

NETHERLANDS GEODETIC COMMISSION

PUBLICATIONS ON GEODESY

NEW SERIES

VOLUME 1

NUMBER 4

ANALYSE VAN DE WAARNEMINGSRESULTATEN  
VERKREGEN OP HET  
GEODETISCH-ASTRONOMISCH STATION OP CURAÇAO  
TIJDENS HET INTERNATIONAAL GEOFYSISCH JAAR 1957-1958  
EN EEN ONDERZOEK VAN HET ASTROLABIUM A. DANJON

ANALYSE DES RÉSULTATS  
DES OBSERVATIONS FAITES A CURAÇAO  
PENDANT L'ANNÉE GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE 1957-1958  
ET RECHERCHES EFFECTUÉES SUR L'ASTROLABE A. DANJON

DR. IR. A. C. SCHEEPMAKER

1963

RIJKSCOMMISSIE VOOR GEODESIE, KANAALWEG 4, DELFT, NETHERLANDS

PRINTED IN THE NETHERLANDS BY W. D. MEINEMA N.V., DELFT

## VOORWOORD

Het was op 27 augustus 1957 dat de Gouverneur van de Nederlandse Antillen, Drs. B. SPEEKENBRINK, met een redevoering en het hijsen van de vlag het geodetisch-astronomisch station op Curaçao opende, een van Nederland's bijdragen aan het Internationaal Geofysisch Jaar.

Dit was tegelijkertijd een einde en een begin; het einde van de voorbereidende werkzaamheden, die reeds in 1955 waren begonnen en een begin van de eigenlijke waarnemingen, die zouden worden uitgevoerd door de twee geodetisch ingenieurs, Ir. J. ROLFF en Ir. A. C. SCHEEPMAKER, en zouden duren tot januari 1959.

Daarna heeft laatstgenoemde zich belast met het analyseren van de waarnemingsresultaten. De toegepaste methoden en verkregen resultaten zijn beschreven in dit boekwerk, deel 4 van de nieuwe serie publikaties van de Rijkscommissie voor Geodesie. Tevens wordt een onderzoek behandeld, dat is ingesteld naar enkele geconstateerde foutenbronnen van een der gebruikte instrumenten, het prisma astrolabium.

Met het oog op coördinatie van dit werk in een internationaal kader en ook in verband met bestaande waarnemingsfaciliteiten heeft Ir. SCHEEPMAKER dit analyse- en onderzoekingswerk grotendeels verricht aan het Observatoire de Paris, dat gedurende het Internationaal Geofysisch Jaar als Internationaal Centraal Bureau voor geodetisch-astronomisch werk optrad.

Zeer gewaarde steun en medewerking is daarbij ondervonden van de Directeur van het Observatoire, Prof. Dr. A. DANJON en de Chef van de sectie Astrolabium, Dr. B. GUINOT.

De Voorzitter van de Rijkscommissie voor Geodesie,



Prof. R. ROELOFS

## AVANT-PROPOS

### PAR LE PRÉSIDENT DE LA COMMISSION GÉODÉSIQUE NÉERLANDAISE

C'est le 27 Août 1957 que par un discours et en hissant le drapeau, M. B. SPEEKENBRINK, Gouverneur des Antilles Néerlandaises, inaugura la station géodésique astronomique à Curaçao, l'une des contributions néerlandaises à l'Année Géophysique Internationale.

C'était à la fois une fin et un commencement; une fin, celle des travaux préparatoires qui ont débuté dès 1955 et un commencement, celui des observations proprement dites qui devaient être faites par les deux ingénieurs géodésiques. MM. J. ROLFF et A. C. SCHEEPMAKER, et qui devaient durer jusqu'en Janvier 1959.

Ce dernier s'est ensuite chargé d'analyser les résultats des observations. Les méthodes appliquées et les résultats obtenus sont exposés dans cet ouvrage, fascicule 4, nouvelle série, des publications de la Commission Géodésique Néerlandaise. De plus ont été décrites des recherches, faites pour localiser quelques sources d'erreurs constatées sur l'un des instruments utilisés, l'astrolabe à prisme.

En vue de la coordination de ce travail dans le cadre international et en raison des facilités d'observation existantes, M. SCHEEPMAKER a effectué l'analyse et les recherches pour une grande part à l'Observatoire de Paris, Bureau Central International pour les travaux géodésiques-astronomiques pendant l'Année Géophysique Internationale.

Le concours et l'aide du Directeur de l'Observatoire, le Professeur A. Danjon, et du Chef du Service des Astrolabes, M. B. GUINOT, ont été fort appréciés.

# INHOUD

	Inleiding . . . . .	1
HOOFDSTUK 1	De inrichting van het station	
	De keuze van de plaats van het station . . . . .	2
	Bemanning en instrumentarium . . . . .	2
	Instrumenten-gebouwtjes . . . . .	3
	Verleende hulp voor de inrichting van het station . . . . .	4
HOOFDSTUK 2	Waarnemingen met het meridiaandoorgangsinstrument	
	Het instrument . . . . .	7
	Sterselectie en berekeningswijze . . . . .	9
	Resultaten . . . . .	12
HOOFDSTUK 3	Waarnemingen met het astrolabium	
	Het samenstellen van de groepen . . . . .	17
	Berekeningswijze van de waarnemingen . . . . .	18
	Verandering van de sterafwijkingen met de tijd . . . . .	22
	Herberekening. . . . .	23
	Resultaten . . . . .	26
	Breedtebepalingen . . . . .	31
HOOFDSTUK 4	Waarnemingen met de maancamera	
	Doel van de waarnemingen . . . . .	35
	De camera . . . . .	36
	Waarnemingen op Curaçao . . . . .	37
	Resultaten . . . . .	38
HOOFDSTUK 5	Tijd- en lengtebepalingen	
	Bepaling van de universele tijd. . . . .	40
	Het bewaren van de tijd . . . . .	42
	Het ontvangen van radio-tijdseinen . . . . .	44
	De nauwkeurigheid van de waarnemingen voor de Internationale Tijddienst	45
	De waargenomen tijd . . . . .	46
	Lengtebepaling . . . . .	51
HOOFDSTUK 6	Verbetering van de stercoördinaten	
	Verbetering van de stercoördinaten uit meridiaanwaarnemingen . . . . .	54
	Verbetering van de stercoördinaten uit astrolabiumwaarnemingen . . . . .	55

HOOFDSTUK 7	Verklaring van de hoogte-verandering met de tijd bij de astrolabiumwaarnemingen	
	De veranderingen van de waargenomen hoogte . . . . .	63
	Refractie . . . . .	64
	Autocollimatie op de vlakke spiegel . . . . .	66
	Onderzoek van het prisma . . . . .	67
	Conclusie . . . . .	75
HOOFDSTUK 8	Onderzoek van enige afwijkingen bij de astrolabium- waarnemingen	
	Persoonlijke verschillen . . . . .	78
	Afwijkende waarde van $\Delta\alpha_\delta$ . . . . .	84
	Samenvatting . . . . .	86
	Résumé en français . . . . .	89
	Literatuurlijst . . . . .	119
	Annexen . . . . .	120

## ERRATA

Pag. 17, laatste regel; *staat*  $+40^{\circ},0$ , *moet zijn*  $+41^{\circ},0$ .

Pag. 26, r. 11 v.o.; *staat* 0,002, *moet zijn* 0,004.

Pag. 35, r. 7 v.b.; *staat* 30 cm, *moet zijn* 20 cm.

Pag. 42, r. 21 v.b.; *staat* 50, 10 en 1 kc/s, *moet zijn* 10 en 1 kc/s en 50 c/s.

Pag. 57, r. 14 v.b.; *staat*  $\Delta\delta = \alpha_{\text{Astr}} - \alpha_{\text{FK4}}$ , *moet zijn*  $\Delta\alpha = \alpha_{\text{Astr}} - \alpha_{\text{FK4}}$ .

Pag. 59, r. 1 v.b.; *staat*  $\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha}$ , *moet zijn*  $\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha} \cdot \eta$ .

Pag. 61, r. 15 v.b.; *staat* *middelde*, *moet zijn* *gemiddelde*.

Pag. 72, r. 15 v.o.; *staat* *wordt het beeld van de kruisdraden tussen het brandvlak en het oculair gevormd*, *moet zijn* *ligt het snijpunt van deze stralen na doorgang door het objectief tussen het brandvlak en het oculair*.

Pag. 80, in tabel 28; *staat*  $\bar{V}(R-S)$ , *moet zijn*  $\bar{V}'(R-S)$ .

Aangemoedigd door het succes van twee internationale wetenschappelijke ondernemingen, de zogenaamde Pooljaren, die in 1882-'83 en in 1932-'33 plaats vonden, werd een derde onderneming georganiseerd die heeft geduurd van 1 juli 1957 tot 1 januari 1959: het Internationaal Geofysisch Jaar 1957-1958. Waren de Pooljaren voornamelijk bedoeld om onderzoekingen te verrichten in de poolstreken op het gebied van de meteorologie en enkele aanverwante wetenschappen, gedurende het Internationaal Geofysisch Jaar werden zoveel mogelijk wetenschappen, die verband houden met de geofysica, betrokken bij de onderzoekingen, waaraan stations over de gehele aarde verspreid meewerkten. Voor een overzicht van de geschiedenis die tot het Internationaal Geofysisch Jaar heeft geleid en de rol die Nederland bij de drie ondernemingen heeft gespeeld, wordt verwezen naar [1] door Prof. Dr. Ir. F. A. VENING MEINESZ, voorzitter van het Nederlands Comité voor het Internationaal Geofysisch Jaar 1957-1958.

Een van de Nederlandse bijdragen aan het Internationaal Geofysisch Jaar was de vestiging van een geodetisch-astronomisch station op het eiland Curaçao in de Nederlandse Antillen. Het initiatief hiervoor ging uit van Prof. R. ROELOFS [2], hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft. Prof. ROELOFS had ook de algemene leiding van het project, terwijl de leiding op Curaçao in handen was van Ir. J. ROLFF. Na twee jaar voorbereidingen op het Laboratorium voor Geodesie van de Technische Hogeschool en enige maanden op Curaçao zelf, zijn van juli 1957 tot januari 1959 op dit station geodetisch-astronomische waarnemingen gedaan.

Het doel van de waarnemingen in internationaal verband was een beter inzicht te verkrijgen in enige verschijnselen, waarvan de voornaamste zijn:

- de variatie van de plaatselijke tijd en de geografische breedte van het station,
- de beweging van de pool,
- onregelmatigheden in de omwentelingssnelheid van de aarde,
- onjuistheden in de wetenschappelijke radio-tijdseinen,
- de voortplantingssnelheid van radio-golven,
- veranderingen in de geocentrische coördinaten van het station,
- de beweging van de maan ten opzichte van de aarde,
- afwijkingen van de coördinaten van de waargenomen sterren.

De waarnemingen op het Curaçaose station werden uitgevoerd met het astrolabium van A. Danjon, het meridiaandoorgangsinstrument van Pistor en Martins en de maancamera van W. Markowitz.

In een voorlopig verslag [3] werd door Prof. R. ROELOFS reeds een overzicht gegeven van de verrichte waarnemingen. In de volgende hoofdstukken zullen de waarnemingen uitgebreider worden besproken en de verkregen resultaten worden geanalyseerd voor zover dit voor een enkel station mogelijk is. Verder zullen enige afwijkingen worden onderzocht die zijn opgemerkt bij de waarnemingen met het astrolabium, het instrument met de nauwkeurigste resultaten.

Zowel de analyse van de stationsresultaten als het onderzoek betreffende het astrolabium heeft plaats gevonden op het Observatoire de Paris, waartoe schrijver in staat werd gesteld door een NATO-beurs die hem door tussenkomst van de Nederlandse Organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.) werd verleend.

## DE INRICHTING VAN HET STATION

### **De keuze van de plaats van het station**

Daar tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar 1957–1958 reeds op vele permanente observatoria in Europa geodetisch-astronomische waarnemingen zouden worden verricht, zou de waarde van een tijdelijk station in Nederland slechts gering zijn. Het lag dan ook voor de hand het Nederlandse station buiten Europa te projecteren en, uit ideële en praktische overwegingen, bij voorkeur in één van de rijkdelen. De keuze is gevallen op het eiland Curaçao in de Nederlandse Antillen, nadat was vastgesteld dat geen hinderlijke bodemtrillingen optraden als gevolg van de voortdurende enorme branding op de noordkust van het eiland. Dit onderzoek naar de bodemtrillingen vond plaats tijdens een oriëntatie-bezoek dat Ir. ROLFF in december 1955 aan Curaçao bracht, zie [4]. De vestiging van een station op Curaçao was, geografisch gezien, bijzonder gunstig als opvulling van het hiaat dat bestond tussen het noordelijk en het zuidelijk gedeelte van het Amerikaanse continent, met het station Washington in het noorden en de stations Rio de Janeiro en Buenos Aires in het zuiden. Bovendien waren de stations Tananarive en Curaçao de enige in equatoriaal gebied.

Bij de keuze van de plaats op het eiland zelf moest rekening worden gehouden met de volgende eisen:

- om refractie-onzekerheden boven de kustlijn te vermijden moest het station minstens 2 km van de kust verwijderd zijn,
- het terrein moest behoorlijk vlak zijn en enigszins begroeid,
- hinderlijke licht- en warmtestraling in de omgeving moest worden vermeden,
- er moest elektriciteit-aansluiting mogelijk zijn.

Er bleken meerdere terreinen aan deze eisen te voldoen. Doorslaggevend werd het feit dat de normale elektrische voorziening van het eiland niet betrouwbaar was: in het voorjaar van 1956 werden in enkele weken reeds verscheidene onderbrekingen geconstateerd. Daar het voor een tijdstation van zeer groot belang is dat de klokken continu kunnen blijven lopen, werd besloten gebruik te maken van het aanbod het station aan te sluiten op het elektriciteitsnet van de Curaçaose Petroleum Industrie Maatschappij (CPIM). In de stroomvoorziening van dit net was in enige jaren geen onderbreking geweest. Het terrein werd dan ook gekozen in een waterwingebied van genoemde maatschappij, in de vroegere plantage „Muizenberg”.

### **Bemanning en instrumentarium**

De waarnemingen werden verricht door de geodetisch-ingenieurs Ir. J. ROLFF en Ir. A. C. SCHEEPMAKER. In het laatste gedeelte van de waarnemingsperiode werd bovendien met het astrolabium waargenomen door de heren A. J. RAVENSBERGEN en B. TEUSINK, die hiervoor op Curaçao werden opgeleid. De berekeningen werden uitgevoerd door Ir. ROLFF en Ir. SCHEEPMAKER, bijgestaan door mejuffrouw J. T.



VERBRUGGE en gedurende enige maanden door de heer A. F. BAANK. Het installeren van de elektronische apparatuur geschiedde met medewerking van de heer H. GRIFFIOEN van het Laboratorium voor Technische Fysica van de Technische Hogeschool.

De onderstaande opsomming geeft het belangrijkste gedeelte van het instrumentarium dat op Curaçao is gebruikt. Voor beschrijvingen, voor zover deze niet in de volgende hoofdstukken worden gegeven, wordt verwezen naar [5].

meridiaandoorgangsinstrument van Pistor en Martins;	een rek met elektronische hulp-apparatuur;
prisma-astrolabium van A. Danjon;	niveau-ijker;
maancamera-instrument met de maancamera van W. Markowitz;	luidsprekende telefooninstallatie;
drukkende chronograaf Belin, type Sahara 0,01 seconde;	kwikzuiveraar;
drukkende chronograaf Omega, Time Recorder, vanaf 15 mei 1958;	netspanningsstabilisator;
3 kwartskristal-klokken, fabrikaat Airmec;	gelijkrichter (220 V/6 V);
3 radio-ontvangers;	2 accu's 6 V;
tijdseinen-oscillograaf;	anemometer;
2 sterretijd-scheepschronometers;	barometer;
	barograaf;
	2 slingerthermometers;
	thermograaf;
	diverse reserveonderdelen.

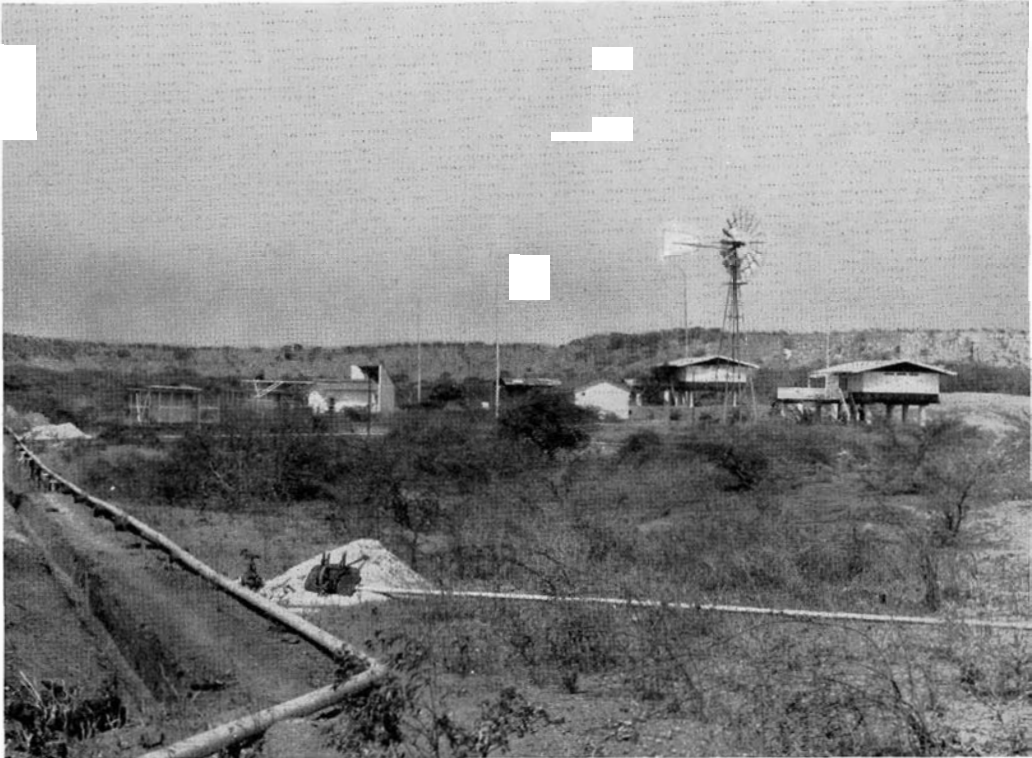
### Instrumenten-gebouwtjes

Figuur 1 geeft een overzicht van het station en figuur 2, annex 1, toont de plattegrond. Behalve de twee semi-permanente woonhuizen voor de beide waarnemers en hun gezinnen, werden vier instrumenten-gebouwtjes gebouwd. In een van de twee stenen gebouwtjes, de centrale post genoemd, werd de elektronische apparatuur opgesteld in een ruimte die op constante temperatuur werd gehouden ( $+20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Vanuit deze centrale post werden de waarnemingsinstrumenten in de andere drie gebouwtjes van de nodige voedingsspanningen voorzien; ook stonden hier de chronografen. Een luidsprekende telefoon-installatie zorgde voor het contact tussen de centrale post en de andere gebouwtjes. In het tweede stenen gebouwtje werd de maancamerakijker opgesteld, zie figuur 3. Daar de lange kijker veel wind opving en het gehele instrument hierdoor in trilling kwam, werd aan de windzijde van het gebouwtje een muur met een houten windscherm aangebracht.

Aan de gebouwtjes voor de beide andere waarnemingsinstrumenten, het astrolabium en het meridiaandoorgangsinstrument, moest bijzondere aandacht worden besteed. Om bij de dakopeningen (in het astrolabium-gebouwtje rond, in dat van het meridiaandoorgangsinstrument rechthoekig) hinderlijke luchtwervelingen ten gevolge van de voortdurende oostenwind te voorkomen, werd aan de gebouwtjes een vorm gegeven die werd beproefd in de windtunnel van het Laboratorium voor Vliegtuigbouwkunde van de Technische Hogeschool. Een plat dak, groter dan het eigenlijke gebouwtje en  $2^{\circ}$  à  $3^{\circ}$  hellend naar het oosten, diende om de wind strak over het dak te leiden; hierdoor ontstond een scherpe afscheiding tussen de bewe-

gende lucht buiten en de in rust zijnde lucht binnen. De oostwand van het gebouwtje werd rond gemaakt, zie figuur 4.

Ook waren er enige eisen van thermische aard. De lucht in het gebouwtje moest overdag zo min mogelijk worden verwarmd, hetgeen betekent een goede warmte-



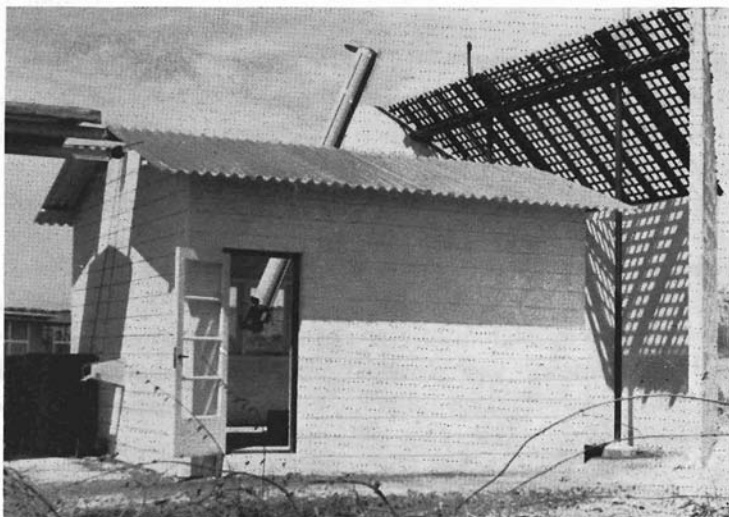
Figuur 1. Overzicht van het geodetisch-astronomisch station op Curaçao.

isolatie van het dak en de wanden en een laag absorptievermogen van het oppervlak hiervan. Bovendien moest 's-avonds de binnentemperatuur in korte tijd gelijk zijn aan de buitentemperatuur; dus het materiaal moest een lage warmtecapaciteit hebben. Om zo goed mogelijk aan deze gedeeltelijk tegengestelde eisen te voldoen, werden de gebouwtjes als volgt geconstrueerd. Het geraamte was van Dexion hoekstaal. Voor de wanden werden golf-eternietplaten en voor het vaste dak vlakke eternietplaten gebruikt; de ronde oostwand was tegen het weer bestand triplex. Het schuifdak werd dubbelwandig uitgevoerd en de vloer werd ongeveer 20 cm boven de grond gemaakt.

### **Verleende hulp voor de inrichting van het station**

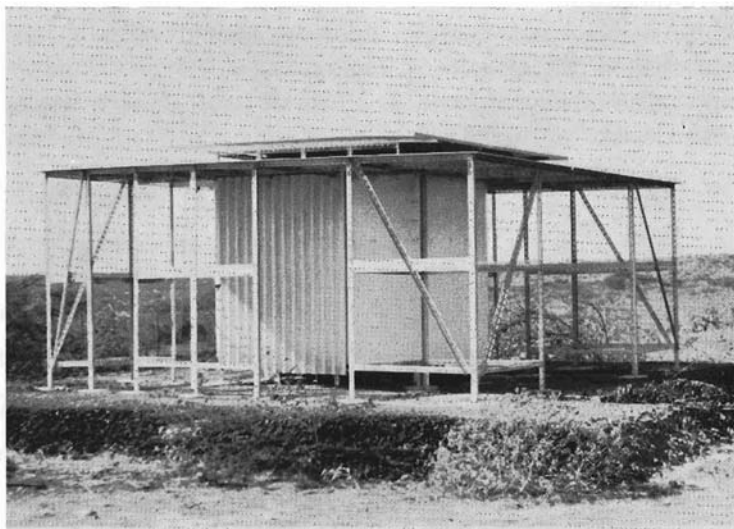
De financiële en daadwerkelijke hulp van vele instanties hebben het mogelijk gemaakt het station naar alle eisen te kunnen inrichten. De belangrijkste bijdrage was een grote subsidie van de Nederlandse Organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.). Hieruit werden onder meer de aanschaffing van enige kost-

bare instrumenten, de opbouw van het station en het verblijf van de twee gezinnen op Curaçao bekostigd. De Technische Hogeschool te Delft stelde beide waarnemers speciaal voor deze onderneming als wetenschappelijk ambtenaar aan. Bovendien werd het grootste gedeelte van het instrumentarium door deze instelling voor gebruik afgestaan. Het Laboratorium voor Technische Fysica gaf waardevolle adviezen bij



Figuur 3. Gebouwtje met windscherm voor de maancamerakijker.

het ontwerpen van elektronische hulpapparatuur en construeerde deze. De bijdrage van het Laboratorium voor Vliegtuigbouwkunde werd reeds genoemd. Uit een subsidie van het Delftse Hogeschoolfonds kon het onderzoek worden gefinancierd voor een nieuw elektronisch onderdeel van de meridiaankijker en de Rijkscommissie voor



Figuur 4. Gebouwtje voor het meridiaandoorgangsinstrument.  
Het gebouwtje voor het astrolabium had dezelfde vorm.

Geodesie kocht een van de drie kwartsklokken aan, die werd uitgeleend. Een groot gedeelte van de voorbereidende berekeningen werd uitgevoerd door het Mathematisch Centrum te Amsterdam, hetgeen een aanzienlijke tijdwinst betekende.

Het vervoer van het instrumentarium en andere benodigdheden met een totaal gewicht van ruim 15.000 kg van Nederland naar Curaçao en terug werd, zonder kosten en met grote oplettendheid, verzorgd door de Koninklijke Nederlandse Stoomboot Maatschappij. Het merendeel van de vele kisten die voor dit vervoer nodig waren werd door de Koninklijke Marine gratis verstrekt. Om de, in het algemeen zeer kwetsbare, instrumenten deugdelijk te verpakken, stelden Philips en het Verpakkingsinstituut van T.N.O. deskundigen beschikbaar. Tijdens de heen- en terugreis is dan ook geen enkele schade ontstaan.

Ook op Curaçao werd veel medewerking ondervonden. In het bijzonder moet hier de Bataafse Petroleum Maatschappij worden genoemd die door tussenkomst van haar dochteronderneming, de Curaçaose Petroleum Industrie Maatschappij, een grootse bijdrage heeft geleverd. Deze bijdrage bestond uit het gratis beschikbaar stellen van het terrein, elektriciteit, water en de arbeidskrachten voor de opbouw van het station en het leveren van bouwmaterialen tegen kostprijs. Ook konden te allen tijde deskundigen op praktisch elk gebied worden geraadpleegd. Verschillende andere plaatselijke instanties als de Lands Radio Dienst, de K.L.M. en de Meteorologische Dienst verleenden onmisbare hulp. De Kadastrale Dienst van de Nederlandse Antillen stelde gedurende enige maanden een rekenaar voor halve dagen beschikbaar. De medewerking van de Curaçaose autoriteiten werd steeds op hoge prijs gesteld, evenals de enthousiaste medewerking van enige particulieren onder wie de heren Ir. J. A. MEUTER, L. TELLE en N. VAN BARNEVELD.

Daar het astrolabium op Curaçao zou worden afgeleverd werden de waarnemers in het kader van het uitwisselingsprogramma van wetenschappelijke werkers tussen Frankrijk en Nederland in staat gesteld in december 1956 enige weken ervaring op te doen op het Observatoire de Paris. Dankzij de behulpzaamheid van vele medewerkers van deze sterrenwacht kon een duidelijk inzicht worden verkregen in de waarnemingstechniek en de berekeningsmethoden.

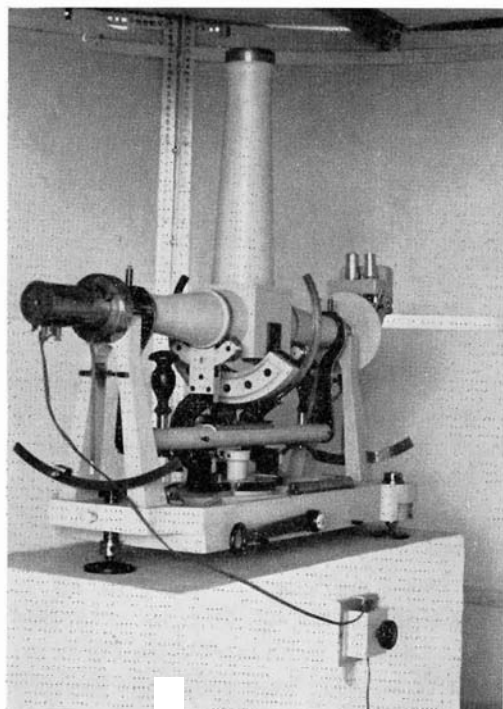
Ook de hulp van de instanties die in de volgende hoofdstukken worden genoemd, werd zeer gewaardeerd.

## WAARNEMINGEN MET HET MERIDIAANDOORGANGSINSTRUMENT

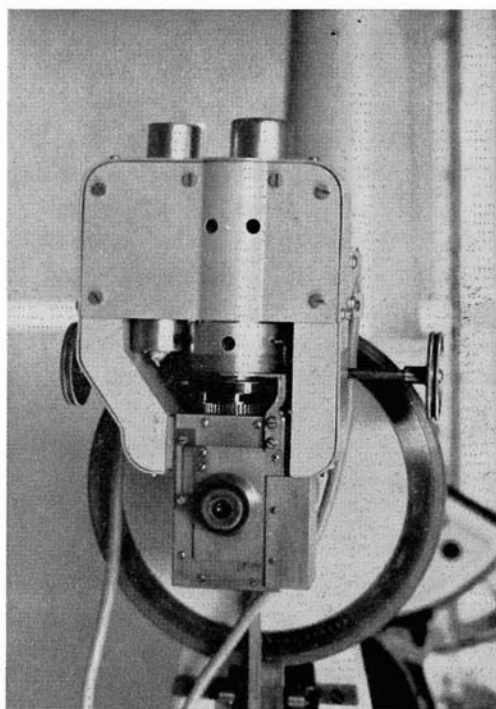
Met behulp van een kijker, die draaibaar is in het plaatselijke meridiaanvlak, worden van een aantal sterren de tijden ten opzichte van een klok bepaald op de momenten dat de sterren door de meridiaan gaan. Ook kan met een benaderde waarde voor de plaatselijke geografische lengte en de rechte klimmingen van de sterren een doorgangstijd worden berekend. Het verschil tussen de waargenomen en de berekende tijden wordt de klokcorrectie genoemd. Op een constante  $n$  – de correctie aan de aangenomen lengte – is deze klokcorrectie dan de waarde waarmee de klokaanwijzing moet worden verbeterd om universele tijd te krijgen.

### Het instrument (zie figuur 5)

Het doorgangsinstrument dat op Curaçao is gebruikt werd in 1869 door de firma Pistor en Martins aan de Leidse Sterrenwacht geleverd. Het werd reeds eerder voor geodetische lengtebepalingen gebruikt: in 1893 te Ubagsberg en in 1947 op Ameland en in Leeuwarden. Het instrument heeft een „gebroken” kijker: de lichtstralen worden halverwege door een prisma rechthoekig omgebogen en gaan door de holle draaiingsas naar het uiteinde van die as, waar het oculair is bevestigd. Het oculair is uitgerust met een zelfregistrerende micrometer van Repsold. De objectiefopening



Figuur 5. Het meridiaandoorgangsinstrument.



Figuur 6. De verbeterde registrerende micrometer van het meridiaandoorgangsinstrument.

van de kijker is 67,8 mm. De brandpuntsafstand is 861 mm en de vergroting van het oculair is  $85\times$ . Door het omleggen van de as kan in twee standen worden waargenomen: met het oculair naar het oosten en naar het westen gericht.

Het *hangniveau* rust met koperen steunblokjes op de beide astappen van de draaiingsas, juist boven de steunblokjes van het onderstel waarop de as rust. Om het niveau te controleren en de hoekwaarde te bepalen werd een niveau-ijker gebruikt. Deze werd van te voren onderzocht met een elektronische verplaatsingsopnemer. De afwijkingen bij herhaald instellen van dezelfde helling en de afwijkingen van het regelmatige verloop van de gang van de schroef van de niveau-ijker bleken kleiner dan  $0^s,005$ . Wel trad een vrij grote dode gang op, zodat steeds van één kant moest worden ingesteld. Het niveau had een hoekwaarde van  $0^s,113$ . In 1893 werd gevonden  $0^s,113$  en  $0^s,116$ ; in 1947:  $0^s,112$  en  $0^s,116$ . Daar de vloeistof niet meer geheel zuiver was, kwam de luchtbel zeer traag tot rust. Het was daarom wenselijk over een tweede hangniveau te kunnen beschikken. Op het Laboratorium voor Geodesie werd het montuur gemaakt; het niveau werd door de Leidse Sterrenwacht afgestaan. Dit niveau had een hoekwaarde van  $0^s,083$ . Vanaf het begin van de waarnemingsperiode op Curaçao tot 29 mei 1958 zijn de waarnemingen met dit nieuwe niveau gedaan. Daarna is het verbeterde, oorspronkelijke niveau gebruikt; voor de hoekwaarde werd  $0^s,114$  aangehouden.

Bij de *registrerende micrometer* werd het rondsel met de 12 metalen strippen vervangen door een elektronisch systeem dat door J. R. D. STOUTE op het Laboratorium voor Technische Fysica werd ontwikkeld. Figuur 6 toont de veranderde micrometer. De werking zal hier slechts in het kort worden beschreven; voor een uitgebreid verslag zie [6]. De beweging van de verticale draad tijdens het volgen van een ster wordt overgebracht op een cilinder met zes spleten. In deze cilinder brandt een neonlampje en daarbuiten staat een vaste spleet met daarachter een foto-elektrische cel opgesteld. Indien de draad wordt verplaatst, draait de cilinder en ontvangt de fotocel lichtflitsen, die omgezet worden in stroomstoten. Deze worden zóveel versterkt dat de chronograaf hierop kan reageren. Om de chronograaf-registraties met de gebruikte spleten te kunnen identificeren, werd mechanisch bij elke omwenteling van de cilinder een apart circuit gesloten waardoor op de chronograafstrook een merkteken werd gedrukt. Daar deze constructie niet goed bleek te werken, werd op Curaçao een van de zes spleten van de cilinder dichtgemaakt. Het tijdsinterval tussen twee van de vijf registraties wordt hierdoor tweemaal zo groot en kan op de chronograafstrook eenvoudig worden herkend.

De *rondheid van de draaiingsas* werd onderzocht met een elektronische verplaatsingsopnemer volgens de methode die in [7] wordt beschreven. De afwijkingen van de cirkelvorm bedroegen ongeveer 1 mikron. Bij een afstand tussen de beide astappen van 35 cm komt dit overeen met een afwijking van het meridiaanvlak in het zenit van  $0'',6$  of  $0^s,04$ . Deze grote, in het algemeen systematische, fouten zijn niet toelaatbaar en de N.V. Hollandse Signaal Apparaten te Hengelo werd daarom verzocht te trachten de astappen te verbeteren. Men slaagde erin de afwijkingen van de cirkel-

vorm terug te brengen op 0,1 mikron. De diameters van de astappen aan de oculair-zijde en de nachtverlichtingszijde zijn gemiddeld resp. 39,298 en 39,296 mm.

Het instrument werd geheel gerevideerd en opnieuw gespoten in matte verf om reflectie tijdens het waarnemen te voorkomen. Het glasstaafje voor de nachtverlichting aan het prisma werd opnieuw gekit. Een instelbare weerstand werd aangebracht om de nachtverlichting te kunnen regelen. Om het instellen van de zenitafstand te vergemakkelijken werd een grotere schaalverdeling gemaakt.

Het instrument werd op Curaçao opgesteld op een betonnen pilaar van  $90 \times 40$  cm, die – vrij van de vloer – tot ongeveer 1,5 meter in de grond was ingestort. Een houten mantel, aan de vloer bevestigd, beschermde de pilaar tegen stoten en warmteuitstraling door de waarnemer.

### Sterselectie en berekeningswijze

Voor het samenstellen van de sterprogramma's werden de sterren uit de *Apparent Places of Fundamental Stars* gebruikt. De grenzen voor de magnitude en de zenitafstand werden gesteld op resp. 5,7 en  $\pm 30^\circ$ . De programma's werden opgesteld volgens een methode, ontwikkeld door Prof. R. ROELOFS [8]. Deze methode is gebaseerd op:

- het omleggen van de kijker en het niveau halverwege een sterwaarneming; de stand van het niveau ten opzichte van de as blijft dus dezelfde,
- het bepalen van de helling van de as met een hangniveau,
- het waarnemen van evenveel noord- als zuidsterren.

Door een juiste keuze van de gemiddelde declinaties van de noord- en zuidsterren kan de middelbare fout in de klokcorrectie zo klein mogelijk worden gehouden. Er werden op deze wijze 24 sterprogramma's samengesteld, elk bestaande uit 10 sterren. De waarneming van een programma duurt ongeveer 1 uur. De sterprogramma's zullen hierna worden aangeduid met *groep*; de reeks sterren, ongeacht tot welke groep zij behoort, zal *serie* worden genoemd.

Voor de berekening van de klokcorrectie  $\Delta T$  is uitgegaan van de formule van Mayer:

$$\Delta T = a - T + A \cdot a + B \cdot b + C \cdot c$$

waarin:

$\alpha$ = rechte klimming van de ster	$A = \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta}$
$T$ = waargenomen kloktijd	
$a$ = azimuthafwijking	$B = \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta}$
$b$ = hellingafwijking	
$c$ = collimatie-afwijking	$C = \frac{1}{\cos \delta}$

#### *Rechte klimming*

De rechte klimmingen van de sterren zijn berekend in het catalogussysteem FK3R. Voor de waarden FK3 werden gebruikt de *Apparent Places of Fundamental Stars* en voor

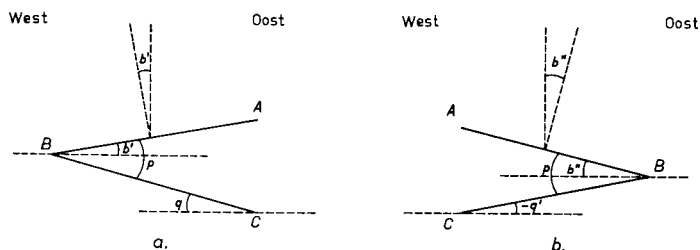
de correcties FK3R—FK3: *Individuelle Verbesserungen des FK3 nördlich von  $-30^\circ$  Deklinaton* van het Astronomische Rechen-Institut te Heidelberg. De correcties voor de kort-periodieke verandering in de nutatie zijn in rekening gebracht volgens de formule:

$$N = d\psi \cdot d\alpha(\psi) + d\varepsilon \cdot d\alpha(\varepsilon)$$

met notaties uit genoemde FK3-catalogus. De verkregen rechte klimmingen zijn tenslotte van sterretijd naar zonnetijd omgezet, daar de gebruikte klokken volgens deze laatste tijd lopen.

### Helling

Over het algemeen zal er een hoekje  $p$  bestaan tussen de draaiingsas van de kijker en de richtlijn van het niveau. Het is namelijk mogelijk dat de asdiameters niet gelijk zijn of de lengten van de armen van het hangniveau verschillen. De helling die het niveau aangeeft zal dan niet die van de draaiingsas zijn. Uit figuur 7a is af te leiden



Figuur 7. Hellingen van het hangniveau (BC) en van de draaiingsas (AB).  
a. in de stand vóór het omleggen                      b. in de stand na het omleggen

dat de waargenomen tijd met  $-Bb'$  moet worden gecorrigeerd. Is  $q$  de helling van het niveau, dan is  $b' = p - q$ . Worden halverwege de sterwaarneming de as en het niveau omgelegd, dan moet in deze stand een correctie  $+Bb''$  worden aangebracht, met  $b'' = p - (-q') = p + q'$  (zie figuur 7b). Worden de waargenomen tijden van vóór en na het omleggen gemiddeld, dan is de correctie:  $+Bb = +\frac{1}{2}B(-b' + b'') = +\frac{1}{2}B(q + q')$ . Hierdoor is de onbekende hoek  $p$  geëlimineerd.

