon Schlesinger) dépassent $0'',050$.

On n'a appliqué aucun des nombreux termes correctifs à la latitude tels que déviation de la verticale, corrections à l'aberration pour tenir compte des mouvements de Jupiter et Saturne, termes complémentaires de la nutation, effet relativiste de la courbure des rayons lumineux. On n'a pas corrigé les valeurs de la latitude pour tenir compte de l'erreur dk de la constante de l'aberration : la correction, qui s'annule au voisinage de minuit, est toujours petite. L'application de ces corrections ne présentera

Tableau XVIII.

Moyennes de poids égaux des latitudes instantanées.

... Période				date moyenne	somme des poids	nom- bre de séries	moyenne des latitudes
1956	VII	11	- VIII 8	1956,57	41	16	48°50'09",29
	VIII	9	- VIII 19		61	42	09,26
	VIII	19	- IX 14		67	41	09,18
	IX	14	- IX 23		71	44	09,20
	IX	23	- X 16		77	40	09,15
	X	17	- XI 8		83	42	09,09
	XI	9	- XI 22		88	41	09,01
	XI	22	- XII 17		91	42	09,00
	XII	18	- I 10	1957,00	45	13	08,95
1957	I	11	- I 17		03	40	08,92
	I	17	- I 21		05	41	08,94
	I	21	- II 2		07	42	08,96
	II	3	- II 25		12	40	08,98
	II	26	- III 4		16	41	09,01
	III	4	- III 16		19	41	09,07
	III	17	- III 29		22	42	09,12
	III	29	- IV 2		24	42	09,13
	IV	2	- IV 7		26	40	09,17
	IV	7	- IV 14		27	40	09,22
	IV	14	- V 3		31	43	09,23
	V	3	- V 13		35	41	09,30
	V	13	- V 25		38	41	09,32
	V	26	- V 31		41	41	09,30
	V	31	- VI 11		42	40	09,33
	VI	12	- VI 28		47	43	09,38
	VI	28	- VII 24		52	41	09,40
	VII	25	- VIII 12		59	42	09,43
	VIII	13	- IX 19		68	40	09,44
	IX	20	- X 1		73	40	09,41
	X	2	- X 5		75	42	09,38
	X	5	- X 9		76	40	09,37
	X	9	- X 13		77	41	09,36
	X	14	- X 26		80	41	09,31
	X	27	- XII 1		88	40	09,18
	XII	1	- XII 3		92	40	09,09
	XII	3	- I 3		94	41	09,07
1958	I	4	- I 23	1958,04	42	13	08,97

d'intérêt que lors de la discussion d'ensemble des résultats obtenus pendant un grand nombre d'années.

Si l'on fait les moyennes des latitudes instantanées pour les périodes de durée constante, d'un mois, par exemple, ces moyennes comprennent un nombre très variable d'observations et les points que l'on porterait sur le graphique de la variation de la latitude seraient de valeur très inégale. Nous avons préféré faire des moyennes s'étendant sur des périodes de longueur variable, de sorte que la somme des poids reste égale pour chaque période. Les poids utilisés sont ceux que nous avons donnés à propos du raccordement des groupes. Cette méthode facilite le tracé de la courbe lissée et l'on voit immédiatement les périodes où les observations ont été clairsemées. La somme des poids, constante, a été prise égale à 40 (ou 41, 42, 43), ce qui représente au moins 10 séries par moyenne.

Ces moyennes brutes sont données dans le tableau XVIII. Les points obtenus sont portés sur le graphique de la figure 11. De la courbe tracée à vue par ces points, on déduit les valeurs adoucies suivantes de la latitude instantanée (tableau XIX).

Tableau XIX. Variation de la latitude de l'astrolabe (valeurs lissées).

Date	Latitude
1956,60	48°50'09",27
65	23
70	19
75	15
80	11
85	06
90	00
95	08,97
1957,00	94
05	94
10	96
15	09,01
20	08
25	16
30	23
35	28
40	33
45	36
50	39
55	42
60	43
65	44
70	43
75	39
80	31
85	22
90	13
95	05
1958,00	00

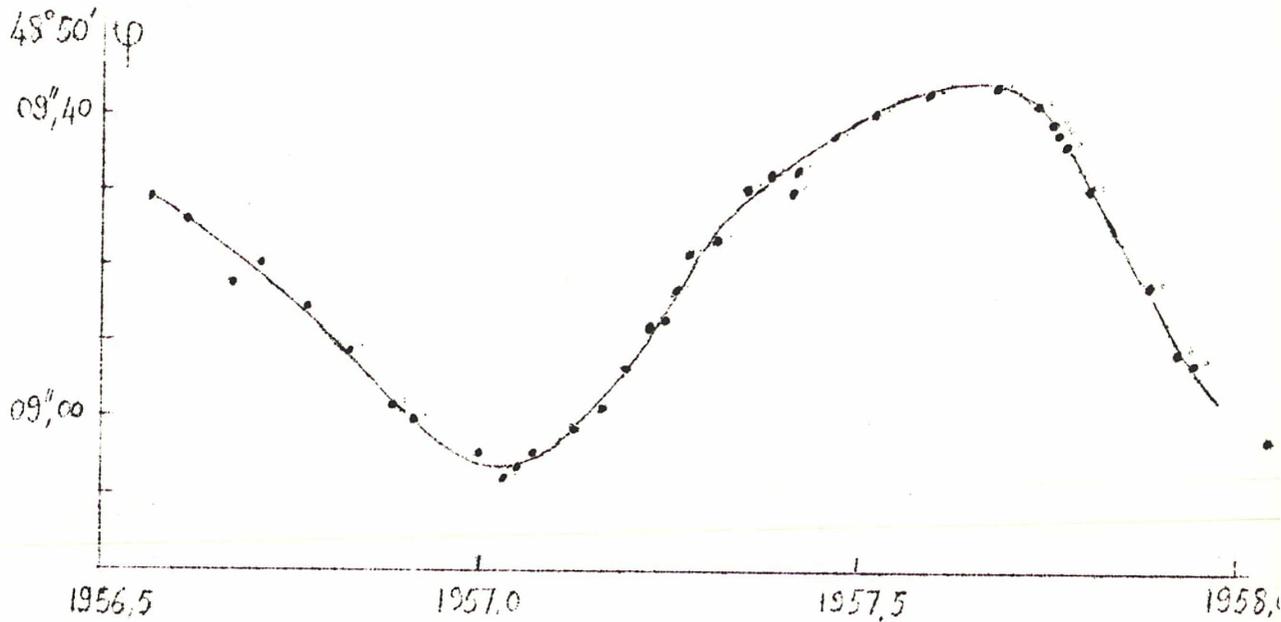


Fig. 11. Variation de la latitude de l'astrolabe.

Pour rechercher s'il existe des erreurs personnelles, on fait les moyennes des écarts à la courbe lissée, séparément pour les observateurs ayant travaillé pendant une période commune. On trouve ainsi que les latitudes obtenues par MM. Arbey et Guinot diffèrent très peu :

φ Arbey - φ Guinot = - 0",014. Il n'y a pas lieu de tenir compte de cet écart faiblement significatif.

Les écarts à la courbe lissée montrent aussi que l'écart-type d'une mesure est 0",073 en moyenne (jusqu'au 30 novembre 1957). On avait trouvé, d'après l'accord interne, que la valeur la plus fréquente de l'écart-type était 0",05, pour un observateur entraîné et une série complète. Mais les groupes utilisés pour la mesure de la variation de la latitude ne sont pas tous complets et plusieurs observateurs ont fait leurs débuts, de sorte qu'on trouve, en moyenne, pour l'accord interne des séries, un écart-type de 0",062. L'accord externe est légèrement moins bon que l'accord interne.

Les moyennes hebdomadaires de la latitude sont envoyées au Bureau Central du Service International des Latitudes, pour contribuer aux travaux du Service Rapide des Latitudes. Comme il n'était pas possible de connaître la réduction au groupe moyen dès le début des observations, les résultats envoyés diffèrent très légèrement de ceux publiés ici.

Les programmes d'observations à la lunette zénithale des latitudes doivent être renouvelés périodiquement : lorsque, par suite de la précession, la dyssymétrie de la répartition des étoiles par rapport au zénith devient trop accusée, les résultats sont affectés par les erreurs sur le tour de vis du micromètre. Il faut aussi renouveler les programmes des lunettes photographiques zénithales, car les étoiles sortent du champ. Pour ces deux instruments, seuls les groupes qui passent à 6h ou 18h sidérales peuvent être indéfiniment conservés. Il en résulte une grande perte d'information pour étudier les mouvements séculaires du pôle moyen [17], car on ne peut utiliser que les observations du S.I.L. lorsque les stations ont observé simultanément le même programme. Les trajectoires du pôle moyen déduites des stations isolées présentent des points de rebroussement par suite des erreurs des mouvements propres des étoiles.