De helling bleek gedurende een gehele serie vrijwel niet te veranderen. Daarom kon worden volstaan met een bepaling van  $b_1$  vóór en, als een controle, een bepaling van  $b_2$  ná een serie. Voor  $b$  in de formule van Mayer kan dan voor elke ster  $\bar{b} = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)$  worden ingevuld.

### Collimatie

De cilinder met spleten is vast verbonden met de oculair-micrometer. Stel dat de posities van de spleten vóór de vaste spleet op het moment dat de chronograaf reageert, overeenkomen met de aanwijzingen  $P_1, P_2, \dots, P_n$  van de micrometer. Is  $Q$  de aanwijzing die correspondeert met het collimatiepunt, dan zijn de collimatiefwijkingen:  $(P_1 - Q), (P_2 - Q), \dots, (P_n - Q)$ . Wordt de as halverwege de sterwaarneming omgelegd en worden in deze stand dezelfde spleten gebruikt als in de eerste stand, dan zijn de collimatiefwijkingen:  $-(P_1' - Q), -(P_2' - Q), \dots,$



— $(P_n' - Q)$ . Daar de spleten een zekere „breedte” hebben is  $P_i' \neq P_i$ . De gemiddelde collimatie-afwijking van vóór en na het omleggen is:

$$\frac{(P_1 - Q) + (P_2 - Q) + \dots + (P_n - Q) - (P_1' - Q) - (P_2' - Q) \dots - (P_n' - Q)}{2n} =$$

$$= \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{2n}$$

als  $s_i = P_i - P_i'$ , dus gelijk aan de spleetbreedte. De positie van het collimatiepunt  $Q$  blijkt dus geen invloed te hebben op de gemiddelde collimatie-afwijking; wel moet rekening worden gehouden met de halve gemiddelde spleetbreedte van de gebruikte spleten. Als regel werd een geheel aantal omwentelingen van de cilinder waargenomen, zodat  $c$  uit de formule van Mayer voor elke ster gelijk is, waarbij:

$$c = -\frac{1}{2}\bar{s}, \text{ met } \bar{s} = \text{het gemiddelde van 5 spleten.}$$

De breedte van een spleet kan worden bepaald door deze langzaam voor de vaste spleet te draaien, zowel van links naar rechts als van rechts naar links. Op het moment dat de chronograaf reageert wordt de micrometer afgelezen. Het aantal micrometer-intervallen, uitgedrukt in milliseconden (1 interval = 78 msec), tussen beide momenten is dan de breedte. Daar de effectieve spleetbreedten veranderen als het elektronische circuit verandert, werden zij regelmatig gecontroleerd. De waarden voor de halve gemiddelde spleetbreedte,  $\frac{1}{2}\bar{s}$ , zijn:

van 8 juli 1957 tot 21 januari 1958:	7 msec
van 22 januari 1958 tot 18 juni 1958:	11 msec
van 19 juni 1958 tot 30 september 1958:	27 msec
van 1 oktober 1958 tot 1 januari 1959:	29 msec

#### *Dagelijkse aberratie*

Om rekening te houden met de dagelijkse aberratie moet de rechte klimming van een ster worden gecorrigeerd met  $+M \cdot \cos \varphi \cdot \sec \delta$ . Hierin is  $\varphi$  de breedte van het station,  $\delta$  de declinatie van de ster en  $M$  de constante van de dagelijkse aberratie. De laatste is gelijk aan  $0^s,021$ . De aan de rechte klimming aan te brengen correctie is dus:  $+C \cdot K$ , waarin  $C = \frac{1}{\cos \delta}$  en  $K = +0^s,021$ . Deze correctie werd gecombineerd met die van de collimatie-afwijking.

#### *Berekening van $\Delta T$ en $a$*

Voor elke sterdoorgang wordt de formule van Mayer nu:

$$\Delta T = \alpha_r - T_{\text{obs}} + Aa + B\bar{b} + C(K + c)$$

waarin  $\alpha_r$  = gereduceerde rechte klimming

$T_{\text{obs}}$  = waargenomen kloktijd

$\bar{b} = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)$ ;  $b_1$  en  $b_2$  zijn de gemiddelde niveau-aflezingen vóór en na de waarneming van een serie

$$K = +0^s,021$$

$$c = -\frac{1}{2}\bar{s}; \bar{s} \text{ is de gemiddelde spleetbreedte.}$$

De grootheden  $\Delta T$  en  $a$  zijn berekend volgens de methode die werd aangegeven in de *Instruction Manual* voor het Internationaal Geofysisch Jaar. Stel:  $\alpha_r - T_{\text{obs}} + Bb + C(K+c) = l$ , dan geldt voor elke ster:  $\Delta T = Aa + l$ . Daar evenveel noord- als zuidsterren in een serie van  $n$  sterren worden waargenomen, geldt:

$$\begin{aligned} \Delta T &= A_i a + l_i & (i = 1 \rightarrow \frac{1}{2}n) & \text{voor noordsterren} \\ \text{en} \quad \Delta T &= A_j a + l_j & (j = \frac{1}{2}n + 1 \rightarrow n) & \text{voor zuidsterren} \end{aligned}$$

Sommatie geeft:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}n \Delta T &= [A_i]a + [l_i] \\ \text{en} \quad \frac{1}{2}n \Delta T &= [A_j]a + [l_j] \end{aligned}$$

waaruit door aftrekking volgt:

$$a = \frac{[l_i] - [l_j]}{[A_j] - [A_i]}$$

De nauwkeurigheid waarmee  $a$  op deze manier is bepaald, is voor tijdbepaling voldoende. Voor elke ster kan nu  $\Delta T_k = A_k a + l_k$  ( $k = 1 \rightarrow n$ ) worden berekend en voor de gehele serie:

$$\Delta T = \frac{[\Delta T_k]}{n}$$

Figuur 8 in annex 2 geeft een voorbeeld van een berekeningsformulier.

## Resultaten

In de periode 1 juli 1957 tot 31 oktober 1958 werden 178 series waargenomen met in totaal 1742 sterwaarnemingen. In de laatste maanden van 1958 werden geen waarnemingen gedaan om meer tijd beschikbaar te krijgen voor het astrolabium dat betere resultaten bleek te geven.

De klokcorrecties worden gebruikt voor de tijd- en lengtebepaling, waarop in hoofdstuk 5 nader zal worden ingegaan. Bovendien dienen de afwijkingen per ster ten opzichte van de gemiddelde klokcorrectie van een serie ter verbetering van de rechte klimmingen van de FK3R-catalogus. Dit wordt in hoofdstuk 6 besproken.

### *Azimutafwijking*

Behalve de klokcorrectie  $\Delta T$  volgt uit de vereffening van een serie van 10 sterren de andere onbekende, de azimutafwijking  $a$ . Voor de beide waarnemers afzonderlijk zijn de gevonden waarden  $a$  in figuur 9, annex 3, uitgezet. Hierbij dient opgemerkt dat op 1 april 1958 het azimut veranderde, doordat het instrument werd schoongemaakt. Na enige waarnemingen werd op 15 april 1958 het azimut weer bijgesteld. De schijnbare continuïteit in het verloop van  $a$  van vóór 1 april en na 15 april is dus toevallig.

Het azimut, dat van het noorden naar het oosten positief wordt gerekend, blijkt kleiner te worden. In de eerste maanden ongeveer 0<sup>s</sup>,24 per 10 dagen, daarna zeer weinig en het laatste halve jaar ongeveer 0<sup>s</sup>,05 per 10 dagen. Indien de veranderingen op 1 en 15 april 1958 buiten beschouwing worden gelaten en bovendien wordt aangenomen dat gedurende de tussenliggende tijd het verloop ongeveer gelijk was als ervóór en erna, is de totale verandering over de waarnemingsperiode van 14 maanden ongeveer 3<sup>s</sup>,20 of 48".

Nagegaan is welke invloed de poolbeweging kan hebben op het azimut. Zijn  $x$  en  $y$  de coördinaten van de ware pool ten opzichte van de middelbare pool en zijn  $\varphi$  en  $\lambda$  resp. de breedte en de lengte van de plaats van waarneming, dan is de verandering in het azimut:

$$da = \frac{x \sin \lambda - y \cos \lambda}{\cos \varphi}$$

In 1957 en 1958 bereikten  $x$  en  $y$  waarden resp. van +0",4 tot -0",3 en van +0",5 tot -0",2. De verandering in  $a$  blijft hierdoor kleiner dan 0",5 of 0<sup>s</sup>,03, hetgeen ten opzichte van het verloop en de spreiding van de gevonden waarden is te verwaarlozen.

Uit figuur 9 blijkt dat de azimutafwijkingen, vooral in het begin van de waarnemingsperiode, tamelijk groot waren. Onderzocht is of bij deze grote waarden de termen van hogere orde, die in de formule van Mayer niet voorkomen, nog mogen worden verwaarloosd.

De correctie  $I$ , waarmee de rechte klimming moet worden verbeterd als gevolg van een azimutafwijking  $a$ , een collimatie-afwijking  $c$  en een afwijking  $b$  van de helling, is afgeleid uit de bekende formule:

$$\sin(I-m) = \operatorname{tg} n \cdot \operatorname{tg} \delta + \sin c \cdot \sec n \cdot \sec \delta \quad \dots \dots \dots (1)$$

Voor de hulpgrootheden  $m$  en  $n$  bestaan de betrekkingen:

$$\cos m \cdot \cos n = \cos a \cdot \cos b \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\sin m \cdot \cos n = \sin b \cdot \cos \varphi + \cos b \cdot \sin a \cdot \sin \varphi \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\sin n = \sin b \cdot \sin \varphi - \cos b \cdot \sin a \cdot \cos \varphi \quad \dots \dots \dots (4)$$

Wordt elke term van formule (1) met  $\cos n$  vermenigvuldigd en bij het linker- en rechterlid  $\sin m \cdot \cos n$  opgeteld, dan wordt (1):

$$\begin{aligned} \sin I \cdot \cos m \cdot \cos n + (1 - \cos I) \cdot \sin m \cdot \cos n = \\ \sin m \cdot \cos n + \sin n \cdot \operatorname{tg} \delta + \sin c \cdot \sec \delta \end{aligned}$$

Substitutie van  $\cos m \cdot \cos n$ ,  $\sin m \cdot \cos n$  en  $\sin n$  uit respectievelijk (2), (3) en (4) geeft:

$$\begin{aligned} \sin I \cdot \cos a \cdot \cos b + (1 - \cos I) \cdot (\sin b \cdot \cos \varphi + \cos b \cdot \sin a \cdot \sin \varphi) = \\ \cos b \cdot \sin a \cdot \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + \sin b \cdot \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + \frac{\sin c}{\cos \delta} \quad \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

Wordt gesteld:  $\sin b = b$                        $\sin c = c$   
 $\cos b = 1$

en worden de goniometrische functies van  $a$  en  $I$  in een reeks ontwikkeld, met verwaarlozing van de vierde en hogere machten, dan gaat (5) over in:

$$I - \frac{a^2}{2!} I - \frac{I^3}{3! \rho^2} + \frac{I^2}{2! \rho} (b \cdot \cos \varphi + a \cdot \sin \varphi) = Aa + Bb + Cc - A \frac{a^3}{3! \rho^2}$$

Hierin zijn de constanten  $\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta}$ ,  $\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta}$ ,  $\frac{1}{\cos \delta}$  vervangen door respectievelijk  $A$ ,  $B$  en  $C$  en zijn  $I$ ,  $a$ ,  $b$  en  $c$  uitgedrukt in tijdseconden;  $\rho = 13751$  tijdseconden. Wordt voor  $I$  in de laatste drie termen van het linkerlid als benaderde waarde:  $I = Aa + Bb + Cc$  ingevuld, dan ontstaat ten slotte:

$$I = Aa + Bb + Cc + \\
+ \frac{a^2}{\rho^2} \left( \frac{1}{2} Bb + \frac{1}{2} Cc + \frac{1}{2} A^2 Bb + \frac{1}{2} A^2 Cc - ABb \sin \varphi - ACc \sin \varphi - \frac{1}{2} A^2 b \cos \varphi \right) + \\
+ \frac{a^3}{\rho^2} \left( \frac{1}{3} A - \frac{1}{2} A^2 \sin \varphi + \frac{1}{6} A^3 \right) + \dots$$

Daar  $a$  maximaal 6 tijdseconden is, zijn de laatste twee termen maximaal  $5 \cdot 10^{-7}$  tijdseconden; hetgeen te verwaarlozen is. De formule van Mayer kan dus zonder bezwaar worden toegepast.

#### *Inwendige nauwkeurigheid*

Voor de bepaling van  $\Delta T$  en  $a$  zijn twee sterdoorgangen nodig. Elke waargenomen serie bestaat uit ongeveer 10 doorgangen, zodat uit de overtallige waarnemingen een middelbare fout kan worden berekend. Tabel 1 geeft per maand voor de waarnemers R en S het aantal waargenomen series en het gemiddelde van de inwendige middelbare fout  $m_{\Delta T}$  in de enkele bepaling van de klokcorrectie. Het blijkt dat de inwendige nauwkeurigheid belangrijk groter wordt als de geoefendheid van de waarnemer toeneemt; van 1 februari 1958 af is de gemiddelde waarde van  $m_{\Delta T}$  0<sup>s</sup>,014. Dit geeft een inwendige middelbare fout in de gemiddelde klokcorrectie voor een serie van 10 sterren van 4,4 msec. In hoofdstuk 5 zal blijken dat de uitwendige nauwkeurigheid aanzienlijk kleiner is.

De klassieke formule voor de middelbare fout in de enkele tijdbepaling met een onpersoonlijke micrometer, die met de hand wordt bewogen, is:

$$m_t^2 = p^2 + q^2 \cdot \sec^2 \delta$$

waarin  $p$  en  $q$  constanten zijn;  $q$  is afhankelijk van de kijkervergroting  $V$ . Volgens de methode van de kleinste kwadraten werden uit 100 sterwaarnemingen van de laatste 5 maanden van de waarnemingsperiode de volgende waarden voor  $p$  en  $q$  gevonden:

$$p = 0^s,026 \quad \text{en} \quad q = \frac{3^s,6}{V}$$

TABEL 1. Meridiaanwaarnemingen.

Overzicht van het aantal waargenomen series en de inwendige nauwkeurigheid.

		R		S	
		Aantal series	$m_{AT}$ in msec	Aantal series	$m_{AT}$ in msec
1957	juli	4	24,0	7	27,9
	aug.	7	21,4	10	22,0
	sept.	8	17,9	7	20,4
	okt.	8	19,3	6	18,3
	nov.	5	18,2	5	16,4
	dec.	5	17,6	7	18,7
1958	jan.	10	17,5	12	17,6
	febr.	8	14,9	9	15,6
	mrt.	9	12,4	8	18,0
	apr.	8	14,4	9	14,1
	mei	0	—	3	12,3
	juni	6	14,0	5	12,4
	juli	1	14,0	0	—
	aug.	3	9,7	1	21,0
	sept.	0	—	0	—
	okt.	2	12,0	5	11,8

In [9] wordt opgegeven dat voor  $p$  en  $q$  werd berekend

door het Geodätisches Institut Potsdam:  $p = 0^s,057$  en  $q = \frac{3^s,0}{V}$

door de Schweizerische Geodätische Kommission:  $p = 0^s,031$  en  $q = \frac{2^s,6}{V}$

In [10] vindt Prof. G. J. BRUINS voor dezelfde micrometer die op Curaçao is gebruikt:  $m_t = 0^s,060$  voor  $\delta = 0^\circ$ . De registraties werden toen echter niet met behulp van een elektronisch systeem, maar nog met mechanische contacten gemaakt. De overeenkomstige waarde op Curaçao is  $m_t = 0^s,050$ .\*)

Voor de middelbare fout in de enkele aflezing van het niveau werd voor Curaçao gevonden:

voor het oorspronkelijke niveau:  $m_b = 0^s,0137$

voor het „Leidse” niveau:  $m_b = 0^s,0125$

De klassieke formule voor  $m_b$  is:  $m_b = A\sqrt{H}$  bgsec, waarin  $H$  de hoekwaarde van het niveau in bgsec is. Uit de berekende middelbare fouten voor beide niveaus volgt voor de constante  $A$  uit de waarden  $m_b$

van het oorspronkelijke niveau ( $H = 1'',71$ ):  $A = 0,16$

van het „Leidse” niveau ( $H = 1'',25$ ):  $A = 0,17$

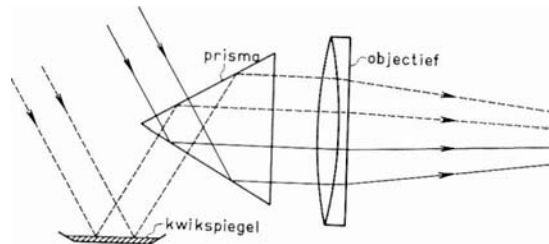
Deze waarden van  $A$  zijn iets kleiner dan de waarde die in het algemeen wordt aangenomen ( $A = 0,20$ ).

\*) Men komt in de literatuur voor waarnemingen in de meridiaan wel de formule  $m_t = \frac{4^s,7}{V}$  tegen. Het lijkt echter gevaarlijk te veronderstellen dat  $m_t$  onafhankelijk is van de declinatie.

## WAARNEMINGEN MET HET ASTROLABIUM

Door de momenten te registreren waarop sterren in verschillende azimuths een bepaalde hoogte bereiken zijn de klokcorrectie – of de geografische lengte – en de geografische breedte te bepalen. Indien de hoogte niet wordt gemeten, maar wordt vastgelegd door de hoek van een gelijkzijdig driehoekig prisma, is er nóg een onbekende, namelijk de hoek van het prisma. Met benaderde waarden voor de drie onbekenden kan de doorgangstijd van een ster worden berekend. Het verschil tussen deze berekende waarde en de waargenomen waarde is een bij benadering lineaire functie van de correcties die aan de drie onbekenden moeten worden aangebracht.

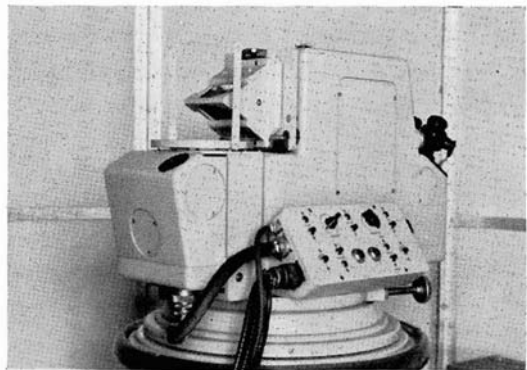
De werking van een prisma-astrolabium is geschetst in figuur 10. Van één ster worden twee beelden gevormd: het ene na een enkele reflectie in het prisma, het andere na een extra reflectie op een kwikspiegel. De twee beelden bewegen zich dan in tegengestelde richting. Op het moment dat de beelden elkaar ontmoeten heeft de ster de hoogte bereikt die gelijk is aan de hoek van het prisma. Dit moment wordt geregistreerd.



Figuur 10. Gang van de lichtstralen bij het astrolabium.



Figuur 11. Het astrolabium van Danjon.



Figuur 12. Het astrolabium van Danjon zonder windkap, waardoor het prisma en de kwikbak zichtbaar worden.

Het instrument waarmee op Curaçao werd waargenomen is het onpersoonlijke astrolabium van Danjon, type OPL, nummer 03, zie de figuren 11 en 12. Het is op het Observatoire de Paris ontwikkeld en wordt vanaf 1957 gemaakt door Optique et Précision de Levallois (OPL). Voor uitgebreide beschrijvingen van het instrument zie [11], [12] en [5].

Ten opzichte van klassieke uitvoeringen van een prisma-astrolabium zijn aan dit instrument enige ingrijpende verbeteringen aangebracht. De twee belangrijkste zijn:

- a. Door een dubbelbrekend prisma (Wollastonprisma) dat in het brandvlak van het objectief is geplaatst worden de assen van de twee stralenbundels evenwijdig gemaakt. Afwijkingen in de scherpstelling van de beelden, ten gevolge van bijvoorbeeld een verandering van de oculairinstelling of een verandering in accommodatie van het oog, hebben dan geen invloed meer op de beoordeling van de verticale afstand tussen de beide beelden.
- b. Indien het Wollastonprisma met de juiste snelheid in de optische as wordt verplaatst worden de verticale componenten van de snelheden van beide beelden opgeheven en kan het ontmoetingsmoment kunstmatig worden verlengd. Het Wollastonprisma wordt verplaatst door een draaiende schroef, die met behulp van een sleepcontact 24 chronograaf-registraties geeft. Er kan worden waargenomen met 2 contacten per omwenteling van de schroef voor sterren met een grote verticale snelheid en met 4 contacten per omwenteling voor sterren met een kleine verticale snelheid.

De enige moeilijkheid die door het instrument werd veroorzaakt was het slechte werken van de overbrenging van de tijdregistratie naar de chronograaf. Veel parasitaire registraties maakten het moeilijk en vaak zelfs onmogelijk de goede registraties op de chronograafstrook terug te vinden. Hierdoor konden veel sterdoorgangen – en zelfs twee gehele series – niet worden berekend.

Het instrument werd opgesteld op een ronde betonnen pilaar die – vrij van de vloer – tot ongeveer 1,5 meter in de grond was ingestort. Een metalen mantel, aan de vloer bevestigd, beschermde de pilaar.

### **Het samenstellen van de groepen**

Vooraf moesten in Nederland twaalf groepen worden samengesteld uit de op Curaçao waarneembare sterren. Ter vereenvoudiging van de berekeningen was het gewenst alleen de sterren te gebruiken die voorkomen in de *Apparent Places of Fundamental Stars*.

#### *Overzicht van de op Curaçao waarneembare sterren*

De hoogte, bepaald door het prisma, waarop met het astrolabium wordt gemeten is 60°. Met de gegeven breedte van het station op Curaçao – 12° N.B. – zijn alleen die sterren bruikbaar, waarvan de declinatie ligt tussen –18° en +42°. Daar het azimut van sterren dichtbij de meridiaan veel verandert in de tijd die nodig is voor de 24 registraties, legt het gezichtsveld van het instrument voor deze sterren nog een beperking op. Er blijft als voorwaarde voor de declinatie:

$$-16^{\circ},5 < \delta < +40^{\circ},0$$

Ook de magnitude van de waar te nemen sterren is van belang. Als grens moet worden aangenomen een magnitude van  $+6,0$ . Later is gebleken dat zeer heldere sterren ook moeilijk zijn waar te nemen, zodat een benedengrens van ongeveer  $+1,0$  wenselijk is.

Met genoemde voorwaarden bleven ongeveer 650 sterren over. Daar elke ster tweemaal door de positiecirkel gaat, waren ongeveer 1300 sterdoorgangen beschikbaar. Na berekening van de doorgangstijden in plaatselijke sterretijd en de overeenkomende azimuths werden deze 1300 doorgangen gerangschikt naar de tijd.

#### *Selectie van de sterren*

Om per groep een zo symmetrisch mogelijke verdeling van de doorgangen over de gehele positiecirkel ten opzichte van de meridiaan en de 1e verticaal te krijgen, moet voor elke groep worden gestreefd naar de betrekkingen:

1.  $[\sin a] = [\cos a] = 0$
2.  $[\sin a \cdot \cos a] = 0$
3.  $[\sin^2 a] = [\cos^2 a]$

als  $a$  het azimuth van de sterdoorgang is, gerekend van het noorden naar het oosten. Om bovendien van zoveel mogelijk sterren de catalogusfouten te kunnen berekenen moeten:

4. zoveel mogelijk sterren bij de groepen worden betrokken, die zowel in oost- als in westdoorgang worden waargenomen.

Behalve deze theoretische voorwaarden zijn er nog enige van praktische aard. Voor de regeling van het instrument en het bepalen van de temperatuur, de luchtdruk e.d. is ongeveer 20 minuten nodig. Daarom moet:

5. tussen de groepen ongeveer 20 minuten worden vrijgehouden.

De tijd tussen twee doorgangen mag niet te kort zijn. Ook te lang is voor een vlot verloop van de waarnemingen hinderlijk. Het is dan ook gewenst:

6. de tijd tussen twee doorgangen niet korter dan 2 minuten en niet langer dan 5 minuten te kiezen.

Met deze zes voorwaarden werden ten slotte de 12 groepen samengesteld. Het nummer van de groep – 00, 02, 04, . . ., 22 – komt overeen met de plaatselijke sterretijd, in uren uitgedrukt, van het midden van de groep. Zo wordt bijvoorbeeld groep 00 waargenomen van  $23^{\text{h}}10^{\text{m}}$  L.S.T. tot  $00^{\text{h}}50^{\text{m}}$  L.S.T. Alle groepen bestaan uit 29 doorgangen. Oorspronkelijk had groep 08 30 doorgangen, maar 1 doorgang moest vervallen: de ster was te helder om nauwkeurig waargenomen te kunnen worden.

Tabel 2, annex 4, geeft een overzicht van de groepen. De eerste vier kolommen van deze tabel geven achtereenvolgens het sternummer volgens de FK3R-catalogus, de doorgangstijd in lokale sterretijd, het azimuth en de magnitude.

#### **Berekeningswijze van de waarnemingen**

Voor de berekening van de waarnemingen is in grote lijnen de methode gevolgd, die in [13] door Dr. B. GUINOT wordt beschreven. De grafisch-numerieke vereffening werd echter vervangen door de strenge, numerieke vereffening volgens de



methode van de kleinste kwadraten, beschreven in [14]. Een belangrijk deel van de berekening van de theoretische doorgangstijden werd vooraf in Nederland uitgevoerd door het Mathematisch Centrum in Amsterdam.

De waarnemingen zijn berekend met de rechte klimmingen en declinaties volgens de FK3R-catalogus. Gebruikt werden de *Apparent Places of Fundamental Stars* en voor de correcties FK3R—FK3 de *Individuelle Verbesserungen des FK3 nördlich von  $-30^\circ$  Deklination* van het Astronomisches Rechen-Institut, Heidelberg. In 1957 werden deze laatste correcties met behulp van differentiaalformules berekend en aan de theoretische doorgangstijden aangebracht. Voor 1958 en 1959 werden zij direct in de berekening van het Mathematisch Centrum opgenomen. Door een foutieve berekening van de correcties voor sterren met negatieve declinatie, moesten echter in januari 1958 de correcties voor deze sterren nog op Curaçao worden aangebracht.

Voor de geografische breedte  $\varphi$  en de lengte  $\lambda$  werden als benaderde waarden aangenomen:

$$\varphi_0 = +12^\circ 09' 50'', 00$$

$$\lambda_0 = +4^h 35^m 39^s, 731$$

Bij de waarde  $\lambda_0$  werd  $0^s, 018$  opgeteld als correctie voor de dagelijkse aberratie, zie [13], blz. 294. Als benaderde waarde voor de zenitafstand  $z$ , die wordt bepaald door het instrument, werd gesteld:

$$z_0 = +30^\circ 00' 00'', 00$$

De zenitafstand waarop wordt waargenomen is echter ook afhankelijk van de refractie; deze bedraagt ongeveer  $32''$ . Om de verschillen tussen de waargenomen en vooraf berekende doorgangstijden zo klein mogelijk te houden, werd de berekening van de theoretische doorgangstijden door het Mathematisch Centrum uitgevoerd met de benaderde waarde:

$$z_0' = +30^\circ 00' 32'', 00$$

Van de refractiecorrectie wordt dan de reeds in rekening gebrachte waarde  $32'', 00$  afgetrokken.

Na de waarneming van een serie moeten aan de verschillen  $\delta h_0$  tussen de waargenomen en de berekende zenitafstanden nog enige correcties worden aangebracht die, bij  $\delta h_0$  opgeteld, de grootheden  $\delta h$  geven. Deze correcties zullen hierna worden behandeld.

#### *Correctie $A(X)$*

Gedurende de chronograaf-registraties verplaatst het beeldenpaar zich langs een horizontale baan door het gezichtsveld. De correctie die moet worden aangebracht om rekening te houden met een eventueel verschil  $X$  tussen het midden van deze baan en het midden van het gezichtsveld, zijn berekend met de formule uit [13], blz. 293:

$$A(X) = X^2 \cdot \frac{\cotg z}{2} \text{bgsec}$$

Het gezichtsveld is door enige verticale draden verdeeld; aangenomen wordt dat de afstand tussen de twee uiterste draden gelijk is aan 12 gelijke intervallen  $s$ . De waarde van  $s$  werd als volgt bepaald. Zo dicht mogelijk bij de meridiaan ( $a \approx 0^\circ$ ) werden enige sterren waargenomen. Met een seinsleutel werden de chronograaf-tijden bepaald waarop de beeldenparen de beide uiterste draden passeren. Is het gemiddelde verschil van deze tijden  $dt$ , dan is de overeenkomstige azimutverandering

$$da = \frac{\cos \delta}{\sin z} \cdot dt$$

Met  $z = 30^\circ$  en  $\delta = \varphi + 30^\circ = +42^\circ 10'$ , is  $da = 1,482 dt$ . De afstand  $12s$  op  $60^\circ$  hoogte wordt dan:

$$12s = 1,482 \cos 60^\circ dt = 0,741 dt$$

en  $s = 0,062 dt$

Uit 8 sterwaarnemingen bleek  $dt = 31^s,98$ , zodat  $s = 29'',6$ .

In tabel 3, annex 5, zijn met deze waarde voor  $s$  de grootheden  $A(X)$  berekend als functie van  $i$ , het aantal intervallen.

#### *Correctie $B(a)$*

De relatie tussen de verandering van de zenitafstand en de tijd is in het algemeen niet lineair, zodat het gemiddelde van de tijdregistraties moet worden verbeterd. De correctie  $B(a)$ , afhankelijk van het azimut van de ster, is voor alle waargenomen sterren berekend met de formule uit [13], blz. 293: \*)

$$B(a) = \frac{[y_i^2]}{n} \cdot \frac{\cotg^2 q \cdot \tg \delta}{2 \cos q}$$

Hierin is  $y_i$  de afstand van een contact  $i$  tot het midden van de contacten,  $n$  het aantal contacten en  $q$  de parallaxische hoek van de ster.

In de 5e kolom van tabel 2, annex 4, zijn de waarden  $B(a)$  vermeld voor 2 contacten per omwenteling van de schroef. In kolom 6 van dezelfde tabel die voor 4 contacten per omwenteling. Sommige sterren zijn alleen waar te nemen met 4 contacten per omwenteling: voor deze sterren is  $B(a)$  voor 2 contacten niet berekend.

#### *Correctie $\varepsilon_1$*

De zenitafstand, bepaald door het prisma als de beelden samenvallen in het brandvlak van het objectief, verandert als de brandpuntsafstand van het objectief verandert. Daar de brandpuntsafstand onder invloed van de temperatuur inderdaad niet constant blijft, worden hiervoor correcties aangebracht. Deze correctie is:

$$\varepsilon_1 = K_0(v_0 - v_m)$$

$v_0$  is de micrometeraflezing van de schroef als het hoofdvlak van het Wollastonprisma met het brandvlak van het objectief samenvalt.  $v_0$  wordt vóór en na de meting van een serie bepaald door middel van autocollimatie op een vlakke spiegel; de verandering wordt in rekening gebracht.

\*) Zie errata in Bulletin Astronomique, t. 21, fasc 2.

De instrumentconstante  $v_m$  is de micrometeraflezing die overeenkomt met het gemiddelde van de contacten voor de tijdregistratie. Door reeds genoemde moeilijkheden met de registraties – parasitaire registraties – werden in het begin van de waarnemingsperiode de contacten dikwijls gerepareerd en werd voor  $v_m$  de waarde 0 aangehouden. Vanaf 27 september 1957 was  $v_m$ , uitgedrukt in het aantal omwentelingen van de schroef,

voor 2 contacten per omwenteling: +0,0127

voor 4 contacten per omwenteling: +0,0109

$v_m$  werd daarna regelmatig bepaald; dezelfde waarden werden gevonden.

$K_0$  is de verandering van de zenitafstand van één omwenteling van de schroef.  $K_0$  werd bepaald uit de chronograaf-registraties van enige waargenomen sterren. Is  $p$  het gemeten tijdsinterval voor een geheel aantal omwentelingen  $n$  voor een ster met azimut  $a$ , dan is het tijdsinterval voor 1 omwenteling in de 1e verticaal:

$\frac{p}{n} \sin a$ . In de 1e verticaal geldt bij zenitafstand  $z = 30^\circ$ :

$$dz = \cos \varphi \cdot dt$$

Eén omwenteling van de schroef komt dus overeen met een verandering van de zenitafstand van:

$$K_0 = \frac{p}{n} \sin a \cdot \cos \varphi$$

Uit meerdere bepalingen werd gevonden:

$$K_0 = 25'',84$$

*Correctie  $\varepsilon_2$*

Voor de berekening van de refractiecorrectie  $\varepsilon_2$  als functie van de temperatuur  $t$  en de luchtdruk  $p$  is uitgegaan van de formule:

$$r = R \frac{p}{270+t}$$

waarin  $R = +0,355 (60'',10 \operatorname{tg} z - 0'',072 \operatorname{tg}^3 z)$ .

Met:  $R = +12'',32$  voor zenitafstand  $30^\circ$

$$\Delta p = p - 760 \text{ mm Hg}$$

$$\Delta t = t - 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

wordt deze formule bij benadering:

$$r = +31'',740 + 0,042 \Delta p - 0,110 \Delta t$$

Reeds eerder werd opgemerkt dat bij de berekening van de theoretische doorgangstijden rekening is gehouden met een refractie van  $32'',00$ . Deze waarde moet nu van  $r$  worden afgetrokken, zodat de formule voor de nog aan te brengen correctie  $\varepsilon_2$  wordt:

$$\varepsilon_2 = -0'',260 + 0,042 \Delta p - 0,110 \Delta t. \dots \dots \dots (6)$$

Zij wordt vóór en na de waarneming van een serie berekend en, in combinatie met  $\varepsilon_1$ , na lineaire interpolatie aan elke sterdoorgang aangebracht.

### Berekeningsresultaten

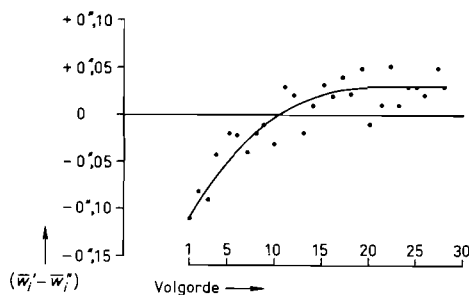
Uit een waargenomen serie worden berekend:

1.  $\Delta\varphi$ , de correctie aan de aangenomen breedte:  $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$ ,
2.  $\Delta\Delta T$ , de correctie aan de aangenomen klokcorrectie:  $\Delta T = \Delta T_0 + \Delta\Delta T$ ,
3.  $r$ , de straal van de positiecirkel als correctie aan de aangenomen instrumentzenitafstand:  $z = z_0 - r$ ,
4. de afwijkingen  $v$  van de sterposities ten opzichte van de positiecirkel:  
 $v = \delta h + \Delta\varphi \cos a + \Delta\Delta T \sin a - r$ . Hoewel de uitdrukking vaag is, zullen deze afwijkingen hierna kortweg worden aangeduid met *sterafwijkingen*. Het gemiddelde van alle waargenomen sterafwijkingen van een ster zal de *residu* van die ster worden genoemd.

Figuur 13, annex 6, geeft een voorbeeld van een berekeningsformulier. In dit formulier wordt, afwijkend van de hier gebruikte notaties,  $\Delta T$  aangegeven door  $cc$ ,  $\Delta\Delta T$  door  $\Delta cc$  en  $r$  door  $R$ .

### Verandering van de sterafwijkingen met de tijd

Op het Observatoire de Paris heeft men opgemerkt dat voor de waarnemingen op deze sterrenwacht de sterafwijkingen van de eerste sterren, die op een avond worden waargenomen, negatief zijn [15]. Om dit nader te onderzoeken ging men als volgt te werk. Daar zo vaak als mogelijk is op één avond twee groepen na elkaar worden waargenomen, bestaat het totaal aantal gemeten series van een bepaalde groep uit series die als eerste en als tweede op een avond zijn waargenomen. Voor elke ster, die met het volgnummer  $i$  in een bepaalde groep voorkomt, kan dan de gemiddelde sterafwijking  $w_i'$  uit de eerste series en  $w_i''$  uit de tweede series worden berekend. Gemiddeld over alle 12 groepen kunnen ten slotte de waarden  $\bar{w}_i'$  en  $\bar{w}_i''$  en de verschillen  $(\bar{w}_i' - \bar{w}_i'')$  worden berekend. Deze verschillen zijn uitgezet in figuur 14.



Figuur 14. Verandering van de sterafwijkingen volgens het Observatoire de Paris [15].

Het verloop van de verschillen  $(\bar{w}_i' - \bar{w}_i'')$  in figuur 14 werd geheel toegeschreven aan een verloop van de waarden  $\bar{w}_i'$ . Aan de sterafwijkingen van de series, die als eerste op een avond werden waargenomen, werden dan ook voor de Parijse waarnemingen correcties aangebracht die (met tegengesteld teken) uit het verloop van de kromme van figuur 14 volgen. Als verklaring voor het verschijnsel werd gegeven het geleidelijk aanpassen van het oog aan de duisternis.

Er zijn echter redenen om aan de juistheid van de gegeven verklaring te twijfelen. Bovendien is het gevaarlijk uit het verloop van de *verschillen* te concluderen dat dit veroorzaakt wordt door alleen de series die als eerste op een avond worden waar-

genomen. Het leek daarom interessant voor de Curaçaose waarnemingen het verloop van de waarden  $\bar{w}_i'$  en  $\bar{w}_i''$  gescheiden te houden. Om na te gaan of er een persoonlijk effect aanwezig is, zijn deze waarden afzonderlijk berekend voor de waarnemers R en S. Echter, behalve de gezochte betrekking van de sterafwijkingen met de volgorde van waarnemen, vertonen de sterafwijkingen ook een afhankelijkheid met het azimut ten gevolge van systematische catalogusfouten; figuur 15, annex 7, geeft deze afhankelijkheid voor R en S. De waarden  $w_i'$  en  $w_i''$  werden voor deze azimutafwijkingen verbeterd. De invloed van eventuele individuele catalogusfouten op  $\bar{w}_i'$  en  $\bar{w}_i''$  zal klein zijn, daar deze waarden gemiddelden zijn van 12 verschillende sterren. Figuur 16 geeft een beeld van de verlopen van  $\bar{w}_i'$  en  $\bar{w}_i''$  voor de waarnemers R en S.

Inderdaad zijn ook voor Curaçao de sterafwijkingen van de eerste sterren voor beide waarnemers negatief; het effect duurt echter korter dan bij de Parijse waarnemingen. Verder blijken de sterafwijkingen van de tweede series voor R vrijwel niet te veranderen, voor S daarentegen is er wel een verloop.

Het beschreven verschijnsel zal in hoofdstuk 7 nader worden onderzocht.

### Herberekening

Als gevolg van catalogusfouten in de coördinaten  $\alpha$  en  $\delta$  van de waargenomen sterren geeft elke groep een afwijking in de resultaten  $\varphi$ ,  $\Delta T$  en  $r$ . Deze afwijkingen zijn voor alle 12 groepen verschillend: de groepen zijn samengesteld uit verschillende sterren. Indien van een groep alle sterren zijn waargenomen, zijn deze groepafwijkingen voor die groep gelijk. Zijn echter van een serie niet alle sterren waargenomen dan veranderen de groepafwijkingen, evenals de sterafwijkingen  $v$  van de waargenomen sterren, tengevolge van de catalogusfouten van de ontbrekende sterren. Het volgende overzicht geeft het aantal series ten opzichte van het aantal sterdoorgangen.