Nous avons montré que le programme de l'astrolabe pouvait être conservé pendant très longtemps : on peut choisir les étoiles pour que, en dépit du brassage des temps de passage produit par la précession, les groupes soient observables pendant une quarantaine d'années. Les azimuts changent progressivement, mais cet effet n'est pas sensible sur les résultats. L'astrolabe apportera donc une contribution importante à l'étude des mouvements séculaires du pôle.

=====

VIII. L'amélioration des catalogues d'étoiles par les observations faites avec l'astrolabe.

Jusqu'à ce chapitre, nous nous étions préoccupés des erreurs de catalogue pour les éliminer des résultats. Mais ces erreurs apparaissent avec une telle netteté dans l'accord interne, comme dans le raccordement des groupes, que nous avons cherché à les utiliser pour améliorer le catalogue d'étoiles.

Erreurs systématiques en fonction de la déclinaison.

Nous avons montré, dans un mémoire antérieur [14], que ces erreurs pouvaient se déduire du seul accord interne des groupes, sans que l'on ait à introduire leur raccordement. Nous avons appliqué notre méthode aux observations faites avec le petit astrolabe et réduites avec le FK3.

Les résultats de l'astrolabe O.P.L. peuvent être exploités de la même manière. Nous avons conservé les résidus des étoiles du FK3 Supp, car les positions de ces étoiles, prises dans des catalogues autres que le FK3, ont été ramenées au système FK3 par l'application de corrections systématiques.

Nous donnons dans le tableau XX, l'erreur $\Delta\alpha_g$ du FK3 obtenue avec l'astrolabe O.P.L. et son écart-type. Nous rappelons les résultats acquis antérieurement avec le petit astrolabe.

Tableau XX. Erreur $\Delta\alpha_g$ du FK3

δ	$\Delta\alpha_g$ (Astrolabe - FK3)	
	Astrolabe O.P.L. 1957	Petit astrolabe 1954
+ 73°	+0 ^s ,029 ± 0 ^s ,009	+0 ^s ,032 ± 0 ^s ,007
69	+ 19 4	+ 21 4
60	+ 10 2	+ 12 3
50	+ 1 3	- 1 2
41	- 6 2	- 3 2
33	- 4 3	- 2 2
26	- 5 2	- 2 3
23	- 6 3	+ 1 3

Bien que les étoiles observées avec les deux instruments soient pour la plupart différentes, l'accord des deux séries de mesures est excellent. Les valeurs de $\Delta\alpha_g$ ne sont,

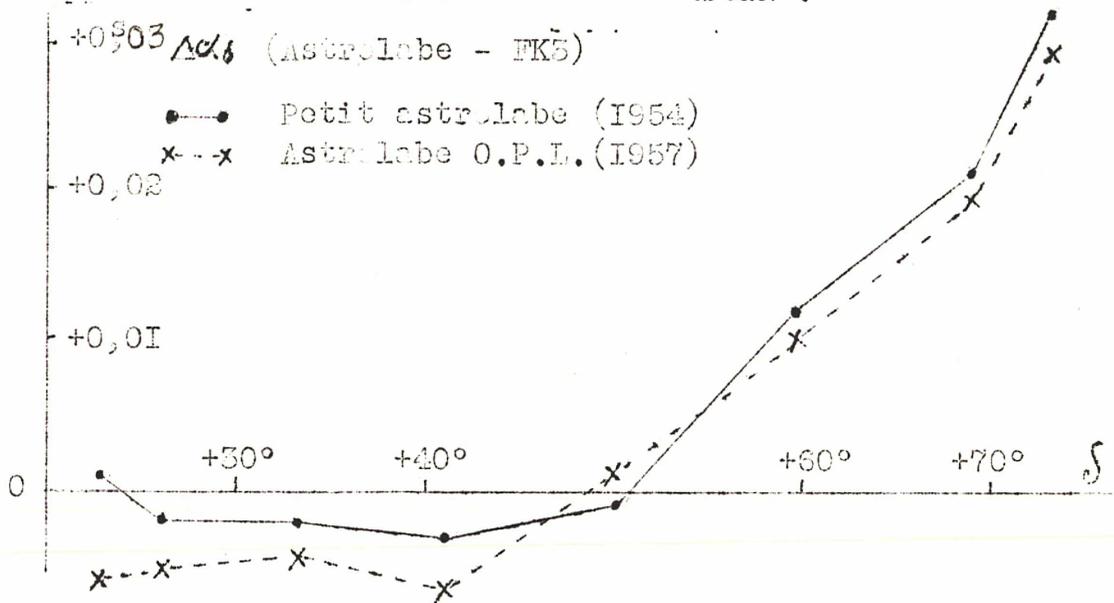


Fig. 12. Erreur $\Delta\alpha\delta$ du FK3

rappelons-le, définies qu'à une constante près. Cette constante, qui dépend de la constitution des groupes, peut différer pour les deux astrolabes. Nous avons donné ici les résultats bruts du calcul. Les écarts-types restent sensiblement les mêmes pour les deux mesures. La part prépondérante de la dispersion est due, en effet, aux erreurs individuelles des positions des étoiles et les deux programmes contiennent des nombres voisins de passages.

L'erreur $\Delta\delta$ peut s'obtenir aussi, mais avec une réserve : on peut admettre que cette erreur est définie à une constante près si l'ensemble des déclinaisons de la zone étudiée n'a pas de grande erreur systématique (supérieure à $0''{,}2$, par exemple). Les résultats sont les suivants (tableau XXI).

Tableau XXI. Erreur $\Delta\delta$ du FK3

δ	$\Delta\delta$ (Astrolabe - FK3)	
	Astrolabe O.P.L. 1957	Petit astrolabe 1954
+ 73°	$0''{,}00 \pm 0''{,}06$	$+0''{,}03 \pm 0''{,}05$
69	- 1 10	+ 8 7
60	- - -	- - -
50	- 6 10	- 9 8
41	+ 9 6	+ 3 4
33	0 3	+ 5 3
26	- 5 2	+ 3 3
23	0 2	- 2 2

Ici encore, l'accord est satisfaisant : l'erreur $\Delta\delta$ n'est significative pour aucun des deux instruments.

Ces erreurs, fonctions de la déclinaison, se traduisent par un écart systématique des résidus en fonction de l'azimut. A cause de l'erreur $\Delta\alpha_g$, par exemple, les résidus des étoiles observées dans le Nord-Est sont positifs, tandis que ceux des étoiles observées dans le Nord-Ouest sont négatifs. Les résultats des 5 observateurs du petit astrolabe avaient montré que cet effet n'était pas personnel, la confirmation des résultats par l'astrolabe O.P.L. montre qu'il n'est pas instrumental.

Les observations de l'Année Géophysique Internationale, auxquelles participent 15 astrolabes, étendront la mesure de ces erreurs à une très large zone de déclinaisons ; mais il n'y a pas, malheureusement, de station boréale qui permette de se rapprocher beaucoup plus du pôle qu'on ne le fait à Paris. Quant aux stations australes, elles sont toutes de latitude peu élevée.

Positions individuelles de quelques étoiles.

Dans le mémoire déjà cité [14], nous avons donné les conditions à remplir pour obtenir des positions individuelles des étoiles à partir des résidus des observations. Rappelons qu'il fallait d'abord que les deux passages des étoiles aient été observés et que, ensuite, tous les groupes qui contenaient ces passages aient été raccordés entr'eux en ce qui concerne les trois inconnues à déterminer par l'observation astronomique. L'utilité de ce raccordement est de ramener tous les résidus à la même origine. Les ascensions droites sont obtenues à une constante près. Mais nous avons montré que, en toute rigueur, il n'était pas possible d'obtenir les déclinaisons. Cependant, si l'on admet que l'erreur moyenne des déclinaisons de toutes les étoiles observées est petite, supposition que nous avons déjà faite au sujet de l'erreur $\Delta\delta_g$, les déclinaisons peuvent être, elles aussi, considérées comme déterminées à une constante près.

Il faut d'abord choisir un groupe de référence. Nous ramènerons les résidus au groupe fictif que nous avons appelé groupe moyen. Soit $d\Delta T_a$ la correction à ajouter à la correction de l'horloge fournie par le groupe a et $dx_a = \cos\psi d\Delta T_a$, soient dy_a et dR_a les corrections correspondantes pour la latitude a et le rayon ; les résidus par rapport au groupe moyen sont obtenus en ajoutant aux résidus du groupe a les corrections :

$$dr_a = dx_a \sin Z + dy_a \cos Z - dR_a,$$

Z étant l'azimut. Le tableau VII donne ces résidus pour tous les passages observés, ils sont désignés par \mathcal{R} .

Appelons \mathcal{M}_E et \mathcal{M}_W les résidus d'une même étoile suivant qu'elle est observée à l'Est ou à l'Ouest. On a :

$$\Delta\alpha (\text{Astrolabe} - \text{Cat.}) = \frac{\mathcal{M}_E - \mathcal{M}_W}{2 \times |\sin Z| \cos \varphi},$$

$$\Delta\delta (\text{Astrolabe} - \text{Cat.}) = \frac{-(\mathcal{M}_E + \mathcal{M}_W)}{2 \cos S}$$

S représentant l'angle à l'astre.

Le tableau XXII donne les résidus \mathcal{M} pour les 58 étoiles à double passage, les éléments du calcul de $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ et, finalement $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$.

Les écarts-types de ces coordonnées sont difficiles à évaluer et l'on ne pourra être fixé avec précision sur leurs valeurs qu'après avoir refait ce catalogue indépendamment pendant quelques années. Toutefois, afin d'en fixer l'ordre de grandeur, nous donnons des valeurs sans doute très exagérées de ces écarts-types (tableau XXIII). La précision des déclinaisons, maximum pour les étoiles circummériennes, décroît lorsqu'on s'approche de la déclinaison qui correspond à la plus grande digression des polaires à la distance zénithale de 30° ($\delta = +60^\circ$). On n'a pas donné les déclinaisons lorsque $|\cos S|$ était inférieur à 0,20.

Recherchons quelles sont les erreurs systématiques qui peuvent affecter ce petit catalogue, à l'exception des erreurs constantes en ascension droite et en déclinaison : ce catalogue n'est évidemment qu'un lissage du FK3 et non un catalogue absolu.

Nous avons montré, au début de ce mémoire, que les résidus étaient indépendants de la magnitude et du type spectral des étoiles : notre catalogue ne présente donc pas d'erreurs en fonction de la magnitude et de la couleur.

On a vu que l'organisation et l'interprétation des observations éliminaient les erreurs personnelles du raccordement. D'autre part, on n'a pas décelé d'effet personnel dans l'accord interne des groupes. Ainsi, les erreurs personnelles n'interviennent aucunement dans le catalogue.

Quant aux erreurs instrumentales, il ne peut y en avoir. La distance zénithale est fixée uniquement par l'angle du prisme de l'astrolabe ; les observations se font dans les mêmes conditions quel que soit l'azimut de

Tableau XXII.

Calcul des corrections aux positions de quelques étoiles du FK3 et du FK3 Supp (les étoiles du FK3 Supp sont désignées par leur n° GC).

n°	en 0 ^m ,01 15sinZ				en 0 ^m ,01			(Astr-FK3)1957		
	ω_E	ω_W	cos φ	cosS	$\omega_E - \omega_W$	$\omega_E + \omega_W$	en 0 ^m ,001	en 0 ^m ,01	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
27	+ 3,0	+14,9	6,6	+0,88	-11,9	+17,9	- 9	- 10		
GC 1136	+10,9	+ 6,4	6,1	+ 90	+ 4,5	+17,3	+ 4	- 10		
42	-27,6	+ 7,4	9,6	+ 62	-35,0	-20,2	- 18	+ 16		
1032	+15,6	+28,7	4,3	+ 95	-15,1	+42,3	- 18	- 22		
46	+ 9,8	-20,4	5,4	- 26	+30,2	-10,6	+ 28	- 20		
1068	+20,4	-14,4	8,6	+ 75	+34,8	+ 6,0	+ 20	- 4		
87	+32,4	-56,4	3,9	- 49	+38,8	-24,0	+114	- 24		
89	+ 9,2	+ 3,6	5,2	+ 93	+ 5,6	+12,8	+ 5	- 7		
1089	- 7,0	- 2,7	4,4	+ 95	- 4,3	- 9,7	- 5	+ 5		
GC 3759	+19,4	-10,3	3,3	- 58	+29,7	+ 9,1	+ 45	+ 8		
1094	-24,1	-20,7	4,5	+ 95	- 3,4	-44,8	- 4	+ 24		
122	- 8,9	+11,2	7,6	+ 02	-20,1	+ 2,3	- 13	-		
144	-12,6	+ 7,0	9,1	+ 70	-19,6	- 5,6	- 11	+ 4		
174	+ 7,2	+14,8	5,9	+ 90	- 7,6	+22,0	- 6	- 12		
175	- 0,2	+20,0	8,2	+ 11	-20,2	+19,8	- 12	-		
182	- 2,6	+20,7	7,4	0	-23,3	+18,1	- 15	-		
GC 6259	+ 2,9	-10,2	3,8	+ 97	+15,1	- 7,3	+ 17	+ 4		
GC 6288	+24,0	-14,9	3,4	- 58	+38,9	+ 9,1	+ 57	+ 8		
GC 6556	-29,1	+35,4	9,9	+ 46	-64,5	+ 6,3	- 33	- 7		
211	-26,0	-16,2	4,6	+ 95	- 9,8	-42,2	- 11	+ 22		
GC 8826	+ 4,1	+ 4,5	8,1	+ 9	- 0,4	+ 8,6	0	-		
GC 8965	+15,5	0,0	5,2	+ 92	+15,5	+15,5	+ 15	- 8		
279	+ 4,6	+12,1	5,4	+ 92	- 7,5	+16,7	- 7	- 9		
296	-27,6	+27,9	9,4	+ 66	-55,5	+ 0,3	- 30	0		
GC12496	+13,9	+11,4	6,9	+ 85	+ 2,5	+25,3	+ 2	- 15		
1239	-10,0	-16,2	5,5	+ 92	+ 6,2	-26,2	+ 6	+ 14		
355	+33,2	-22,4	6,7	- 1	+55,6	+10,8	+ 42	-		
358	+ 8,0	-10,4	9,0	+ 23	+18,4	- 2,4	+ 10	+ 5		
371	+14,5	+ 4,2	7,6	+ 83	+10,3	+18,7	+ 7	- 11		
GC14086	- 9,5	-13,1	8,6	+ 74	+ 3,6	-22,6	+ 2	+ 15		

Tableau XXII. (suite)

n°	en 0 ^h ,01 15sinZ				en 0 ^h ,01		(Astr-FK3)1957	
	\overline{m}_E	\overline{m}_W	cos φ	cos δ	$\overline{m}_E - \overline{m}_W$	$\overline{m}_E + \overline{m}_W$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
405	- 1,4	+14,4	6,3	+0,89	-15,8	+13,0	- 13	- 7
403	+53,9	-25,4	5,0	- 32	+59,3	+ 8,5	+ 59	+ 13
422	-15,4	-14,2	4,2	+ 95	- 1,2	-29,6	- 1	+ 15
1318	+ 0,2	+19,0	7,6	+ 83	-18,8	+19,2	- 12	- 12
472	0,0	+13,1	4,8	- 36	-13,1	+13,1	- 13	+ 18
GCl7225	- 7,3	+ 2,8	4,8	+ 95	-10,1	- 4,5	- 11	+ 2
500	- 6,2	+ 8,7	7,5	0	-14,9	+ 2,5	- 10	-
550	- 2,4	- 2,4	3,2	- 60	0,0	- 4,8	0	- 4
1397	- 2,0	+ 4,6	8,6	+ 16	- 6,6	+ 2,6	- 4	-
1396	-37,3	-19,7	7,1	+ 85	-17,6	-57,0	- 12	+ 34
618	- 5,3	+ 4,6	5,0	+ 93	- 9,9	- 0,7	- 10	0
627	- 8,9	-10,7	8,2	+ 10	+ 1,8	-19,6	+ 1	-
1440	+ 5,8	+47,6	7,0	+ 86	-41,8	+53,4	- 30	- 31
639	-25,3	+21,8	6,1	- 18	-47,1	- 3,5	- 39	-
714	-14,4	- 3,4	4,4	- 42	-11,0	-17,8	- 12	- 21
1515	+ 0,4	- 6,9	7,4	+ 84	+ 7,3	- 6,5	+ 5	+ 4
1521	-14,5	- 3,5	9,6	+ 63	-11,0	-18,0	- 6	+ 14
759	+ 5,8	-12,4	1,63	- 86	+18,2	- 6,6	+ 56	- 4
1539	+13,7	- 4,0	4,5	+ 95	+17,7	+ 9,7	+ 20	- 5
803	+ 3,5	+ 1,0	6,9	- 6	+ 2,5	+ 4,5	+ 2	-
809	-34,2	+18,3	4,7	- 37	-52,5	-15,9	- 56	- 21
1575	+23,7	+ 4,2	8,8	+ 74	+19,5	+27,9	+ 11	- 18
852	-17,7	+10,1	9,9	+ 54	-27,8	- 7,6	- 14	+ 7
859	- 0,2	- 4,3	6,2	+ 89	+ 4,1	- 4,5	+ 3	+ 3
863	- 2,0	- 1,2	6,0	- 19	- 0,8	- 3,2	- 1	-
869	+ 5,9	+29,9	9,9	+ 47	-24,0	+35,8	- 12	- 58
881	+ 8,7	+14,7	6,1	+ 90	- 6,0	+23,4	- 5	- 13
893	+31,5	- 7,8	1,75	- 84	+39,3	+23,7	+112	+ 14

Tableau XXIII. Ecart-types des coordonnées du catalogue "Astrolabe" (valeurs approximatives)

δ	+20°	22°	30°	40°	50°	60°	63°	70°	75°	77°	78°
σ_α (0 ^h ,001)	20	11	7	6	7	8	11	13	20	30	45
σ_δ (0 ^h ,01)	6	7	8	12	20	-	22	17	9	7	7

l'étoile et l'appareil garde la même position par rapport à la pesanteur.