Aantal doorgangen	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	14
Aantal series	28	34	39	29	31	22	13	17	16	10	6	8	8	3	1

Daar elke groep uit 29 doorgangen bestaat, zijn slechts 28 van de 265 series volledig. Herinnerd wordt aan het feit dat veel doorgangen wel zijn waargenomen, maar niet konden worden berekend door de vele parasitaire registraties op de chronograafstrook.

Om  $\varphi$ ,  $\Delta T$ ,  $r$  en de sterafwijkingen van geheel en gedeeltelijk gemeten series van een groep beter vergelijkbaar te maken, is het wenselijk de series opnieuw te berekenen. Van de grootheid  $\delta h_0$  van elke ster kan dan de residu van die ster uit de eerste berekening (als benadering voor de invloed van catalogusfouten) worden afgetrokken. Deze verbetering zal de *intrinsieke verbetering* worden genoemd.

Er zijn echter nog een aantal andere voordelen om de waarnemingen opnieuw te berekenen.

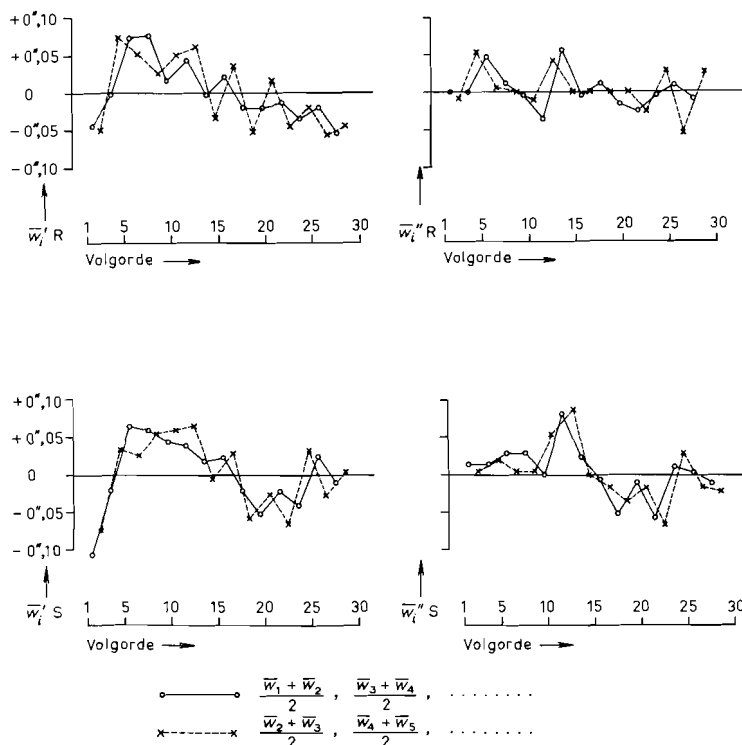
- Bij de eerste berekening is geen rekening gehouden met het verloop gedurende de meting van een serie van de klok die de chronograaf synchroniseert. Bovendien werd aan de sterren geen parallax-correctie aangebracht. Bij de herberekening kan hiervoor worden gecorrigeerd.

- Voor de reeds opgemerkte verandering van de sterafwijkingen met de tijd kunnen correcties worden aangebracht.
- Er is inmiddels een nieuwe, verbeterde stercatalogus uitgekomen, de FK4, waarvan bij de herberekening met voordeel gebruik kan worden gemaakt.
- Daar de herberekening wordt uitgevoerd met een elektronische rekenmachine is dit een goede controle op de Curaçaose berekeningen.

Alle series zijn opnieuw berekend met een elektronische rekenmachine IBM 650 van het Observatoire de Paris. De series zijn berekend volgens het programma dat ook voor de waarnemingen op het Observatoire de Paris wordt gebruikt.

### *Intrinsieke verbetering*

De residuen van de eerste berekening moeten van de waarden van  $\delta h_0$  worden afgetrokken. Om rekening te houden met de gevonden verandering van de sterafwijkingen met de tijd zijn hiervoor aan deze residuen benaderde correcties aangebracht.



Figuur 16. Verandering van de sterafwijkingen tijdens de eerste en de tweede series voor waarnemers R en S.

Deze correcties zijn bepaald uit figuur 16, na de gebroken lijnen door vloeiende krommen te hebben vervangen. Tabel 4, annex 8, geeft de zo verbeterde residuen  $\bar{v}_3$  van de eerste berekening, het aantal waarnemingen  $n$  van de ster en de middelbare fouten  $\sigma$  in de residuen. Gezien de minder nauwkeurige metingen van de twee tijdelijke waarnemers geldt de tabel slechts voor de waarnemers R en S.

Daar de herberekening ten opzichte van FK4 zal worden uitgevoerd, moet de intrinsieke verbetering ook ten opzichte van de FK4 zijn. De berekende waarden  $\bar{v}_3$  zijn echter ten opzichte van de FK3R, zodat moet worden overgegaan op de FK4. Is

$$\Delta\alpha = \alpha_{\text{FK4}} - \alpha_{\text{FK3R}}$$

en 
$$\Delta\delta = \delta_{\text{FK4}} - \delta_{\text{FK3R}}$$

dan zijn de correcties die aan de grootheden  $\delta h_0$  moeten worden aangebracht:

$$d\delta h = \cos q \cdot \Delta\delta - 15 \cos \varphi_0 \cdot \sin a \cdot \Delta\alpha$$

waarin:

$$\varphi_0 = \text{benaderde breedte van het station}$$

$$a = \text{azimut van de ster}$$

$$q = \text{parallaktische hoek van de ster}$$

De correcties  $d\delta h$  hebben ook een verandering in  $\varphi$ ,  $\Delta T$  en  $r$  ten gevolge:  $d\varphi$ ,  $d\Delta T$  en  $dr$ . Daar deze klein zijn en er voor iedere groep is gestreefd naar een symmetrische verdeling van de sterren ten opzichte van de meridiaan en de 1e verticaal, geldt bij benadering:

$$[\sin a] = [\cos a] = [\sin a \cdot \cos a] = 0$$

De correcties  $d\varphi$ ,  $d\Delta T$  en  $dr$  kunnen dan worden berekend uit:

$$d\varphi = -\frac{[d\delta h \cdot \cos a]}{[\cos^2 a]}; \quad d\Delta T \cdot \cos \varphi_0 = -\frac{[d\delta h \cdot \sin a]}{[\sin^2 a]}; \quad dr = \frac{[d\delta h]}{29}$$

Tenslotte worden de residuen ten opzichte van de FK4:

$$\bar{v}_4 = \bar{v}_3 + d\delta h + d\varphi \cdot \cos a + d\Delta T \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin a - dr$$

De 5e kolom van tabel 4, annex 8, geeft de waarden  $\bar{v}_4$ . Voor de intrinsieke verbetering zijn deze waarden met tegengesteld teken aangehouden.

#### *Het verloop van de chronograaf*

De klok die de chronograaf synchroniseert heeft in het algemeen een verloop ten opzichte van de universele tijd. Ook de chronograaf verloopt dus. Wel wordt het verschil in kloktijd en chronograaftijd vóór en na de meting van een serie bepaald door klokseconden op de chronograaf te laten registreren, maar een gelijk verloop van de klok en de chronograaf komt hierin niet tot uiting.

Tabel 5, annex 9, geeft een overzicht van de perioden waarin de klokken K0, K1 en K2 zijn gebruikt voor de synchronisatie van de chronograaf met het verloop van die klok. In verband met de gewenste nauwkeurigheid van 1 msec per 2 uur zijn de opgegeven waarden voor het verloop afgerond op 10 msec per 24 uur.

#### *Sterparallax*

Om voor de berekening van de coördinaten van een ster rekening te houden met de jaarlijkse parallax zijn de parallaxen gebruikt naar JENKINS uit *General Catalogue of trigonometric stellar parallaxes* – Yale, 1952.

*Verandering van de sterafwijkingen met de tijd*

De verandering van de sterafwijkingen met de tijd hebben ook een verandering van de breedte en de klokcorrectie van een gemeten serie ten gevolge. Deze afwijkingen in  $\varphi$  en  $\Delta T$  kunnen zelfs  $0'',05$  ( $0^s,003$ ) bedragen. Het is dus van belang met dit effect rekening te houden.

Figuur 16 gaf een beeld van de verandering met de tijd voor de waarnemers R en S. Voor de herberekening zijn voor deze waarnemers de correcties gebruikt die uit deze figuur volgen, na de gebroken lijnen door vloeiende krommen te hebben vervangen. De waarnemers RA en T hebben te weinig series waargenomen om voor hen een verandering te kunnen onderzoeken. Voor deze waarnemers zijn de gemiddelde waarden van R en S aangehouden voor de als eerste waargenomen series. Voor de als tweede waargenomen series is een verandering nul aangehouden. Voor de enkele derde series zijn, voor alle waarnemers, geen correcties aangebracht.

De correcties die aan  $\delta h_0$  moeten worden aangebracht zijn vermeld in tabel 6, annex 10. Voor niet volledig waargenomen series is als volgnummer die naar het vaste programma aangehouden en niet die van de waarneming van de doorgang.

*Verbeterde groepsamenstelling voor 22 series*

Indien het verschil tussen de micrometeraflecting  $v_m$  voor 2 contacten per omwenteling en die voor 4 contacten per omwenteling niet juist is bepaald, is de zenitafstand voor de sterren die met 2 c/o zijn waargenomen niet dezelfde als de zenitafstand voor de sterren, waargenomen met 4 c/o. De straal  $r$  van de positiecirkel zal derhalve een waarde hebben die ligt tussen de waarden van beide soorten sterren. Als gevolg hiervan zijn niet alleen de sterafwijkingen  $v$  fout, maar zal ook  $\Delta\varphi$  niet juist zijn, als van de sterren met 4 c/o het aantal noordsterren verschilt van het aantal zuidsterren. Daar het gebied bij de meridiaan waar met 4 c/o wordt waargenomen klein is, is de invloed op  $\Delta T$  te verwaarlozen.

Bij de eerste berekening is om al eerder genoemde redenen tot 27 september 1957 voor  $v_m$  de waarde nul aangehouden voor zowel 2 c/o als 4 c/o. Daar de sleepcontacten vaak zijn veranderd is het echter niet juist de  $v_m$  voor 2 c/o gelijk te stellen aan de  $v_m$  voor 4 c/o. Immers, slechts een halve millimeter verschil tussen de sleepcontacten voor 2 c/o en die voor 4 c/o komt overeen met 0,002 omwenteling van de micrometer, dit is ruim  $0'',10$  in zenitafstand. Om bij de herberekening een onjuiste bepaling van  $\Delta\varphi$  te vermijden is dan ook voor de eerste 22 waargenomen series het aantal noord- en zuidsterren, die met 4 c/o zijn waargenomen, gelijk gemaakt. Hierdoor zijn maximaal drie doorgangen per serie vervallen.

Daar de sterafwijkingen niet betrouwbaar zijn, zullen de sterafwijkingen van de eerste 22 series niet worden gebruikt voor de verbetering van de stercoördinaten.

**Resultaten**

In de waarnemingsperiode van 25 juli 1957 tot 3 januari 1959 zijn totaal 265 series met 6539 sterdoorgangen waargenomen en berekend. Tegen de verwachting werd veel hinder ondervonden van bewolking. Van de 333 series waarmee een begin was



gemaakt moesten er 68 – d.i. 26% – reeds in het begin van het programma worden afgebroken. Slechts in 86 nachten was het mogelijk twee series na elkaar waar te nemen.

De klokcorrecties werden gebruikt voor de tijd- en lengtebepaling, de breedtecorrecties voor de variatie van de plaatselijke breedte en de sterafwijkingen voor de verbetering van stercoördinaten.

*Groepcorrecties*

Fouten in de stercoördinaten van de FK4-catalogus beïnvloeden de groepresultaten  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta T$  en  $r$ . Afhankelijk van de samenstelling van de groep zijn de afwijkingen voor elk van de 12 groepen verschillend. De afwijkingen kunnen waarden bereiken tot viermaal de middelbare fout in een groepresultaat. Het is dus nodig aan de waargenomen groepresultaten een groepcorrectie aan te brengen om de resultaten van verschillende groepen te kunnen vergelijken.

De gezochte groepcorrecties kunnen worden berekend uit de verschillen van twee groepen die ná elkaar in één nacht en door dezelfde waarnemer zijn waargenomen. De tabellen 7, 8 en 9 in de annexen 11, 12 en 13 geven deze verschillen voor  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta T$  en  $r$  voor elke groepcombinatie. Zij zijn vermeld achter de datum, waarop de combinatie is waargenomen. De verschillen voor de klokcorrectie  $\Delta T$  zijn gecorrigeerd voor het verloop van de klok tussen de twee groepen. De gemiddelde verschillen voor  $\Delta\varphi$  en  $\Delta T$  zijn berekend met toekenning van gewichten. De gewichten van de groepresultaten zijn omgekeerd evenredig met het kwadraat van de inwendige middelbare fout; als middelbare fout in de gewichtseenheid is 0",09 gekozen.

Volgens onderstaande indeling werden de gewichten afgerond:

- <0,5 : 0
- 0,5–1,4 : 1
- 1,5–2,4 : 2
- 2,5–3,4 : 3
- ≥3,5 : 4

Het gewicht van het verschil als functie van de gewichten per serie volgt uit de volgende tabel:

Gewicht per serie		Gewicht v.h. verschil	Gewicht per serie		Gewicht v.h. verschil
1	1	1	2	3	2
1	2	1	2	4	3
1	3	1	3	3	3
1	4	2	3	4	3
2	2	2	4	4	4

De gewichten van de verschillen zijn in tabellen 7 en 8 achter de verschillen vermeld.

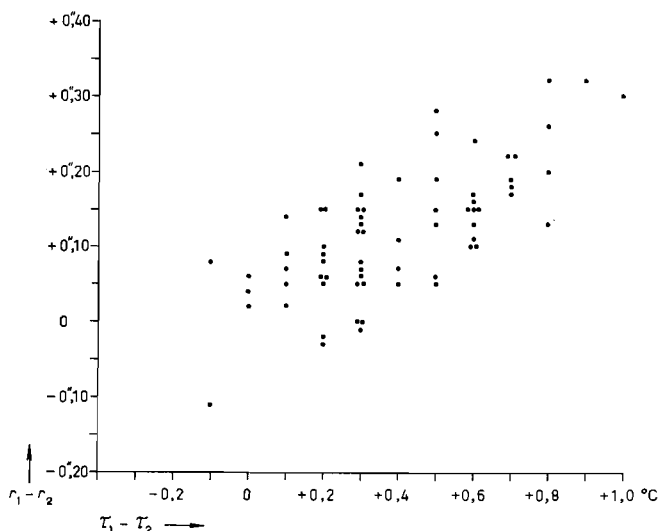
De gemiddelde verschillen voor  $r$  zijn met gelijke gewichten bepaald. De bepaling van de zenitafstand is, in tegenstelling tot die van  $\Delta\varphi$  en  $\Delta T$ , afhankelijk van de bepaling van instrumentconstanten ( $v_0$ ,  $v_m$ ) en van metingen voor de refractie. De

middelbare fout die voor  $r$  uit een waarneming volgt is berekend zonder de onzekerheden in genoemde metingen. Het heeft daarom geen zin aan de verschillen voor  $r$  gewichten toe te kennen.

Uit de gemiddelde verschillen tussen twee achtereenvolgende groepen zijn de afwijkingen van elke groep berekend ten opzichte van de, willekeurig gekozen, groep 20. De sluitfouten die hierbij ontstaan (zie de tabellen 7, 8 en 9) en hun middelbare fouten zijn voor  $\Delta\varphi$  en  $\Delta T$  respectievelijk  $-0'',07$  ( $0'',11$ ) en  $-0^s,004$  ( $0^s,012$ ). Ze zijn niet significant en kunnen over alle verschillen gelijk worden verdeeld. Na de berekening van het verschil tussen groep 20 en de „gemiddelde” groep  $g$  kunnen ook de verschillen tussen de andere groepen en groep  $g$  worden berekend. De groepcorrecties  $d\Delta T$  en  $d\Delta\varphi$ , die aan de groepresultaten moeten worden aangebracht om ze tot de gemiddelde groep terug te brengen, zijn onderaan de tabellen 7 en 8 vermeld.

Uit tabel 9 blijkt dat de sluitfout voor  $r$  wel significant is:  $+1'',58$  ( $0'',12$ ). Dit wijst op een systematische verandering van de waargenomen hoogte in een nacht. Indien deze verandering niet voor elke groepcombinatie dezelfde is, zou de sluitfout niet gelijk over de combinaties mogen worden verdeeld. Er is daarom de voorkeur gegeven aan een andere methode om de gemiddelde verschillen per groepcombinatie te bepalen.

Er blijkt een afhankelijkheid te bestaan van genoemde verandering in de hoogte met de verandering van het verschil tussen de temperatuur  $t_s$  bepaald met een slingerthermometer en de temperatuur van het instrument  $t_i$ . Is  $\tau = \bar{t}_i - \bar{t}_s$ , waarin  $\bar{t}$  de gemiddelde waarde voorstelt van de temperatuur voor en ná een serie, dan zijn in figuur 17 de verschillen ( $r_1 - r_2$ ) uitgezet tegenover de verschillen ( $\tau_1 - \tau_2$ ); de indices zijn de volgnummers van de waargenomen series op een avond. In hoofdstuk 7 zal de oorzaak van deze correlatie nader worden verklaard. Indien door de puntenreeks



Figuur 17. De verandering van de straal  $r$  van de vereffeningcircel ten opzichte van de verandering van het temperatuurverschil  $\tau$ ;  $\tau = \bar{t}_i - \bar{t}_s$

van figuur 17 een vloeiende kromme wordt getrokken kan voor elke groepcombinatie de gemiddelde afwijking van de punten ten opzichte van deze kromme worden berekend. De waarden  $(r_1 - r_2)$ , verbeterd met deze gemiddelden, geven een tweede kromme, waaruit nauwkeuriger gemiddelde afwijkingen volgen. Dit is te herhalen tot de vloeiende kromme en de gemiddelde afwijkingen niet meer veranderen. Deze gemiddelde afwijkingen – de verschillen  $(r_1 - r_2)$  per groepcombinatie, bevrijd van de systematische verandering – zijn, vetgedrukt, vermeld in tabel 9. Met deze waarden zijn de groepcorrecties  $dr$  berekend, op dezelfde wijze als dit is gedaan voor de groepcorrecties  $d\Delta\varphi$  en  $d\Delta T$  in de tabellen 7 en 8.

Zou de constante van de jaarlijkse aberratie die bij de berekening is gebruikt niet juist zijn dan zou bij de verdeling van de sluitfouten hiermee rekening gehouden moeten worden. De invloed van een onjuiste constante is namelijk op elke combinatie verschillend. Daar echter bij de herberekening een verbeterde waarde voor de constante is aangehouden, die voldoende nauwkeurig is, kunnen de sluitfouten over elke combinatie gelijk worden verdeeld.

Het aantal waargenomen verschillen per combinatie is vaak zeer klein. Het is niet mogelijk voor elke combinatie een betrouwbare inwendige middelbare fout in het gemiddelde verschil te berekenen. Er zal worden volstaan met een opgave van de gemiddelde middelbare fouten van de groepcorrecties. Deze zijn voor

$$\begin{aligned} d\Delta\varphi & . . . . . 0'',02 \\ d\Delta T & . . . . . 0^s,002 \\ dr & . . . . . 0'',03 \end{aligned}$$

*Inwendige nauwkeurigheid*

Per serie worden 29 sterdoorgangen waargenomen. Er zijn drie onbekenden op te lossen, zodat er 26 overtallige waarnemingen zijn. Voor een enkele waarneming van een doorgang kan dus de middelbare fout worden berekend. Tabel 10 geeft een overzicht van het aantal waargenomen series en de maandgemiddelden van deze middelbare fouten. De middelbare fouten van de eerste berekening zijn met  $m_1$  aangeduid, die van de herberekening met  $m_2$ .

Evenals bij de meridiaanwaarnemingen wordt de nauwkeurigheid geleidelijk groter, al is deze toename hier minder sterk. Na ongeveer acht maanden kan de nauwkeurigheid constant worden beschouwd. De gemiddelde waarde van  $m_1$  voor de waarnemers R en S in de waarnemingsperiode na 1 april 1958 is  $0'',18$ . Door de intrinsieke verbetering die bij de herberekening is toegepast zijn de waarden  $m_2$  bevrijd van catalogusfouten in de stercoördinaten en geven ze dus een beeld van de waarnemingsfouten. Het gemiddelde van  $m_2$  voor R en S is voor dezelfde waarnemingsperiode  $0'',13$ ; de kleinst voorkomende waarde is  $0'',09$ . Uit de gemiddelde waarden voor  $m_1$  en  $m_2$  volgt voor het gemiddelde aandeel van de catalogusfouten  $0'',12$ : dit is van dezelfde orde van grootte als dat van de waarnemingsfouten.

De inwendige nauwkeurigheid van  $\varphi$  en  $\Delta T$  kan worden bepaald uit:

$$m^2_{\varphi} = \frac{m^2}{[\cos^2 a]} \quad \text{en} \quad m^2_{\Delta T} \cos \varphi_0 = \frac{m^2}{[\sin^2 a]}$$

TABEL 10. Astrolabiumwaarnemingen.  
Overzicht van het aantal waargenomen series en de inwendige nauwkeurigheid.

		R			S			RA			T		
		aantal series	$m_1$	$m_2$	aantal series	$m_1$	$m_2$	aantal series	$m_1$	$m_2$	aantal series	$m_1$	$m_2$
1957	juli	2	0",23	0",16									
	aug.	7	22	18	5	0",24	0",20						
	sept.	6	18	16	4	20	16						
	okt.	6	22	20	5	20	16						
	nov.	4	24	21	4	22	17						
	dec.	14	19	16	7	21	19						
1958	jan.	12	20	17	10	22	15						
	febr.	11	21	18	11	24	18						
	mrt.	7	20	15	6	22	15						
	april	5	18	15	7	20	15						
	mei	7	18	13	7	17	15						
	juni	10	19	12	3	17	11						
	juli	7	18	11	7	22	14	2	0",32	0",32			
	aug.	5	17	12	4	19	14	9	30	27	5	0",24	0",21
	sept.	6	19	13	10	20	13	3	35	34			
	okt.	4	15	12	4	17	12						
	nov.	1	16	15	11	16	13	4	26	24			
	dec.	6	19	16	6	18	14	9	30	31			
1959	jan.				2	15	11						

als  $a$  het azimut van de doorgang is. Indien de sterren goed in azimut zijn verdeeld is  $[\cos^2 a] = [\sin^2 a] = \frac{1}{2} n$ ;  $n$  is het aantal sterdoorgangen. Wordt voor  $m$  0",13 aangehouden, dan zijn voor een groep van 28 sterdoorgangen:

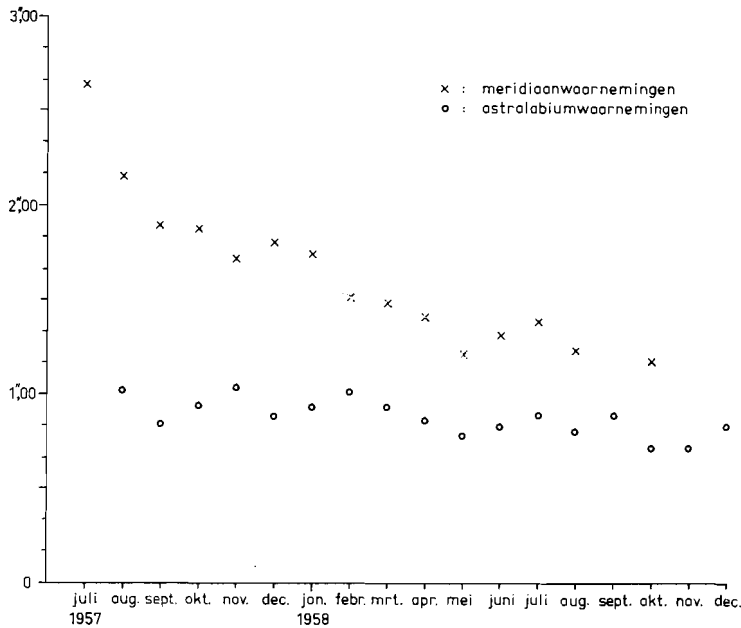
$$m_\varphi = 0",035 \quad \text{en} \quad m_{\Delta T} = 0^s,0023$$

De gemiddelde middelbare fouten in  $\varphi$  en  $\Delta T$ , berekend uit de waarnemingen ná 1 april 1958 zijn respectievelijk 0",039 en 0<sup>s</sup>,0025.

#### *Inwendige nauwkeurigheid van astrolabium- en meridiaanwaarnemingen*

Het is interessant de inwendige nauwkeurigheid van de astrolabiumwaarnemingen met die van de meridiaanwaarnemingen te vergelijken. Hiervoor zijn de middelbare fouten in de enkele waarneming van een tijdregistratie van een doorgang vergeleken. Bij het astrolabium is de gemiddelde doorgangstijd bepaald uit 20 registraties; bij het meridiaaninstrument in het algemeen uit 44 registraties. Figuur 18 geeft de maandgemiddelden van genoemde middelbare fouten van beide soorten waarnemingen voor de waarnemers R en S gemiddeld. Voor de astrolabiumwaarden zijn de middelbare fouten  $m_1$  gebruikt en voor de meridiaanwaarden de waarden  $m_{\Delta T}$ . Beide middelbare fouten zijn dan beïnvloed door de catalogusfouten van de FK3R.

De nauwkeurigheid van de astrolabiumwaarnemingen is, vooral in het begin van de waarnemingsperiode, duidelijk groter. Indien het astrolabium alleen voor lengtebepaling zou worden gebruikt – alleen sterdoorgangen in de 1e verticaal – zouden



Figuur 18. Vergelijking inwendige nauwkeurigheid van astrolabium- en meridiaanwaarnemingen. Uitgezet zijn de maandgemiddelden van de middelbare fouten in de enkele waarneming van een tijdregistratie.

ruim 70 registraties per doorgang met het meridiaaninstrument nodig zijn om dezelfde nauwkeurigheid in  $\Delta T$  te bereiken. Opvallend is de toenemende nauwkeurigheid bij de meridiaanwaarnemingen, terwijl dit in veel mindere mate het geval is bij de astrolabiumwaarnemingen.

**Breedtebepalingen**

*De waargenomen breedten*

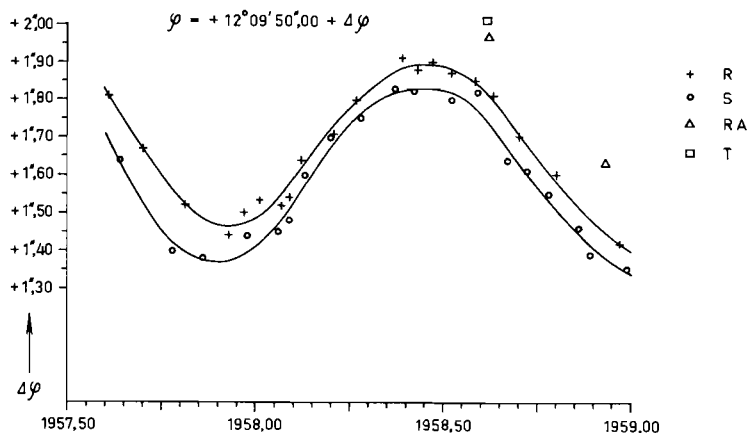
Uit elke waargenomen serie volgt een correctie  $\Delta\varphi$  aan de aangenomen breedte  $\varphi_0$ . Om alle waargenomen correcties  $\Delta\varphi$  tot dezelfde, gemiddelde groep terug te brengen moet aan elke waarde  $\Delta\varphi$  de bijbehorende groepcorrectie worden aangebracht. Voor de waarnemingsperiode juli 1957 tot januari 1959 kan dan de variatie van de breedte worden bepaald zoals deze is waargenomen met het astrolabium.

In tabel 11, annex 14, zijn voor de vier waarnemers de gemiddelde waarden  $\Delta\varphi$  berekend voor bepaalde perioden. Aan elke waargenomen correctie is een gewicht toegekend dat omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de inwendige middelbare fout. De middelbare fout in de gewichtseenheid is 0",09. De gewichten zijn afgerond als volgt:

- <0,5 . . . . . 0
- 0,5—1,4 . . . . . 1
- 1,5—2,4 . . . . . 2
- 2,5—3,4 . . . . . 3
- ≥3,5 . . . . . 4

De perioden zijn zodanig gekozen dat alle gemiddelden een ongeveer gelijk gewicht hebben; de perioden zijn dus niet even lang. Voor R en S is voor de som van de gewichten per gemiddelde 20 aangehouden. Dit betekent dat een gemiddelde uit tenminste 5 series is bepaald.

De in tabel 11 berekende gemiddelden zijn uitgezet in figuur 19. Er blijkt een,



Figuur 19. Variatie van de waargenomen breedte  $\varphi$ .

zo goed als constant, verschil te bestaan tussen de waarnemers R en S. Gemiddeld over 1958 bedraagt dit verschil  $0''.06$ . De twee tijdelijke waarnemers RA en T hebben breedten waargenomen die ten opzichte van het gemiddelde van R en S ruim  $0''.20$  groter zijn. In hoofdstuk 8 zullen deze persoonlijke afwijkingen uitvoeriger worden besproken.

Uit de afwijkingen van de waargenomen breedten met de zo goed mogelijk aangepaste krommen uit figuur 19 is voor iedere waarnemer de uitwendige middelbare fout te berekenen. De middelbare fouten voor de waarnemers R, S, RA en T zijn respectievelijk:  $0''.057$ ,  $0''.050$ ,  $0''.113$  en  $0''.060$ . Zoals eerder bleek is de inwendige middelbare fout voor de waarnemers R en S  $0''.039$ . Afgezien van de persoonlijke afwijkingen verschillen de inwendige en de uitwendige nauwkeurigheid van een breedtebepaling slechts weinig.

#### *Verwerking van de resultaten*

De variatie van de breedte wordt voor het grootste deel veroorzaakt door de beweging van de pool. In plaats van de juiste breedte van een station te bepalen door de waargenomen breedten voor deze poolbeweging te verbeteren was eerder het omgekeerde een van de belangrijkste opgaven voor het Internationaal Geofysisch Jaar: uit de breedte-varianties van zoveel mogelijk stations een nauwkeurige poolbeweging te berekenen.

Voor vele wetenschappen – waaronder vooral de geodesie – is het van belang dat de poolbeweging steeds volgens eenzelfde systeem wordt bepaald. Waarnemingen met een interval van vele jaren moeten op hetzelfde systeem kunnen worden teruggebracht. Het is dan ook belangrijk dat voor de berekening van de poolbeweging

steeds de resultaten van dezelfde stations worden gebruikt. Van een nieuw station moeten de gemiddelde breedte en de lokale effecten bekend zijn, wat pas na enige jaren waarnemen mogelijk is. Het is duidelijk dat daarom de tijdelijke stations in de berekening van de poolbeweging geen aandeel kunnen hebben. Los van de gangbare berekening van de poolbeweging uit permanente stations zullen de resultaten van *alle* stations, die tijdens het I.G.J. breedte-waarnemingen hebben uitgevoerd, worden gebruikt om in het bijzonder voor deze periode de poolbeweging nauwkeurig te bestuderen.

De op Curaçao waargenomen breedten werden regelmatig opgestuurd naar het Bureau International de l'Heure (BIH) te Parijs. Deze dienst zal de waarnemingen van alle stations interpreteren; er zijn hierover nog geen resultaten bekend. De Internationale Breedtedienst (SIL) zal de resultaten van het I.G.J. niet verwerken.

#### *Vergelijking van de breedtevariatie met reeds bekende poolbewegingen*

Er zijn op het ogenblik twee waarden voor de poolbeweging bekend voor de periode 1957.50 tot 1959.00. Dr. N. STROYKO van het BIH berekende in 1961 de poolbeweging uit de gegevens van de Service International Rapide des Latitudes te Parijs; deze laatste dienst bestaat uit een twintigtal permanente stations. De gegevens voor de poolbeweging werden verstrekt door Dr. STROYKO. De SIL bepaalde de poolbeweging uit vijf permanente stations op dezelfde breedtegraad; de poolbeweging werd opgegeven in Publicatie nr. 26 van het Centraal Bureau van de SIL.

De beweging van de noordpool wordt gegeven door middel van de coördinaten  $x$  en  $y$  van de ware pool ten opzichte van de gemiddelde pool. De  $x$ -as is gericht naar Greenwich en de  $y$ -as is de meridiaan 6 uur westelijk van Greenwich. De invloed op de breedte  $\varphi$  voor een station met lengte  $\lambda$  is dan:

$$d\varphi = x \cos \lambda + y \sin \lambda$$

De kromme a. in figuur 20, annex 15, stelt de variatie  $d\varphi$  van Curaçao voor, berekend uit de poolbeweging volgens het BIH. De kromme b. in dezelfde figuur is  $d\varphi$  uit de poolbeweging volgens de SIL. De eerstgenoemde poolbeweging is berekend ten opzichte van de *pôle moyen de l'époque*, een systeem dat in 1958 werd aangenomen door de Internationale Astronomische Unie. De poolbeweging volgens de SIL is ten opzichte van de referentie-pool van deze dienst. De verlopen van beide krommen komen voor de periode 1957.50 tot 1959.00 goed overeen. Het constante verschil is het gevolg van het feit dat beide diensten niet dezelfde stations hebben gebruikt en de referentie-polen niet samenvallen.

De waargenomen breedtevariatie in het onderste gedeelte van figuur 20 is de gemiddelde variatie van de waarnemers R en S; hierbij is rekening gehouden met een constant verschil van  $0'',06$  tussen beide waarnemers.

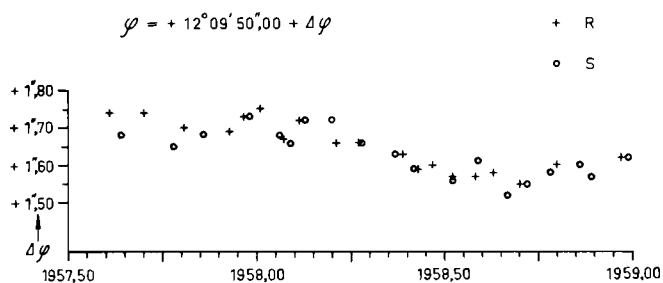
#### *Onderzoek van de breedtevariatie*

Behalve de beweging van de pool zijn er nog andere oorzaken van de variatie van de waargenomen breedte:

- a. de richtingsverandering van de noord-zuid component van de verticaal,

- b. de verplaatsing van het station in noord-zuid richting,
- c. systematische catalogusfouten (of fouten in de groepcorrecties),
- d. systematische waarnemingsfouten.

Het totale effect van deze oorzaken kan pas definitief worden bepaald als de poolbeweging nauwkeurig bekend is. Om toch een indruk te krijgen van deze restvariatie kan een reeds bekende poolbeweging worden aangenomen. Het is echter mogelijk dat te zijner tijd voor de periode van het I.G.J. deze poolbeweging kan worden verbeterd, zodat de restvariatie slechts voorlopig is.



Figuur 21. Variatie van de waargenomen breedte  $\varphi$  zonder poolbeweging.

In figuur 21 is de variatie van de waargenomen breedte voorgesteld, bevrijd van de poolbeweging volgens het BIH. Opvallend is het breedteverschil van ongeveer  $0'',10$  tussen eind 1957 en eind 1958. Deze verandering kan niet worden verklaard door een fout in de poolbeweging; deze is zeker met grotere nauwkeurigheid bekend. Daar het hier een periode betreft van één jaar kan c worden uitgesloten: elk jaar worden op dezelfde tijden dezelfde groepen waargenomen.

Als oorzaak van de breedteverandering van  $0'',10$  in één jaar blijven dus over de lokale effecten a en b en de systematische waarnemingsfouten. Deze zijn niet te scheiden. Wel is het aandeel van de systematische waarnemingsfouten minder waarschijnlijk: de fouten zijn voornamelijk een gevolg van seizoensinvloeden en veroorzaken dus in het algemeen slechts variaties met een jaarlijkse periode.

Uit het voorgaande is het duidelijk dat het niet mogelijk is een opgave te doen van de breedte van de waarnemingsplaats. Volstaan moet worden met te vermelden dat volgens de waarnemingen van de waarnemers R en S van 1958.00 tot 1959.00 de breedte varieerde tussen  $+12^{\circ} 09' 51'',55$  en  $+12^{\circ} 09' 51'',75$  ten opzichte van de pôle moyen de l'époque van het BIH.

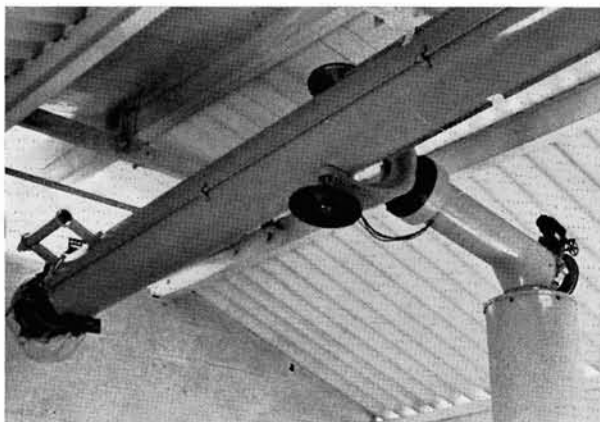


## WAARNEMINGEN MET DE MAANCAMERA

Het waarnemen met de maancamera bestaat uit het fotograferen van de maan tegen een achtergrond van omringende sterren, waarbij het moment van opneming wordt geregistreerd. Hiervoor werd een speciaal geconstrueerde camera aan de oculair-zijde van een ruim 4 meter lange kijker gemonteerd (zie figuur 22). De camera werd in bruikleen verstrekt door het U.S. Naval Observatory te Washington; de kijker, met objectief van 30 cm doorsnede, werd daar op verzoek van Nederland gebouwd.

### Doel van de waarnemingen

Een foto toont op welke plaats van de hemel de maan op het moment van opneming werd gezien vanuit het waarnemingspunt. Daar de afstand aarde-maan klein is in verhouding tot de afstand aarde-sterren is het verkregen beeld afhankelijk van de plaats op aarde waar de opname werd gemaakt. Opnamen van verschillende maanstanden maakt dus plaatsbepaling ten opzichte van het middelpunt van de aarde, in drie coördinaten, mogelijk. De plaatsbepaling geschiedt bovendien onafhankelijk van de richting van de zwaartekracht. Behalve de drie coördinaten van het waarnemingspunt zijn er echter nog een aantal onbekenden als gevolg van de onzekerheden in de vorm van de baan die de maan om de aarde beschrijft. Tijdens



Figuur 22. De maancamerakijker onder het gesloten dak van het gebouwje.

het Internationaal Geofysisch Jaar 1957–1958 werden daarom in een twintigtal over de aarde verspreide stations opnamen gemaakt, waardoor deze onzekerheden kunnen worden geëlimineerd. Bovendien kunnen uit de waarnemingen op meerdere stations worden afgeleid: grootte en vorm van de aarde, gegevens om de driehoeksnetten van alle continenten in één stelsel te brengen en de onderlinge ligging en eventuele verplaatsing van de continenten.