L'erreur $\Delta\alpha$ de notre catalogue ne peut provenir que du raccordement. Elle est pratiquement constante pour un fuseau d'ascensions droites donné, quelle que soit la déclinaison. Son amplitude est sans doute inférieure à 0s,005. De même l'erreur $\Delta\delta$ dépend du raccordement ; elle a une amplitude qui est probablement inférieure à 0",05. Pour ce qui est de l'élimination de ces erreurs, fonctions de l'ascension droite, qui se fait par raccordement, il nous paraît utile de signaler que lorsque 2 ou 3 groupes d'étoiles sont observés la même nuit, on balaye 10 ou 12 heures d'ascensions droites.

Nous avons vu, dans le paragraphe précédent, que seules les erreurs d'observation en fonction de l'azimut pourraient apporter des erreurs en fonction de la déclinaison dans notre catalogue. Nous avons montré que de telles erreurs n'avaient pu être décelées jusqu'à présent.

Les erreurs systématiques déjà très petites, dues au raccordement iront en s'amenuisant, si, toutefois, le raccordement n'est pas faussé par l'existence de réfractions zénithales. Ces réfractions existent sans doute, mais nous ne sommes pas fixés quant à leur ordre de grandeur et nous ignorons presque tout de leurs variations. D'après nos observations, il semble que ces réfractions doivent être petites : il faudrait admettre qu'elles aient une forme bien compliquée pour qu'elles ne donnent pas d'équations de fermeture pour les trois inconnues, tout en étant grandes par rapport aux erreurs d'observation.

Le catalogue "astrolabe" paraît donc n'avoir que des erreurs systématiques très réduites, mais, avant d'interpréter les résultats obtenus, remarquons qu'on peut calculer les ascensions droites des étoiles observées à un seul de leurs passages, lorsque celui-ci a lieu au voisinage du maximum de digression. On a en effet :

$$(7) \quad \Delta\alpha(\text{Astr.} - \text{Cat}) = \frac{W_0}{\sin Z \cos \varphi} + \frac{\cos S}{\sin Z \cos \varphi} \Delta\delta .$$

Lorsque $\cos S$ est voisin de 0, on peut négliger le terme en $\Delta\delta$. On a appliqué cette méthode à la zone des déclinaisons de $+54^\circ$ à $+64^\circ,5$, pour laquelle la valeur absolue de $\cos S : \sin Z$ est inférieure à 0,2. Une erreur de 0",30 sur la déclinaison n'entraînerait, au maximum, qu'une erreur de 0s,006 sur l'ascension droite ; or, une telle

Tableau XXIV.

Corrections aux ascensions droites des étoiles observées
au voisinage de leur plus grande digression.
(les étoiles FK3 Supp sont désignées par leur numéro GC).

n°	groupe	$\mathcal{M} \text{ en } 0^{\text{h}}, 01$	$15 \sin Z \cos \varphi$	1957 $\Delta \alpha (\text{astr-catal.})$ en $0^{\text{s}}, 001$:
GC 94	c	-34,2	-6,54	+52
16	c	-33,8	-6,86	+49
32	c	-36,8	-7,39	+50
1030	c	-24,0	-8,56	+28
63	l	+26,1	+6,67	+59
1054	l	+10,1	+8,63	+12
GC 2836	d	- 5,1	-8,39	+ 6
99	a	-18,1	+8,38	-22
1096	d	-34,7	-6,42	+54
129	a	+ 2,2	+6,77	+ 5
GC 4858	e	-33,6	-7,71	+44
1157	b	+15,7	+8,38	+19
237	f	- 8,3	-7,71	+11
GC 9581	c	+32,7	+7,56	+43
280	c	+46,4	+8,44	+55
292	c	+36,9	+7,76	+48
317	g	-15,3	-7,30	+21
GC12646	g	-10,5	-6,61	+16
GC12761	d	+16,1	+8,64	+19
398	h	- 2,9	-8,07	+ 4
416	h	+ 2,1	-8,21	- 3
417	e	+ 2,1	+7,04	+ 3
GC15375	h	-13,7	-8,50	+16
447	e	+10,9	+8,69	+13
456	i	- 0,6	-8,08	+ 1
GC16985	i	-16,4	-8,33	+20
467	i	+ 1,0	-7,80	- 1
GC18504	f	+ 7,0	+8,52	+ 8
GC19742	g	+ 0,1	+8,64	0
571	g	+18,9	+7,69	+25

Tableau XXIV. (suite)

n°	groupe	$\Delta\alpha$ en 0 ^m ,01	15sinZcos ϕ	1957 $\Delta\alpha$ (astr-gatal.) en 0 ^s ,001
598	k	-11,7	-7,79	+15
GC22398	k	-34,8	-8,30	+42
685	l	-18,8	-6,43	+29
GC25362	i	+ 0,2	+8,13	0
GC26475	l	-15,9	-8,17	+19
758	a	+ 5,7	-8,23	- 7
767	a	+ 5,0	-6,82	- 7
782	j	+ 2,2	+8,05	+ 3
785	a	+17,9	-7,11	-25
1572	j	-17,9	+7,29	-25
830	b	+10,3	-6,89	-16
836	b	- 1,0	-7,93	+ 1
853	b	- 7,4	-6,70	+11
882	b	-13,0	-7,02	+19
899	k	+ 4,6	+8,08	+ 6

erreur sur δ est peu probable, on peut voir dans le tableau XXII qu'il n'en figure que 3 pour 47 étoiles et que la plus grande est de $0''{,}38$. Le tableau XXIV donne les éléments du calcul et les corrections aux ascensions droites du FK3 (ou du FK3 Supp) pour les 45 étoiles de cette zone qui sont observées dans le programme. Ces corrections sont exprimées dans le même système que celles des 58 étoiles à double passage.

On peut calculer, d'une façon analogue, les déclinaisons de quelques étoiles circummériidiennes à un seul passage en négligeant le terme en $\Delta\alpha$. Ce procédé ne peut s'appliquer qu'aux étoiles observées au Sud, car les grandes corrections en ascension droite des étoiles circummériidiennes Nord entacheraient le résultat d'erreur. L'erreur que l'on commettrait, si l'erreur sur l'ascension droite était de $0s,030$, ce qui arrive très rarement, serait de $0''{,}14$ pour $\delta = +21^\circ$, de $0''{,}10$ pour $\delta = +20^\circ$. On obtient ainsi les corrections aux déclinaisons de 12 étoiles supplémentaires (tableau XXV).

Tableau XXV. Corrections aux déclinaisons des étoiles circummériidiennes Sud (les étoiles FK3 Supp sont désignées par leur numéro GC)

n°	groupe	$\cos\delta$ en $0''{,}01$	$\cos\delta$	1957 $\Delta\delta$ (Astr.- Cat.) en $0''{,}01$
66	b	- 7,4	+0,96	+ 8
1173	d	-24,6	97	+ 25
269	e	- 5,8	96	+ 6
GC10707	e	+14,4	97	- 15
GC15162	f	-14,6	96	+ 15
1304	g	-19,0	96	+ 20
466	h	+21,7	94	- 23
1400	i	+ 0,3	95	0
GC22802	i	-19,8	95	+ 21
1465	j	-52,4	96	+ 55
703	j	+ 2,7	96	- 3
GC26569	k	- 8,0	94	+ 9

Comparaisons entre le catalogue "astrolabe" et d'autres catalogues.

Etudions les 103 ascensions droites obtenues au moyen de l'astrolabe : leur nombre est trop petit pour rechercher l'erreur $\Delta\alpha$ du FK3 par des moyennes, mais une représentation graphique en fonction des coordonnées des étoiles est intéressante. Nous avons porté (fig. 13) en abscisse les ascensions droites, en ordonnée, les déclinaisons.