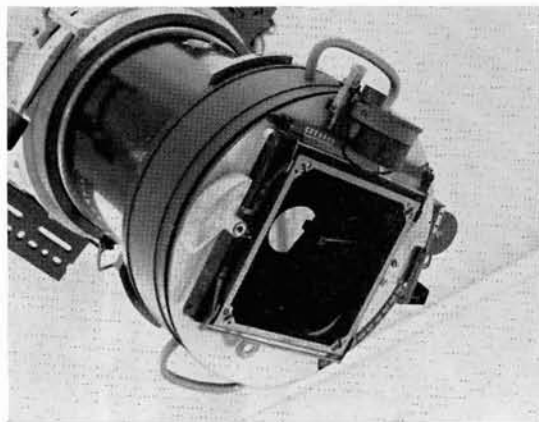
Behalve de universele tijd (UT), gebaseerd op de omwenteling van de aarde om haar as, kent men als tijdschaal de zgn. efemeride-tijd (ET). Deze laatste tijd is gebaseerd op de beweging van de aarde om de zon en wordt in de praktijk bepaald uit de beweging van de maan om de aarde. De efemeride-tijd is uniform, althans beter uniform dan de universele tijd (als eenheid van tijd is de secunde van de efemeride-tijd aangenomen). Daar van de maancamera-foto's de momenten van opneming worden vastgelegd in het systeem UT, is het mogelijk de efemeride-tijd

ten opzichte van de universele tijd te bepalen. Bovendien kunnen uit de verschillen (ET-UT) de onregelmatigheden in de omwentelingssnelheid van de aarde worden bestudeerd. Door de ontwikkeling van atoomresonators als basis voor een uniforme tijd, is de betekenis van dit onderzoek echter verminderd. Het zal evenwel van groot belang zijn de zgn. atoomtijd met de efemeride-tijd te vergelijken om de verschillende eigenschappen te onderzoeken van de mechanica van het universum en van het atoomstelsel, problemen overigens die geheel buiten het kader van deze verhandeling liggen.

Tenslotte kan, zoals eerder werd opgemerkt, de nauwkeurigheid van de maanbaanconstanten worden vergroot en een beter inzicht worden verkregen van de elementen die de maanbaan beïnvloeden.

### De camera

Het idee van genoemde waarnemingsmethode en de mogelijkheden die deze methode biedt zijn reeds lang bekend. Er waren echter twee praktische moeilijkheden, waardoor deze methode niet met voldoende nauwkeurigheid kon worden toegepast.



Figuur 23. De maancamera van Markowitz.

Om op een foto een redelijk aantal afgebeelde sterren in de onmiddellijke omgeving van de maan te krijgen, moeten ook lichtzwakke sterren – bij voorkeur tot magnitude 10 – kunnen worden gefotografeerd. Om dit te bereiken moet een fijnkorrelige en dus langzame fotografische emulsie worden gebruikt, zodat een lange belichtingstijd van ongeveer 10 à 20 seconden nodig is. Door de bewegingen van maan en sterren met verschillende snelheden gedurende deze belichtingstijd, worden maan en sterren onscherp afgebeeld. De tweede moeilijk-

heid is het verschil in helderheid van de maan en de sterren.

Dr. W. MARKOWITZ van het U.S. Naval Observatory heeft in 1951 een camera ontworpen, de *dualrate-moonposition-camera*, zie figuur 23, waarbij genoemde moeilijkheden zijn opgelost. De beweging van de sterren wordt gedurende de belichtingstijd gecompenseerd door een verplaatsing van de fotografische plaat. Om de relatieve beweging van de maan ten opzichte van de sterren op te heffen wordt een planparallele glasplaat, die in de stralenbundel van de maan is aangebracht, gewenteld. Deze glasplaat is als filter uitgevoerd om de sterkte van het anders overheersende licht van de maan tot één duizendste te verminderen. Het moment waarop het filter evenwijdig is aan de gevoelige plaat wordt geregistreerd. De bewegingen van de gevoelige plaat en het filter worden automatisch door synchroonmotortjes verzorgd. Om eventuele ontregelingen op te heffen worden steeds paren opnamen gemaakt; tussen beide opnamen wordt de camera 180° gedraaid.

### Waarnemingen op Curacao

De waarnemingen op Curaçao zijn later begonnen dan oorspronkelijk de bedoeling was. De laatste onderdelen van de kijker kwamen pas in januari 1958 op Curaçao aan, zodat na het opstellen en regelen op 31 januari 1958 de eerste opnamen konden worden gemaakt. De resultaten waren onbevredigend: de beelden waren onscherp en vele platen waren gesluierd. Het bleek dat de onscherpe beelden werden veroorzaakt door de krachtige passaatwind waardoor de kijker, die ongeveer 2 meter boven het gebouwtje uitstak, in trilling kwam. In juni 1958 werd aan de windzijde van het gebouwtje een muur met een windscherm gebouwd. Figuur 3 toont deze opstelling. Het scherm was een houten latwerk dat ongeveer de helft van de wind tegenhield en de rest doorliet; dit om luchtcirculatie achter het scherm, en dus bij de kijker, te voorkomen. Bij niet te krachtige wind werden betere resultaten bereikt. Het gesluierd zijn was een gevolg van het maanlicht dat door een spleet in de camera op de plaat viel. Deze spleet werd met kleefwas dichtgemaakt. Op 28 juni 1958 werden de eerste bruikbare opnamen gemaakt.

Van de bewolking werd weinig hinder ondervonden, daar het slechts zelden geheel bewolkt was en de belichtingstijd niet langer dan 20 seconden is.

#### *Het waarnemingsprogramma*

Opnamen kunnen worden gemaakt vanaf 4 dagen na tot 4 dagen vóór nieuwe maan. Per nacht kan maximaal driemaal worden waargenomen, indien de maan in het oosten, bij de meridiaan en in het westen staat. In ieder geval moet de tijd tussen twee waarnemingen minstens 3 uur bedragen en mag de hoogte van de maan niet kleiner zijn dan 20°. Per waarneming werd in het algemeen meer dan één paar opnamen gemaakt om hieruit later het meest geslaagde paar te kunnen selecteren.

Vóór elke waarneming wordt de camera ingesteld voor de snelheid en de richting van de maanbeweging en de snelheid van de sterren. De gegevens hiervoor werden maandelijks verstrekt door het Naval Observatory. De bediening van de camera is zeer eenvoudig: met behulp van een zoeker wordt de kijker ingesteld en de opname kan daarna automatisch worden gemaakt. Voor de synchroonmotortjes werd een gestabiliseerde spanning met een constante frequentie van 50 c/s gebruikt. Deze spanning werd geleverd door een speciaal geconstrueerde versterker, die was verbonden met de 50 c/s-uitgang van een van de kwartsklokken.

De fotografische platen waren blauwgevoelige Kodak-glasplaten van het formaat 16 × 16 cm, met een antihalation-coating. In verschillende combinaties met belichtingstijden van 10 en 20 seconden werden de typen 103-O, II-O en II<sup>a</sup>-O gebruikt. De combinatie van het type II-O of II<sup>a</sup>-O bij een belichtingstijd van 20 seconden bleek onder alle omstandigheden de beste resultaten te geven. Onder gunstige atmosferische omstandigheden konden zo zelfs sterren met een magnitude van 9,7 worden gefotografeerd.

#### *Verwerking van de opnamen*

De platen werden ontwikkeld in een donkere kamer van de amateurvereniging, de Curaçaose Camera Club. Door het Naval Observatory was een ontwikkeltank voor

maximaal 8 platen beschikbaar gesteld. Als ontwikkelaar werd gebruikt Kodak D 76, verdund in de verhouding 1 : 10 en als fixeer Kodak Acid Fixer. De platen werden doorlopend genummerd en voorzien van de datum en de naam van de waarnemer.

Om de afgebeelde sterren op de fotoplaat te kunnen identificeren werd voor elke waarneming een situatie-schets gemaakt van de maan en de omliggende sterren. De coördinaten – de rechte klimming en de declinatie – van de maan werden opgegeven door het Naval Observatory en de coördinaten van de sterren werden overgenomen uit de *Yale Zone Catalogue*. Deze catalogus bevat de coördinaten van 125.000 sterren met een helderheid groter dan magnitude 10.0 in het declinatiegebied  $-30^\circ$  tot  $+30^\circ$ . Met behulp van de schetsen werden de duidelijk zichtbare afgebeelde sterren op de glaszijde van de plaat gemerkt en voorzien van het sterrenummer volgens de genoemde catalogus. Van de bruikbare sterren werden op de schetsen de magnitude en het spectraaltype van die sterren genoteerd. Figuur 24, annex 16, geeft een voorbeeld van een situatie-schets.

De geregistreerde chronograaftijden van de momenten van opneming werden herleid tot tijden ten opzichte van het radio-tijdsein WWV.

De platen, schetsen en de tijden van opnemingen werden na elke maansomloop, door tussenkomst van de Amerikaanse consul op Curaçao, naar het U.S. Naval Observatory te Washington opgestuurd.

## Resultaten

Tabel 12 geeft een overzicht van de waarnemingen. Totaal werden 148 opnamen gemaakt, waarvan 36 geslaagde paren naar Washington werden verzonden. Hoewel slechts één paar opnamen per waarneming wordt gebruikt, werden van enige waarnemingen twee paren opgestuurd, daar alle opnamen ogenschijnlijk van gelijke kwaliteit waren. Wordt hiermee rekening gehouden, dan kunnen 28 paren worden uitgewerkt, die gemaakt zijn op verschillende tijdstippen met tussenpozen van minstens 4 uur. Ondanks de hinderlijke invloed van de sterke wind is dit aantal redelijk. Bovendien moet worden opgemerkt dat de maanwaarnemingen tussen de programma's van het astrolabium en de meridiaankijker moesten worden ingelast.

Het uitmeten van de platen geschiedde op het Naval Observatory. Met een hiervoor ontworpen machine kan uit 30 à 40 punten op de rand van het maanbeeld het middelpunt van de maan worden bepaald ten opzichte van de afgebeelde sterren. Een volledige analyse van de waarnemingen van alle 20 stations zou eveneens in Washington worden verricht. Tot nu toe zijn noch de stationsresultaten, noch de resultaten van de algehele analyse bekend.

TABEL 12. Overzicht van de maanwaarnemingen.

Datum	Waarnemer	Aantal opnamen	Type plaat	Belichtingstijd	Aantal verzonden opnamen
31 jan. 1958	R/S	1	103-O	10 sec	-
2 febr.	S	2	103-O	20	-
6 febr.	S	1	103-O	10	-
27 febr.	S	1	103-O	10	-
1 mrt.	S	2	103-O	10	-
28 mei	R	1	103-O	20	-
25 juni	R/S	4	103-O	10	-
26 juni	R/S	3	103-O	20	-
27 juni	R/S	4	103-O	20	-
28 juni	R	6	IIa-O	20	2
1 aug.	R	6	IIa-O	20	2
3 aug.	R	4	IIa-O	20	2
24 aug.	R	4	IIa-O	20	2
24 sept.	R	4	II-O	20	2
25 <sup>o</sup> sept.	S	4	II-O	20	2
25 <sup>3</sup> sept.	S	3	II-O	20	2
26 <sup>o</sup> sept.	R	4	II-O	20	2
26 <sup>3</sup> sept.	R	4	II-O	20	2
28 <sup>o</sup> sept.	S	4	II-O	20	-
28 <sup>3</sup> sept.	S	4	II-O	20	4
7 okt.	S	4	IIa-O	20	4
20 okt.	S	5	IIa-O	20	2
22 okt.	S	4	IIa-O	20	4
23 okt.	R	3	IIa-O	20	2
1 nov.	S	4	IIa-O	20	4
2 nov.	S	4	IIa-O	20	2
3 nov.	R	3	IIa-O	20	-
20 nov.	S	4	IIa-O	20	2
26 nov.	S	4	IIa-O	20	-
27 nov.	S	4	IIa-O	20	2
28 nov.	S	4	IIa-O	20	2
29 nov.	S	4	IIa-O	20	4
19 dec.	R	4	IIa-O	20	2
20 dec.	S	4	IIa-O	20	2
21 <sup>o</sup> dec.	S	4	IIa-O	20	4
21 <sup>2</sup> dec.	S	4	IIa-O	20	4
22 dec.	R	4	IIa-O	20	2
23 dec.	R	4	IIa-O	20	2
24 dec.	S	4	IIa-O	20	2
27 dec.	R	3	IIa-O	20	-
30 dec.	S	4	IIa-O	20	4

## TIJD- EN LENGTEBEPALINGEN

Oorspronkelijk zou het uitvoeren van lengtebepalingen een van de belangrijkste taken van het Curaçaose station zijn. Het station zou als tijdelijk lengte-station een bijdrage leveren in de 3e Opération des Longitudes Mondiales als onderdeel van het Internationaal Geofysisch Jaar. De uitrusting van het station was echter dermate uitgebreid en van goede kwaliteit dat het in plaats van lengte-station als TIJD-station heeft kunnen werken. Dat het niet geheel als zodanig is beschouwd is niet het gevolg van de kwaliteit van de resultaten. De Internationale Tijddienst (BIH) bestaat namelijk uit een aantal permanente stations die samen een vast systeem vormen om de definitieve tijd te bepalen. Het is belangrijk dat de samenstelling van deze stations niet verandert. Daar het station op Curaçao slechts tijdelijk zou werken kon dit dan ook niet deelnemen aan de bepaling van de definitieve tijd. Afgezien hiervan werden door de Internationale Tijddienst de waarnemingsresultaten op dezelfde manier verwerkt als die van de permanente stations, zoals bijvoorbeeld voor de controle van de radio-tijdseinen.

**Bepaling van de universele tijd**

Uit een astronomische waarneming volgt de lokale tijd ten opzichte van een klok. Wordt bij de berekening een benaderde waarde voor de lengte ( $\lambda_0$ ) ingevoerd, dan wordt een benaderde waarde voor het verschil gevonden tussen de kloktijd en de universele tijd:  $\Delta T$ . Om de resultaten van de astrolabium- en meridiaanwaarnemingen te kunnen vergelijken moet rekening worden gehouden met het lengteverschil tussen de beide instrumenten.

De tijd uit astronomische waarnemingen is niet uniform. Om de te bepalen tijd uniform te maken worden aan de grootheden  $\Delta T$  correcties aangebracht.

Door regelmatig klokcorrecties waar te nemen kan door vereffening een uniforme universele tijd worden bepaald die gekoppeld is aan de klok. Deze tijd wijkt van de definitieve tijd af, onder andere omdat de aangenomen lengten niet juist zijn. Zij zal dan ook voorlopige universele tijd worden genoemd en worden aangeduid met VUT.

*De aangenomen lengten voor het astrolabium en het meridiaandoorgangsinstrument*

De eerste waarnemingen werden met het meridiaandoorgangsinstrument gedaan en voor de benaderde lengte van dit instrument is aangenomen:

$$\lambda_0 = +4^{\text{h}}35^{\text{m}}39^{\text{s}},800$$

Uit terreinmetingen volgde de afstand tussen de pijlers van beide instrumenten in de oost-west richting: de astrolabiumpijler was 31,50 meter oostelijk van de pijler van het meridiaaninstrument. Daar op de breedte van Curaçao  $- +12^{\circ}10'$   $- 31,50$  meter overeenkomt met 69 milliseconden, was het astrolabium dus 69 msec oostelijk van

het meridiaaninstrument opgesteld. De benaderde lengte van het astrolabium werd hierdoor:

$$\lambda_0 = +4^{\text{h}}35^{\text{m}}39^{\text{s}},731$$

#### *Correcties voor de overgang naar uniforme tijd*

De klokcorrecties  $\Delta T$  zijn bepaald ten opzichte van de astronomisch waargenomen tijd. Deze tijd is echter niet uniform; hij wordt beïnvloed door de beweging van de pool en de verandering van de omwentelingssnelheid van de aarde. Op de Algemene Vergadering van de Internationale Astronomische Unie te Dublin is besloten van 1 januari 1956 af de astronomisch waargenomen tijden UT-0 te verbeteren voor poolbeweging en omwentelingssnelheid van de aarde. Is  $d\lambda$  de correctie voor de poolbeweging en  $\Delta T_s$  die voor de omwentelingssnelheid van de aarde, dan is de uniforme universele tijd:

$$\text{UT-2} = \text{UT-0} + d\lambda + \Delta T_s$$

De correctie  $d\lambda$  is afhankelijk van de plaats op aarde. Zijn  $x$  en  $y$  de coördinaten van de ware pool ten opzichte van de gemiddelde pool en is de  $x$ -as gericht naar Greenwich en is de  $y$ -as de meridiaan 6 uur westelijk van Greenwich, dan is

$$d\lambda = \sin \lambda \cdot \text{tg } \varphi \cdot x - \cos \lambda \cdot \text{tg } \varphi \cdot y$$

$\varphi$  en  $\lambda$  zijn respectievelijk de breedte en de lengte van de plaats op aarde. De waarden  $x$  en  $y$  worden door de Internationale Tijddienst berekend en per twee maanden gepubliceerd in *Bulletin Horaire*, tabel B van serie 4.

De invloed van de verandering van de omwentelingssnelheid van de aarde op de tijd is voor elke plaats op aarde gelijk. De correcties  $\Delta T_s$  worden één jaar vooruit door de Internationale Tijddienst berekend en opgegeven in tabel A van *Bulletin Horaire*, serie 4.

Om de VUT in het systeem UT-2 te bepalen, werden de klokcorrecties  $\Delta T$  verbeterd met  $d\lambda + \Delta T_s$ .

#### *Correcties voor persoonlijke afwijkingen*

In bepaalde perioden waren de klokcorrecties, gemeten door waarnemer S met het meridiaandoorgangsinstrument te klein. Deze persoonlijke afwijking was niet constant. Voor de volgende perioden werden voor S de bijbehorende correcties aangebracht:

augustus en september 1957:	+0 <sup>s</sup> ,038
oktober 1957 t/m januari 1958:	0 <sup>s</sup> ,000
februari 1958 t/m oktober 1958:	+0 <sup>s</sup> ,030

Deze waarden werden berekend door vergelijking met de resultaten van de astrolabiumwaarnemingen en met die van R uit de meridiaanwaarnemingen.

#### *Het bepalen van de interpolatie-kromme*

De verbeterde klokcorrecties  $\Delta T$  worden elke maand in een grafiek uitgezet. De horizontale schaal is: 1 dag = 1 cm en de verticale schaal: 5 msec = 1 mm. Door de puntenreeks van de klokcorrecties wordt een zo goed mogelijk passende lijn ge-

trokken die een vloeiend verloop heeft. De spreiding van de waarden  $\Delta T$  van de astrolabiummetingen was aanzienlijk kleiner dan die van de meridiaanmetingen; bij het trekken van de interpolatie-kromme werd daarom aan de astrolabiumwaarden groter gewicht toegekend.

De zo verkregen interpolatie-kromme is een grafische voorstelling van de klokcorrectie die aan de kloktijd moet worden aangebracht om de VUT (in het systeem UT-2) te krijgen. De afwijking  $e$  van een punt met de interpolatie-kromme is het verschil van de tijd uit een enkele waarneming en de VUT.

### Het bewaren van de tijd

Het belangrijkste kenmerk van een tijdstation is dat het de waargenomen tijd kan bewaren. Is door slechte weersomstandigheden een lange tijd niet waargenomen, dan moet de tijd toch zo goed mogelijk bekend zijn. Bovendien moet op elk ogenblik de tijd reproduceerbaar zijn, dus ook de tijddindicatie is van belang. Om aan deze eisen te kunnen voldoen zijn op Curaçao drie elektronische klokken gebruikt.

De tijden van de klokken werden om de 12 uur onderling vergeleken door middel van een oscillograaf. De VUT is dan ten opzichte van elke klok bekend; valt één van de klokken uit dan blijft de VUT bewaard.

#### *De kwartskristal-klokken*

De drie kwartskristal-klokken zijn van het Engelse fabriek Airmecc. Ze lopen volgens middelbare zonnetijd en hebben een *G.T.-cut* kristal. Elke klok heeft drie uitgangsfrequenties: 50, 10 en 1 kc/s; bovendien geven ze 1 puls per seconde voor de tijddindicatie. Twee van de klokken zijn uitgerust met een frequentie-deler. Deze delers maken van de 1 kc/s een 1 c/s blokspanning voor de oscillograaf en een intermitterende spanning, 0<sup>s</sup>,25 „aan”, 0<sup>s</sup>,25 „uit”, voor de synchronisatie van de Belinchronograaf. De netspanningsvariaties werden opgevangen door een stabilisator.

Door storingen, reparaties of een onbetrouwbare werking zijn niet alle klokken de gehele waarnemingsperiode gebruikt. De vierde kolom van het volgende overzicht geeft hiervan een beeld. In de derde kolom is bovendien vermeld welke tijddindicatie is gebruikt.

Klok	Serienummer van oscillator	Tijddindicatie	Tijdsduur van gebruik	Sprongen in de tijddindicatie
K0	1014	1 c/s bloksp.	17 maanden	3 sprongen van 90, 218 en 72 msec
K1	1022	1 puls/s	10 maanden	10 sprongen van 20 msec of een veelvoud
K2	1015	1 puls/s	15 maanden	12 sprongen van 20 msec of een veelvoud

Er traden dikwijls sprongen in de tijddindicatie op (zie de laatste kolom). De sprongen van 20 msec of een veelvoud hiervan waren eenvoudig te lokaliseren en in rekening te brengen. De sprongen bij klok K0 konden worden bepaald door de regelmatige vergelijking van alle klokken onderling. Ernstiger waren de drie onderbrekingen van de netspanning door storingen in de elektriciteitscentrale op 13 juli, 10 september en



12 november 1958. Door de goede tijdseinen-ontvangst konden de klokaanwijzingen van vóór en na de onderbrekingen echter nauwkeurig worden verbonden.

#### *Het vergelijken van de klokken*

Elke dag om 00<sup>h</sup>00<sup>m</sup> en 12<sup>h</sup>00<sup>m</sup> UT werden de tijden van de klokken onderling vergeleken. Hiervoor werd de tijdseinen-oscillograaf (TSO) gebruikt, die door Ir. TH. DE HAAS op het Laboratorium voor Geodesie, in samenwerking met het Laboratorium voor Elektrotechniek, werd ontwikkeld voor het vergelijken van radio-tijdseinen met een kloksignaal [16]. De werking van de TSO is in het kort als volgt. Een signaal – een tijdsein of 1 puls/sec van de klokken K1 of K2 – en de 1 c/sec-blokspanning van klok K0 worden zichtbaar gemaakt op een kathodestraalbuis. Beide kunnen tot coincidentie worden gebracht door een verstelbare micro-potentiometer; de tijdvertraging kan dan worden afgelezen.

De met de TSO gemeten verschillen (K1–K0) en (K2–K0) werden ten opzichte van K0 in grafiek uitgezet. Als horizontale schaal werd gekozen: 1 dag = 24 mm en als verticale schaal: 1 msec = 1 mm. Op elk moment kon dan het verschil tussen de tijden uit de grafiek worden afgelezen.

#### *Het verloop van de klokken*

Om de nauwkeurigheid van een klok te kunnen onderzoeken moet de tijd van de klok worden vergeleken met een tijd waarvan kan worden aangenomen dat deze nauwkeuriger is. Vroeger werd de universele tijd als de beste tijd beschouwd, maar het zijn juist de kwartsklokken geweest die hebben aangetoond dat de universele tijd – zelfs in het systeem UT-2 – NIET uniform is. De beste tijdstandaard is op het ogenblik de frequentie van atoomresonators. De klokken zullen dan ook met deze atoomtijd worden vergeleken. Dit is mogelijk, omdat van elke klok het verschil bekend is met de VUT. Ook zijn bekend (waarover later) de verschillen tussen de VUT en de definitieve tijd en tussen de definitieve tijd en een atoomtijd.

Daar de verandering van het verloop belangrijker is dan het verloop zelf, is in figuur 25, annex 17, voor de drie klokken het *dagelijks* verloop uitgezet. De puntjes in de figuur zijn de gemiddelde waarden over 5 dagen. De atoomtijd, ten opzichte waarvan de verlopen zijn berekend, is de gemiddelde tijd van 3 en 5 atoomresonators voor resp. 1957 en 1958; voor meer gegevens over deze atoomtijd wordt verwezen naar het artikel van mevrouw A. СТОУКО in *Bulletin Horaire*, serie G, nummer 8. Het volgende overzicht geeft de verandering van het dagelijks verloop van de klokken K0 en K2 en de verandering van de frequentie die hiermee overeenkomt.

Klok	In de eerste maanden van de waarnemingsperiode		In de laatste maanden van de waarnemingsperiode	
	verandering dagelijks verloop in msec/dag <sup>2</sup>	verandering frequentie per dag	verandering dagelijks verloop in msec/dag <sup>2</sup>	verandering frequentie per dag
K0	0,115	$1,3 \cdot 10^{-9}$	0,050	$0,6 \cdot 10^{-9}$
K2	0,215	$2,5 \cdot 10^{-9}$	0,130	$1,5 \cdot 10^{-9}$

Gemiddeld over de periode maart tot en met juli 1958 was de verandering van het dagelijks verloop van klok K1  $0,175 \text{ msec/dag}^2$  of  $2,0 \cdot 10^{-9}$  per dag.

Uit figuur 25 blijkt dat de stroomonderbrekingen in september en november 1958 een verschuiving in het dagelijks verloop van K2, resp. K1 hebben veroorzaakt. De verandering van het dagelijks verloop werd echter niet beïnvloed.

### Het ontvangen van radio-tijdseinen

De waargenomen VUT is slechts bekend ten opzichte van de klokken. Om de VUT over te brengen naar de Internationale Tijddienst worden radio-tijdseinen gebruikt die zowel op Curaçao als in Parijs worden ontvangen. Behalve voor deze tijdoverbrenging moeten zoveel mogelijk seinen worden ontvangen voor de bepaling van de juiste tijd van uitzending van de seinen en voor een onderzoek van de voortplantingsnelheid van radiogolven.

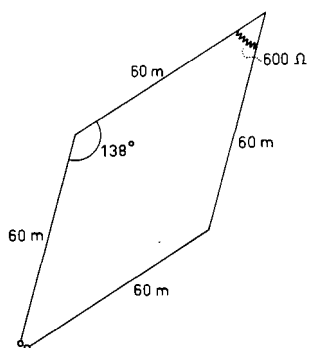
De ontvangsttijden van de seinen werden bepaald ten opzichte van de VUT en regelmatig opgezonden naar de Internationale Tijddienst.

#### *Het ontvangsysteem*

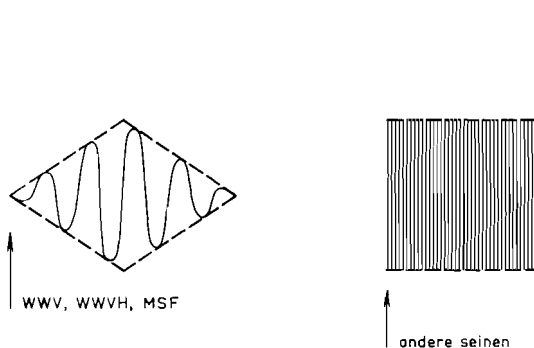
Voor het ontvangen van de tijdseinen werden verschillende radio-ontvangers gebruikt:

van 27 juni 1957 – 28 februari 1958		Marconi B-21, een omgebouwde
van 6 maart 1958 – 15 maart 1958		peilontvanger
van 28 februari 1958 – 15 maart 1958		Hallicrafters S-40A
van 15 maart 1958 – 4 januari 1959		Marconi HR-100

De antenne was een rombische dipool, opgehangen aan 15 meter hoge palen. De ligging en vorm is geschetst in figuur 26. De richting werd zo gekozen dat de beste ontvangst uit West-Europa was te verwachten.



Figuur 26. De antenne.



Figuur 27. Opname-moment van tijdseinen.

De tijdseinen werden met behulp van de tijdseinen-oscillograaf vergeleken met een klok. De pijlen in figuur 27 geven aan welk moment van het sein werd opgenomen en berekend.

*De radio-tijdseinen*

Tabel 13 geeft een overzicht van de opgenomen tijdseinen en enkele gegevens van de zendstations. Het sein van WWV werd van 1 oktober 1957 af tweemaal per dag – om 12<sup>h</sup>00<sup>m</sup> en 22<sup>h</sup>30<sup>m</sup> UT – opgenomen. Elf maal werd het sein uit Australië (VHP.6) ontvangen nadat het de langste boog om de aarde had gevolgd. Dit was éénmaal het geval met NSS.5 en NSS.6 uit de Verenigde Staten van Noord-Amerika.

Voor enige moeilijk te ontvangen seinen werd door Ir. J. C. DE MUNCK vooraf berekend op welke tijden van de dag de gunstigste ontvangst zou zijn [17].

TABEL 13. Overzicht van de opgenomen tijdseinen.

Land	Station	Afstand in km	Zender	Golflengte in m	Aantal opgenomen seinen
Argentinië	Buenos Aires	5297	LOL	20,00	6
			LOL.3	17,46	87
Australië	Belconnen	15427	VHP.6	13,34	101
Brazilië	Rio de Janeiro	4784	PPE	34,40	96
Canada	Ottawa	3730	CHU	40,90	187
			CHU.1	20,45	201
Duitsland	Norddeich	8002	DAN.2	17,67	296
Engeland	Rugby	7437	GIC.37	16,96	335
			GKU.5	23,46	31
			MSF.4	30,00	366
Frankrijk	Pontoise	7615	FYA.3	40,39	336
			TQC.9	27,84	143
			TQG.5	21,62	261
Hawaii	Kihei	9294	WWVH	30,00	263
Madagascar	Tananarive	12997	FZT.20	28,52	99
Panama	Balboa	1223	NBA.2	27,08	264
			NBA.5	17,52	164
U.S.A.	Annapolis	2994	NSS.1	31,83	194
			NSS.5	23,43	185
			NSS.6	17,60	337
U.S.S.R.	Beltsville	3079	WWV	30,00	951
	Mare Island	5997	NPG.1	23,14	29
	Moskou	9887	RWM.1	29,85	161
			RWM.2	55,76	34
			RWM.4	39,01	68
Totaal aantal opgenomen tijdseinen					5195

### De nauwkeurigheid van de waarnemingen voor de Internationale Tijddienst

De Internationale Tijddienst bepaalt uit de waargenomen tijden van 23 permanente stations de definitieve universele tijd. Voor elk station wordt per dag het verschil

berekend tussen de voorlopige universele tijd van dat station en de definitieve universele tijd. Deze verschillen  $P$  worden regelmatig gepubliceerd in tabel IV van *Bulletin Horaire*, serie F.

De Internationale Tijdienst berekent de nauwkeurigheid van de VUT als volgt. Ten opzichte van het jaargemiddelde  $K$  van de waarden  $P$  worden de dagelijkse waarden  $(P-K)$  berekend. Men vormt de gemiddelden  $P_5$  van vijf opeenvolgende waarden  $(P-K)$ . Het gemiddelde van de absolute waarden van  $P_5$  ( $E_m$ ) geeft dan een beeld van seizoensinvloeden en waarnemingsfouten. Elke groep van vijf waarden  $(P-K)$  geeft ten opzichte van de bijbehorende  $P_5$  vijf afwijkingen. Uit alle afwijkingen kan een middelbare fout worden berekend ( $E_a$ ); de seizoensinvloeden zijn hierdoor geëlimineerd en  $E_a$  is alleen afhankelijk van waarnemingsfouten.

TABEL 14. Nauwkeurigheden berekend door het BIH.

	Curaçao		Permanente stations 1958
	1957 (5 maanden)	1958	
$E_m$	0 <sup>s</sup> ,0038	0 <sup>s</sup> ,0042	0 <sup>s</sup> ,0081
$E_a$	19	18	13
$\delta$	034	026	023
$\Delta$	06	06	06
$E_c$	11	13	16

Tabel 14 geeft  $E_m$  en  $E_a$  van Curaçao voor de laatste vijf maanden van 1957 en voor 1958. Tabel 14 geeft ook:

- $\delta$ : de toevallige fout in de verandering van het dagelijks verloop van de gemiddelde tijd van alle klokken;
- $\Delta$ : de toevallige fout in de berekening van de voorlopige universele tijd ten opzichte van de definitieve universele tijd;
- $E_c$ : de fout in de ontvangst van korte-golf-tijdseinen.

Om een indruk te geven van de nauwkeurigheden van andere stations zijn de gemiddelde waarden berekend van de 23 permanente stations voor 1958. Opvallend is de lage waarde  $E_m$  voor Curaçao: slechts 3 van de 23 permanente stations hadden in 1958 een lagere waarde. De seizoensinvloeden zijn op Curaçao blijkbaar gering geweest. Ook de andere nauwkeurigheden getuigen van een goede kwaliteit van de waarnemingen.

### De waargenomen tijd

In het voorgaande is beschreven hoe de VUT werd bepaald en hoe deze tijd naar de Internationale Tijdienst werd overgebracht. Met de grootheden  $P$  werd de VUT aan de definitieve tijd gekoppeld.

Het verloop van de VUT ten opzichte van de definitieve tijd kan worden voor-

gesteld door het verloop van de waarden  $P$ . Er zijn echter enkele redenen waarom het voor een nauwkeurig onderzoek van de variaties in de waargenomen tijd niet juist is de VUT met de definitieve tijd van de Internationale Tijddienst te vergelijken.

1. De VUT is het resultaat van de waarnemingen met twee instrumenten, waarbij verschillende systematische instrument-fouten kunnen optreden. De waarnemingen moeten voor beide instrumenten gescheiden worden onderzocht.
2. Fouten in de bepaling van de interpolatie-kromme door de puntenreeks van  $\Delta T$  uiten zich in het verloop van de VUT. Het is daarom beter de waarnemingen zelf in het onderzoek te betrekken in plaats van de vereffende waarden.
3. Voor de astrolabiumwaarnemingen zijn achteraf groepcorrecties berekend. Deze kunnen worden aangebracht om de tijdwaarnemingen te verbeteren.
4. Vergelijkingen van de definitieve tijd met de frequentie van atoomresonators hebben aangetoond dat de definitieve tijd belangrijke kort-periodieke variaties heeft. De oorzaak hiervan zijn de waarnemingsfouten in de tijdbepalingen van de 23 permanente stations, maar vooral de voorlopige waarden voor de poolbeweging en de omwentelingssnelheid van de aarde.

Het verdient daarom de voorkeur de tijdwaarnemingen uit de series te vergelijken met de atoomtijd zonder de aangebrachte correcties voor poolbeweging en omwentelingssnelheid van de aarde.

Is  $e'$ : de VUT min de tijd uit een seriewaarneming, zonder de correctie  $(d\lambda + \Delta Ts)$ ,

$P$ : de definitieve tijd min de VUT uit *Bulletin Horaire*, serie F,

$\Delta M$ : de definitieve tijd min de gemiddelde atoomtijd uit tabel IIA van *Bulletin Horaire*, serie G, nr. 8

en  $W$ : de waargenomen tijd min de genoemde atoomtijd in het systeem UT-0, dan geldt voor een tijdbepaling:

$$W = -e' - P + \Delta M$$

Voor beide instrumenten zullen de grootheden  $W$  worden berekend. Daar de atoomtijd is afgesteld op de efemeride-tijd is er, ten gevolge van de vertraging van de omwentelingssnelheid van de aarde, een verloop tussen de atoomtijd en de universele tijd. Om de variaties in de waargenomen universele tijd ten opzichte van de atoomtijd beter uit te laten komen zal bij de berekening van de waarden  $W$  een verloop van  $+0^s,0013$  per dag in rekening worden gebracht.

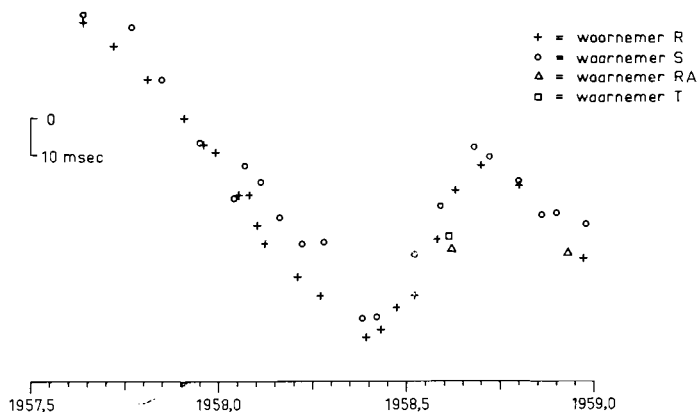
#### *De tijdvaryatie uit astrolabiumwaarnemingen*

In tabel 15, annex 18, zijn per waarnemer gemiddelde waarden van  $W$  gegeven, berekend uit de astrolabiumwaarnemingen. De tijdbepalingen zijn verbeterd met groepcorrecties uit tabel 7, annex 11. Aan elke tijdbepaling is een gewicht toegekend dat omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de inwendige middelbare fout van de klokcorrectie. De middelbare fout in de gewichtseenheid is  $0^s,006$ . De gewichten werden afgerond volgens de indeling:

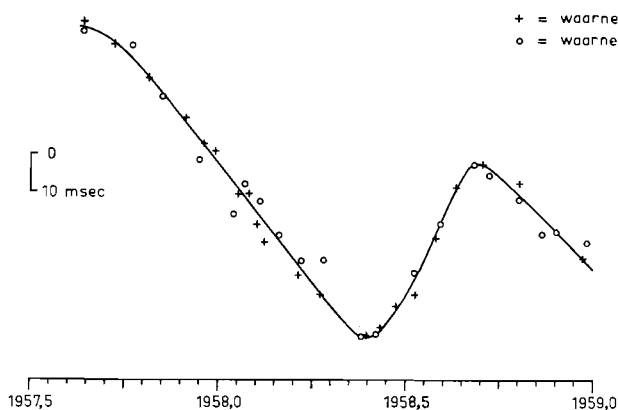
<0,5 . . . . .	0
0,5—1,4 . . . . .	1
1,5—2,4 . . . . .	2
2,5—3,4 . . . . .	3
≥3,5 . . . . .	4

De perioden, waarover de gemiddelden zijn bepaald, zijn zo gekozen dat elk gemiddelde een ongeveer gelijk gewicht heeft; voor de waarnemers R en S is dit ongeveer 20.

De in tabel 15 berekende gemiddelden zijn uitgezet in figuur 28. Evenals dit het geval was bij de breedtebepalingen, blijkt er een verschil te bestaan tussen de varia-



Figuur 28. De tijdvariatie uit astrolabiumwaarnemingen ten opzichte van atoomtijd, gereduceerd met 1,3 msec per dag.



Figuur 29. De tijdvariatie uit astrolabiumwaarnemingen ten opzichte van atoomtijd, gereduceerd met 1,3 msec per dag. Gemiddelde variatie voor de waarnemers R en S.

ties van de waarnemers R en S. Het gemiddelde verschil (R—S) is  $-0^s,005$ . De waarnemers RA en T vinden te kleine waarden ten opzichte van R en S. Wordt aangenomen dat het verschil tussen R en S voor de gehele waarnemingsperiode constant is, dan kan het gemiddelde tijdverloop van R en S worden bepaald. In

figuur 29 zijn de gemiddelde waarden van R en S uitgezet; bij de gemiddelden van R is 2,5 msec opgeteld, van de gemiddelden van S is 2,5 msec afgetrokken.

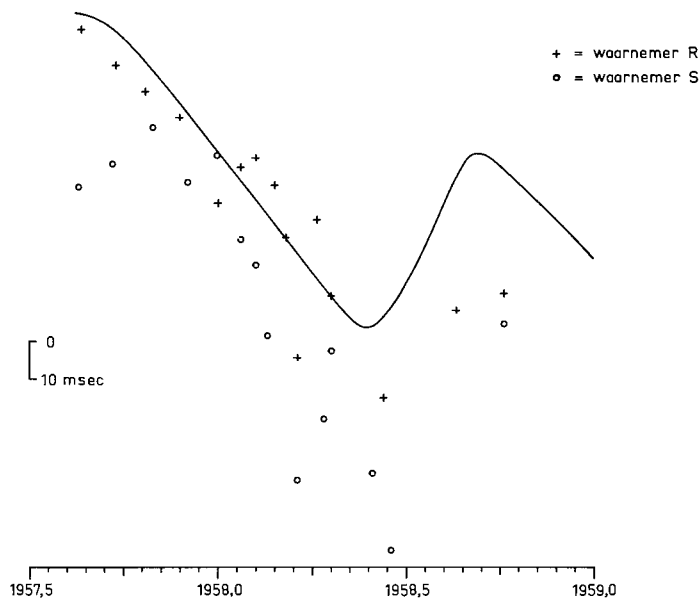
Uit de afwijkingen van de tijdbepalingen met de aangepaste kromme uit figuur 29 is voor iedere waarnemer de uitwendige middelbare fout bepaald. Er is rekening gehouden met persoonlijke verschillen. De uitwendige middelbare fouten voor de waarnemers R, S, RA en T zijn respectievelijk: 0<sup>s</sup>,0043, 0<sup>s</sup>,0039, 0<sup>s</sup>,0070 en 0<sup>s</sup>,0053. Voor de inwendige middelbare fout werd reeds eerder, voor de waarnemers R en S, 0<sup>s</sup>,0025 gevonden.

*De tijdsvariatie uit meridiaanwaarnemingen*

Tabel 16, annex 19, geeft per waarnemer gemiddelde waarden van *W*, berekend uit de waarnemingen met het meridiaandoorgangsinstrument. Aan elke tijdbepaling is een gewicht toegekend, afhankelijk van de inwendige middelbare fout in de klokcorrectie, volgens de indeling:

m.f.	gewicht
3 . . . . .	4
4 . . . . .	3
5 . . . . .	2
6–9 . . . . .	1
10 . . . . .	0

De perioden, waarover de gemiddelden zijn berekend, zijn zo gekozen dat elk gemiddelde een gewicht heeft van ongeveer 11. Aan de waarnemingen van S zijn geen correcties voor de persoonlijke afwijking aangebracht.



Figuur 30. De tijdsvariatie uit meridiaanwaarnemingen ten opzichte van atoomtijd, gereduceerd met 1,3 msec per dag. De kromme is de gemiddelde variatie van R en S uit astrolabiumwaarnemingen.

De gemiddelden uit tabel 16 zijn uitgezet in figuur 30. In deze figuur is ook de kromme getrokken van de astrolabiumwaarnemingen uit figuur 29. Vergeleken met deze kromme blijkt er een aanzienlijke systematische afwijking te zijn. Bovendien is de spreiding van de gemiddelden bijzonder groot. Het is duidelijk dat de uitwendige nauwkeurigheid belangrijk minder groot is dan de inwendige nauwkeurigheid, waarvoor eerder een middelbare fout werd gevonden van  $0^s,004$ .

In het algemeen heeft S wel lagere waarden waargenomen dan R, maar de aangenomen correcties voor de persoonlijke afwijking (zie blz. 41) blijken achteraf niet geheel juist.

#### *Onderzoek van de tijdvariatie*

De waargenomen tijdvariatie ten opzichte van atoomtijd kan worden veroorzaakt door:

1. de poolbeweging,
2. de omwentelingssnelheid van de aarde,
3. de stationsverandering,
4. systematische catalogusfouten (of fouten in de groepcorrecties),
5. systematische waarnemingsfouten,
6. een niet rechtlijnig verloop van de aangenomen atoomtijd.

De variatie van de omwentelingssnelheid van de aarde is te scheiden in een variatie met een jaarlijkse periode en een restvariatie. Tot 3. behoren de richtingsverandering van de oost-west component van de verticaal en de verplaatsing van het station in oost-west richting.

Voor een tijdelijk station is het niet mogelijk de tijdvariatie te analyseren met alleen de waarnemingen van het station zelf: geen enkele oorzaak kan worden geëlimineerd. Zelfs voor permanente stations is geen volledige analyse uit te voeren. Alleen door vergelijking van de resultaten van een aantal stations kunnen de verschillende oorzaken nader worden onderzocht.

Toch zal de op Curaçao gemeten tijdvariatie iets uitgebreider worden bestudeerd. Enkele van de genoemde oorzaken zijn namelijk op het ogenblik met vrij grote nauwkeurigheid bekend: de poolbeweging en de restvariatie van de omwentelingssnelheid van de aarde. De effecten van deze verschijnselen, waarvan de variaties geen jaarlijkse periode vertonen, zullen van de gevonden tijdvariatie worden afgetrokken. De variatie, bepaald met het meridiaandoorgangsinstrument, is hiervoor niet geschikt: de uitwendige nauwkeurigheid is te gering. Er is daarom uitgegaan van de tijdvariatie zoals deze werd gevonden uit de astrolabiumwaarnemingen (zie figuur 29).

Voor de berekening van de invloed van de poolbeweging werden de waarden  $x$  en  $y$  gebruikt die in 1961 door Dr. N. Стойко werden bepaald (zie blz. 33). Door de lage breedte van Curaçao hebben eventuele fouten in deze waarden een geringe invloed op de tijdbepaling (afwijkingen van  $0'',05$  in  $x$  en  $y$  komen overeen met maximaal 0,7 msec in de tijd). Als restvariatie van de omwentelingssnelheid van de aarde is de variatie aangehouden die door Prof. A. DANJON werd



bepaald [18].\*) Daar deze variatie is berekend ten opzichte van een andere atoomtijd (resonator van Essen en Parry), zijn hiervoor correcties aangebracht met behulp van de reeds eerder genoemde tabel IIA van *Bulletin Horaire*, serie G, nr. 8.

Het resultaat is uitgezet in figuur 31. De variatie die overblijft is voornamelijk de jaarlijkse variatie van de omwentelingssnelheid van de aarde. Zowel de periode

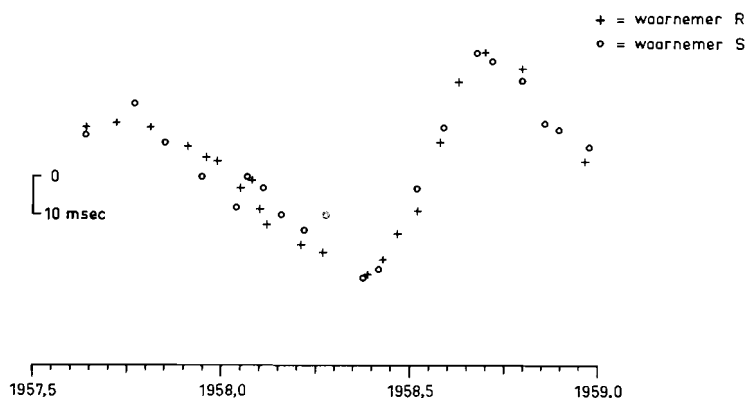


Fig. 31. De tijdvariatie uit astrolabiumwaarnemingen zonder poolbeweging en rest-variatie van de omwentelingssnelheid van de aarde.

– de kleinste en grootste waarden bij resp. 0,4 en 0,7 jaar – als de amplitude van  $0^s,060$  wijzen hierop. Dat de variaties in eind 1957 en eind 1958 niet gelijk zijn, kan alleen worden verklaard door een niet jaarlijkse variatie van de stationsverandering en de systematische waarnemingsfouten in één van de beide perioden. Fouten in de groepcorrecties veroorzaken namelijk slechts een jaarlijkse variatie. Het lijkt waarschijnlijk dat systematische waarnemingsfouten in het begin van de waarnemingsperiode de oorzaak zijn: de waarden in 1957 komen geleidelijk beter overeen met die op overeenkomstige data in 1958 en op 1958.0 en 1959.0 zijn zij vrijwel gelijk.

### Lengtebepaling

Het lengteverschil tussen twee stations is per definitie het verschil van de lokale tijden  $T$  van beide stations op hetzelfde moment. Daar één station als referentiestation is gekozen wordt het tijdsverschil van een willekeurig station met het referentiestation de lengte van dat station genoemd. Het referentiestation is de sterrenwacht van Greenwich. Zijn  $T_I$  en  $T_G$  de lokale tijden van resp. het station I en Greenwich, dan is de lengte van het station I:

$$\lambda_I = T_G - T_I, \quad T_G \text{ en } T_I \text{ op hetzelfde moment.}$$

Het effect van de omwentelingssnelheid van de aarde op de lokale tijden  $T_G$  en  $T_I$  is gelijk. Met de andere oorzaken van de tijdverandering (zie het overzicht op blz. 50) is dit in het algemeen niet het geval. De lengte van een station is dan ook niet constant.

\*) Hiertoe werd door de puntenreeks van de Parijse waarnemingen in figuur 7 van deze publikatie een vloeiende lijn getrokken.

Het is niet interessant de variatie van de lengte te bepalen: hierin blijven namelijk de onzekerheden in de tijdbepaling van het referentie-station Greenwich. Behalve dat het niet interessant is de lengtevariatie van een station te bepalen, is het na 1 juli 1957 ook niet meer mogelijk. Van die datum af worden op de Sterrenwacht van Greenwich geen tijdbepalingen meer gedaan.

Wel kan een gemiddelde lengte over een bepaalde periode worden berekend. Is  $\lambda_0$  de aangenomen benaderde lengte van een station, dan is

$$T = \text{VUT} - \lambda_0$$

Met  $P = \text{definitieve tijd} - \text{VUT}$

is  $T = \text{definitieve tijd} - P - \lambda_0$

De lokale tijd van elk station is hiermee bekend ten opzichte van de definitieve tijd van de Internationale Tijddienst.

De lengte van een station I wordt:

$$\lambda_I = P_I - P_G + \lambda_{0I}$$

als  $P_G$  de waarde  $P$  voor het station Greenwich voorstelt. Voor een bepaalde periode kan een gemiddelde waarde  $K$  van de dagelijkse waarden  $P$  worden berekend. De gemiddelde lengte voor die periode is dan:

$$\bar{\lambda}_I = K_I - K_G + \lambda_{0I}$$

Daar er in Greenwich sinds 1 juli 1957 niet meer is waargenomen, zijn van die datum af geen waarden  $P_G$  beschikbaar. Mevrouw A. Стойко heeft echter uit vergelijkingen met andere stations uit voorafgaande jaren wel een waarde  $K_G$  kunnen afleiden [19]. Voor de periode van het Internationaal Geofysisch Jaar kan worden aangenomen:

$$K_G = +0^s,0130$$

Uit de waarden  $P$  uit *Bulletin Horaire* serie F, volgt voor de periode 1 augustus 1957 tot 1 januari 1959 de waarde van  $K$  voor Curaçao:

$$K_C = -0^s,0533$$

Met de aangenomen benaderde lengte  $\lambda_0$  worden de gemiddelde lengten  $\bar{\lambda}$  van de twee instrumenten op Curaçao:

astrolabium:  $\lambda_0 = +4^h35^m39^s,731$ ,  $\bar{\lambda} = +4^h35^m39^s,665$

meridiaaninstrument:  $\lambda_0 = +4^h35^m39^s,800$ ,  $\bar{\lambda} = +4^h35^m39^s,734$

De grootte  $K_C$  is berekend uit de verschillen van de VUT en de definitieve tijd, waarbij voor de bepaling van de VUT correcties zijn aangebracht voor de poolbeweging die in *Bulletin Horaire*, tabel B van serie 4, werd gepubliceerd.  $K_G$ , door extrapolatie bepaald, is ook gebaseerd op deze poolbeweging. De poolbeweging was echter voorlopig en in de laatste helft van 1958 zijn zelfs overgangswaarden gebruikt in verband met een verandering van het systeem.

Indien de reeds eerder genoemde poolbeweging van Стойко wordt aangenomen, veranderen de waarden  $P$  en dus ook  $K$ . Uit de verschillen van beide poolbewegingen

zijn correcties berekend waarmee de berekende waarden  $K_G$  en  $K_C$  moeten worden verbeterd. De nieuwe waarden worden hierdoor:

$$K_G = +0^s,0023$$

$$K_C = -0^s,0534$$

Daar Curaçao dicht bij de equator ligt, is de invloed van de verandering van de poolbeweging op  $K_C$  zeer klein.

Met de nieuwe poolbeweging worden de gemiddelde lengten voor de periode 1 augustus 1957 tot 1 januari 1959 voor

het astrolabium:  $\bar{\lambda} = +4^h35^m39^s,675$

het meridiaaninstrument:  $\bar{\lambda} = +4^h35^m39^s,744$

## VERBETERING VAN DE STERCOÖRDINATEN

### Verbetering van de stercoördinaten uit meridiaanwaarnemingen

Uit elke sterwaarneming wordt een klokcorrectie  $\Delta T$  berekend, die ten opzichte van de gemiddelde klokcorrectie  $\overline{\Delta T}$  van de serie waartoe de ster behoort een afwijking  $d$  geeft:  $d = \overline{\Delta T} - \Delta T$ . Voor een ster die minstens viermaal is waargenomen is de gemiddelde afwijking  $\bar{d}$  berekend die de residu van de ster wordt genoemd.

#### *Onderzoek van de residuen*

Alvorens de residuen te gebruiken voor de verbetering van de rechte klimmingen van de sterren is onderzocht of de magnitude of het spectraaltype van een ster de residu beïnvloeden. Voor de waarnemers R en S afzonderlijk zijn in de laatste vier kolommen van tabel 17, annex 20, de gemiddelde residuen per klasse van magnitude en spectraaltype gegeven;  $\sigma$  is de middelbare fout in deze gemiddelden. De gemiddelde residuen zijn niet significant. Ook is onderzocht of de nauwkeurigheid waarmee een residu is bepaald afhankelijk is van de magnitude, het spectraaltype of de declinatie. Tabel 17 geeft de gemiddelde middelbare fouten in de enkele waarneming gerangschikt naar de drie genoemde stereigenschappen. Voor waarnemer R zijn er twee gemiddelde waarden die significant van het gemiddelde (0<sup>s</sup>,0128) verschillen: die van sterren met magnitude 5,1–5,5 en die van sterren met een declinatie tussen +6° en +18°, declinaties die overeenkomen met de zenitafstanden 6° zuid en 6° noord. Deze sterren werden nauwkeuriger waargenomen. Voor S komen geen significante verschillen met het gemiddelde (0<sup>s</sup>,0146) voor.

#### *Correcties aan de rechte klimmingen*

Stel  $\Delta\alpha = \alpha_{Me} - \alpha_{FK3R}$ . Daar  $d = \overline{\Delta T} - \Delta T$ , volgt voor  $d$ , met behulp van de formule van Mayer:

$$d = \frac{[A]}{n} \cdot \Delta a + \frac{[\Delta a]}{n} - A \cdot \Delta a - \Delta a \quad \dots \quad (7)$$

als  $n$  het aantal doorgangen van de serie is en met  $\Delta a$  de invloed van de catalogusfouten  $\Delta\alpha$  op de azimutafwijking  $a$  wordt aangegeven. De grootheden  $b$  en  $c$  uit de formule van Mayer worden berekend. Met

$$\Delta a = \frac{[\Delta\alpha_N] - [\Delta\alpha_Z]}{[A_Z] - [A_N]}$$

is 
$$d = \left( \frac{[A]}{n} - A \right) \frac{[\Delta\alpha_N] - [\Delta\alpha_Z]}{[A_Z] - [A_N]} + \frac{[\Delta a]}{n} - \Delta a$$

$\frac{[\Delta\alpha_N] - [\Delta\alpha_Z]}{[A_Z] - [A_N]}$  en  $\frac{[\Delta a]}{n}$  zijn groepconstanten. Om de correcties  $\Delta\alpha$  van sterren uit verschillende groepen te kunnen vergelijken zouden van alle groepen deze groep-

correcties bekend moeten zijn. Zij zijn echter niet te bepalen: slechts 14 maal zijn twee series in één nacht waargenomen, zodat de groepen niet verbonden zijn. Bij gebrek aan beter zal dan ook worden gesteld dat  $\frac{[\Delta\alpha]}{n}$  van alle groepen gelijk is en dat

voor elke groep geldt  $[\Delta\alpha_N] = [\Delta\alpha_Z]$ . Dit is een vrij grove benadering. Niet alleen kan moeilijk worden verondersteld dat in de waargenomen zone  $\Delta\alpha_a$  constant is, maar bovendien zal de invloed van individuele catalogusfouten in een groep van slechts 10 sterren niet te verwaarlozen zijn.

Tabel 18, annex 21, geeft  $\Delta\alpha = -\bar{d}$  en de middelbare fout  $\sigma$  in deze waarden voor 183 sterren;  $n$  is het aantal waargenomen doorgangen.

#### *$\Delta\alpha$ als functie van de declinatie*

Ook de systematische catalogusfout  $\Delta\alpha_\delta$ ,  $\Delta\alpha$  als functie van de declinatie, is slechts bij benadering te bepalen. De waarden van  $-\bar{d}$  uit tabel 18, annex 21, werden gegroepeerd in gelijke klassen van zenitafstand en per klasse werd het gemiddelde bepaald. Dat deze gemiddelden slechts benaderde waarden van  $\Delta\alpha_\delta$  zijn blijkt uit formule (7). Niet alleen zijn de waarden bepaald op een constante na – het gemiddelde van de catalogusfouten van alle waargenomen sterren – maar ook is verondersteld dat het gemiddelde van  $\Delta\alpha$  van de noordsterren gelijk is aan dat van de zuidsterren. Tabel 19, annex 22, geeft de benaderde waarden van  $\Delta\alpha_\delta$  voor 10 declinatiezones;  $\sigma$  is de middelbare fout in het gemiddelde.

Om na te gaan of er een persoonlijk effect is, is  $\Delta\alpha_\delta$  voor beide waarnemers gescheiden berekend. De verschillen met de middelbare fouten zijn in de laatste kolommen van tabel 19 vermeld. Er blijkt geen significant persoonlijk effect te zijn.

### **Verbetering van de stercoördinaten uit astrolabiumwaarnemingen**

Uit een serie waarnemingen volgt voor elke waargenomen sterdoorgang een afwijking ten opzichte van de straal  $r$  van de positiecirkel. Aan de afwijking wordt een gewicht toegekend, dat omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de middelbare fout  $m_2$  van die serie. Er is een begrenzing van de gewichten toegepast: voor de waarden van  $m_2$  kleiner dan  $0'',10$  is een gewicht aangehouden dat overeenkomt met  $m_2 = 0'',10$ . Met de zo berekende gewichten zijn voor elke doorgang de afwijkingen gemiddeld. Deze gemiddelden  $V'$  worden weer residuen genoemd.

#### *Onderzoek van de residuen*

Ook voor de residuen van de astrolabiumwaarnemingen is onderzocht of zij worden beïnvloed door de magnitude of het spectraaltype van de ster. Tabel 20, annex 23, geeft de gemiddelde residuen voor de verschillende klassen van de beide stereïenschappen voor de waarnemers R en S. De middelbare fout in het gemiddelde wordt aangegeven met  $\sigma$ .

Bij de indeling naar het spectraaltype is een zwak, afnemend verloop van de gemiddelde residuen op te merken van het type B naar het type M. Opvallend zijn de significante afwijkingen voor het type A. Er is nagegaan of deze worden ver-

oorzaakt door zuidelijke sterren. De mogelijkheid bestaat namelijk dat door de metingen, die vanuit het noordelijk halfrond zijn gedaan om de coördinaten van deze sterren te bepalen, fouten van dit soort zijn ontstaan. De residuen van de sterren van het type A blijken echter onafhankelijk van de declinatie te zijn.

Voor de magnitude lijkt er ook een klein verloop te zijn: een afnemend verloop van heldere naar zwakke sterren. Er komen geen significante waarden voor.

Zijn de afwijkingen in de residuen een gevolg van optische fouten van het instrument of van persoonlijke fouten, dan zouden de gevonden residuen verbeterd moeten worden. Zij kunnen echter ook systematische kleur- en magnitudedefouten in de stercoördinaten zijn. Daar de residuen zullen worden gebruikt om de coördinaten te verbeteren, mag in dit geval juist geen correctie aan de residuen worden aangebracht. Het is niet mogelijk genoemde fouten te scheiden en de oorzaak van de afwijkingen blijft dus onbekend. Er zijn daarom geen correcties aangebracht.

Figuur 32, annex 24, toont voor de waarnemers R en S het verloop van de gemiddelde residuen als functie van het azimut; er blijkt een persoonlijk verschil te zijn (zie hoofdstuk 8). Daar de oorzaak van het persoonlijk verschil niet bekend is, is ook met deze afwijkingen geen rekening gehouden.

In tabel 20 worden ook de gemiddelde middelbare fouten in de enkele waarneming van de residuen gegeven voor de klassen van spectraaltype, magnitude en azimut van de sterdoorgang. De gemiddelde waarden voor de waarnemers R en S zijn respectievelijk  $0'',137$  en  $0'',133$ . Alleen de indeling naar de magnitude voor waarnemer R toont een afwijking: de heldere sterren zijn nauwkeuriger waargenomen dan de zwakke sterren.

Tabel 21, annex 25, geeft de residuen  $V'$  van alle waargenomen sterren;  $\sigma$  is de middelbare fout. De residuen zijn berekend uit de waarnemingen van de waarnemers R en S. Daar de eerste 22 series voor de verbetering van de stercoördinaten niet zijn gebruikt, wijkt voor enkele groepen het aantal doorgangen  $n$ , waaruit de residu is bepaald, af van het aantal dat werd opgegeven in tabel 4, annex 8.

Voor de hierna volgende berekening van de correcties aan de stercoördinaten is de door Dr. B. GUINOT ontwikkelde methode toegepast [20].

#### *Residuen ten opzichte van de gemiddelde groep*

De residuen  $V'$  van een groep zijn, evenals dit het geval was bij de groepresultaten  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta T$  en  $r$ , niet zonder meer te vergelijken met de residuen van de andere groepen. De residuen  $V'$  moeten dan ook eerst naar een gemiddelde groep worden teruggebracht.

Wordt een residu uit een groep  $i$  ten opzichte van de gemiddelde groep  $V_i$  genoemd, dan is:

$$V_i = V_i' + d\Delta T_i \cdot \cos \varphi \cdot \sin a + d\Delta\varphi_i \cdot \cos a - dr_i \dots \dots \dots (8)$$

waarin  $d\Delta T_i$ ,  $d\Delta\varphi_i$  en  $dr_i$  de groepcorrecties van groep  $i$  zijn en  $a$  het azimut van de sterdoorgang is, gerekend van het noorden naar het oosten. De residuen  $V$  zijn vermeld in de laatste kolom van tabel 21, annex 25. Ze zijn berekend met de groepcorrecties uit de tabellen 7, 8 en 9 in de annexen 11, 12 en 13.

*Correcties  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  uit dubbeldoorgangen*

De residuen  $V$  zijn berekend ten opzichte van een gemiddelde groep. Er kan echter niet worden verondersteld dat deze gemiddelde groep een positiecirkel heeft die wat betreft plaats en straal juist is. Stel de afwijkingen van de gemiddelde groep zijn

- in de klokcorrectie:  $\xi$
- in de breedte:  $\eta$
- in de straal van de cirkel:  $\theta$

De grootheden  $\xi$ ,  $\eta$  en  $\theta$  kunnen voorlopig niet worden bepaald.

Daar een residu een afwijking is van de straal van de cirkel bij een bepaald azimut is een residu in het algemeen een functie van zowel  $\Delta\alpha$  als  $\Delta\delta$ . De invloed van  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  op  $\delta h$ , het verschil tussen de waargenomen en de berekende zenitafstand, is:

$$\Delta\delta h = -\cos \varphi \cdot \sin a \cdot \Delta\alpha + \cos q \cdot \Delta\delta;$$

hierin is:

$$\Delta\delta = \alpha_{\text{Astr}} - \alpha_{\text{FK4}}$$

$$\Delta\delta = \delta_{\text{Astr}} - \delta_{\text{FK4}}$$

en  $q$  de parallaktische hoek. De residuen, teruggebracht op de juiste plaats en straal van de cirkel, zijn:

$$V'' = V + \xi \cdot \cos \varphi \cdot \sin a + \eta \cdot \cos a - \theta$$

Daar  $V'' + \Delta\delta h = 0$ , is:

$$V = \cos \varphi \cdot \sin a \cdot \Delta\alpha - \cos q \cdot \Delta\delta - \xi \cdot \cos \varphi \cdot \sin a - \eta \cdot \cos a + \theta \quad \dots \quad (9)$$

Het blijkt dat, afgezien van de onbekenden  $\xi$ ,  $\eta$  en  $\theta$ , de grootheden  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  alleen zijn te scheiden als van dezelfde ster twee onafhankelijke vergelijkingen (9) bekend zijn. Dit is het geval voor de sterren die in oost- en westdoorgang zijn waargenomen. Voor beide doorgangen wordt (9):

oostdoorgang:

$$V_o = \cos \varphi \cdot \sin a \cdot \Delta\alpha - \cos q \cdot \Delta\delta - \xi \cdot \cos \varphi \cdot \sin a - \eta \cdot \cos a + \theta$$

westdoorgang:

$$V_w = -\cos \varphi \cdot \sin a \cdot \Delta\alpha - \cos q \cdot \Delta\delta + \xi \cdot \cos \varphi \cdot \sin a - \eta \cdot \cos a + \theta$$

Worden  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  hieruit opgelost, dan is:

$$\Delta\alpha = \frac{V_o - V_w}{2 \cos \varphi \sin a} + \xi \dots \dots \dots (10)$$

$$\Delta\delta = -\frac{V_o + V_w}{2 \cos q} - \frac{\cos a}{\cos q} \cdot \eta + \frac{1}{\cos q} \cdot \theta \dots \dots \dots (11)$$

De berekening van  $\Delta\alpha$  geeft geen moeilijkheden. De correcties aan de rechte klimingen kunnen alle op dezelfde constante na  $-\xi$  worden bepaald. In tabel 22, annex 26, is de berekening uitgevoerd voor 77 sterren die in beide doorgangen zijn waargenomen.

De berekening van  $\Delta\delta$  is minder eenvoudig. Om  $\Delta\delta$  nauwkeurig genoeg te kunnen berekenen mag de factor  $\frac{1}{2 \cos q}$  van de eerste term van (11) niet te groot zijn.

Als grens is aangehouden:  $\frac{1}{2 \cos q} < 1,5$ . Dit houdt in dat  $\Delta\delta$  niet zal worden berekend van sterren waarvoor geldt:

$$60^\circ < a < 105^\circ$$

$$255^\circ < a < 300^\circ$$

Of de laatste twee termen van (11) bij benadering als constant kunnen worden aangenomen, hangt af van de verandering van de factoren  $\frac{\cos a}{\cos q}$  en  $\frac{1}{\cos q}$ . In figuur 33, annex 27, zijn de krommen van  $\frac{\cos a}{\cos q}$  en  $\frac{1}{\cos q}$  uitgezet tegenover het azimut. Het gearceerde gedeelte komt overeen met de eerder genoemde beperking. De factor  $\frac{\cos a}{\cos q}$  blijkt te veranderen van  $-0,8$  tot  $+1,4$  en kan als constant worden beschouwd. Voor  $\frac{1}{\cos q}$  kan echter geen constante waarde worden aangenomen. Deze factor verandert van  $-1,0$  tot  $-2,8$  voor noordsterren en van  $+1,0$  tot  $+3,0$  voor zuidsterren.

Bij benadering wordt formule (11) nu:

$$\Delta\delta = -\frac{V_o + V_w}{2 \cos q} + 1,1 \eta + \frac{1}{\cos q} \theta,$$

geldig voor alle sterren met uitzondering van die met

$$+3^\circ < \delta < +25^\circ$$

In tabel 22 zijn in de kolom „ $\Delta\delta$ ” van 70 sterren de waarden  $-\frac{V_o + V_w}{2 \cos q}$  gegeven. Bovendien is de factor  $\frac{1}{\cos q}$  vermeld.

#### *Correcties $\Delta\alpha$ en $\Delta\delta$ uit een enkele doorgang*

De correctie  $\Delta\alpha$  opgelost uit formule (9) geeft:

$$\Delta\alpha = \frac{V}{\cos \varphi \cdot \sin a} + \frac{\cos q}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \Delta\delta + \xi + \frac{\cos a}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \eta - \frac{1}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \theta \quad \dots \quad (12)$$

Uit tabel 22, annex 26, blijkt dat van de 70 waarden  $\Delta\delta$  slechts 6 een absolute waarde hebben groter dan  $0'',30$ . Wordt voor de maximumwaarde van  $|\Delta\delta|$   $0'',30$  aangenomen dan is de absolute waarde van de tweede term  $\frac{\cos q}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \Delta\delta$  kleiner dan  $0'',005$  als  $\left| \frac{\cos q}{\sin a} \right| < 0,25$ . Aan deze voorwaarde wordt voldaan door sterren waarvan het azimut van de doorgang ligt tussen  $67^\circ$  en  $100^\circ$  en tussen  $260^\circ$  en  $293^\circ$ .



De derde term is een constante. De vierde term  $\frac{\cos a}{\cos \varphi \cdot \sin a}$  is gelijk aan  $0,07 \cdot \cotg a \cdot \eta$ . In het genoemde gebied verandert  $\cotg a$  van 0,00 tot 0,42, zodat de vierde term is te verwaarlozen. De laatste term is gelijk aan  $0,07 \cdot \frac{1}{\sin a} \cdot \theta$ . De uitdrukking  $\frac{1}{\sin a}$  verandert in het beschouwde gebied van 1,00 tot 1,09, zodat ook de laatste term te verwaarlozen is.

Het blijkt dus mogelijk  $\Delta\alpha$  bij benadering uit een enkele sterdoorgang te berekenen uit:

$$\Delta\alpha = \frac{V}{\cos \varphi \cdot \sin a}$$

voor sterren waarvoor geldt:  $+5^{\circ}30' < \delta < +22^{\circ}00'$ . Voor 29 sterren is  $\Delta\alpha$  in tabel 23, annex 28 gegeven.

Voor  $\Delta\delta$  volgt uit formule (9):

$$\Delta\delta = -\frac{V}{\cos q} + \frac{\cos \varphi \cdot \sin a}{\cos q} \cdot \Delta\alpha + \dots$$

In de tabellen 22 en 23 komen van de 106 berekende waarden  $\Delta\alpha$  11 voor waarvan de absolute waarde groter is dan  $0^{\text{s}},020$ . Wordt aangenomen dat  $\Delta\alpha$  maximaal  $0^{\text{s}},020$  is, dan moet  $\left| \frac{\sin a}{\cos q} \right|$  kleiner zijn dan 0,17 om voor de tweede term een maximale waarde van  $0^{\text{s}},05$  te krijgen.  $\left| \frac{\sin a}{\cos q} \right|$  is echter voor alle doorgangen groter dan 0,17, zodat het niet mogelijk is  $\Delta\delta$  met voldoende nauwkeurigheid uit een enkele doorgang te berekenen.

#### *Een schatting van de inwendige nauwkeurigheid van $\Delta\alpha$ en $\Delta\delta$*

Uit de formules (10) en (11) volgt voor de middelbare fouten in  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  uit dubbel-doorgangen:

$$m_{\Delta\alpha}^2 = \frac{m_{V_o}^2 + m_{V_w}^2}{4 \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 a} \quad m_{\Delta\delta}^2 = \frac{m_{V_o}^2 + m_{V_w}^2}{4 \cos^2 q}$$

Wordt met  $m_{\Delta\alpha}$  de middelbare fout aangegeven in de correctie  $\Delta\alpha$  die is bepaald uit een enkele doorgang, dan volgt uit de formule (12):

$$m_{\Delta\alpha}^2 = \frac{m_V^2}{\cos^2 \varphi \cdot \sin^2 a} + \frac{\cos^2 q}{\cos^2 \varphi \cdot \sin^2 a} \cdot m_{\Delta\delta}^2$$

Verder is volgens formule (8):

$$m_V^2 = m_{V'}^2 + \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 a \cdot m_{\Delta\Delta T}^2 + \cos^2 a \cdot m_{\Delta\Delta\varphi}^2 + m_{\Delta r}^2$$

Hierin zijn  $m_{\Delta\Delta T}$ ,  $m_{\Delta\Delta\varphi}$  en  $m_{\Delta r}$  de middelbare fouten in de groepcorrecties.

Voor de berekening van de middelbare fout in een residu  $V$  moeten dus van de groep waartoe  $V$  behoort de middelbare fouten in de groepcorrecties bekend zijn. Bij de berekening van de groepcorrecties is reeds opgemerkt dat het niet mogelijk is

een betrouwbare middelbare fout per groep te berekenen. Om toch een idee te krijgen van de nauwkeurigheid van  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  is voor elke groep dezelfde, gemiddelde middelbare fout in de groepcorrecties aangenomen. Wordt gesteld:

$$m_{\Delta\Delta T} = m_{\Delta\Delta\varphi} = m_{\Delta r} = 0'',025$$

dan is:

$$m_V^2 = m_{V'}^2 + 12 \quad (m_V \text{ en } m_{V'} \text{ in } 0'',01)$$

Daar het om benaderde waarden gaat wordt voor alle waarden  $m_{V'}$   $0'',04$  aangehouden (uit tabel 21, annex 25, blijkt  $m_{V'}$  slechts te variëren van  $0'',03$  tot  $0'',05$ ).

De middelbare fouten van  $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\alpha'$  en  $\Delta\delta$  kunnen nu worden berekend uit:

$$m_{\Delta\alpha} = \frac{0^s,0025}{\sin a}; \quad m_{\Delta\alpha'} = \frac{0^s,0044}{\sin a}; \quad m_{\Delta\delta} = \frac{0'',037}{\cos q}$$

Ze zijn als  $\sigma$  in de tabellen 22 en 23 opgenomen.

#### *$\Delta\alpha$ en $\Delta\delta$ als functie van de declinatie*

De systematische fouten  $\Delta\alpha_\delta$  en  $\Delta\delta_\delta$  kunnen worden berekend met de formules (10) en (11). Zijn  $\bar{V}_o$  en  $\bar{V}_w$  de gemiddelde residuen van respectievelijk oost- en westdoorgangen van een declinatiezone  $\delta_i$ , dan is:

$$\Delta\alpha_{\delta_i} = \frac{\bar{V}_o - \bar{V}_w}{2 \cos \varphi \cdot |\sin \bar{a}|} + \xi$$

$$\Delta\delta_{\delta_i} = - \frac{\bar{V}_o + \bar{V}_w}{2 \cos \bar{q}} - \frac{\cos \bar{a}}{\cos \bar{q}} \cdot \eta + \frac{1}{\cos \bar{q}} \cdot \theta$$

$\bar{a}$  en  $\bar{q}$  zijn de aritmetische gemiddelden van de azimuts en de parallaktische hoeken van de doorgangen in de declinatiezone. Daar de sterren per zone regelmatig zijn verdeeld kunnen de aritmetische gemiddelden worden vervangen door de waarden die met het midden van de zone overeenkomen. Om praktische redenen is uitgegaan van gelijke azimutzones van  $20^\circ$ . Voor de termen van  $\xi$ ,  $\eta$  en  $\theta$  geldt hetzelfde als is beschreven bij de bepaling van  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  uit twee doorgangen.

De tabellen 24 en 25, annex 29, geven resp.  $\Delta\alpha_\delta$  en  $\Delta\delta_\delta$ ;  $\sigma$  is de middelbare fout, berekend uit de spreiding van de residuen ten opzichte van het gemiddelde per azimutklasse.

#### *$\Delta\alpha$ en $\Delta\delta$ als functie van de rechte klimming*

Om per declinatiezone de correctie  $\Delta\alpha$  als functie van de rechte klimming te bepalen moeten de berekende waarden  $\Delta\alpha$  uit de tabellen 22 en 23, resp. annex 26 en 28, worden gerangschikt naar rechte klimming.

Het aantal correcties, die uit een enkele doorgang zijn berekend, kan voor de berekening van  $\Delta\alpha_a$  worden vergroot. De invloed van  $\Delta\delta$  op  $\Delta\alpha$  bleek:

$$\frac{\cos q}{\cos \varphi \cdot \sin a} \Delta\delta$$

Er kan worden verondersteld dat de gemiddelde fout  $\Delta\delta_a$  kleiner is dan een enkele

correctie  $\Delta\delta$ . Wordt gesteld dat  $|\Delta\delta_a|$  maximaal  $0'',10$  is, dan is de absolute waarde van  $\frac{\cos q}{\cos \varphi \cdot \sin a} \Delta\delta$  maximaal  $0^s,005$  als  $\left| \frac{\cos q}{\sin a} \right| < 0,75$ . De zone, waarin  $\Delta\alpha$  kan worden berekend uit één waargenomen doorgang is hiermee uitgebreid tot:

$$-6^{\circ}00' < \delta < +30^{\circ}30'$$

Hierdoor worden 64 extra correcties  $\Delta\alpha$  verkregen.

Voor de drie zones:

$$+20^{\circ} < \delta < +35^{\circ}$$

$$0^{\circ} < \delta < +20^{\circ}$$

$$-16^{\circ} < \delta < 0^{\circ}$$

zijn de waarden  $\Delta\alpha$  gegroepeerd naar rechte klimming in klassen van 2 uur. Voor de berekening van de gemiddelden per klasse zijn aan de waarden  $\Delta\alpha$  die uit twee doorgangen zijn bepaald een tweemaal zo groot gewicht toegekend dan aan die uit één waargenomen doorgang. De gemiddelden zijn vermeld in tabel 26, annex 30;  $\sigma$  is de middelbare fout, berekend uit de spreiding van de waarden in een klasse en  $n$  het aantal waarden waaruit het middelde is berekend.

Voor de bepaling van  $\Delta\delta_a$  zijn slechts de 70  $\Delta\delta$ -waarden uit tabel 22, annex 26, beschikbaar. Zelfs als wordt aangenomen dat  $|\Delta\alpha_a|$  maximaal  $0^s,010$  is, zijn er geen sterren waarvan  $\Delta\delta$  kan worden berekend uit een enkele doorgang. De grootste invloed van  $\Delta\alpha_a$  op  $\Delta\delta$ :  $\frac{\cos \varphi \cdot \sin a}{\cos q} 0^s,010$  is namelijk alleen in absolute waarde kleiner dan  $0'',05$  als  $\left| \frac{\sin a}{\cos q} \right| < 0,33$ . En aan deze voorwaarde voldoet geen enkele waargenomen ster.

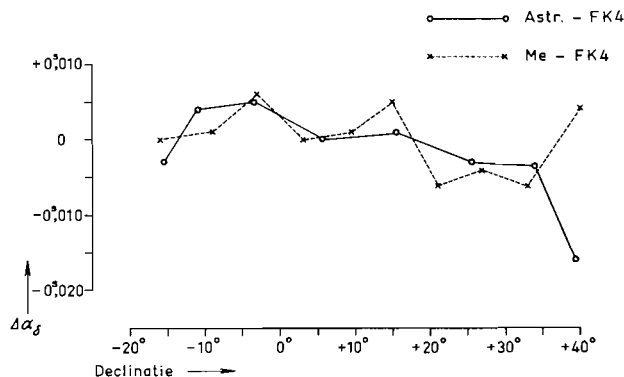
Door het kleine aantal correcties  $\Delta\delta$  per klasse van rechte klimming is er slechts één declinatiezone, waarin  $\Delta\delta_a$  kan worden berekend. Voor de zone:  $-16^{\circ} < \delta < 0^{\circ}$  is  $\Delta\delta_a$  gegeven in tabel 26, annex 30.

### *Beschouwing van de resultaten*

Om een duidelijker overzicht te krijgen van de berekende correcties aan de rechte klimmingen zijn de waarden  $\Delta\alpha$  uit de tabellen 22 en 23 in figuur 34, annex 31, uitgezet. Deze figuur stelt een strook van de hemelsfeer voor, waarin de waarden  $\Delta\alpha$  zijn voorgesteld met tekens, waarvan de coördinaten overeenkomen met de rechte klimmingen en de declinaties van de sterren. Opvallend is een gebied van overwegend positieve waarden tussen de rechte klimmingen 12 en 20 uur, dat zich over de gehele declinatiezone uitstrekt. Dit blijkt ook zeer duidelijk uit de waarden  $\Delta\alpha_a$  in tabel 26. Moet deze vrij grote systematische afwijking inderdaad worden toegeschreven aan systematische fouten in de FK4-catalogus? Het systematische verloop van  $\Delta\alpha_a$  in de declinatiezone  $+20^{\circ}$  tot  $+35^{\circ}$  (zie tabel 26) wijst hier niet op: deze zone is door sterrenwachten in Europa reeds voldoende bestudeerd om met zekerheid te kunnen aannemen dat hierin geen systematische fouten in het FK4-systeem voorkomen. Er zij op gewezen dat de groepcorrecties – van wezenlijk belang

voor dergelijke fouten – niet met grote nauwkeurigheid konden worden bepaald, daar te weinig groepcombinaties beschikbaar waren.