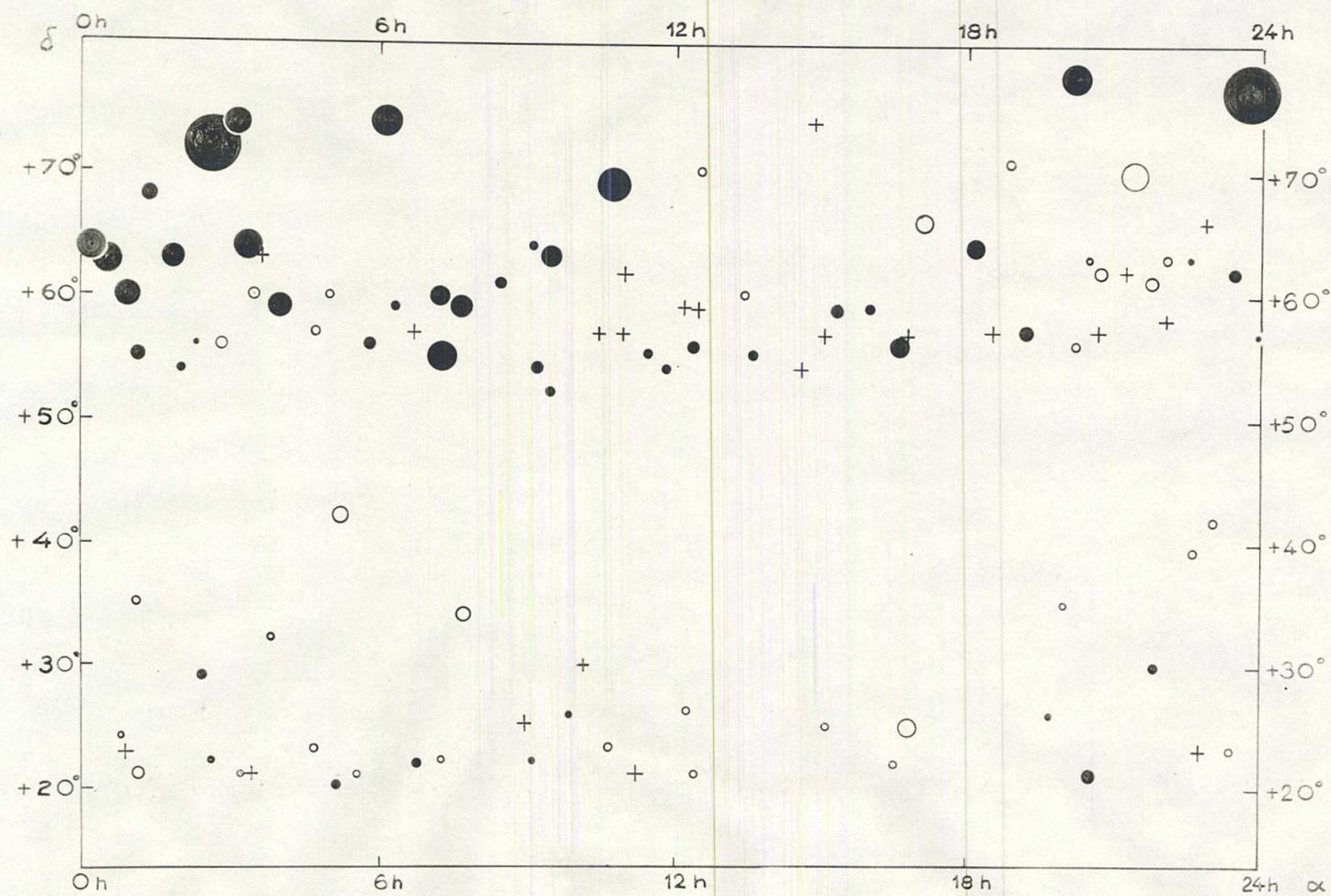


Fig. B. $\Delta\delta$ (Ast.-FK3). 1957. le diamètre des cercles est proportionnel à $\Delta\delta$

$0^{\circ}.100$

- $\Delta\delta \geq 0^{\circ}.005$
- $\Delta\delta \leq -0^{\circ}.005$
- + $|\Delta\delta| < 0^{\circ}.005$

Sur cette carte du ciel, les étoiles sont représentées par des cercles de diamètre proportionnel à $\Delta\alpha$. Les cercles sont noirs quand $\Delta\alpha$ est positif, blancs quand $\Delta\alpha$ est négatif. Quand $\Delta\alpha$ est inférieur à 0s,005, les étoiles sont représentées par des croix. Le résultat est remarquable. Pour les étoiles de déclinaison comprise entre $+20^\circ$ et $+30^\circ$, $\Delta\alpha$ semble réparti au hasard et est toujours petit (sauf pour l'étoile n° 1440 qui a aussi une forte correction en déclinaison). Au delà de $\delta = +55^\circ$, on voit apparaître les cercles de grand diamètre. $\Delta\alpha$ est fortement positif, en général, comme le laissait présager l'erreur $\Delta\alpha_\delta$, mais dans un large fuseau d'ascensions droites, de 11h à 23h, on ne trouve que des corrections petites. Ces quelques étoiles laissent donc soupçonner une erreur $\Delta\alpha_\alpha$ considérable aux déclinaisons supérieures à $+55^\circ$. Par analogie avec les observations méridiennes, on pourrait croire que les valeurs élevées de $\Delta\alpha$ aux grandes déclinaisons et leur dispersion sont dues au fait que l'écart angulaire n'est que $\Delta\alpha \cos \delta$ ($\Delta\alpha/3$ pour $\delta = +70^\circ$). Il n'en est rien, la précision des ascensions droites d'après l'astrolabe ne dépend que de l'azimut ; elle est la même, par exemple, dans la zone de déclinaisons de $+20^\circ$ à $+28^\circ$ que dans la zone de $+68^\circ,5$ à $+73^\circ$. Or, on constate que les écarts vers $\delta = +21^\circ$ sont petits, les grands écarts des hautes déclinaisons sont bien dus au catalogue.

Nous avons déjà montré que le catalogue N30 [13] était en accord avec les résultats de l'astrolabe au sujet de l'erreur $\Delta\alpha_\delta$. En est-il de même pour l'erreur $\Delta\alpha_\alpha$? En faisant usage des tableaux de comparaison FK3 - N30 de H. Nowacki [19], nous avons trouvé les différences $\Delta\alpha(\text{FK3} - \text{N30})$ suivantes (en faisant coïncider les deux catalogues pour $\delta = +20^\circ$) :

$\Delta\alpha$, N30 - FK3, pour 1957 (en 0s,001)

α	0h	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
$\delta = +20^\circ$	- 5	+ 2	- 5	- 2	+ 2	+ 5	0	- 6	- 6	+ 7	+ 5	+ 1	- 5
$\delta = +60^\circ$	+31	+36	+30	+32	+59	+55	+28	+19	+ 6	+ 2	+ 9	+ 2	+31
$\delta = +70^\circ$	+58	+64	+47	+53	+95	+85	+38	+21	+18	+ 9	- 9	+ 6	+58

L'examen de ce tableau montre que l'accord est meilleur, du point de vue des erreurs systématiques des ascensions droites, avec le N30 qu'avec le FK3.

Nous nous trouvons de même en assez bon accord avec les catalogues PU α 1 et PU α 2 de Poulkovo.

Les déclinaisons du FK3 ne semblent pas avoir de grosse erreur systématique et nous pouvons comparer nos correc-

tions aux déclinaisons avec les corrections FK3R - FK3. On sait que le catalogue FK3R [20] sert de transition entre le FK3 et le FK4 qui doit le remplacer. Ce catalogue ne corrige que les positions individuelles du FK3, mais non ses erreurs systématiques. A cause de ces erreurs systématiques, la comparaison de nos ascensions droites avec celles du FK3R out été vaine (1).

Dans le tableau XXVI, nous reproduisons les corrections aux déclinaisons, d'après l'astrolabe et d'après le FK3R, et aussi les corrections Astr - FK3R. L'accord entre l'astrolabe et le FK3R est bon, mais il semble que le FK3R ne corrige pas assez les erreurs du FK3. La moyenne quadratique des corrections Astr - FK3 est 0",18, elle s'abaisse à 0",12 pour les corrections Astr - FK3R.

Extension du catalogue d'étoiles "astrolabe".

Ainsi, après un an d'observations, l'astrolabe a donné les positions de quelques étoiles avec une précision individuelle qui est voisine de celle des meilleurs catalogues fondamentaux et, ce qui est plus important, il semble que ces positions sont exemptes d'erreurs systématiques à l'exception d'une erreur constante en ascension droite et en déclinaison. Ces résultats sont encourageants et nous avons cherché le moyen d'étendre notre catalogue à un beaucoup plus grand nombre d'étoiles. Le principe de cette extension est le suivant.

Des groupes supplémentaires, appelés groupes de catalogue, ont été constitués ; ils comprennent essentiellement des deuxièmes passages d'étoiles utilisés une seule fois dans les groupes du programme. Ces groupes supplémentaires seront rattachés aux 12 groupes du programme par l'observation consécutive, par la même personne, d'un groupe de catalogue et d'un groupe du programme. Une dizaine de ces observations est nécessaire pour chaque

(1) Après l'achèvement de ce travail, nous avons pris connaissance des résultats des observations photoélectriques entreprises à Poulkovo (Bulletin de l'Observatoire Central de Poulkovo n°160. 1957. P.M. Afanasyeva, p. 37 à 61). 36 étoiles de déclinaisons presque toutes comprises entre +55° et +77° sont communes avec les nôtres. L'accord individuel est excellent. Mais il subsiste entre les deux systèmes un écart de la forme $\Delta\alpha_x$ assez considérable (voir tableau en annexe).