Een tweede afwijking die in tabel 24, annex 29, beter opvalt dan in figuur 34, is de grote negatieve waarde  $\Delta\alpha$  van sterren met declinaties groter dan ongeveer  $+35^\circ$ . Zoals in tabel 24, annex 29, is te zien bedraagt  $\Delta\alpha_\delta$  in deze noordelijkste zone  $-0^s,016$  en is duidelijk significant ( $\sigma = 0^s,0038$ ). Om de systematische fouten  $\Delta\alpha_\delta$  te kunnen vergelijken met die uit de meridiaanwaarnemingen zijn de benaderde waarden  $\Delta\alpha_\delta$  uit tabel 19, annex 22, herleid in het systeem FK4 en, evenals de waarden uit de astrolabiumwaarnemingen, uitgezet in figuur 35. Behalve voor de noordelijkste zone



Figuur 35. Vergelijking van  $\Delta\alpha_\delta$  uit astrolabium- en meridiaanwaarnemingen.

komen beide verlopen goed overeen. Daar ook geen enkele andere sterrenwacht een sterk afwijkende waarde  $\Delta\alpha_\delta$  voor declinaties van ongeveer  $+40^\circ$  heeft waargenomen, is het zo goed als zeker dat de opgemerkte afwijking niet wordt veroorzaakt door catalogusfouten. In hoofdstuk 8 zal hierop uitvoeriger worden ingegaan.

Ook de correcties  $\Delta\delta$  uit tabel 22, annex 26, zijn als functie van de rechte klimmingen en de declinaties van de sterren uitgezet. Figuur 36, annex 31, geeft hiervan een beeld. Het aantal berekende waarden  $\Delta\delta$  is te klein om uit deze figuur betrouwbare conclusies te trekken wat betreft systematische afwijkingen; wel lijkt de verdeling van positieve en negatieve waarden beter dan bij de correcties  $\Delta\alpha$ .

## VERKLARING VAN DE HOOGTEVERANDERING MET DE TIJD BIJ DE ASTROLABIUMWAARNEMINGEN

### **De veranderingen van de waargenomen hoogte**

In hoofdstuk 3 werd voor de Curaçaose astrolabiumwaarnemingen de verandering van de sterafwijkingen met de tijd bepaald. Evenals dit het geval is bij de waarnemingen op de sterrenwacht van Parijs en op het station Tananarive bleken ook op Curaçao de sterafwijkingen van de eerste sterren die op een avond worden waargenomen in het algemeen negatief. Bovendien werd een verandering van de sterafwijkingen ná de eerste sterren gevonden en voor waarnemer S was er zelfs een verloop van de sterafwijkingen van de tweede series op een avond. De in [15] gegeven verklaring voor de negatieve sterafwijkingen van de eerste sterren is niet bevredigend. Zouden zij inderdaad worden veroorzaakt door de aanpassing van het oog aan de duisternis, dan zou het verschijnsel op elke sterrenwacht moeten optreden. Dit is niet het geval, zoals blijkt uit de resultaten van de sterrenwachten van Algiers en Neuchâtel waar in totaal door minstens zeven personen wordt waargenomen. Ook werd geen rechtstreeks bewijs geleverd.

Als gevolg van dit verschijnsel zijn niet alleen de residuen die voor de verbetering van de stercoördinaten worden gebruikt foutief, maar ook de tijd- en breedtebepalingen worden er door beïnvloed. Er kunnen weliswaar correcties worden berekend en aangebracht, maar hierbij wordt dan verondersteld dat de afwijkingen elke avond gelijk zijn, wat in wezen niet juist is zolang de oorzaak onbekend is.

Op dezelfde wijze als de verandering van de sterafwijkingen met de tijd werd berekend uit de resultaten van de eerste berekening (zie blz. 22 en figuur 16), is de verandering bepaald uit de uitkomsten van de herberekening. Voor deze laatste berekening werden echter correcties aangebracht uit tabel 6, annex 10. Om de verandering te bepalen die direct uit de, nauwkeuriger, herberekening zou volgen moeten de waarden uit deze tabel dus worden afgetrokken.

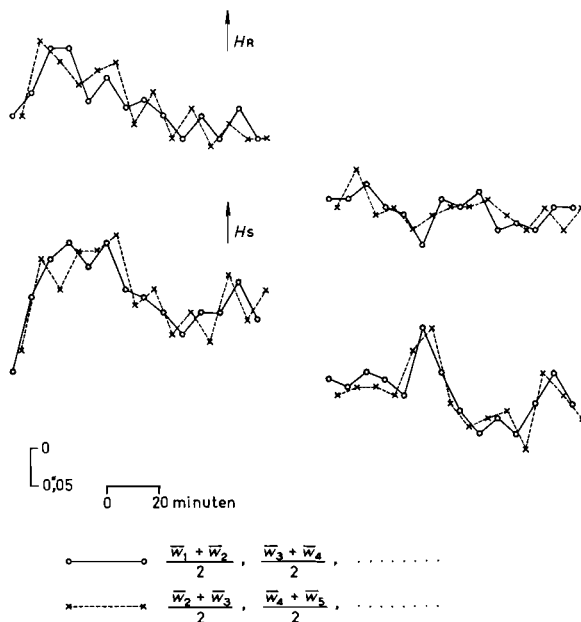
Bij de Curaçaose waarnemingen werd een tweede afwijking vastgesteld die eveneens verband houdt met de verandering van de waargenomen hoogte. Bij de bepaling van de groepcorrecties  $dr$  in hoofdstuk 3 bleek namelijk de sluitfout een zeer grote waarde te hebben:  $+1",58$  (middelbare fout =  $0",12$ ). Dit betekent dat de straal van de positiecirkel van de series die als eerste op een avond werden waargenomen gemiddeld  $0",13$  groter was dan de straal van de positiecirkel van de tweede series. Deze gemiddelde verandering is ook berekend voor de waarnemers R en S afzonderlijk; in beide gevallen werd  $+0",13$  gevonden.

De systematische verandering van de straal van de positiecirkel is ook voorgekomen in Tananarive; de straal werd daar gemiddeld  $0",12$  kleiner. De verandering bleek vrijwel niet meer op te treden nadat de lucht in het waarnemingsgebouwtje enige tijd vóór het begin van de waarnemingen was geventileerd. Het verschijnsel

is ook opgemerkt op de sterrenwachten van Algiers en Neuchâtel; de verandering van de straal was echter veel minder.

Voor de berekening van de groepcorrecties kan dit verschijnsel ernstige gevolgen hebben als de verandering niet elke avond gelijk is. De sluitfout zou dan namelijk niet gelijk over alle groepcombinaties mogen worden verdeeld. De invloed van de groepcorrecties en het effect van genoemd verschijnsel op de berekende verschillen ( $r_i - r_{i+1}$ ) zijn echter niet te scheiden.

De gemiddelde verandering van de straal van de positiecirkel op één avond kan worden gecombineerd met de verandering van de sterafwijkingen met de tijd tot de gemiddelde verandering van de waargenomen hoogte op één avond. Deze verandering



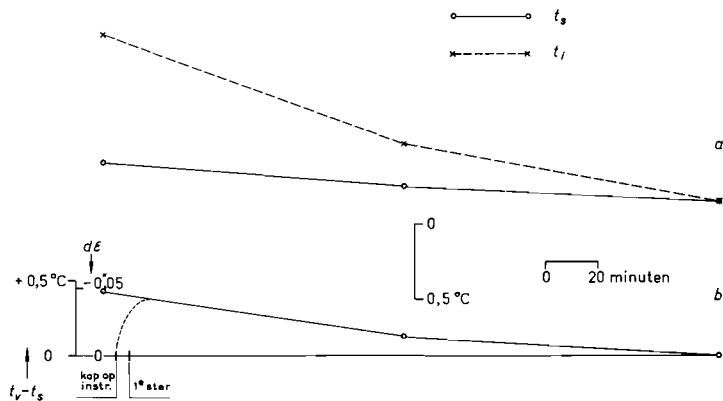
Figuur 37. De gemiddelde verandering van de waargenomen hoogte  $H$  op een avond voor de waarnemers R en S.

is uitgezet in figuur 37, waarin de veranderingen van de sterafwijkingen van de eerste en de tweede series  $0",13$  ten opzichte van elkaar zijn verschoven. Als horizontale schaal is niet de volgorde van waarneming gegeven, zoals in figuur 16, maar is een tijdschaal aangehouden. Hierbij is uitgegaan van gelijke intervallen tussen de sterdoorgangen. Het lijkt waarschijnlijk dat de waargenomen hoogte niet met een sprong, maar geleidelijk kleiner wordt; al blijft een kleine discontinuïteit tussen de eerste en tweede series mogelijk. Het hierna volgende onderzoek zal voornamelijk zijn gericht op de verandering van de hoogte die voor beide waarnemers duidelijk optreedt: een toeneming voor de eerste sterren en een, minder sterke, afneming daarna. Indien de invloed van de waarnemer buiten beschouwing wordt gelaten, blijft als mogelijke oorzaak van de te onderzoeken afwijking veranderingen van uitwendige omstandigheden, met name de refractie, en veranderingen in het instrument, waarmee geen of niet op de juiste wijze rekening wordt gehouden.

## Refractie

Voor de berekening van de refractiecorrectie dienen de temperatuur en de luchtdruk te worden bepaald dáár waar de lichtstralen in het instrument komen. Waar de luchtdruk moet worden gemeten is geen moeilijkheid, daar deze in de onmiddellijke omgeving van het instrument overal gelijk is. Dit kan echter niet worden ge-

zegd van de temperatuur. Uit metingen is gebleken dat de temperatuur onder de windkap, dus ter plaatse van het prisma, wordt beïnvloed door de temperatuur van het instrument. Hoewel de aanduiding van de plaats waar de temperatuur moet worden gemeten vaag is, is het waarschijnlijker dat de temperatuur vóór het prisma ( $t_v$ ) een betere benadering is dan de temperatuur bepaald met een slingerthermometer ( $t_s$ ), die op Curaçao voor de berekening van de refractiecorrectie werd aangehouden. Daar bij benadering kan worden gesteld:  $t_v = \frac{t_s + t_i}{2}$ , waarin  $t_i$  de temperatuur van het instrument is die wordt aangegeven door de ingebouwde thermometer, is van de temperatuur  $t_v$  het benaderde verloop gedurende twee series te bepalen uit de gemeten temperaturen  $t_s$  en  $t_i$ . Figuur 38a geeft het gemiddelde verloop



Figuur 38.

- Het gemiddelde verloop van de slingerthermometer  $t_s$  en de instrument-temperatuur  $t_i$  gedurende twee series.
- Het benaderde verloop van de temperatuur vóór het prisma ( $t_v$ ) ten opzichte van het verloop van  $t_s$ .

van de temperaturen  $t_s$  en  $t_i$  tijdens twee series op Curaçao. Aan de gemeten instrumenttemperatuur werd een correctie aangebracht daar de thermometer een nul-puntsfout had en hierdoor  $1,0^\circ\text{C}$  te laag aanwees. Berekend uit deze verlopen is in figuur 38b het benaderde verloop van de temperatuur  $t_v$  getekend ten opzichte van het verloop van de temperatuur  $t_s$ .

De refractiecorrectie  $\varepsilon_2$  werd bepaald volgens de formule (6) op blz. 21; met een temperatuurverandering ( $t_v - t_s$ ) komt dus overeen een verandering  $d\varepsilon_2$  van de refractiecorrectie:

$$d\varepsilon_2 = -0,11 (t_v - t_s)$$

Figuur 38b, die eveneens de verandering  $d\varepsilon_2$  aangeeft, toont aan dat het geleidelijk verloop van de waargenomen hoogte inderdaad kleiner wordt indien de correcties  $d\varepsilon_2$  aan de sterafwijkingen worden aangebracht. Het gemiddelde verschil tussen de stralen van de positiecirkels wordt echter slechts  $0'',02$  kleiner. Zelfs als voor de variatie van de temperatuur  $t_v$  die van  $t_i$  wordt aangenomen, blijft voor het gemiddelde verschil nog  $+0'',08$  over. Wat de toeneming van de waargenomen hoogte

voor de eerste sterren betreft, loopt de temperatuur  $t_v$  weliswaar op na het plaatsen van de windkap op het instrument – in figuur 38b schematisch aangegeven door een onderbroken lijn – maar negatieve sterafwijkingen van ruim  $0'',10$  zijn hiermee niet te verklaren.

### Autocollimatie op de vlakke spiegel

Veranderingen in de optische delen van het instrument worden in rekening gebracht door de correctie  $\varepsilon_1$ :

$$\varepsilon_1 = K_0(v_0 - v_m)$$

waarin  $K_0 = 25'',84$ .

De micrometeraflezing  $v_m$  en de waarde van één schroefomwenteling  $K_0$  worden als instrumentconstanten beschouwd. De micrometeraflezing  $v_0$  is afhankelijk van temperatuursinvloeden en wordt met behulp van autocollimatie vóór en na de waarneming van een serie bepaald. De correctie  $\varepsilon_1$  wordt voor elke sterdoorgang door lineaire interpolatie berekend.

Om te controleren of de grootheden  $v_m$  en  $K_0$  inderdaad niet veranderen als functie van de temperatuur, werden beide bij verschillende temperaturen bepaald op de in hoofdstuk 3 aangegeven wijze. Er traden geen veranderingen op. Daar de  $v_0$ -bepaling wordt uitgevoerd op een vlakke spiegel die speciaal voor dit doel vóór het objectief wordt geplaatst, zou een verandering in deze spiegel een verandering van de waarde  $v_0$  veroorzaken die, ten onrechte, in de berekening van de correctie  $\varepsilon_1$  zou worden opgenomen. Om te onderzoeken of de spiegel een aandeel heeft in de verandering van  $v_0$  bij temperatuurverandering, werd de spiegel op enige afstand van het instrument opgesteld en verwarmd zonder hierbij het instrument en de lucht tussen de spiegel en het instrument te verwarmen. De temperatuur van de spiegel bleek geen enkele invloed op de aflezingen  $v_0$  te hebben. Er bestaat verder geen reden te veronderstellen dat de grootheid  $v_0$  niet juist zou worden bepaald.

Er is nagegaan of de lineaire interpolatie van de correctie  $\varepsilon_1$  een afwijking van betekenis kan veroorzaken. Indien op één avond twee series zijn waargenomen werd driemaal de waarde  $v_0$  gemeten: vóór en na de eerste serie, respectievelijk  $v_0'$  en  $v_0''$  en na de tweede serie,  $v_0'''$ . De gemiddelden van de verschillen  $(v_0' - v_0'')$  en  $(v_0'' - v_0''')$  uit alle waargenomen series bedroegen resp.  $+0,0003$  en  $+0,0006$  omwenteling, wat overeenkomt met ongeveer  $+0'',01$  en  $+0'',02$ . Het is duidelijk dat deze waarden te klein zijn om de afwijkingen te kunnen verklaren.

Wel moet hier worden gewezen op het belang de grootheid  $v_0$  te meten en deze niet, zoals dit onder andere op de sterrenwacht van Neuchâtel gebruikelijk is, af te lezen uit een van te voren gemaakte grafiek waarin  $v_0$  als functie van de luchttemperatuur is uitgezet. De aflezing  $v_0$  wordt wel voornamelijk bepaald door de luchttemperatuur, maar de temperatuur van het instrument en, waarschijnlijk in meerdere mate, de temperatuur in de omgeving van de micrometerschroef spelen hierbij ook een belangrijke rol.

Er is nog onderzocht of door de  $v_0$ -bepaling een verandering in het instrument plaats vindt waardoor gedurende enige tijd de instrumenthoogte wordt beïnvloed.



In het bijzonder werd gedacht aan de stralingswarmte van de twee extra lampjes die bij de autocollimatie worden gebruikt. Daar  $v_0'$  direct vóór de eerste serie wordt gemeten en  $v_0''$  direct na de eerste serie, dus ongeveer 15 minuten vóór de tweede serie, zou dit kunnen verklaren dat slechts de sterafwijkingen van de eerste sterren van de eerste serie en niet die van de tweede serie afwijkingen vertonen. Er werden daarom series waargenomen waarbij ook direct vóór de tweede series de micrometer werd afgelezen. De eerste sterren van de tweede series hadden inderdaad negatieve sterafwijkingen, maar bij nader onderzoek was dit niet abnormaal daar voor de Parijse waarnemingen van waarnemer S ook onder normale omstandigheden negatieve sterafwijkingen voor de eerste sterren van de tweede series werden gevonden – waarover later meer. Daar echter bleek dat na langdurig branden van de lampjes de aflezing  $v_0$  niet veranderde – en elke verandering in het instrument uit zich hierin – is van deze verklaring afgezien.

### Onderzoek van het prisma

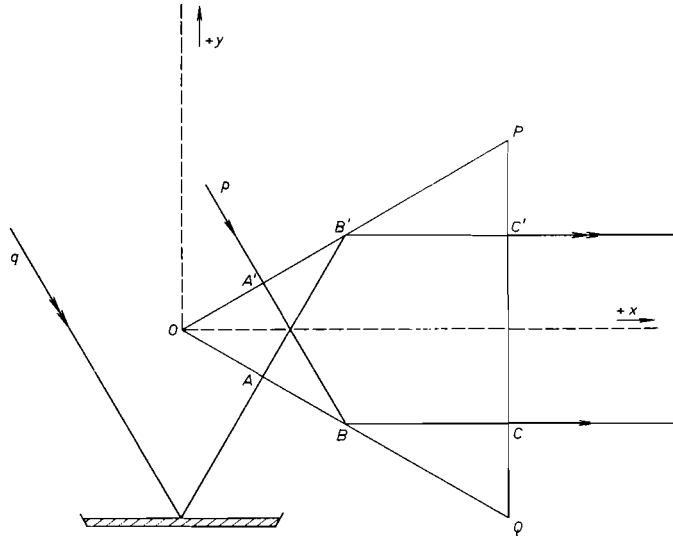
In het voorafgaande is gebleken dat het niet waarschijnlijk is dat de verandering van de waargenomen hoogte wordt veroorzaakt door de refractie of door het instrument voor zover dit het gedeelte betreft dat wordt gecontroleerd met autocollimatie op de vlakke spiegel. Er blijft dus over een verandering in dat gedeelte van het instrument dat is gelegen vóór het objectief, namelijk het gelijkzijdig, driehoekig prisma. De vorm van dit prisma bepaalt de instrumenthoogte en het is duidelijk dat veranderingen van deze vorm veranderingen in de waargenomen hoogte ten gevolge kunnen hebben.

In de eerste plaats is gedacht aan een verandering afhankelijk van de temperatuur van het prisma. Dit zou de systematische verandering van de waargenomen hoogte op één avond kunnen verklaren, daar de temperatuur 's-avonds in het algemeen afneemt. Er bestaat weliswaar een correlatie tussen de gemeten waarden voor de straal van de positiecirkel en de jaarlijkse temperatuurvariatie, maar de verandering van de straal per graad is te klein om de opgemerkte verandering te verklaren. Hoewel dit minder duidelijk uit de waarnemingen op Curaçao blijkt, waar de jaarlijkse temperatuurvariatie een amplitude van slechts enige graden heeft, is dit voldoende bewezen door de waarnemingen op sterrenwachten waar wèl grote temperatuurverschillen optreden.

Belangrijker dan een afhankelijkheid met de absolute temperatuur, lijkt daarom de invloed van temperatuurverschillen die rondom het prisma heersen. Een onderzoek naar de temperatuurverdeling in de omgeving van het prisma heeft aangetoond dat niet alleen, zoals eerder werd genoemd, de temperatuur vóór het prisma wordt beïnvloed door de temperatuur van het instrument, maar bovendien dat de temperatuur *achter* het prisma, dus tussen het prisma en het objectief, zelfs ongeveer gelijk is aan de instrumenttemperatuur. Daar het temperatuurverschil tussen de lucht en het instrument, dus ook tussen de vóór- en achterkant van het prisma, niet constant is en als gevolg hiervan een verandering van het prisma zou kunnen ontstaan, zal hierop uitvoeriger worden ingegaan.

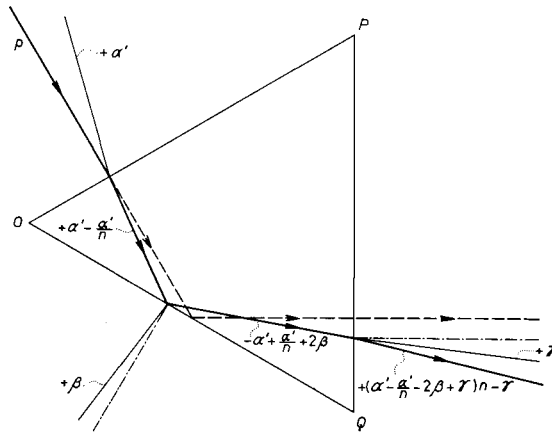
*Invloed van een vervorming van het prisma op de instrumenthoogte*

Er zal eerst worden nagegaan welke invloed een vervorming van het prisma heeft op de instrumenthoogte. In figuur 39 is een doorsnede van het prisma gegeven



Figuur 39. Doorsnede van het prisma en de gang van de hoofdstralen.

loodrecht op de brekende ribben; hierin zijn de hoofdstralen  $p$  en  $q$  van de twee lichtbundels getekend. De vervorming van het prisma die de stralengang van  $p$  en  $q$  beïnvloedt kan worden voorgesteld door de richtingsveranderingen  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta'$  en  $\gamma'$  van de normalen in de punten  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $A'$ ,  $B'$  en  $C'$ ; zij zullen positief worden gerekend als de verdraaiing van de normalen rechtsom is.



Figuur 40. De stralengang door een vervormd prisma.

In figuur 40 is de stralengang van  $p$  door het vervormde prisma geschetst. De richting volgend waarin de straal het prisma doorloopt, zijn de richtingsverande-

ringen van de straal bijgeschreven. Er is uitgegaan van een ideaal gelijkzijdig prisma, waarbij de stralengang met een onderbroken lijn is aangegeven.

Is  $\lambda$  de richtingsverandering van de uit het prisma tredende straal, dan blijkt uit figuur 40:

$$\lambda = n(\alpha' + \gamma - 2\beta) - \alpha' - \gamma$$

als  $n$  de brekingsindex van het prisma is. Op dezelfde wijze geeft de stralengang van  $q$ :

$$\lambda' = +n(\alpha + \gamma' - 2\beta') - \alpha - \gamma'$$

Stel de hoek tussen de twee uittredende stralen  $p$  en  $q$  is  $\bar{\lambda}$ , met

$$\bar{\lambda} = \lambda' - \lambda$$

$\bar{\lambda}$  is dan positief als de beide stralen divergeren en negatief als de stralen convergeren. Met de afgeleide betrekkingen voor  $\lambda$  en  $\lambda'$  wordt dan  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = +2n(\beta - \beta') + (n-1)(\alpha - \alpha') + (1-n)(\gamma - \gamma')$$

Als gevolg van een verandering van het prisma zijn dus de uittredende stralen  $p$  en  $q$  in het algemeen niet meer evenwijdig en vormen een hoekje  $\bar{\lambda}$ . Daar echter het doorgangsmoment van een ster het moment is waarop de uittredende stralen evenwijdig zijn, verandert de hoogte die met het doorgangsmoment overeenkomt. Deze hoogteverandering is gelijk aan de richtingsverandering van beide uittredende stralen indien  $\bar{\lambda} = 0$  wordt en bedraagt dus  $\frac{1}{2}\bar{\lambda}$ . Verder is uit figuur 40 af te leiden dat als  $\bar{\lambda}$  positief is, dus bij divergerende stralen, de hoogte groter wordt. Is  $\Delta h$  de verandering van de hoogte dan is dus de invloed van de vervorming van het prisma op de instrumenthoogte:

$$\Delta h = +\frac{1}{2}\bar{\lambda} = +n(\beta - \beta') + \frac{(n-1)}{2}(\alpha - \alpha') + \frac{(1-n)}{2}(\gamma - \gamma')$$

Met  $n = 1,5$  wordt dit

$$\Delta h = +1,50(\beta - \beta') + 0,25(\alpha - \alpha') - 0,25(\gamma - \gamma') \dots \dots \dots (13)$$

*De vervorming van het prisma bij temperatuurverschillen*

Door de verandering van het temperatuurverschil tussen de vóór- en achterkant van het prisma zal de vorm van het prisma veranderen. Voor een vereenvoudigd, theoretisch geval zal deze vervorming worden afgeleid.

In figuur 39 is met het punt  $O$  als oorsprong een rechthoekig coördinatenstelsel aangebracht. Er zal worden verondersteld dat het prisma de ideale gelijkzijdige vorm heeft bij een overal gelijke temperatuur van  $0^\circ\text{C}$  en er een temperatuurverandering in het prisma optreedt, waarbij de temperatuur  $t_p$  in het prisma verloopt volgens de vergelijking  $t_p = c \cdot x$ .

De vergelijking van de doorsnede  $OP$  van het bovenvlak is:

$$y = +\frac{x}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (14)$$

Is de uitzetting van een lineair elementje  $dl$ :

$$\Delta dl = \lambda \cdot dl \cdot t_p = \lambda \cdot dl \cdot c \cdot x$$

als  $\lambda$  de uitzettingscoëfficiënt van glas is, dan is de uitzetting van een rechte met eindige lengte  $l$ :

$$\Delta l = \int_0^l \Delta dl = \lambda \cdot c \cdot \int_0^l x \cdot dl$$

In het bijzonder geldt voor rechten in de  $x$ - en  $y$ -richting:

$$\Delta x = \lambda \cdot c \cdot \int_0^x x \cdot dx = \frac{1}{2} \lambda \cdot c \cdot x^2 \dots \dots \dots (15)$$

en  $\Delta y = \lambda \cdot c \cdot x \cdot \int_0^y dy = \lambda \cdot c \cdot x \cdot y \dots \dots \dots (16)$

Worden de coördinaten  $x$  en  $y$  ná de uitzetting aangegeven door respectievelijk  $x'$  en  $y'$ , dan is  $x' = x + \Delta x$  en  $y' = y + \Delta y$ , en wordt de kromme die de vervormde doorsnede  $OP$  aangeeft met (14), (15) en (16):

$$x' = x + \frac{1}{2} \lambda \cdot c \cdot x^2$$

$$y' = y + \lambda \cdot c \cdot x \cdot y = \frac{x}{\sqrt{3}} + \frac{\lambda \cdot c \cdot x^2}{\sqrt{3}}$$

De helling van deze kromme is:

$$\frac{dy'}{dx'} = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{2}{\sqrt{3}} \lambda \cdot c \cdot x}{1 + \lambda \cdot c \cdot x}$$

Bij benadering kan hiervoor worden geschreven:

$$\frac{dy'}{dx'} = + \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{\lambda \cdot c \cdot x}{\sqrt{3}}$$

Uit (14) volgt voor de helling vóór de uitzetting:  $+\frac{1}{\sqrt{3}}$ , zodat de hellingsverandering door de vervorming gelijk is aan:  $+\frac{\lambda \cdot c \cdot x}{\sqrt{3}}$ . In het punt  $A'$  ( $x = +\frac{1}{8} a\sqrt{3}$ , als  $a$  de lengte van  $OP$  is) is dan de richtingsverandering van de normaal, met in achtneming van de positieve draaiingsrichting naar rechts:

$$\alpha' = -\frac{1}{8} a \cdot \lambda \cdot c$$

en in het punt  $B'$  ( $x = +\frac{1}{4} a\sqrt{3}$ ):

$$\beta' = -\frac{1}{4} a \cdot \lambda \cdot c$$

Op gelijke wijze wordt voor de hellingsverandering van de doorsneden  $OQ$  van het ondervlak gevonden:  $-\frac{\lambda \cdot c \cdot x}{\sqrt{3}}$ . De normaalveranderingen in de punten  $A$  en  $B$  worden dan respectievelijk:

$$\alpha = +\frac{1}{8} a \cdot \lambda \cdot c \quad \text{en} \quad \beta = +\frac{1}{4} a \cdot \lambda \cdot c$$

Het achtervlak  $PQ$  verandert uiteraard niet en dus is

$$\gamma = \gamma' = 0$$

*De verandering van de instrumenthoogte bij temperatuurverschillen*

De verandering van de instrumenthoogte die overeenkomt met de zojuist afgeleide vormverandering van het prisma kan nu worden berekend met formule (13). Worden de gevonden waarden voor de normaalverdraaiingen in deze formule ingevuld, dan is:

$$\Delta h = + 0,81 a \cdot \lambda \cdot c \dots \dots \dots (17)$$

Dat deze betrekking bij benadering geldt is niet alleen omdat bij de afleiding van de vervorming van het prisma de temperatuurverdeling in het prisma wellicht te eenvoudig is voorgesteld. Ook moet worden bedacht, dat de beide stralenbundels gepolariseerd zijn; de invloed van spanningen die in het prisma kunnen optreden door temperatuurverschillen is moeilijk te voorzien.

De verandering van de hoogte is slechts met de betrekking (17) te berekenen als de temperatuurgradiënt  $c$  in het prisma bekend is. Het is echter zelfs bij benadering niet mogelijk uit het temperatuurverschil van de lucht vóór en achter het prisma een waarde voor  $c$  te bepalen. Om een betrekking af te leiden tussen  $\Delta h$  en het temperatuurverschil  $\Delta t_p$  in het prisma ( $\Delta t_p =$  temperatuur van het achtervlak—temperatuur van de ribbe  $O$ ), kan voor  $c$  worden geschreven:

$$c = + \frac{2}{a\sqrt{3}} \Delta t_p$$

Met  $\lambda = 9 \cdot 10^{-6}$  volgt dan uit de formule (17):

$$\Delta h = + 1,74 \Delta t_p \dots \dots \dots (18)$$

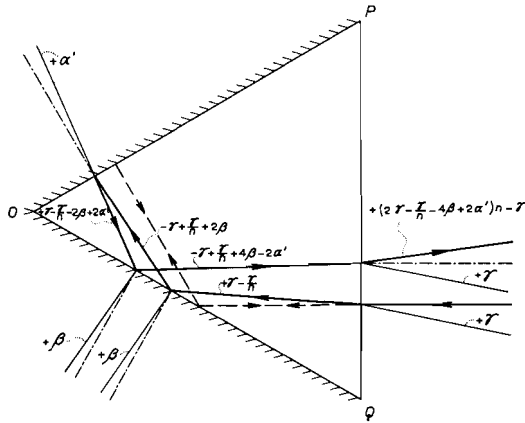
waarin  $\Delta h$  is uitgedrukt in boogseconden.

Met deze betrekking en aan de hand van figuur 38a is het verloop van de waargenomen hoogte in figuur 37 als volgt te verklaren. Op het moment dat het prisma op het instrument wordt geplaatst, wordt het temperatuursevenwicht in het prisma verstoord. De achterkant van het prisma wordt warmer onder invloed van de hogere instrumenttemperatuur, het verschil  $\Delta t_p$  wordt hierdoor positief en de instrumenthoogte zal toenemen. Daar het temperatuurverschil ( $t_i - t_s$ ) daarna kleiner wordt, zal ook  $\Delta t_p$  kleiner worden en neemt de instrumenthoogte weer af.

*Bepaling van de verandering van de instrumenthoogte met autocollimatie*

De gegeven, theoretische verklaring zou overtuigender zijn, indien het verschijnsel ook proefondervindelijk kon worden aangetoond; bovendien gaf de verklaring geen uitsluitel omtrent de grootte-orde van de verandering van de instrumenthoogte. De doelmatigste methode om het prisma te onderzoeken is die, waarbij het prisma zich onder dezelfde omstandigheden bevindt als bij een meting; dus indien het prisma is gemonteerd op het instrument. Om dit te bereiken werden de twee vlakken van het prisma, die de ribbe  $O$  gemeen hebben, spiegelen gemaakt. Met de autocollimatie-uitrusting van het instrument kunnen dan veranderingen van het prisma worden gemeten.

Het verband tussen de vervorming van het prisma en de overeenkomstige verandering van de stand van de micrometer is afgeleid met behulp van figuur 41,



Figuur 41. De stralengang door een vervormd spiegelen prisma.

waarin de stralengang van de hoofdstraal van de onderbundel is geschetst. Voor deze figuur gelden dezelfde notaties als voor figuur 40; ook hier is uitgegaan van een ideaal gelijkzijdig prisma en zijn de richtingsveranderingen van de straal bijgeschreven. Is  $\eta$  de richtingsverandering van de uittredende straal, dan is:

$$\eta = +2n(\alpha' + \gamma - 2\beta) - 2\gamma$$

Op overeenkomstige wijze wordt voor de richtingsverandering van de uittredende hoofdstraal van de andere bundel gevonden:

$$\eta' = +2n(\alpha + \gamma' - 2\beta') - 2\gamma'$$

Voor het hoekje  $\bar{\eta} = \eta' - \eta$  tussen de twee uittredende stralen volgt dan:

$$\bar{\eta} = +4n(\beta - \beta') + 2n(\alpha - \alpha') + 2(1 - n)(\gamma - \gamma')$$

Ook hier geldt dat bij divergerende stralen  $\bar{\eta}$  positief is en bij convergerende stralen negatief.

Is als gevolg van het hoekje  $\bar{\eta}$  de verandering van de micrometeraflecting  $\Delta v$  ( $\Delta v$  uitgedrukt in boogsecunden), dan is:

$$\Delta v = -\frac{1}{2}\bar{\eta}$$

De tekens van  $\Delta v$  en  $\bar{\eta}$  zijn tegengesteld. Bij bijvoorbeeld divergerende stralen  $-\bar{\eta}$  positief  $-\bar{\eta}$  wordt het beeld van de kruisdraden tussen het brandvlak en het oculair gevormd, zodat het Wollaston-prisma in de richting van het oculair moet worden verplaatst om de twee beelden van de kruisdraden te laten coïncideren. Deze verplaatsing komt overeen met een afneming van de micrometeraanwijzing.

De verandering van de micrometeraflecting  $\Delta v$  door de vervorming van het prisma wordt dan:

$$\Delta v = -2n(\beta - \beta') - n(\alpha - \alpha') - (1 - n)(\gamma - \gamma')$$

en met  $n = 1,5$ :

$$\Delta v = -3,0(\beta - \beta') - 1,5(\alpha - \alpha') + 0,5(\gamma - \gamma') \dots \dots \dots (19)$$

Voor het beschouwde bijzondere geval kunnen de berekende waarden voor de richtingsveranderingen:

$$\begin{aligned} \alpha &= +\frac{1}{8}a \cdot \lambda \cdot c & \beta &= +\frac{1}{4}a \cdot \lambda \cdot c & \gamma &= 0 \\ \alpha' &= -\frac{1}{8}a \cdot \lambda \cdot c & \beta' &= -\frac{1}{4}a \cdot \lambda \cdot c & \gamma' &= 0 \end{aligned}$$

in betrekking (19) worden ingevuld, waardoor ontstaat:

$$\Delta v = -1,87a \cdot \lambda \cdot c$$

Met de formule (17) is nu de betrekking te bepalen tussen de verandering van de instrumenthoogte en de verandering van de micrometeraflezing. Deze wordt:

$$\Delta h = -0,43\Delta v \dots \dots \dots (20)$$

met  $\Delta h$  en  $\Delta v$  uitgedrukt in boogseconden.

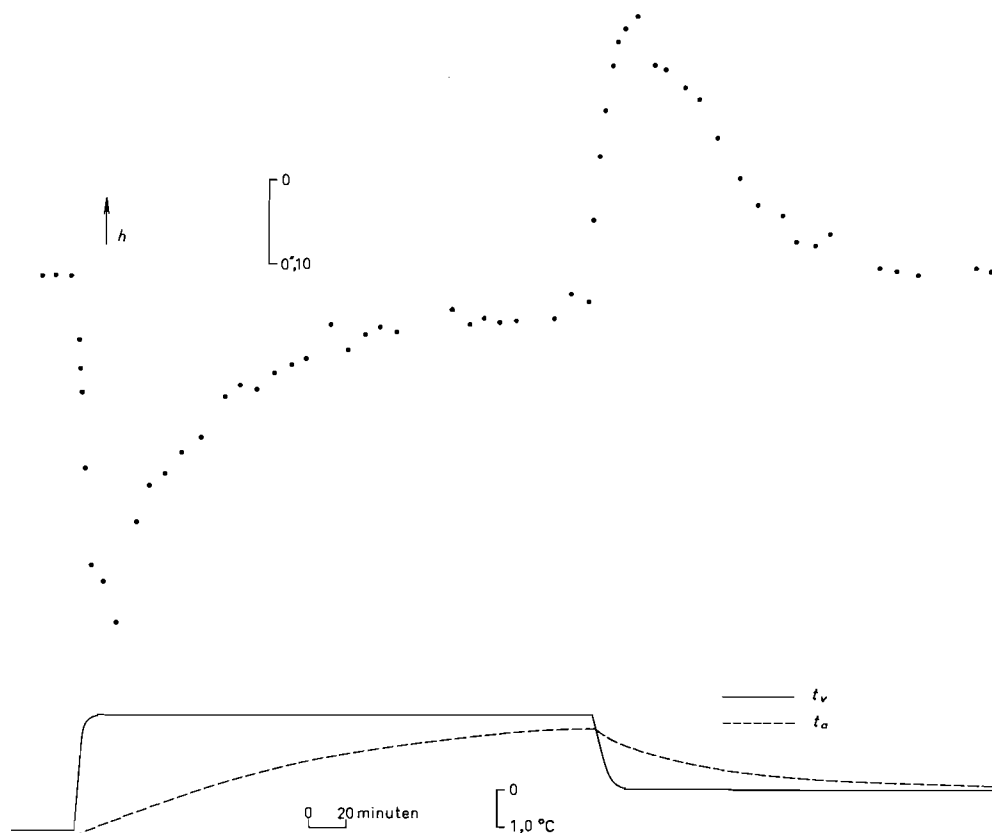
Het blijkt dus mogelijk met autocollimatie op een spiegelen prisma de verandering van de instrumenthoogte te meten die het gevolg is van de veronderstelde vervorming van het prisma. Er moet echter op worden gewezen dat niet voor elke willekeurige vervorming van het prisma de invloed op de instrumenthoogte kan worden bepaald. Worden namelijk de betrekkingen (13) en (19) vergeleken, dan blijkt de verandering  $\Delta h$  slechts in enkele bijzondere gevallen uit de verandering  $\Delta v$  te kunnen worden bepaald.