Tableau XXVI. Comparaison des déclinaisons des catalogues FK3, FK3R et "astrolabe". Unité 0",01.

n° FK3	Astr-FK3	FK3R-FK3	Astr-FK3R
27	- 10	- 9	- 1
42	+ 16	+ 11	+ 5
1032	- 22	- 6	- 16
46	- 20	+ 6	- 26
66	+ 8	+ 4	+ 4
1068	- 4	0	- 4
87	- 24	- 9	- 15
89	- 7	- 8	+ 1
1089	+ 5	+ 8	- 3
1094	+ 24	+ 16	+ 8
144	+ 4	+ 2	+ 2
174	- 12	- 4	- 8
211	+ 22	+ 7	+ 15
1173	+ 25	+ 7	+ 18
269	+ 6	- 3	+ 9
279	- 9	- 3	- 6
296	0	- 8	+ 8
1239	+ 14	+ 1	+ 13
358	+ 5	+ 1	+ 4
371	- 11	- 5	- 6
403	+ 13	+ 3	+ 10
405	- 7	- 9	+ 2
422	+ 15	+ 1	+ 14
1304	+ 20	+ 17	+ 3
1318	- 12	- 8	- 4
466	- 23	- 20	- 3
472	+ 18	- 5	+ 21
550	- 4	+ 4	- 8
1396	+ 34	+ 17	+ 17
1400	0	+ 2	- 2
618	0	- 7	+ 7
1440	- 31	- 26	- 5
1465	+ 55	+ 36	+ 19
703	- 3	+ 7	- 10
714	- 21	- 7	- 14
1515	+ 4	+ 8	- 4
1521	+ 14	- 1	+ 15
759	- 4	- 8	+ 4
1539	- 5	+ 6	- 11
809	- 21	+ 3	- 24
1575	- 18	- 1	- 17
852	+ 7	+ 15	- 8
859	+ 3	+ 4	- 1
869	- 38	- 14	- 24
881	- 13	+ 11	- 24
893	+ 14	- 9	+ 23

groupe de catalogue. Cette méthode revient à rattacher les groupes de catalogue au groupe moyen par l'intermédiaire des groupes du programme ; les observations bénéficieront de l'amélioration progressive du raccordement. Le rattachement peut se faire sur un deuxième astrolabe. C'est ce que nous ferons à Paris, où nous pourrions utiliser un astrolabe O.P.L. prêté par l'Institut Géographique National. On observera chaque nuit, sur cet astrolabe, un groupe du programme suivi ou précédé par un groupe de catalogue. Cette organisation permettra de constituer en un ou deux ans un catalogue de 300 étoiles environ, du FK3 et du FK3 Supp. En outre, le même groupe du programme sera observé simultanément sur les deux instruments et la comparaison des résultats obtenus sera d'un grand intérêt.

L'erreur $\Delta\alpha$ du FK3.

La meilleure façon d'obtenir l'erreur $\Delta\alpha$ serait de connaître les ascensions droites d'un grand nombre d'étoiles, mais nous allons montrer que ce n'est pas indispensable et que, si l'on connaît le raccordement des groupes, cette erreur peut se déduire de la considération des écarts des étoiles à un seul passage.

Considérons une petite aire du ciel. Les étoiles comprises dans cette aire sont observées les unes à l'Est, les autres à l'Ouest. Reprenons la formule (7). Si l'on fait la moyenne des $\Delta\alpha$ pour les n étoiles de l'aire envisagée, $|\sin Z|$ et $\cos S$ peuvent être considérés comme constants et

$$\bar{\Delta\alpha} = \frac{1/n (\sum \alpha_E - \sum \alpha_W)}{|\sin Z| \cos \varphi} + \frac{1/n (\sum \Delta\delta_E - \sum \Delta\delta_W)}{|\sin Z| \cos \varphi} \cos S$$

$\sum \alpha_E$, $\sum \alpha_W$, $\sum \Delta\delta_E$ et $\sum \Delta\delta_W$ représentent les sommes des résidus et des $\Delta\delta$ des étoiles suivant qu'elles ont été observées à l'Est ou à l'Ouest. Comme les étoiles observées à l'Est et à l'Ouest sont en nombres sensiblement égaux, s'il existe une erreur systématique des déclinaisons, elle affectera très peu $\bar{\Delta\alpha}$ ainsi calculé. Les erreurs individuelles, d'autre part, verront leurs effets atténués par la moyenne. Il faut toutefois, que le facteur $\cos S / \sin Z$ ne soit pas trop grand. Ce facteur a les valeurs suivantes:

δ	+20°	21°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	72°	74°	75°
$\frac{ \cos S }{ \sin Z }$	3,0	2,1	1,2	0,8	0,5	0,3	0,0	0,7	1,1	1,7	2,1

Il croît rapidement lorsqu'on s'approche du méridien. Nous

Tableau XXVII. Recherche de l'erreur $\Delta\alpha$ du FK3. Valeurs individuelles de $\frac{\cos\delta}{\sin Z}$ et $\frac{\cos\delta}{\cos\varphi}$ (en 0",01).
On donne le numéro FK3 des étoiles, ou GC (5 chiffres) pour le FK3 Supp. Les étoiles sont rangées par ordre d'ascension droite croissante dans chaque case. Lorsque les deux passages sont observés, on a donné d'abord le résidu Est.

α	23 - 1		1 - 3		3 - 5		5 - 7	
$\delta = +60^\circ$	32388	+35	01434	+20	03759	+16	06288	+19
à $+75^\circ$	882	+ 9	46	+ 7	03759	+ 8	06288	+12
	893	+38	46	+14	1096	+23	233	+ 6
$\frac{\cos\delta}{\sin Z}$	893	+ 9	55	+12	129	+ 1	234	+ 8
$\frac{\cos\delta}{\cos\varphi}$	00094	+23	63	+17	178	- 2	08902	+16
	16	+22	87	+25	182	- 2	259	+17
	32	+24	87	+43	182	-14		
$\delta = +40^\circ$	32409	+23	1030	+23	108	+ 7	185	- 8
à $+60^\circ$	899	+ 6	52	- 7	112	+ 3	1145	-26
			57	+ 5	122	-12	06556	-29
$\frac{\cos\delta}{\sin Z}$			1054	+12	122	-15	06556	-35
$\frac{\cos\delta}{\cos\varphi}$			02836	+ 6	04858	+43	1157	+18
			93	-15	05256	-38	237	+11
			99	-21	175	0	08826	+ 5
					175	-24	08826	- 5
							255	- 3
							1176	+17
$\delta = +21^\circ$	880	- 4	42	-28	1089	-16	184	+ 7
à $+40^\circ$	1613	-23	42	- 8	1089	+ 6	06259	+ 8
	881	+14	1032	+32	1094	-54	06259	+27
	881	-24	1032	-67	1094	+46	192	+28
$\frac{\cos\delta}{\sin Z}$	1629	+13	01474	-13	139	-29	211	-57
$\frac{\cos\delta}{\cos\varphi}$	1	- 5	45	- 6	144	-14	211	+35
	1009	- 7	01630	+26	144	- 8	1153	-28
	19	+22	1068	+23	148	+ 5	1163	-32
	27	+ 4	1068	+17	04944	- 7	241	0
	27	-22	89	+13	1116	-14	254	+ 4
	33	- 9	89	- 7	174	+12	08965	+30
	01136	+18	100	0	174	-25	08965	0
	01136	-10			06048	-23	261	-13
							1182	-19

Tableau XXVII (suite 1)

α	7 - 9		9-11		11-13		13-15	
$\delta = +60^\circ$	300	+ 7	12646	+ 7	417	+ 1	500	- 4
$\grave{a} +75^\circ$	317	+10	355	+22	429	- 1	500	- 6
	338	+ 6	355	+15	433	+ 2	550	- 2
			357	+ 1	440	+ 9	550	+ 2
$\frac{\cos \delta}{\sin Z}$			13364	+37	472	0	554	- 1
$\cos \varphi$			14688	+33	472	- 9		
			403	+23	486	+15		
			403	+18				
$\delta = +40^\circ$	09851	+42	12761	+18	420	-21	1338	+40
$\grave{a} +60^\circ$	280	+54	358	+ 9	15875	+16	18009	-31
	1195	+18	358	+11	447	+12	18356	+ 4
	292	+47	283	+ 4	456	+ 1	18504	+ 8
$\frac{\cos \delta}{\sin Z}$	10377	+21	14491	+ 9	458	-26	531	-16
$\cos \varphi$	314	-22	298	+ 4	1316	-34	540	+11
	11424	+10	416	- 3	16985	+20	19742	0
					467	- 1		
$\delta = +21^\circ$	279	+ 9	12496	+20	15319	-60	18741	+17
$\grave{a} +40^\circ$	279	-22	12496	-16	422	-36	522	-11
	296	-29	1259	-18	422	+33	1370	+26
	296	-29	1239	+29	16030	+10	534	-18
$\frac{\cos \delta}{\sin Z}$	1207	+ 7	1244	- 1	1300	-17	535	- 6
$\cos \varphi$	305	+16	13143	+18	16051	- 9	1380	-22
	1228	+10	371	+19	16752	+32	1383	-29
	328	-10	371	- 5	16754	+14		
	12326	- 7	1258	-24	1318	0		
	1232	+ 7	14086	-11	1318	-25		
			14086	+15	466	-46		
			405	- 2	1323	-16		
			405	-23	17225	-15		
			412	+14	17225	- 6		
					1332	+12		