*Proeven met een spiegelen prisma*

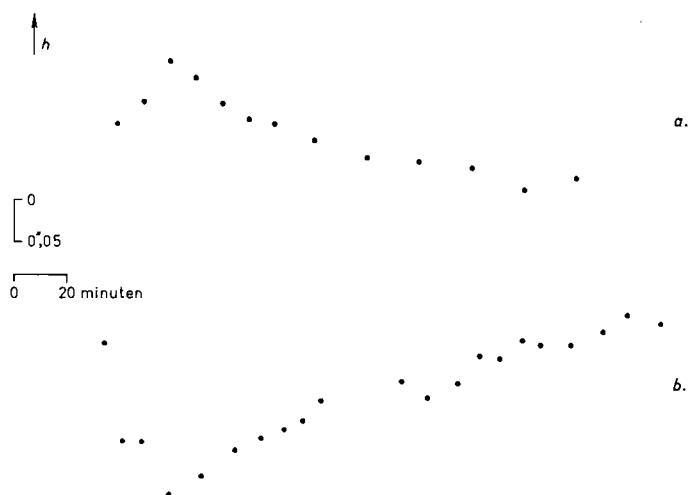
Onder verschillende temperatuursomstandigheden zijn met een spiegelen prisma proeven gedaan. Bij de bepaling van de verandering van de micrometerstand deed zich de volgende moeilijkheid voor. Zoals eerder werd beschreven verandert als gevolg van spanningen in de optische delen van het instrument de micrometeraflezing  $v_0$  die met de vlakke spiegel wordt bepaald. Met deze veranderingen, die vooral optreden als de temperatuur verandert, moet rekening worden gehouden bij de bepaling van  $\Delta v$  als hierboven genoemd. Tijdens de proeven met het spiegelen prisma zou dan ook meermalen de autocollimatie op de vlakke spiegel moeten worden uitgevoerd. Dit heeft echter het bezwaar dat het prisma door de spiegel moet worden vervangen, waarbij de windkap wordt weggenomen. Door deze handeling is het mogelijk dat de temperatuurverdeling rondom het prisma wordt verstoord. Bij voorkeur is daarom het verwisselen van prisma en spiegel tijdens de proeven zoveel mogelijk vermeden. Bestond er echter het vermoeden dat de waarde  $v_0$  zou veranderen dan werd wèl een  $v_0$ -bepaling uitgevoerd; het verwisselen geschiedde dan zo snel mogelijk.

De volgende proeven werden gedaan.

1. Met het spiegelen prisma op het instrument werd de lucht in het waarnemingsgebouwtje kunstmatig verwarmd en enige tijd op dezelfde temperatuur gehouden. Daarna werd de temperatuur verlaagd en weer constant gehouden. Figuur 42 geeft de verlopen van de luchttemperaturen  $t_v$  vóór het prisma en  $t_a$  achter het prisma; om de temperatuur  $t_a$  te kunnen meten is deze proef zonder windkap uitgevoerd. De verandering van de instrumenthoogte  $h$  is, evenals in de volgende figuren die op het verloop van  $h$  betrekking hebben, uit de veranderingen  $\Delta v$  van de micrometerstand berekend met de betrekking (20) en verbeterd voor de verandering van de grootheid  $v_0$ . De figuur toont aan dat de temperatuur achter het prisma de temperatuur vóór het prisma met een vertraging volgt. Bij verwarming van de voorkant ontstaat in het prisma een temperatuurverschil, waardoor de hoogte afneemt. Door de geleidelijke aanpassing van de luchttemperaturen vóór en achter het prisma wordt het verschil daarna kleiner, zodat de hoogte weer toeneemt. Bij afkoeling van de lucht gebeurt het omgekeerde.



Figuur 42. Verandering van de instrumenthoogte  $h$  als gevolg van temperatuurveranderingen van de lucht vóór en achter het prisma, bepaald met een spiegellend prisma.



Figuur 43. Verandering van de instrumenthoogte, bepaald met een spiegellend prisma, bij temperatuurverlopen van de lucht en het instrument:  
*a.* als op Curaçao (gemiddelden uit 8 proeven);  
*b.* tegengesteld aan die op Curaçao (1 proef).



2. Er werd voor gezorgd dat bij het begin van de proeven de temperatuur van het instrument hoger was dan de luchttemperatuur; tijdens de proeven werd de luchttemperatuur constant gehouden. De omstandigheden waren dus ongeveer gelijk aan die op Curaçao (zie figuur 38a). Het resultaat uit acht proeven op verschillende avonden is gegeven in figuur 43a. Daar in de eerste 60 minuten de micrometer vaker is afgelezen dan daarna, zijn de gemiddelden voor het eerste uur per interval van 10 minuten berekend en daarna per interval van 20 minuten. Het verloop van de instrumenthoogte  $h$  blijkt, ook wat betreft de grootte-orde, in goede overeenstemming met de verandering van de waargenomen hoogte uit figuur 37.
3. Ongeveer een half uur van te voren werd de temperatuur van de lucht en het niet op het instrument geplaatste prisma enige graden verhoogd, zodat bij het begin de instrumenttemperatuur *lager* was dan de luchttemperatuur. Tijdens de proeven was de temperatuur constant. Onder deze omstandigheden kan dus een hoogteverandering worden verwacht die tegengesteld is aan die uit de vorige proef. Uit figuur 43b, die het resultaat van één van de proeven geeft, blijkt dat dit inderdaad het geval is.

### Conclusie

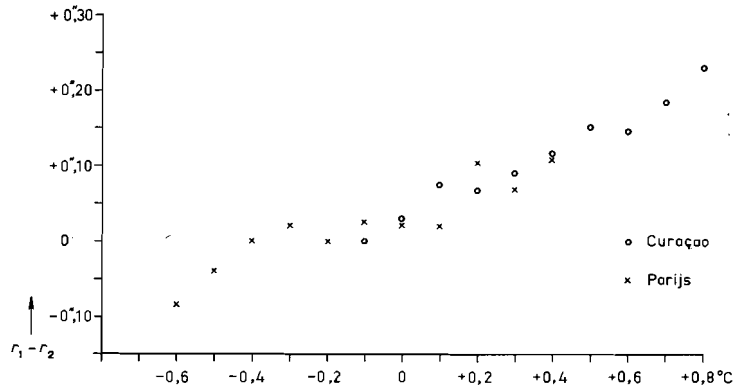
Door voor de berekening van de refractiecorrectie in plaats van de temperatuur bepaald met een slingerthermometer die van de lucht onder de windkap aan te houden kan slechts een gedeelte van het opgemerkte verloop van de waargenomen hoogte met de tijd worden verklaard. Zowel theoretisch als proefondervindelijk is echter aangetoond dat het prisma vóór het objectief de oorzaak van de verandering is, daar het temperatuurverschil *in* het prisma, als gevolg van het temperatuurverschil van de lucht en het instrument, niet constant is.\*)

Om te kunnen verklaren waarom op het Observatoire de Paris de straal van de positiecirkel niet systematisch op een avond afneemt, zijn uit de metingen van deze sterrenwacht de gemiddelde temperatuurverlopen tijdens twee series van de lucht en het instrument berekend; zij zijn uitgezet in figuur 44, annex 32. Het blijkt dat, in tegenstelling tot Curaçao, het verschil ( $t_i - t_l$ ) ongeveer gelijk blijft. Het temperatuurverschil in het prisma blijft dus constant en de instrumenthoogte verandert niet. Hoewel *gemiddeld* de straal van de positiecirkel niet verandert, zal dit voor een enkele waarneming op een avond in het algemeen wèl het geval zijn. Is  $\bar{t}$  het gemiddelde van de temperaturen vóór en ná een serie, dan zijn in figuur 45 ten opzichte van de verandering van het verschil ( $\bar{t}_i - \bar{t}_l$ ) – een verandering die ongeveer de verandering van het temperatuurverschil in het prisma weergeeft – de verschillen ( $r_1 - r_2$ ) van de stralen van de positiecirkels uit de eerste en de tweede series uitgezet, gemiddeld per 0,1 °C. De correlatie voor de Parijse waarnemingen is duidelijk. Zij is bovendien

\*) Op de mogelijkheid van deze verklaring werd reeds gewezen door M. FOURNET in een, niet gepubliceerd, verslag van de waarnemingen in Tananarive. De veronderstelling was echter alleen gebaseerd op een eenvoudige, theoretische beschouwing en kon niet proefondervindelijk worden bewezen.

Na het beëindigen van mijn onderzoek heb ik kennis genomen van een publikatie van J.-P. BLASER en M. CAVEDON (*Publications de l'Observatoire de Neuchâtel*, no. 3), waarin dezelfde verklaring wordt voorgesteld. Ook hier wordt het probleem echter theoretisch benaderd.

in overeenstemming met die voor de Curaçaose waarnemingen die, berekend uit de waarden van figuur 17 op blz. 28, in dezelfde figuur is gegeven. Aan de verschillen ( $r_1 - r_2$ ) van beide sterrenwachten werden groepcorrecties aangebracht.



Figuur 45. Verandering van de straal  $r$  van de vereffeningscirkel ten opzichte van het temperatuurverschil  $\tau$ . Voor Curaçao is  $\tau = t_i - t_s$ , voor Parijs is  $\tau = t_i - t_l$ .

Voor de Parijse waarnemingen zijn wèl de sterafwijkingen van de eerste sterren negatief, daar, zoals figuur 44 aantoont, de temperatuur van het instrument hoger is dan de luchttemperatuur en dus, evenals op Curaçao, het temperatuurverschil in het prisma in het begin van de serie verandert. Dat de sterafwijkingen van de eerste sterren van de tweede serie niet of zeer zwak (zie [15]) negatief zijn, is verklaarbaar door het feit dat de Parijse waarnemers het prisma reeds direct ná de  $v_0$ -bepaling tussen beide series, dus direct ná de eerste serie, weer op het instrument plaatsen. Tegen de tijd dat de tweede serie beginnen is het prisma dan reeds zo goed als aangepast aan het heersende temperatuurverschil. Daar waarnemer S deze gewoonte niet had en de vlakke spiegel en het prisma op het laatste ogenblik vóór de tweede serie verwisselde, is voor deze waarnemer voor de Parijse waarnemingen wèl een afwijking van de eerste sterren van de tweede serie te verwachten. In figuur 46, annex 33, zijn de gemiddelde sterafwijkingen van 13 tweede series als functie van de volgorde van waarneming uitgezet. Daar bij de berekening intrinsieke correcties zijn aangebracht hebben catalogusfouten weinig invloed. Inderdaad zijn de eerste sterafwijkingen negatief. Voor de Curaçaose waarnemingen was het tijdstip waarop de spiegel voor het prisma werd verwisseld niet belangrijk: de temperatuur van het instrument en die van de lucht waren tussen de beide series reeds ongeveer gelijk.

Om verandering in instrumenthoogte te vermijden zou vóór het begin van de waarnemingen de temperatuur van het instrument moeten worden aangepast aan de luchttemperatuur door een goede luchtventilatie. Om te verhinderen dat daarna in het prisma temperatuurverschillen optreden of dat een nog overgebleven verschil verandert, moet de verandering van de temperatuur van de lucht en het instrument gelijk worden gehouden, voor zover men dit in de hand heeft: bij een temperatuurverloop als op Curaçao zou het instrument iets verwarmd kunnen worden. Bovendien is het aan te raden het prisma minstens 30 minuten vóór de eerste series en zo

lang als mogelijk is vóór de tweede series op het instrument te plaatsen. Uit 19 eerste series, gemeten op het Observatoire de Paris door de waarnemers GUINOT, LEFEBVRE en SCHEEPMAKER, zijn de gemiddelde afwijkingen – verbeterd met intrinsieke correcties – uitgezet in figuur 47, annex 34. Bij deze series werd het prisma minstens 30 minuten vóór het begin op het instrument geplaatst en werden geen sterren vooraf waargenomen. De afwijking voor de eerste sterren treedt inderdaad niet meer op.

Worden voor de Curaçaose waarnemingen de middelbare fouten in de enkele waarneming van een residu gerangschikt naar de volgorde van waarneming en per volgnummer gemiddeld, dan blijken de gemiddelde middelbare fouten van de eerste en de tweede ster respectievelijk  $0'',179$  en  $0'',178$  te zijn, terwijl de gemiddelde middelbare fouten van de sterren die daarna zijn waargenomen variëren van  $0'',135$  tot  $0'',153$ . De minder nauwkeurige bepaling van de residuen van de eerste twee sterren kan een gevolg zijn van de aangebrachte correcties voor de verandering van de sterafwijkingen met de tijd; daarbij werd immers aangenomen dat deze verandering elke avond dezelfde was. Daar het echter ook niet denkbeeldig is dat de eerste sterren minder nauwkeurig worden waargenomen, is het wenselijk vóór het begin van het programma enige sterren waar te nemen die echter niet in de berekening worden opgenomen.

ONDERZOEK VAN ENIGE AFWIJINGEN BIJ DE  
ASTROLABIUM WAARNEMINGEN

**Persoonlijke verschillen**

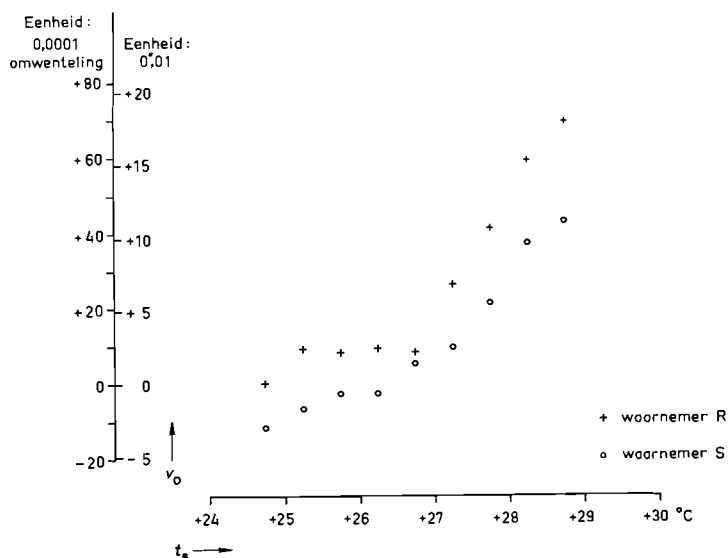
Bij de bepaling van de breedtevariatie in hoofdstuk 3 is gebleken dat de waargenomen breedte niet voor elke waarnemer gelijk is. Gemiddeld over 1958 was het verschil tussen de breedten, waargenomen door R en S:  $\varphi_R - \varphi_S = +0'',06$  (zie figuur 19 op blz. 32); de tijdelijke waarnemers RA en T vonden waarden die ten opzichte van het gemiddelde van R en S ruim  $0'',20$  groter waren. Ook voor de klokcorrecties werd in hoofdstuk 5 een persoonlijk verschil opgemerkt. Figuur 28, blz. 48, toonde aan dat het gemiddelde verschil  $\Delta T_R - \Delta T_S$  ongeveer  $-0^s,005$  is, terwijl de klokcorrecties van RA en T ongeveer  $0^s,010$  kleiner waren dan het gemiddelde van R en S.

TABEL 27. Persoonlijke verschillen in de straal  $r$  van de vereffeningscirkel van de waarnemers R, S, RA en T.

		S-R	RA-R	T-R
1957	okt.	$-0'',24$		
	nov.	$- 22$		
	dec.	$- 13$		
1958	jan.	$- 48$		
	febr.	$- 31$		
	mrt.	$- 13$		
	april	$- 26$		
	mei	$- 24$		
	juni	$- 30$		
	juli	$- 22$		
	aug.	$- 19$	$+0'',11$	$-0'',07$
	sept.	$- 5$	$+ 8$	
	okt.	$+ 5$		
	nov.	$+ 8$	$+ 45$	
	dec.	$+ 21$	$+ 37$	

Tabel 27 geeft de maandgemiddelden van de persoonlijke verschillen in de straal  $r$  van de positiecirkel. Hierbij is rekening gehouden met de systematische afneming van de straal op een avond door afzonderlijk de als eerste en als tweede waargenomen series te vergelijken. De groepcorrecties uit tabel 9, annex 13, werden aangebracht. Ook voor de straal  $r$  blijkt er een duidelijk persoonlijk verschil te zijn, dat voor de waarnemers R en S de laatste maanden van de waarnemingsperiode echter van teken verandert. Een persoonlijk verschil in de straal van de positiecirkel is verklaarbaar. Zo bestaat er een persoonlijk verschil in de micrometeraflezing  $v_0$  bij de autocollimatie op de vlakke spiegel, waardoor de straal wordt beïnvloed. In figuur 48 zijn de door de waarnemers R en S gemeten waarden  $v_0$  uitgezet tegenover de temperatuur, gemeten met een slingerthermometer. Hoewel de grootte  $v_0$  niet alleen afhankelijk is

van deze temperatuur, kan dit wel bij benadering worden aangenomen om de persoonlijke verschillen aan te tonen. Het verschil tussen de waarnemers R en S is gemiddeld  $0",04$ . Bovendien kunnen verschillende waarnemers de evenwijdigheid van de verbindingslijn van beide sterbeelden met de horizontale kruisdraden op verschillende wijze beoordelen.



Figuur 48. De micrometeraflezing  $v_0$  als functie van de slingertemperatuur  $t_s$  voor de waarnemers R en S.

In tegenstelling tot de verschillen in de straal van de positiecirkel traden de persoonlijke verschillen in de breedte en de klokcorrectie geheel buiten verwachting op. Immers, de persoonlijke beoordeling van het horizontaal houden van de beide sterbeelden beïnvloedt wel de straal van de positiecirkel, maar niet de plaats van die cirkel. Verder was het waarnemingsschema zodanig ingericht dat zoveel mogelijk systematische invloeden werden vermeden: de waarnemers R en S namen om de dag dezelfde groepen waar. Voorzover kon worden nagegaan voerden alle waarnemers de metingen op dezelfde wijze uit. Opgemerkt zij, dat de persoonlijke verschillen in de residuen als functie van de magnitude en spectraaltype, waarvoor in de berekening geen correcties werden aangebracht, te klein zijn om de persoonlijke verschillen in de breedte en de klokcorrectie te kunnen verklaren. Bovendien kunnen zij geen constant persoonlijk verschil veroorzaken, daar de invloed op de breedte en de klokcorrectie voor elke groep verschillend is.

Een persoonlijk verschil dat verband kan houden met de persoonlijke verschillen in  $\varphi$  en  $\Delta T$  is het reeds eerder opgemerkte verschil in de verlopen van de gemiddelde residuen als functie van het azimut (zie figuur 32, annex 24). De verschillen per azimutzone van  $20^\circ$  en de middelbare fouten van deze verschillen zijn gegeven in tabel 28; meerdere verschillen zijn duidelijk significant.

Daar een persoonlijk verschil in de straal van de positiecirkel geen nadelige gevolgen heeft – mits de groepcorrecties alleen worden berekend uit groepcombinaties van

TABEL 28. Persoonlijke verschillen in de gemiddelde residuen als functie van het azimut voor de waarnemers R en S.

Azimut	$\bar{V}(R-S)$	$\sigma$
20°	+0",070	0",011
40	+ 48	15
60	+ 2	13
80	– 38	30
100	– 72	23
120	– 9	19
140	+ 5	14
160	– 27	25
200	– 12	20
220	+ 20	18
240	+ 53	18
260	– 3	23
280	– 10	23
300	– 39	18
320	– 31	13
340	– 45	15

dezelfde waarnemer – zal in het volgende alleen aandacht worden besteed aan de persoonlijke verschillen in de breedte, de klokcorrectie en het verloop van de residuen als functie van het azimut.

*Controle van het instrument in Parijs*

Daar het oorspronkelijk leek dat de grote persoonlijke verschillen alleen op het Curaçaose station optraden, werd het instrument naar Parijs verzonden en van 28 september tot 11 december 1959 door Dr. B. GUINOT op het Observatoire de Paris onderzocht [21]. Hier werden de volgende twee afwijkingen geconstateerd.

1. Tijdens de waarneming van een doorgang verplaatsen de beide sterbeelden zich in het gezichtsveld naar boven in het oosten en naar beneden in het westen; de verplaatsing bedraagt ongeveer 8" voor 2 contacten per omwenteling van de schroef. Deze afwijking is een gevolg van een asymmetrie in het Wollastonprisma en kan niet worden verbeterd.
2. De snelheid van de micrometer als functie van het azimut was niet juist. Is de maximumsnelheid  $V$ , dan moet de micrometer bij een azimut  $a$  een snelheid hebben die gelijk is aan  $V \cdot \sin a$  (zie [11], blz. 269). De geconstateerde afwijkingen  $e$  zijn, afhankelijk van het azimut, gegeven in figuur 49, annex 35;  $e$  is positief als de snelheid te klein is en negatief als deze te groot is. De oorzaak was een verdraaiing van de horizontale schaalverdeling.

Naar aanleiding van deze afwijkingen kwam Dr. GUINOT tot de volgende veronderstellingen.

- ad 1. Indien de twee beelden zich tijdens een doorgang in verticale zin verplaatsen, is het mogelijk dat bij een horizontale beweging van het beeldenpaar een waarnemer de beelden niet nauwkeurig naast elkaar houdt, maar de verbindingslijn

van beide beelden laat afwijken in de richting van de baan die het paar in het gezichtsveld beschrijft. Ten noorden van de  $l$ e verticaal zal dan te vroeg worden waargenomen, ten zuiden hiervan te laat. Daar het station dichtbij de equator was gelegen, waren de afwijkingen echter vrijwel symmetrisch ten opzichte van de  $l$ e verticaal en beïnvloedden in dat geval noch de breedte, noch de klokcorrectie.

ad 2. Er kan worden verondersteld dat een waarnemer de verticale verschillen tussen de beelden, die ontstaan als gevolg van de onjuiste snelheid van de micrometer, niet goed verbetert. Behalve dat dit een afwijking in de breedte en de klokcorrectie veroorzaakt zullen ook de sterafwijkingen een systematische afwijking vertonen, afhankelijk van het azimut. Met de waarden van  $\epsilon$  uit figuur 49 en met verschillende aannamen van de motorsnelheid bleek het niet mogelijk de persoonlijke verschillen in  $\varphi$  en  $\Delta T$  te verklaren bij het gegeven persoonlijke verschil in de verlopen van de residuen als functie van het azimut.

#### *De snelheid van de micrometer*

De in de vorige paragraaf onder 2. genoemde veronderstelling dat een waarnemer zich laat beïnvloeden door de onjuiste snelheid van de micrometer zal nader worden uitgewerkt. Er is namelijk nog een ander effect dat de micrometersnelheid bepaalt: een verschil tussen het astronomisch azimut en het instrument-azimut. Is  $\Delta a$  gelijk aan het astronomisch azimut min het instrument-azimut, dan is de afwijking  $A$  van de micrometersnelheid bij een instrument-azimut  $a$ :

$$A = V \cdot \sin(a + \Delta a) - V \cdot \sin a$$

of bij benadering:

$$A = V \cdot \Delta a \cdot \cos a$$

In verhouding tot de snelheid bij een azimut  $a$ , wordt de afwijking  $A$  dan:

$$A = 1,75 \Delta a \cdot \cotg a \text{ ‰}$$

indien  $\Delta a$  is uitgedrukt in  $0^\circ, 1$ .

De totale afwijking  $E$  van de snelheid van de micrometer is dus afhankelijk van drie mogelijke afwijkingen:

- een afwijking  $\epsilon$ , afhankelijk van het azimut, als gevolg van een verdraaiing van de azimutverdeling van het instrument,
- een constante afwijking  $C$  door een onjuiste motorsnelheid,
- een afwijking  $A$ , als functie van het azimut, veroorzaakt door een onjuiste oriëntatie van het instrument.

Van deze drie afwijkingen is slechts de eerste bekend; de afwijkingen  $C$  en  $A$  zijn niet meer te achterhalen. Met de waarden van  $\epsilon$  uit figuur 49 en met verschillende waarden voor  $C$  en  $\Delta a$  zijn voor 9 combinaties de totale afwijkingen  $E$  berekend, als functie van het azimut.

Er zal nu worden verondersteld dat een waarnemer de verschillen tussen de beelden als gevolg van de afwijking van de micrometersnelheid niet voldoende verbetert. Voor een denkbeeldige groep, waarin de „sterren” regelmatig in azimut zijn verdeeld, kunnen dan de afwijkingen in de breedte, de klokcorrectie en de straal van de positiecirkel, respectievelijk  $d\varphi$ ,  $d\Delta T$  en  $dr$ , worden berekend met de formules:

$$d\varphi = - \frac{[d\delta h \cdot \cos a]}{[\cos^2 a]} \quad d\Delta T = - \frac{[d\delta h \cdot \sin a]}{[\sin^2 a]} \quad dr = \frac{[d\delta h]}{n}$$

Uit:

$$\Delta v = d\delta h + d\varphi \cdot \cos a + d\Delta T \cdot \sin a - dr$$

volgt het verloop van de sterafwijkingen als functie van het azimut.

Voor  $d\delta h$  kan een waarde worden ingevuld, evenredig met  $E$ ; gekozen is  $d\delta h = E$  met  $d\delta h$  uitgedrukt in  $0'',01$  en  $E$  in  $1 \text{ } ^0/_{00}$ . Het is duidelijk dat als  $E$  positief is,  $d\delta h$  positief is in het oosten en negatief in het westen; het omgekeerde is het geval als  $E$  negatief is. De waarden  $d\varphi$ ,  $d\Delta T$  en het verloop van de sterafwijkingen zijn berekend voor de 9 verschillende afwijkingen  $E$ . Het resultaat hiervan is vermeld in tabel 29, annex 36. In deze tabel zijn bovendien, vetgedrukt, de waargenomen persoonlijke verschillen gegeven.

Uit tabel 29 blijkt dat het niet mogelijk is gelijktijdig de verschillen in de breedte, de klokcorrectie en het verloop van de residuen te verklaren. De verschillen in de breedte en de klokcorrectie komen het beste overeen met die uit de combinatie  $\Delta a = -0^\circ,20$  en  $C = +10 \text{ } ^0/_{00}$ , maar de verlopen van de berekende sterafwijkingen en de waargenomen residuen zijn verschillend. Hoewel de genoemde veronderstelling als verklaring van de persoonlijke verschillen niet kan worden bewezen, zou het onjuist zijn deze zonder meer te verwerpen. Het is zeer wel mogelijk dat de reactie op een onjuiste micrometersnelheid minder eenvoudig is dan werd verondersteld door voor  $d\delta h$  waarden in te vullen die evenredig zijn met de afwijkingen  $E$ . Zo zouden de afstand, de snelheid en de richting van de horizontale verplaatsing van het beeldenpaar tijdens de doorgang wel eens van betekenis kunnen zijn.

#### *Onderzoek uit chronograafregistraties*

Indien de twee sterbeelden gedurende een sterdoorgang steeds op dezelfde wijze naast elkaar worden gehouden, is het tijdinterval tussen bijvoorbeeld 21 contacten

gelijk aan  $\frac{D}{\sin a}$ , als  $D$  het overeenkomstige interval is in de 1e verticaal. Is de snelheid van de micrometer niet juist en wordt deze niet voldoende verbeterd, dan kan dit zich uiten in een systematische afwijking van de waarden  $\frac{D}{\sin a}$ , als functie van

het azimut. Voor de waarnemers R en S werd deze afhankelijkheid onderzocht; voor iedere waarnemer werden hiervoor 125 sterdoorgangen gebruikt uit 5 series van verschillende groepen. Hoewel er een klein persoonlijk verschil is op te merken, komen de persoonlijke verschillen in  $\varphi$ ,  $\Delta T$  en de sterafwijkingen die hieruit volgen niet overeen met de waargenomen verschillen.

Bovendien zijn voor beide waarnemers de verlopen van de 24 chronograafregistraties van een sterdoorgang vergeleken voor sterren met verschillende azimuts. Er is hieruit echter geen enkele gevolgtrekking te maken. Wel is opgevallen dat voor beide waarnemers de amplitudes van de variaties in het algemeen de helft zijn van die bij de Parijse waarnemingen. Dit betekent dat de waarnemers op Curaçao een kleinere verticale beweging van de beelden toelieten. Hoewel de toevallige afwijkingen in de chronograafregistraties hierdoor kleiner zijn, neemt het gevaar dat



systematische afwijkingen ontstaan toe. Het is dan ook van belang de beelden – eventueel met opzet – voortdurend te laten „oscilleren”.

#### *Waarnemingen op het Observatoire de Paris*

In oktober en november 1959 en van juli 1961 tot juli 1962 zijn met het Curaçaose instrument waarnemingen gedaan op het Observatoire de Paris. Er kwamen geen nieuwe bijzonderheden naar voren en er is geen enkele afwijking in de waarnemingsresultaten opgevallen.

Hoewel eerst werd aangenomen dat alleen bij de Curaçaose waarnemingen zulke grote persoonlijke verschillen in de breedte en de klokcorrectie voorkwamen, is uit de resultaten van nieuwe waarnemers op het Observatoire de Paris gebleken dat dit niet het geval is. Uit een recent onderzoek door Dr. B. GUINOT blijkt dat ook bij het astrolabium OPL 01 van deze sterrenwacht persoonlijke verschillen optreden die van dezelfde grootte-orde zijn als die op Curaçao. Zo tonen voorlopige berekeningen aan dat de gemiddelde absolute afwijking van 10 geoefende waarnemers voor de breedte  $0'',04$  bedraagt en voor de klokcorrectie  $0'',004$ . De opgemerkte verschillen tussen de Curaçaose waarnemers R en S van respectievelijk  $0'',06$  en  $0'',005$  zijn dus geen uitzonderingen. Daarentegen heeft men op het Observatoire de Paris geen persoonlijke verschillen in de residuen als functie van het azimut geconstateerd. De persoonlijke verschillen in  $\varphi$  en  $\Delta T$  kunnen dus blijkbaar optreden zonder dat er een verschil is in de residuen.

Dat de snelheid van de micrometer de oorzaak van de persoonlijke verschillen is, moet om nog een andere reden worden betwijfeld. De persoonlijke afwijkingen in  $\varphi$  en  $\Delta T$  van waarnemer S op de Parijse sterrenwacht geven namelijk eenzelfde beeld als die bij de waarnemingen op Curaçao: een te kleine waarde voor de breedte en een te grote waarde voor de klokcorrectie. Uit 22 waarnemingen met het Parijse instrument OPL 01 zijn de persoonlijke afwijkingen in de breedte en de klokcorrectie ten opzichte van het gemiddelde van 10 geoefende waarnemers respectievelijk  $-0'',08$  en  $+0'',006$ . Uit deze waarnemingen en die met het instrument OPL 03 zijn ook de gemiddelde residuen berekend als functie van het azimut. Er zijn intrinsieke correcties aangebracht, zodat catalogusfouten vrijwel geen invloed hebben. Daar bij de Parijse waarnemers geen persoonlijke afwijkingen optreden kan het verloop van de gemiddelde residuen als de persoonlijke afwijking van S worden beschouwd. De berekende verlopen zijn uitgezet in figuur 50, annex 37, evenals de persoonlijke verschillen (S–R) uit de Curaçaose waarnemingen uit tabel 28. De drie verlopen – uit waarnemingen met drie verschillende snelheden van de micrometer – en in het bijzonder de twee verlopen berekend uit de waarnemingen met de instrumenten in Parijs, vertonen een goede overeenkomst. Het verloop uit de Curaçaose waarnemingen geeft een verloop weer van verschillen, waarin nog een persoonlijke afwijking van waarnemer R kan voorkomen.

#### *Conclusie*

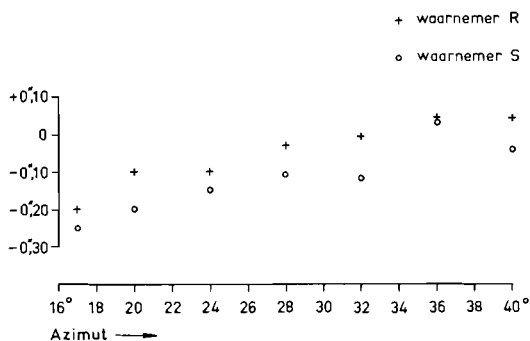
De bij de Curaçaose waarnemingen opgemerkte persoonlijke verschillen in de breedte en de klokcorrectie zijn geen uitzonderingen: op het Observatoire de Paris

komen verschillen voor van dezelfde grootte-orde. De voor de hand liggende veronderstelling dat de persoonlijke verschillen voor de waarnemers R en S werden veroorzaakt door een onjuiste reactie van één van de waarnemers op een foutieve micrometersnelheid, bleek niet waarschijnlijk.

Dat de persoonlijke afwijkingen een gevolg zijn van een invloed van de – van het azimut afhankelijke – afstand, snelheid en richting van de horizontale verplaatsing van het beeldenpaar, moet worden betwijfeld. Daar de horizontale verplaatsing symmetrisch is ten opzichte van de meridiaan, kan dit zeker geen verklaring zijn voor de afwijkingen in  $\Delta T$ . Bovendien lijken de persoonlijke afwijkingen van S uit de waarnemingen in Parijs gelijk aan die uit de Curaçaose waarnemingen, ondanks het feit dat door de verschillende breedten van beide stations de relatie tussen de horizontale verplaatsing en het azimut niet dezelfde is.

### Afwijkende waarde van $\Delta\alpha_\delta$

Zoals in hoofdstuk 6 werd aangetoond is de grote negatieve waarde ( $-0^s,016$ ,  $\sigma = 0^s,004$ ) van de systematische catalogusfout  $\Delta\alpha_\delta$ , die uit de Curaçaose astrolabium-waarnemingen voor de declinatie  $+39^\circ$  volgde, het gevolg van waarnemingsfouten. De catalogusfout  $\Delta\alpha_\delta$  wordt bepaald door een systematische afwijking van de residuen als functie van het azimut. De negatieve waarde van  $\Delta\alpha_\delta$  voor genoemde declinatie kan dan ook worden veroorzaakt door te positieve residuen van sterren met



Figuur 51. Gemiddelde residuen als functie van het azimut.

een azimut tussen  $330^\circ$  en  $345^\circ$  of door te negatieve residuen van sterren waarvan het azimut ligt tussen  $15^\circ$  en  $30^\circ$ . Het gemiddelde van de residuen van sterren met een azimut tussen  $330^\circ$  en  $345^\circ$  is  $+0^s,004$  en de middelbare fout  $0^s,003$ ; de overeenkomstige waarden in de azimutzone  $15^\circ$ – $30^\circ$  zijn  $-0^s,014$  en  $0^s,003$ . Daar bovendien de waarde van  $\Delta\delta_\delta$  voor de declinatie  $+39^\circ$  veel meer te negatief is dan te positief (zie tabel 25, annex 29), kan worden aangenomen dat de residuen in de azimutzone  $15^\circ$ – $30^\circ$  te negatief zijn.

In figuur 51 zijn de gemiddelde residuen uitgezet van sterren met een azimut van  $15^\circ$  tot  $42^\circ$  per interval van  $4^\circ$  en afzonderlijk voor de waarnemers R en S. Behalve het significante persoonlijke verschil toont de figuur voor beide waarnemers een geleidelijke afneming van de residuen naar het noorden.

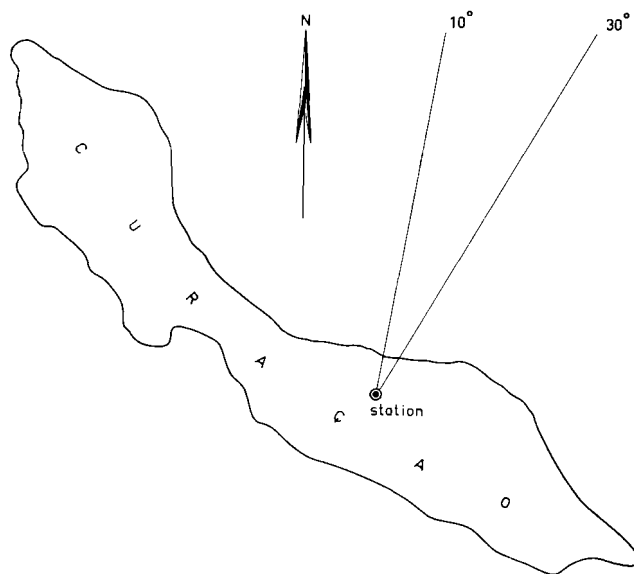
### Mogelijke oorzaken

De te negatieve residuen in de azimutzone  $15^\circ$ – $30^\circ$  worden niet veroorzaakt door een afwijking van het Curaçaose instrument. In de periode juli 1961–juli 1962 namen meerdere Parijse waarnemers met dit instrument waar; het gemiddelde van de residuen in genoemde zone was  $+0^s,001$  en de middelbare fout  $0^s,002$ . De gemiddelde

waarde van de residuen voor waarnemer S was wèl significant:  $-0^s,006$  ( $\sigma = 0^s,002$ ), maar de grootte-orde van deze waarde wijst op de persoonlijke afwijking (zie figuur 50, annex 37).

Als oorzaak van de afwijking blijven de volgende twee mogelijkheden.

1. De waarnemers kunnen zijn beïnvloed door een onjuiste snelheid van de micro-meter in de azimutzone  $15^\circ-30^\circ$ , gecombineerd met de grote horizontale verplaatsing van het beeldenpaar in deze zone.
2. Er kunnen in de azimutzone  $15^\circ-30^\circ$  afwijkende atmosferische omstandigheden zijn geweest, waardoor de refractie foutief in rekening is gebracht. In het bijzonder is gedacht aan een refractie-anomalie door de kustlijn. Figuur 52 geeft



Figuur 52. De plaats van het station op het eiland Curaçao.

de plaats van het station op het eiland Curaçao. In de zone waarin de afwijking optreedt is de afstand van het station tot de kustlijn kleiner dan in de andere richtingen. Daar de temperatuur boven zee 's-avonds lager is dan boven land, is de refractie boven zee groter. Er zouden dus voor die zone te kleine correcties aangebracht kunnen zijn met als gevolg negatieve sterafwijkingen.

De behandelde stof kan in twee gedeelten worden gescheiden. De hoofdstukken 1 tot en met 6 geven een beschrijving en een analyse van de waarnemingen die tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar 1957–1958 op het geodetisch-astronomisch station op Curaçao zijn verricht, terwijl in de laatste twee hoofdstukken aandacht is besteed aan enige afwijkingen die bij de verwerking van de resultaten van één der waarnemingsinstrumenten werden opgemerkt. Wat het eerste gedeelte betreft, hierin worden, de indeling naar hoofdstukken volgend, achtereenvolgens behandeld: de inrichting van het station, de waarnemingen met het meridiaandoorgangsinstrument, het astrolabium en de maancamera en ten slotte de tijdbepaling en de verbetering van de stercoördinaten, onderwerpen die om hun belangrijkheid en om het feit dat ze zowel op meridiaan- als op astrolabiumwaarnemingen betrekking hebben, in aparte hoofdstukken zijn ondergebracht. Wat betreft het onderzoek van de opgemerkte afwijkingen bij de astrolabiumwaarnemingen, is door de hoofdstukindeling een onderscheid gemaakt tussen twee afwijkingen die wél en twee afwijkingen die niet konden worden verklaard.

Behalve de bemanning en het instrumentarium zijn bij de behandeling van de inrichting van het station ook genoemd de beweegredenen die hebben geleid tot de keuze van het station op het eiland Curaçao en op de vroegere plantage „Muizenberg” in het bijzonder. Bovendien is een beschrijving gegeven van de waarnemingsgebouwtjes, waarvan de vorm en het materiaal aan door het klimaat en de passaatwind bepaalde eisen moesten voldoen.

Na een beschrijving van het, bij de andere instrumenten vergeleken oude, meridiaandoorgangsinstrument van Pistor en Martins en de hieraan aangebrachte verbeteringen, waarvan het langs foto-elektrische weg maken van de contacten en het bijlijpen van de delen van de draaiingsas ter plaatse van de ondersteuning de belangrijkste zijn, is uiteengezet hoe de sterprogramma's werden samengesteld en volgens welke methode de waarnemingen zijn berekend. Er zijn 178 series waargenomen met in totaal 1742 sterdoorgangen. De *inwendige* middelbare fout in de klokcorrectie, blijkt sterk afhankelijk van de geoefendheid van de waarnemer en kan in de laatste maanden worden gesteld op 4,4 msec voor een serie van 10 sterren. Er werden waarden afgeleid voor de middelbare fout in de enkele tijdbepaling met een met de hand bewogen onpersoonlijke micrometer en voor die in de enkele aflezing van een niveau. De grote waarde van de azimuthafwijking van het instrument blijkt geen invloed te hebben op de geldigheid van de gebruikte formule van Mayer. Opvallend is de grote verandering van deze azimuthafwijking: ongeveer 48" gedurende 14 maanden. Daar de *uitwendige* nauwkeurigheid van de tijdbepalingen gering was, zijn de waarnemingen medio 1958 gestaakt om meer tijd beschikbaar te hebben voor het astrolabium.