Tableau XXVII. (suite 2)

α	15-17		17-19		19-21		21-23	
$\delta = +60^\circ$	565	+ 9	639	-17	759	+ 7	803	+ 2
$\grave{a} +75^\circ$	619	- 2	639	-15	759	+16	803	- 1
			664	+14	767	- 3	809	-24
			670	+ 5	28919	+20	809	-13
$\frac{\cos \delta}{\sin Z}$			685	+12	783	-12	1572	-12
$\cos \varphi$			695	-10			850	- 7
			714	-11			851	- 4
			714	+ 2			853	+ 5
							863	- 1
							863	+ 1
$\delta = +40^\circ$	555	+ 7	23172	-49	26475	+19	792	- 9
$\grave{a} +60^\circ$	1395	- 8	653	-19	726	+ 4	1568	-24
	1397	- 2	1462	+42	733	-20	811	- 9
	1397	- 5	25085	+11	738	+47	30391	+35
$\frac{\cos \delta}{\sin Z}$	571	+24	25362	0	758	- 7	836	+ 1
$\cos \varphi$	573	-25	26138	+ 8	28537	+ 5	844	- 8
	598	+15			782	+ 3	848	-10
	608	-29					31998	- 1
	22172	+ 9					869	+ 6
	22398	+41					869	-30
	1434	-16						
	627	-11						
	627	+15						
$\delta = +21^\circ$	20224	-44	1460	- 1	26569	+17	1565	+ 7
$\grave{a} +40^\circ$	1396	-52	667	+28	724	+12	30219	+17
	1396	+27	1468	+ 8	732	-16	1575	+27
	563	-10	672	- 5	1510	+ 1	1575	- 5
$\frac{\cos \delta}{\sin Z}$	568	- 8	681	- 6	1515	+ 1	823	+25
$\cos \varphi$	572	-24	25003	- 2	1515	+ 9	831	+ 7
	576	-22	690	-36	740	+18	1583	-36
	578	- 7	1479	+38	1521	-15	852	-18
	1414	- 2	1488	-10	1521	+ 4	852	-10
	593	-10	25954	-38	27677	-33	857	- 7
	21534	-16	713	- 2	760	-37	859	0
	21552	-44			28242	-20	859	+ 6
	22020	+ 7			1539	+30		
	618	-10			1539	+ 9		
	618	- 9			1549	-73		
	1440	+ 8						
	1440	-67						
	22802	-43						

ne ferons entrer dans les moyennes que les étoiles pour lesquelles il est inférieur à 2, c'est-à-dire les étoiles de déclinaison comprise entre +21° et +75°.

Le nombre total des passages observés n'est que 340. Nous serons conduits à former des aires étendues pour que les moyennes aient un sens. Cela présente un inconvénient, car l'erreur $\Delta\alpha$ croît rapidement avec la déclinaison. Comme l'étude des catalogues laisse penser que le produit $\Delta\alpha \cos\delta$ est peu variable en fonction de δ , nous avons fait porter les moyennes sur $\Delta\alpha \cos\delta$ pour les déclinaisons supérieures à +60°.

Remarquons enfin que les étoiles à double passage figureront deux fois. Nous avons conservé leurs deux résidus, ce qui revient à leur donner un poids supérieur à celui des autres étoiles. Ce procédé est arbitraire, mais il tient compte, en partie, du fait que, pour ces étoiles, l'erreur résultant de la déclinaison est totalement éliminée. Nous pouvons conserver ces étoiles lorsque les déclinaisons sortent de l'intervalle +21, +75°.

Le tableau XXVII donne les valeurs individuelles de $\frac{\Delta\alpha \cos\delta}{\sin Z \cos\psi}$ et de $\frac{\Delta\alpha}{\sin Z \cos\psi}$, exprimées en millièmes de seconde d'heure. Les moyennes qui représentent $\overline{\Delta\alpha \cos\delta}$ et $\overline{\Delta\alpha}$ sont données dans le tableau XXVIII, après réduction pour que $\overline{\Delta\alpha}$ soit nul, en moyenne, dans la zone +20°, +40°.

Aux déclinaisons de +20 à +40°, il n'apparaît pas d'erreur significative du FK3, à part une irrégularité accusée vers $\delta = 16h$.

Aux déclinaisons supérieures, de +40 à +60°, un fait est remarquable : il existe un fuseau étroit d'ascensions droites, vers 8h où $\overline{\Delta\alpha}$ est fortement positif. Cette saillie est significative.

Tableau XXVIII. $\overline{\Delta\alpha}$, Astr - FK3, pour 1957 (en 0s,001).

	δ	α	0h	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
$\Delta\alpha$	{	20-40	+ 2	+ 4	- 5	+ 4	0	+ 6	- 4	- 1	-13	+ 2	- 1	+6	+ 2
		40-60	+19 ⁽¹⁾	+ 6	0	- 1	+29	+12	+ 1	+ 7	+ 6	+ 3	+12	0	+19 ⁽¹⁾
$\Delta\alpha \cos\delta$		60-75	+24	+21	+ 5	+14	+ 9 ⁽²⁾	+21	+ 3	- 1	+ 5 ⁽³⁾	- 1	+ 7	-2	+24

(1) 2 résidus. (2) 3 résidus. (3) 2 résidus.

Mais c'est aux déclinaisons de +60 à +75° que les résultats sont les plus intéressants. L'erreur $\overline{\Delta\alpha}$ est considérable dans le FK3 : les valeurs positives s'étendent de 0h à 10h, tandis que $\overline{\Delta\alpha}$ de 12h à 22h se trouve en accord avec les valeurs pour les étoiles moins boréales. L'ampli-

Tableau XXIX.

Recherche de l'erreur $\Delta\delta_{\alpha}$ du FK3, pour les déclinaisons de +20 à +30°. Valeurs individuelles de $-\frac{W}{\cos S}$ (en 0",01). On donne le numéro FK3 des étoiles, ou GC (5 chiffres) pour le FK3 Supp. Les étoiles sont rangées par ordre d'ascension droite croissante dans chaque case. Lorsque les deux passages sont observés, on a donné d'abord le résidu Est.

α	23 - 1	1 - 3	3 - 5	5 - 7
$\frac{-W}{\cos S}$	1 + 5	1032 -14	1089 + 7	184 - 4
	19 -25	1032 -30	1089 + 5	06259 - 3
	27 - 3	01474 +10	1094 +25	06259 +11
	27 -17	45 + 6	1094 +22	211 +28
	01136 -12	01630 -29	139 +22	211 +17
	01136 - 7	66 + 8	04944 + 8	1158 +29
	880 - 3	1068 -27	1116 -13	1163 +23
	881 -10	1068 +19	174 - 8	241 0
	881 -16	89 -10	174 -16	1173 +25
	1629 -11	89 - 4	06048 -20	254 + 4
		100 0		08965 -17
				08965 0
				1182 +15
α	7 - 9	9 - 11	11 - 13	13 - 15
$\frac{-W}{\cos S}$	269 + 6	12496 -16	15319 -50	522 -10
	279 - 5	12496 -13	422 +16	1380 +26
	279 -13	1239 +11	422 +15	1383 -28
	1207 + 7	1239 +18	16030 - 5	
	10707 -15	1244 + 1	1304 +20	
	305 +16	13143 -13	16752 +25	
	1228 + 5	371 -18	1318 0	
	328 +12	371 - 5	1318 -23	
	12326 - 8	14086 +13	436 -23	
		14086 +18	1323 +10	
		405 + 2	17225 + 8	
		405 -16	17225 - 3	
		15162 +15	1332 +13	
α	15 - 17	17 - 19	19 - 21	21 - 23
$\frac{-W}{\cos S}$	20224 -38	1460 + 1	26569 + 9	1565 - 5
	1396 +44	667 -29	732 +17	1575 -32
	1396 +23	1465 +55	1515 0	1575 - 6
	1400 0	1468 - 8	1515 + 8	823 -22
	572 -28	681 - 7	760 -30	831 + 6
	578 + 7	25003 - 2	1539 -14	857 + 9
	593 - 9	690 -20	1539 + 4	859 0
	21534 +19	1479 +45	1549 -44	859 + 5
	21552 +29	703 - 3		
	618 + 7	1488 - 9		
	618 - 6	25954 +24		
	1440 - 7			
	1440 -55			
	22802 +21			

tude de $\Delta\alpha \cos\delta$ est supérieure à 0s,020, alors que les incertitudes du raccordement ne pourraient expliquer qu'une amplitude de 0s,002.

Le nombre des étoiles utilisées dans cette détermination de l'erreur $\Delta\alpha_x$ est trop petit pour que nous puissions prétendre mettre en évidence des erreurs systématiques locales ou régionales. Nous ne pouvons faire apparaître que des torsions générales du système du FK3. Là encore, il y a beaucoup à attendre des observations de l'A.G.I.

L'erreur $\Delta\delta_\alpha$ du FK3.

On peut opérer pour les déclinaisons comme pour les ascensions droites, lorsque le raccordement est assuré et que les écarts sont rapportés au groupe moyen. On peut écrire, en effet, $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ étant pris dans le sens (astrolabe - catalogue) :

$$\Delta\delta = \frac{-\mathfrak{M}}{\cos S} - \frac{\sin Z \cos \psi}{\cos S} \Delta\alpha$$

Une petite aire du ciel comprendra des étoiles observées à l'Est et à l'Ouest et lorsqu'on fera la moyenne des $\Delta\delta$ de cette aire, les termes en $\Delta\alpha$ se trouveront pratiquement éliminés par suite des changements de signe de leurs coefficients. Il faut, toutefois, que le facteur $\sin Z / \cos S$ ne soit pas trop grand. D'autre part, l'importance de l'erreur $\Delta\alpha$ aux déclinaisons élevées est telle qu'elle pourrait introduire des erreurs et nous nous bornerons à appliquer cette formule à la zone de déclinaisons de $+20^\circ$ à $+30^\circ$. $\sin Z / \cos S$ varie alors, en valeur absolue, de 0,3 à 1,2. Le tableau XXIX donne les valeurs individuelles de $-\mathfrak{M} / \cos S$. Les moyennes sont rassemblées dans le tableau XXX, après élimination d'un terme constant. On a reproduit aussi la différence $\Delta\delta_\alpha$ (N30-FK3) et on en a déduit l'erreur $\Delta\delta_\alpha$ (Astr-N30). L'accord est meilleur avec le N30 qu'avec le FK3 : la moyenne quadratique des $\Delta\delta_\alpha$ n'est que $0'',036$ au lieu de $0'',053$. On ne discerne pas de période de 24h dans l'erreur des déclinaisons des deux catalogues.

Tableau XXX. $\Delta\delta_\alpha$, Astr - FK3 et Astr - N30, pour 1957, déclinaisons de $+20$ à $+30^\circ$. Unité $0'',01$.

	0h	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Astr-FK3	- 9	- 5	+ 4	+11	+ 2	+ 1	+ 1	- 3	+ 2	+ 5	- 5	- 5	-9
N30 -FK3	- 9	+ 1	+ 3	+ 6	0	+ 1	0	- 3	+ 3	- 1	- 1	+ 1	-9
Astr-N30	0	- 6	+ 1	+ 5	+ 2	0	+ 1	0	- 1	+ 6	- 4	- 6	0

=====

IX. Conclusion

Le rôle fondamental de l'astrolabe impersonnel est la mesure de l'heure et de la latitude. Le programme d'observations a été établi avec le souci d'affranchir les résultats des erreurs dues au catalogue d'étoiles.

La méthode d'observations en chaîne que nous avons utilisée a été parfois critiquée. Appliquée à l'origine aux observations du Service International des Latitudes, elle a été ensuite abandonnée parce qu'on lui reprochait de laisser apparaître des équations de fermeture qui n'ont pas d'explication simple et dont la répartition est arbitraire. Mais la cause de ces équations de fermeture ne peut-elle être d'origine instrumentale ? A cet égard, des mesures faites avec un instrument d'un type nouveau doivent être instructives et, à elle seule, l'étude de l'équation de fermeture justifierait les observations en chaîne. Il faut d'ailleurs considérer que cette méthode permet l'élimination des erreurs du catalogue. Ces erreurs ont une influence sur les résultats qui est bien plus grande que celle des erreurs dues au raccordement des groupes. C'est d'autre part, la seule méthode qui puisse être utilisée dans un observatoire qui détermine isolément la latitude et l'heure.

L'utilisation de l'astrolabe ne s'arrête pas là. N'attachons pas trop d'importance à la mesure de la constante de l'aberration, la méthode utilisée a donné trop souvent des résultats décevants. Les principaux résultats obtenus se rapportent à l'amélioration des catalogues d'étoiles : correction des erreurs systématiques et de quelques positions individuelles. Sans effectuer d'observations spéciales, chaque usager d'un astrolabe pourra contribuer à l'élimination des erreurs systématiques ; il se constituera en outre, un lissage du catalogue portant sur un nombre d'étoiles petit, mais dont la valeur sera très grande, tant en position qu'en mouvement propre.

La qualité des positions des étoiles obtenues avec l'astrolabe justifie qu'un appareil soit soustrait à son travail de routine et soit consacré uniquement à des recherches sur les catalogues. La tâche est grandement facilitée si deux astrolabes peuvent travailler conjointement au voisinage l'un de l'autre, l'un poursuivant des mesures de temps et de latitude, l'autre étant consacré aux recherches. Dans l'hémisphère austral, notamment, où

les positions des étoiles sont souvent mal connues, quelques années de travail dans une station bien choisie devraient apporter des résultats précieux.

Signalons enfin, qu'une longue période d'observations permettra de mesurer la constante de la nutation avec une approximation satisfaisante.

L'observation de hauteurs égales constitue une méthode d'investigation puissante et grâce aux qualités de l'astrolabe impersonnel de M. Danjon, elle est appelée à prendre une place de premier ordre dans l'astronomie de position.

=====

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Claude et L. Driencourt. La méthode des hauteurs égales en astronomie de position. Rev. gén. Sc., 1905, p. 972.
- [2] A. Claude et L. Driencourt. L'instrument des hauteurs égales en astronomie de position. Rev. gén. Sc., 1905, p. 1071.
- [3] A. Claude et L. Driencourt. Description et usage de l'astrolabe à prisme. 1 vol. Gauthier-Villars, Paris. 1910.
- [4] A. Danjon. L'astrolabe impersonnel de l'Observatoire de Paris. Bull. Astron. t. 18, p. 251 à 281.
- [5] C.R. Acad. Sc., t. 227, 1948, p.310.
- [6] Duhamel. Déterminations astronomiques en campagne. Inst. Géog. Nat. Paris 1949.
- [7] B. Guinot. Astrolabe impersonnel. Réductions. Résultats. Bull. Astron. t. 18, p. 282.
- [8] A. Danjon. Bull. Astron.. (sous presse).
- [9] Instruction Manual, longitude and latitude. Publications committee of C.S.A.G.I. London 1956.
Voir aussi : Annals of the international Geophysical Year. Vol. IV, pages 151 à 154. 1957.
- [10] E. W. Woolard. Astronomical Papers of the american Ephemeris. Vol: XV, Part I, 1953.
- [11] Trans. I.A.U., vol. VII, p. 75, 1950.
- [12] J.G. Porter et D.H. Sadler. Monthly Notices R.A.S. 110, p. 467, 1950.
- [13] L.F. Jenkins. General catalog of trigonometric stellar parallaxes. Yale University Observatory. 1952.
- [14] B. Guinot. Détermination des erreurs systématiques des ascensions droites en fonction de la déclinaison dans les catalogues d'étoiles FK3 et N.30. Bull. Astr. t. 20. p. 119 à 130. 1956.

- [15] J. Jackson. A new determination of the constant of nutation. Monthly Notices R.A.S. 90, p. 753, 1950.
- [16] H. S. Jones. The determination of the constant of nutation from the Greenwich latitude variation observations. M.N.R.A.S. 98 p. 440. 1938.
- [17] P. Melchior. Déplacements séculaires du pôle moyen et catalogues d'étoiles. Comm. Obs. Royal de Belgique 79, 1955, p. 3 à 19.
- [18] H.R. Morgan. Catalog of 5268 standard stars, 1950,0 based on the normal system N30. Astronomical Paper of the Amer. Eph. Vol. XIII, Part III, 1952.
- [19] H. Nowacki. Vergleich des FK3 mit dem Normalkatalog N30 von H. R. Morgan. Nachrichtenblatt des Astr. Zentralstelle, nr 6, p. 21 à 24. 1953.
- [20] Individuelle Verbesserungen des FK3, nördlich von -30° Deklination. Ver. des Astron. Rechen-Instituts Heidelberg. n° 6. 1957.

=====

J'exprime ma profonde reconnaissance à l'égard de M. A. Danjon, qui m'a associé aux dernières mises au point de son Astrolabe Impersonnel, puis m'a laissé le soin d'organiser les observations et leurs réductions. Les conseils de M. Danjon et l'intérêt qu'il a porté aux recherches que j'ai entreprises, à propos des catalogues d'étoiles notamment, m'ont constamment aidé et encouragé.

J'adresse aussi mes remerciements à M. L. Arbey, Astronome Adjoint à l'Observatoire de Paris, qui a assuré, en alternance avec moi, le service régulier d'observations. Les résultats de ce travail n'auraient pu être obtenus si M. Arbey n'avait pas mis tout son soin à assurer le raccordement par l'observation de groupes d'étoiles supplémentaires, hors programme.

Il me reste à remercier mes autres collaborateurs : M. Billaud, de l'Observatoire d'Alger, Mlles Débarbat et Libralon, qui ont participé aux observations ; M. Bonneau, à qui nous devons la mise en évidence d'un effet personnel ; Mlles Loew, Roger et Fiel, qui ont réduit les observations et exécuté de nombreux calculs.



Paris, le 10 avril 1958