Voor het ongetwijfeld belangrijkste programma, namelijk dat met het astrolabium A. Danjon, zijn de groepsamenstelling en de berekeningswijze van de waarnemingen uitgebreid beschreven. De 265 waargenomen series (totaal 6539 sterdoorgangen) zijn opnieuw berekend met behulp van een elektronische rekenmachine en gebruik makend van de nieuwe stercatalogus FK4. Hierbij is bovendien een intrinsieke verbetering toegepast – de verbetering van de sterposities die uit de eerste, Curaçaose berekening volgde – en zijn enige correcties aangebracht voor onder andere de op-

getreden verandering met de tijd van de instrumenthoogte. Om de resultaten van verschillende groepen te kunnen vergelijken zijn groepcorrecties berekend volgens de zgn. kettingmethode. De inwendige middelbare fouten in de geografische breedte en de klokcorrectie zijn gelijk aan  $0'',04$ ; de uitwendige nauwkeurigheid is slechts weinig geringer – dit in tegenstelling tot de meridiaanwaarnemingen. Voor elke waarnemer afzonderlijk is de verandering van de breedte, voornamelijk een gevolg van de poolbeweging, bepaald. De variatie van deze breedte zal in internationaal verband worden gebruikt voor een nauwkeurige bepaling van de poolbeweging. Met reeds bekende waarden van de poolbeweging is de Curaçaose breedtevariatie onderzocht, waaruit is gebleken dat de breedte van de plaats van waarneming in 1958 ongeveer  $0'',10$  is afgenomen; dit kan een gevolg zijn van een richtingsverandering van de verticaal, een verplaatsing van het station van 3 meter naar het zuiden of van systematische waarnemingsfouten.

Beschreven is het doel van de waarnemingen met de maancamera van W. Markowitz, de werking van deze camera, de op Curaçao gevolgde waarnemingsmethode en de afwerking van de opnamen voor zover deze ter plaatse is uitgevoerd. Ondanks enige moeilijkheden konden 36 geslaagde paren opnamen naar het Naval Observatory te Washington worden verzonden, waar zij met die van andere stations zullen worden uitgemeten.

Een zeer belangrijke taak van het Curaçaose station was de werking als tijdelijk TIJDstation; de resultaten werden overeenkomstig deze hoedanigheid gebruikt door het Bureau International de l'Heure (BIH) te Parijs. De hiermee verband houdende werkzaamheden bestonden onder andere uit het bepalen van een voorlopige universele tijd in het systeem UT-2 uit de meridiaan- en astrolabiumwaarnemingen, het vergelijken van de drie kwartsklokken en het ontvangen en verwerken van zoveel mogelijk radio-tijdseinen. De methoden en de gebruikte apparaten zijn beschreven. Van de kwartsklokken is de nauwkeurigheid onderzocht. Nauwkeurigheidscijfers, berekend door het BIH, getuigen van de goede kwaliteit van de tijdwaarnemingen en de ontvangst van de tijdseinen. Onafhankelijk van dit „routine”-werk, waarvan de resultaten maandelijks naar Parijs werden opgestuurd, is voor beide instrumenten de waargenomen tijdvariatie ten opzichte van een atoomtijd bepaald. De grotere nauwkeurigheid van de astrolabiumwaarnemingen blijkt hier duidelijk. Met reeds voldoende nauwkeurige waarden van de poolbeweging en de progressieve verandering van de omwentelingssnelheid van de aarde is de tijdvariatie uit de astrolabiumwaarnemingen onderzocht: een richtingsverandering van de verticaal of een verplaatsing van het station in oost-west richting lijkt niet waarschijnlijk. Voor de beide instrumenten zijn gemiddelde waarden van de geografische lengte voor de periode 1 augustus 1957 tot 1 januari 1959 berekend.

Uit herhaalde waarnemingen van dezelfde ster kunnen de sterposities worden verbeterd. Uit de meridiaanwaarnemingen zijn de correcties  $\Delta\alpha$  van 183 sterren en de correcties  $\Delta\alpha_\delta$  berekend ten opzichte van de FK3R-catalogus; het zijn benaderde waarden, daar geen groepcorrecties konden worden aangebracht. Uit de astrolabiumwaarnemingen zijn van 106 sterren de correcties  $\Delta\alpha$ , van 70 sterren de correcties  $\Delta\delta$  en de correcties  $\Delta\alpha_\delta$ ,  $\Delta\delta_\delta$ ,  $\Delta\alpha_a$  en  $\Delta\delta_a$  bepaald in het systeem FK4. De waarden van  $\Delta\alpha_\delta$  voor beide soorten waarnemingen komen goed overeen, behalve voor de

noordelijkste sterren, waarvoor  $\Delta\alpha_8$  uit de astrolabiumwaarnemingen onjuist blijkt te zijn. Bovendien is het onwaarschijnlijk dat in het gebied tussen de rechte klimmingen 12 en 20 uur vrijwel uitsluitend positieve waarden voorkomen van de correcties  $\Delta\alpha$ , zoals uit de astrolabiumwaarnemingen zou volgen; er zij op gewezen dat de verbinding van de 12 groepen, van wezenlijk belang voor deze correcties, niet nauwkeurig kon worden bepaald, omdat door de ongunstige weersomstandigheden vaak niet meer dan één serie op een avond kon worden waargenomen.

Er zijn twee verschijnselen onderzocht die beide verband houden met de verandering van de waarnemingshoogte van het astrolabium: de negatieve residuen van de eerste sterren die op een avond worden waargenomen en de afneming van de straal van de positiecirkel gedurende enige series op een avond. Nadat verschillende mogelijkheden werden onderzocht, kon zowel theoretisch als proefondervindelijk worden aangetoond dat beide verschijnselen worden veroorzaakt door veranderingen van het thermische evenwicht in het gelijkzijdig, driehoekig prisma, dat de waarnemingshoogte van het instrument bepaalt. Deze veranderingen treden op, indien het verschil tussen de temperatuur van de vóór- en achterkant van het prisma – beïnvloed door de temperatuur van respectievelijk de lucht in het waarnemingsgebouwtje en het instrument – verandert. De genoemde verschijnselen kunnen dan ook worden vermeden door het prisma enige tijd voor het begin van de waarnemingen op het instrument te plaatsen en tijdens het waarnemen het verschil tussen de temperatuur van de lucht en het instrument constant te houden. Voor de berekening van de groepcorrecties in de straal van de positiecirkel uit twee na elkaar waargenomen series is gebruik gemaakt van de genoemde verklaring voor de systematische afneming van deze straal op een avond.

Bij de tijd- en breedtebepalingen met het astrolabium zijn persoonlijke verschillen opgemerkt, die voor de waarnemers ROLFF en SCHEEPMAKER respectievelijk  $0^s,005$  en  $0^s,06$  bedragen. De persoonlijke verschillen traden weliswaar oorspronkelijk alleen bij de Curaçaose waarnemingen op, maar zij bleken later ook bij de waarnemingen op de Parijse sterrenwacht voor te komen. Het verrichte onderzoek naar de oorzaak van de verschillen heeft niet tot een bevredigende verklaring geleid. De reeds eerder genoemde overwegend negatieve waarden van  $\Delta\alpha_8$  voor de noordelijkste declinatiezone blijken een gevolg te zijn van negatieve residuen in het noordoosten. Voor de verklaring van deze negatieve residuen zijn twee mogelijkheden gegeven.

ANALYSE DES RÉSULTATS  
DES OBSERVATIONS FAITES À CURAÇAO PENDANT  
L'ANNÉE GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE 1957-1958 ET  
RECHERCHES EFFECTUÉES SUR L'ASTROLABE A. DANJON

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire . . . . .	91
Introduction . . . . .	92
Chapitre 1 L'établissement de la station . . . . .	92
Chapitre 2 Observations avec la lunette méridienne . . . . .	93
Chapitre 3 Observations avec l'astrolabe . . . . .	96
Chapitre 4 Observations avec la caméra lunaire . . . . .	101
Chapitre 5 Détermination de l'heure et de la longitude . . . . .	102
Chapitre 6 Détermination d'erreurs du catalogue . . . . .	104
Chapitre 7 Explication de la variation de la hauteur en fonction du temps, constatée dans les observations avec l'astrolabe . . . . .	108
Chapitre 8 Étude des quelques anomalies, constatées dans les observations avec l'astrolabe . . . . .	115
Bibliographie . . . . .	119
Annexes . . . . .	120





Les six premiers chapitres donnent une description et une analyse des observations faites à Curaçao pendant l'Année Géophysique Internationale 1957-1958: établissement de la station, observations avec la lunette méridienne, l'astrolabe et la caméra lunaire, détermination de l'heure et amélioration du catalogue fondamental. Dans les chapitres 7 et 8 on a étudié quelques anomalies, constatées pour les observations avec l'astrolabe.

Quant à l'établissement de la station on précise le personnel et l'équipement et on donne une description des abris pour les instruments.

Avec la lunette méridienne de Pistor et Martins on a observé 178 séries, représentant 1742 passages. La précision des observations est fortement dépendante de l'habileté de l'observateur: dans les derniers mois l'écart quadratique moyen interne sur la correction de l'horloge d'une série de 10 étoiles est égal à 4,4 msec. Comme la précision externe était très faible, on n'a plus fait d'observations dans la deuxième moitié de 1958, pour avoir davantage de temps pour l'astrolabe. On a calculé des écarts quadratiques moyens d'un enregistrement isolé avec le micromètre impersonnel et d'une lecture isolée des niveaux. On a montré que les valeurs élevées de la correction de l'azimut n'affectent pas la correction de l'horloge.

Les 265 séries, représentant 6539 passages, observées avec l'astrolabe A. Danjon, ont été recalculées à l'aide d'une calculatrice électronique en appliquant entre autres des corrections de lissage interne et des corrections pour l'effet de rang. Le raccordement des groupes a été effectué d'après la méthode des observations en chaîne. Les écarts quadratiques moyens internes sur la latitude et le temps équivalent à 0",04; la précision externe est à peine plus faible. On a déterminé la variation de la latitude. Une étude de cette variation a montré un changement de la latitude d'environ 0",10 au sud pendant l'année 1958; ce changement est causé soit par des effets locaux soit par des erreurs systématiques d'observation.

Avec la caméra lunaire de W. Markowitz on a pris 36 paires de photos bien réussies, qui ont été envoyées à Washington, où l'interprétation serait effectuée.

La station de Curaçao a fonctionné comme un service horaire temporaire, et ses résultats ont été utilisés par le Bureau International de l'Heure à Paris. La qualité des observations et de la réception des signaux horaires, calculée par le B.I.H., est bonne. Pour la lunette méridienne et l'astrolabe on a déterminé les variations de l'heure observée par rapport à un temps atomique; la meilleure précision de l'astrolabe est évidente. La variation, déduite des observations avec l'astrolabe a été étudiée en retirant le mouvement du pôle et la variation progressive de la rotation de la Terre: il semble qu'il n'y a pas d'effets locaux. Pour la période 1 août 1957 - 1 janvier 1959 on a réduit les longitudes moyennes des deux instruments.

D'après les observations méridiennes on a calculé des valeurs approximatives des erreurs  $\Delta\alpha$  de 183 étoiles et des erreurs systématiques  $\Delta\alpha_\delta$  par rapport au FK3R; les groupes ne pouvaient pas être raccordés. D'après les observations avec l'astrolabe on a pu calculer  $\Delta\alpha$  de 106 étoiles et  $\Delta\delta$  de 70 étoiles, ainsi que les erreurs systématiques  $\Delta\alpha_\delta$ ,  $\Delta\delta_\delta$ ,  $\Delta\alpha_a$  et  $\Delta\delta_a$  par rapport au FK4. La valeur calculée de  $\Delta\alpha_\delta$  des étoiles les plus au nord n'est pas juste. Probablement à cause du raccordement des groupes on trouve un fuseau d'ascensions droites de 12<sup>h</sup> à 20<sup>h</sup> avec des valeurs trop positives de  $\Delta\alpha$ .

On a montré que les résidus négatifs des premières étoiles et la diminution du rayon du cercle de hauteur pendant la nuit, constatés pour les observations avec l'astrolabe, ont été causés par le changement du gradient de la température dans le prisme équilatéral. Afin d'éviter les erreurs citées, il faut placer le prisme sur l'instrument au moins une demi-heure avant le début des observations et garder constante la différence de température entre l'air et l'instrument pendant les observations. Pour la détermination des corrections de raccordement en rayon on a tenu compte de la cause citée du changement systématique du rayon entre deux groupes consécutifs.

Pour les observations avec l'astrolabe on a constaté des écarts personnels en temps comme en latitude, qui équivalent à  $0^s,005$  et  $0'',06$  pour les observateurs ROLFF et SCHEEPMAKER. Ces écarts ne sont pas des exceptions; ils se produisent également à l'Observatoire de Paris. L'étude effectuée n'a pas conduit à une explication satisfaisante. Quant à la valeur anormale de  $\Delta\alpha_s$ , déduite des observations avec l'astrolabe et citée plus haut, elle a été causée par des résidus négatifs dans le nord-est. Pour expliquer cet effet on a émis deux hypothèses.

## INTRODUCTION

Vu l'intérêt international des observations faites à Curaçao pendant l'Année Géophysique Internationale 1957–1958, il importe que le plus d'observatoires possibles puissent prendre connaissance des résultats, ainsi que des méthodes utilisées. Comme on a mis en circulation déjà plus de 30 astrolabes A. Danjon, distribués dans le monde entier, il est d'importance de faire connaître la recherche des quelques anomalies de cet astrolabe afin de profiter davantage de la bonne qualité de l'instrument. C'est pour ces raisons qu'on trouve ici un résumé en français du texte hollandais, en supposant connues les méthodes des observations géodésiques-astronomiques et des observations avec l'astrolabe en particulier.

L'analyse des résultats, ainsi que les recherches sur l'astrolabe ont été effectuées à l'Observatoire de Paris avec l'aide financière d'une *NATO Science Fellowship*, accordée par l'intermédiaire de l'Organisation Néerlandaise pour le Développement de la Recherche Scientifique (Z.W.O.).

### CHAPITRE I

#### L'ÉTABLISSEMENT DE LA STATION

##### **Personnel et équipement**

L'initiative d'établir une station géodésique-astronomique à Curaçao, Antilles Néerlandaises, a été prise par M. R. ROELOFS, professeur à l'Université Technologique de Delft. M. ROELOFS avait également la responsabilité générale de l'entreprise.

Les observations et les réductions à Curaçao ont été effectuées par MM. J. ROLFF et A. C. SCHEEPMAKER, aidés par MM. A. J. RAVENSBERGEN et B. TEUSINK, qui ont fait quelques observations à l'astrolabe et par Mlle J. T. VERBRUGGE et, temporairement, par M. A. F. BAANK avec les réductions.

L'équipement a été composé des trois instruments d'observation suivants :

- une petite lunette méridienne de Pistor et Martins
  - un astrolabe A. Danjon
  - un équatorial avec la caméra lunaire de W. Markowitz
- et une installation électronique, dont les appareils les plus importants sont :
- un chronographe imprimant, Belin 1/100 sec, type Sahara
  - un chronographe imprimant, Omega, type Time Recorder
  - trois horloges à quartz, Airmec
  - trois postes récepteurs
  - un oscillographe cathodique.

### **Abris pour les instruments**

La figure 1 (page 4) donne une vue et la figure 2 (annexe 1) représente le plan de la station. Outre les deux maisons pour les observateurs, on a construit quatre bâtiments pour les instruments. Dans l'un des deux bâtiments en briques, nommé poste central, on a installé les appareils électroniques. La température à l'intérieur a été maintenue constante ( $+20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ). Dans l'autre bâtiment en briques (fig. 3, page 5) on a abrité la lunette avec la caméra lunaire. Comme la lunette s'élevait au-dessus du toit pendant les observations, il a été nécessaire de construire du côté du vent (à l'est) un mur avec un brise-vent.

Les pavillons abritant la lunette méridienne et l'astrolabe étaient de même construction (fig. 4, page 5). Afin d'éviter des tourbillons d'air au-dessus de l'instrument et afin d'utiliser au mieux le grand vent d'est, on a construit le toit plus étendu que le pavillon lui-même, avec une inclinaison de  $2^\circ$  à  $3^\circ$  vers l'est. La paroi est était de forme circulaire. Pour satisfaire aux exigences thermiques la charpente était établie en cornières métalliques ajourées, peintes en aluminium et les parois étaient de tôles ondulées „éternit”, peintes en blanc. Le toit mobile a été construit en double et le plancher placé à environ 20 cm au-dessus du terrain pour permettre une circulation d'air.

## CHAPITRE 2

### OBSERVATIONS AVEC LA LUNETTE MÉRIDienne

#### **L'instrument**

Pour la détermination de l'heure locale nous avons utilisé la petite lunette méridienne coudée de Pistor et Martins (fig. 5, page 7) - distance focale 861 mm, dia-

mètre d'ouverture 67,8 mm, grossissement de  $85\times$  – munie d'un micromètre impersonnel enregistreur de Repsold.

Pour mesurer l'inclinaison de l'axe de rotation deux niveaux à bulle ont été utilisés: jusqu'au 29 mai 1958 un niveau avec une division =  $0^s,083$ , ensuite un niveau avec une division =  $0^s,114$ . Les niveaux ont été contrôlés régulièrement avec une éprouvette à niveau.

La roue à 12 contacts du micromètre a été remplacée par un nouveau système électronique (fig. 6, page 7), construit à l'Université de Delft et décrit dans [6]. Le principe de ce système est que les enregistrements sont effectués par les impulsions d'une cellule photo-électrique qui fonctionne si une des 5 ouvertures, dans un cylindre tournant, passe devant une ouverture fixe.

Les profils des tourillons de l'axe de rotation de l'instrument ont été mesurés par une méthode, décrite dans [7]. Le diamètre du cercle du profil du côté de l'oculaire était de 39,298 mm et du profil de l'autre côté de 39,296 mm; les écarts de la forme circulaire étaient inférieurs à 0,1 micron.

### Composition des groupes et réduction

Les étoiles observées sont exclusivement celles du catalogue FK3R; la magnitude et la distance zénithale sont limitées à 5,7 et  $\pm 30^\circ$ . Pour la composition des groupes on a appliqué la méthode donnée par M. R. ROELOFS dans [8]. Cette méthode est basée sur:

- un retournement de l'axe de rotation et du niveau au milieu de chaque passage;
- l'observation du même nombre d'étoiles nord et sud.

Ainsi on a formé 24 groupes; chaque groupe comprend 10 étoiles et la durée d'observation n'excède pas une heure.

La formule utilisée pour la réduction des observations est celle de Mayer:

$$\Delta T = a - T + Aa + Bb + Cc$$

avec

$$A = \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta}, \quad B = \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} \quad \text{et} \quad C = \frac{1}{\cos \delta}$$

Les ascensions droites sont calculées d'après le catalogue FK3: les *Apparent Places of Fundamental Stars*. Pour passer au catalogue FK3R on a utilisé: *Individuelle Verbesserungen des FK3 nördlich von  $-30^\circ$  Deklination*, publié par le Astronomisches Rechen-Institut à Heidelberg. On a tenu compte des termes à courte période de la nutation sous la forme:  $N = d\psi \cdot da(\psi) + d\varepsilon \cdot da(\varepsilon)$  d'après la notation des *Apparent Places*. Comme l'inclinaison de l'axe de la lunette était suffisamment stable on a utilisé une seule valeur de l'inclinaison pour toutes les étoiles d'une série; cette valeur étant la moyenne de 10 lectures du niveau. Retournant la lunette au milieu d'un passage, il reste seulement à tenir compte de „l'épaisseur” moyenne des contacts utilisés pour la correction de collimation. Comme cette épaisseur moyenne change, si le circuit électronique change, elle a été contrôlée régulièrement. La correction de la collimation et la correction  $K$  de l'aberration diurne – qui équivaut à  $+0^s,021 \text{ sec } \delta$  pour Curaçao – ont été appliquées en même temps.

Pour le calcul de la correction  $a$  de l'azimut on a suivi la méthode indiquée dans le manuel d'instructions pour l'Année Géophysique Internationale.

Soit  $l = a - T + Bb + C(c + K)$ , on a pour une série de  $n$  étoiles:

$$a = \frac{l_i - l_j}{A_j - A_i} \quad \begin{array}{ll} i = 1 \rightarrow \frac{1}{2}n & \text{pour les étoiles nord} \\ j = \frac{1}{2}n + 1 \rightarrow n & \text{pour les étoiles sud} \end{array}$$

Chaque passage donne  $\Delta T_k = A_k \cdot a + l_k$  ( $k = 1 \rightarrow n$ ) et la correction de l'horloge pour une série est:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_k}{n}$$

La figure 8, annexe 2, montre un spécimen d'une feuille de réduction.

### Résultats

De juillet 1957 jusqu'à octobre 1958, 178 séries ont été observées représentant 1742 passages. Dans les derniers mois de 1958 on n'a plus fait d'observations pour avoir davantage de temps pour l'astrolabe qui donnait de meilleurs résultats. Les corrections de l'horloge ont été utilisées pour la détermination de l'heure et de la longitude (voir le chapitre 5). Les résidus des étoiles observées permettent d'améliorer le catalogue FK3R, ce qui sera décrit dans le chapitre 6.

#### *Correction de l'azimut*

Pour les deux observateurs R et S la figure 9 (annexe 3) donne la variation de la correction  $a$  de l'azimut, comptée du nord vers l'est. Il faut noter qu'au 1er avril 1958 l'azimut changeait à cause d'un nettoyage de l'instrument. Après quelques observations l'azimut de l'instrument était rétabli au 15 avril. La continuité apparente avant le 1er avril et après le 15 avril est donc un hasard. La figure 9 montre une diminution forte de l'azimut.

Quant aux valeurs élevées de  $a$ , on a montré (voir la page 13) que les termes négligés dans la formule de Mayer n'affectent pas la détermination de  $\Delta T$ .

#### *La précision*

L'accord interne d'une série est caractérisé par l'écart quadratique moyen  $m_{\Delta T}$  des résidus. Le tableau 1 (page 15) donne le nombre des séries observées et les moyennes mensuelles de  $m_{\Delta T}$  pour les observateurs R et S. Il est visible que la précision croît rapidement: à partir de février 1958 la moyenne de  $m_{\Delta T}$  est à peu près constante et est égale à  $0^s,014$ . De cet accord interne on peut déduire l'écart quadratique moyen sur la correction de l'horloge d'une série de 10 étoiles. Il est égal à  $0^s,014 : \sqrt{10} = 0^s,0044$ . Notons que cette valeur n'inclut pas les erreurs des constantes instrumentales.

La formule classique de l'écart quadratique moyen d'un enregistrement isolé avec le micromètre impersonnel est:

$$m_t^2 = p^2 + q^2 \cdot \sec^2 \delta$$

$p$  et  $q$  étant des constantes;  $q$  est dépendante du grossissement  $V$  de la lunette. On a calculé, d'après 100 passages pendant les cinq derniers mois, les valeurs de  $p$  et  $q$  pour le micromètre utilisé. On a trouvé:

$$p = 0^s,026 \text{ et } q = \frac{3^s,6}{V}.$$

Pour l'écart quadratique moyen d'une lecture isolée du niveau on a calculé:

$$\text{pour le niveau 1 div.} = 0^s,083, \quad m_b = 0^s,0125$$

$$\text{pour le niveau 1 div.} = 0^s,114, \quad m_b = 0^s,0137$$

La formule classique est  $m_b = A/H$ , où  $H$  est la valeur d'une division. Pour les deux niveaux on trouve pour  $A$  respectivement 0,17 et 0,16.

### CHAPITRE 3

#### OBSERVATIONS AVEC L'ASTROLABE

Pour la détermination simultanée de l'heure locale et de la latitude par la méthode des hauteurs égales, nous avons utilisé un astrolabe A. Danjon, type OPL, numéro 03 (fig. 11 et 12, page 16). On trouve dans [12] une description complète de cet instrument.

#### Composition des groupes et réduction

On a formé 12 groupes d'étoiles, chaque groupe comprenant 29 étoiles et toutes les étoiles étant celles du catalogue FK3R. Les 4 premières colonnes du tableau 2 (annexe 4) contiennent pour ces 12 groupes: le numéro de l'étoile d'après le FK3R, le temps sidéral du passage, l'azimut et la magnitude.

Dans une large mesure on a suivi la méthode de réduction de M. B. GUINOT, décrite dans [13]. Les positions des étoiles ont été calculées à partir du catalogue FK3 *Apparent Places of Fundamental Stars* et les corrections FK3R—FK3 des *Individuelle Verbesserungen des FK3 nördlich von  $-30^\circ$  Deklination* de l'Astronomisches Rechen-Institut à Heidelberg. Les valeurs approchées de la latitude et de la longitude sont:

$$\varphi_0 = +12^\circ 09' 50'',00 \quad \lambda_0 = +4^h 35^m 39^s,731$$

Pour tenir compte de l'aberration diurne la valeur de  $\lambda_0$  a été augmentée de  $0^s,018$ . La valeur approchée de la distance zénithale instrumentale  $z_0$  est de  $30^\circ 00' 00'',00$  et la valeur utilisée pour les heures „calculées” des passages  $z_0'$ :  $30^\circ 00' 32'',00$  ( $32'',00$  étant l'ordre de grandeur de la réfraction).

A cause de la courbure du parallèle et de l'almucantarats on a apporté des corrections  $A(X)$  et  $B(a)$ . Elles sont calculées par les formules dans [13], page 293.\*) Les

\*) Voir errata Bulletin Astronomique, t. 21, fasc. 2.

corrections  $A(X)$  en fonction du nombre  $i$  des intervalles sont indiquées dans le tableau 3 (annexe 5); un intervalle équivaut à 1/12 de la distance entre les fils verticaux extrêmes. Les corrections  $B(a)$  figurent dans le tableau 2 (annexe 4).

Pour tenir compte des déplacements du plan focal de l'instrument on a déterminé les corrections  $\varepsilon_1$ :

$$\varepsilon_1 = K_0 \cdot (v_0 - v_m), \quad \text{où } K_0 = 25",84$$

La constante  $v_m$  n'a pas été déterminée jusqu'au 27 septembre 1957 en raison des difficultés causées par les mauvais contacts de l'enregistrement. Dès cette date  $v_m$  a été contrôlée régulièrement; les valeurs sont:

$$\text{pour la longue course: } +0,0127$$

$$\text{pour la petite course: } +0,0109$$

Les corrections de la réfraction ont été calculées d'après la formule:

$$\varepsilon_2 = -0",260 + 0,42 \Delta p - 0,110 \Delta t$$

où  $\Delta p = p - 760$  mm Hg et  $\Delta t = t - 25$  °C. Dans cette formule on a tenu compte de la valeur 32",00, qui était ajoutée à la valeur approchée de la distance zénithale instrumentale. On a lu la température et la pression au début et à la fin d'une série, en même temps que le  $v_0$ . Les corrections  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$  pour chaque étoile ont été déterminées par interpolation linéaire.

Les résultats d'une observation d'une série sont:

- la correction en latitude,  $\Delta\varphi$ :  $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$
- la correction en temps,  $\Delta\Delta T$ :  $\Delta T = \Delta T_0 + \Delta\Delta T$
- le rayon du cercle ajusté,  $r$ :  $z = z_0 - r$
- les résidus,  $v$ :  $v = \delta h + \Delta\varphi \cos a + \Delta\Delta T \sin a - r$

La figure 13 (annexe 6) donne un spécimen de la feuille de réduction.

### L'effet de rang

A l'Observatoire de Paris on a constaté que les résidus des premières étoiles d'une série sont, en général, négatifs (voir [15]). Soient  $w_i'$  et  $w_i''$  les résidus moyens d'une étoile de rang  $i$  d'un groupe observé en premier lieu dans une nuit et en deuxième lieu et  $\bar{w}_i'$  et  $\bar{w}_i''$  les moyennes des 12 groupes. Les différences  $(\bar{w}_i' - \bar{w}_i'')$ , obtenues à l'Observatoire de Paris, sont représentées dans la figure 14 (page 22), où cet effet est clair. Jusqu'à maintenant on expliquait cet effet par l'adaptation à l'obscurité de l'oeil.

Comme il y a des raisons de douter de l'explication donnée et comme il est délicat de tirer des conclusions des *différences*, on donne pour les observations à Curaçao les variations de  $\bar{w}_i'$  et  $\bar{w}_i''$  séparément. Les résidus étant liés aux azimuts par suite des erreurs systématiques du catalogue, des corrections ont été appliquées suivant la figure 15 (annexe 7). La figure 16 (page 24) montre les résultats pour les observateurs R et S. Pour Curaçao aussi les premiers résidus sont négatifs; pour S il apparaît même une variation pour les deuxièmes séries.

L'effet sera étudié en détail dans le chapitre 7.

## Deuxième réduction

Toutes les séries ont été recalculées à l'aide d'une calculatrice électronique I.B.M. 650 de l'Observatoire de Paris. Le programme était celui utilisé pour les observations faites à cet observatoire. Une raison importante d'appliquer des corrections de lissage interne est de rendre comparables les résultats des séries complètes et des séries incomplètes. A cause des enregistrements parasites, il était souvent nécessaire de supprimer une étoile, d'où il résulte qu'il n'y a que 28 séries complètes sur les 265 séries observées. Pour le calcul des corrections de lissage interne on est parti des résidus moyens par rapport au FK3R de la première réduction; ils ont été corrigés pour l'effet de rang avec des valeurs approchées selon la figure 16 (page 24). Les résidus moyens  $\bar{v}_3$ , ainsi corrigés, sont fournis au tableau 4 (annexe 8), avec le nombre  $n$  des observations de l'étoile et l'écart quadratique moyen  $\sigma$ . Comme les observations peuvent être réduites par rapport au nouveau catalogue FK4 il faut y ramener les valeurs de  $\bar{v}_3$ . Les résidus moyens par rapport au FK4,  $\bar{v}_4$ , figurent dans la 5ème colonne du tableau 4. Pour le lissage interne on a retranché ces résidus moyens à  $\delta h$ .

Pour la première réduction à Curaçao on n'a pas tenu compte de la marche de l'horloge, qui synchronisait le chronographe, pendant la durée d'une série. La deuxième réduction donne des possibilités de correction pour les marches des horloges K0, K1 et K2, données en msec par jour (en chiffres ronds) au tableau 5 (annexe 9).

Les corrections de la parallaxe annuelle sont celles de JENKINS, *General Catalogue of trigonometric stellar parallaxes*, Yale, 1952.

Les valeurs des corrections appliquées de l'effet de rang sont indiquées au tableau 6 (annexe 10). Les valeurs de R et S ont été tirées de la figure 16 (page 24) après avoir lissé les courbes. Pour les observateurs RA et T les valeurs des premières séries sont les moyennes de celles de R et S, pour les deuxièmes séries on a admis une variation nulle.

Comme décrit plus haut, jusqu'au 27 septembre la constante  $v_m$  n'était pas déterminée; les contacts étaient souvent changés. Dans cette période 22 séries ont été observées et pour la réduction on supposait  $v_m = 0$ . Cependant, pour éviter des erreurs en latitude, il faut que les nombres des étoiles au méridien nord et sud soient égaux. Dans ce but quelques étoiles ont été éliminées. De plus, on n'a pas utilisé les résidus de ces 22 séries pour l'amélioration du catalogue.

## Résultats

Du 25 juillet 1957 au 3 janvier 1959, 265 séries ont été observées représentant 6539 passages. Contrairement à ce qu'on attendait le temps a été très souvent nuageux: dans 86 nuits seulement il a été possible d'observer deux séries consécutives.

Les corrections de l'horloge ont été utilisées pour la détermination de l'heure et de la longitude, les corrections en latitude pour la variation de la latitude locale et les résidus pour l'amélioration du catalogue.

### *Raccordement des groupes*

La méthode employée pour le raccordement des groupes en latitude et en temps est



celle des observations en chaîne. Les différences entre des groupes consécutifs de la même nuit et du même observateur figurent dans les tableaux 7 et 8 (annexes 11 et 12) avec la date et le poids. Les différences en temps ont été corrigées de la marche de l'horloge. Les erreurs de fermeture en  $\varphi$  et  $\Delta T$  et leurs écarts quadratiques moyens sont  $-0",07$  ( $0",11$ ) et  $-0^s,004$  ( $0^s,012$ ). Elles ne sont pas significatives et peuvent être réparties également sur toutes les différences. Les tableaux 7 et 8 donnent le calcul des corrections de raccordement, qui sont à ajouter à  $\varphi$  et  $\Delta T$  pour passer à un groupe moyen  $g$ .

Le tableau 9 (annexe 13) montre les différences en rayon  $r$  et leurs moyennes. L'erreur de fermeture est fortement significative:  $+1",58$  ( $0",12$ ). Comme il est délicat de la répartir également sur toutes les différences moyennes, on a suivi une autre méthode pour déterminer les différences moyennes. Comme il sera expliqué dans le chapitre 7 il existe une corrélation entre la variation du rayon  $r$  pendant une nuit et la variation de la différence entre la température frondée  $t_s$  et la température de l'instrument  $t_i$ . Soit  $\tau = \bar{t}_i - \bar{t}_s$ , où  $\bar{t}$  est la moyenne de la température au début et à la fin d'une série, on a porté dans la figure 17 (page 28) les différences  $(r_1 - r_2)$  en fonction des différences  $(\tau_1 - \tau_2)$ ; les indices étant le rang des séries observées pendant une nuit. Pour chaque combinaison de groupe on a fait la moyenne des écarts à une courbe lissée. Les  $(r_1 - r_2)$ , corrigées de ces moyennes et portées sur une deuxième graphique, permettent de faire une courbe lissée plus précise. En répétant ce procédé on trouve enfin, outre une courbe invariable, des moyennes invariables pour chaque combinaison de groupe. Ces moyennes, étant les différences moyennes de  $(r_1 - r_2)$ , réduites de l'effet systématique, sont données en gras dans le tableau 9. Le calcul des corrections de raccordement en  $r$ , qui sont à ajouter à  $r$ , dans le tableau 9 est comme celui des corrections en  $\varphi$  et  $\Delta T$ .

Les moyennes des écarts quadratiques moyens des corrections de raccordement sont pour:

$$\begin{array}{l} d\Delta\varphi \dots\dots\dots 0",02 \\ d\Delta T \dots\dots\dots 0^s,002 \\ dr \dots\dots\dots 0",03 \end{array}$$

Elles ont été calculées à partir des différences en  $\varphi$ ,  $\Delta T$  et  $r$ , qui figurent dans les tableaux 7, 8 et 9.

### *La précision*

Le tableau 10 (page 30) montre les moyennes mensuelles des écarts quadratiques moyens en distance zénithale d'une observation isolée et le nombre des séries observées. L'écart quadratique moyen de la première réduction est indiqué par  $m_1$ , celui de la deuxième réduction par  $m_2$ . La valeur moyenne de  $m_1$  pour les observateurs R et S dans la période après le 1er avril 1958 est de  $0",18$ , celle de  $m_2$  est de  $0",13$ . La valeur la plus petite de  $m_2$  est égale à  $0",09$ . Si les étoiles sont bien réparties en azimut on trouve, théoriquement, pour les écarts quadratiques moyens sur la latitude et le temps (d'après  $m_2 = 0",13$ ):

$$m_\varphi = 0",035 \quad \text{et} \quad m_{\Delta T} = 0^s,0023$$

A titre de contrôle, on a calculé les moyennes de  $m_\varphi$  et  $m_{AT}$  d'après les observations; elles équivalent à  $0'',039$  et  $0'',0025$ .

Pour comparer les précisions internes obtenues avec l'astrolabe et la lunette méridienne, la figure 18 (page 31) donne les moyennes mensuelles des écarts quadratiques moyens sur un enregistrement isolé pour les deux instruments. Pour l'astrolabe les valeurs de  $m_1$  et pour la lunette méridienne les valeurs de  $m_{AT}$  ont été utilisées, les deux étant calculées sans corrections de lissage interne. Notons que la précision des observations méridiennes est beaucoup plus dépendante de l'habileté de l'observateur que celle des observations avec l'astrolabe.

### Variation de la latitude

Comme les corrections de raccordement des 12 groupes sont connues, on peut déterminer la variation de la latitude  $\varphi$  par rapport à un groupe moyen. Le tableau 11 (annexe 14) donne le calcul des moyennes de  $\Delta\varphi$  pour les périodes indiquées. Les moyennes ont été calculées avec pondération; l'écart quadratique moyen de l'unité de poids est de  $0'',09$ . Les périodes ont été choisies de sorte que la somme des poids reste égale pour chaque moyenne. Les moyennes calculées dans le tableau 11 sont portées sur le graphique de la figure 19 (page 32). On voit qu'il existe des écarts personnels très nets. La différence entre les observateurs R et S est à peu près constante et équivaut pour l'année 1958 à  $0'',06$ .

Par rapport aux courbes lissées de la figure 19 on peut calculer pour chaque observateur l'écart quadratique moyen externe. Les valeurs pour R, S, RA et T sont égales à  $0'',057$ ,  $0'',050$ ,  $0'',113$  et  $0'',060$ . Abstraction faite des écarts personnels l'écart quadratique moyen externe est alors un peu plus élevé que l'écart quadratique moyen interne ( $0'',039$ ).

L'influence du mouvement du pôle sur la latitude  $\varphi$  est à calculer d'après la formule:

$$d\varphi = x \cdot \cos \lambda + y \cdot \sin \lambda$$

où  $x$  et  $y$  sont les coordonnées du pôle et  $\lambda$  la longitude. La courbe (a) de la figure 20 (annexe 15) représente la variation  $d\varphi$ , déduite des valeurs provisoires du mouvement du pôle, calculées par M. N. Стойко du B.I.H. à Paris d'après les données du S.I.R. et ramenées au pôle moyen de l'époque (données aimablement communiquées par M. N. Стойко). La courbe (b) représente  $d\varphi$  d'après les valeurs, publiées par le S.I.L. et exprimées par rapport au pôle de référence de ce Service. La variation observée, au-dessous de la figure 20, est la variation moyenne des observateurs R et S, tenant compte d'une différence de  $0'',06$  entre les deux observateurs.

Bien que le mouvement du pôle ne soit pas définitivement connu, on peut déterminer approximativement la variation résiduelle en retirant les valeurs  $d\varphi$  de la variation de la latitude observée. La figure 21 (page 34) donne cette variation résiduelle, en utilisant le mouvement du pôle d'après le B.I.H. Il faut remarquer qu'il apparaît un changement d'environ  $0'',10$  par an. La durée des observations a été trop courte en mettre la cause en évidence.

Comme il n'est pas possible de donner une seule valeur pour la latitude de la

station de Curaçao, il faut se borner à donner les limites de la variation. Elles sont, par rapport au pôle moyen de l'époque du B.I.H. et d'après les observations des observateurs R et S pendant l'année 1958, égales à  $+12^{\circ}09'51''{,}55$  et  $+12^{\circ}09'51''{,}75$ .

#### CHAPITRE 4

### OBSERVATIONS AVEC LA CAMÉRA LUNAIRE

La caméra lunaire de W. Markowitz a été associée à une lunette d'environ 4 mètres, muni d'un objectif de 30 cm (fig. 22 et 23, pages 35 et 36). La caméra a été prêtée par le U.S. Naval Observatory à Washington et la lunette a été construite à Washington sur demande.

Les observations à Curaçao ont été commencées plus tard qu'on ne s'y attendait. Comme les dernières pièces n'ont été livrées qu'en janvier 1958, on n'a pu prendre les premières photos que le 31 janvier 1958 seulement. Les premiers résultats ne furent pas satisfaisants: les images n'étaient pas nettes et les plaques souvent voilées. La déformation des images avait été causée par le grand vent d'est, en mettant en mouvement la lunette, qui s'élevait de deux mètres au-dessus du toit du pavillon pendant les observations. Afin d'essayer de réduire cet effet nuisible, on a construit du côté du vent un mur avec un lattis de bois (voir la figure 3, page 5). La plupart du temps on a obtenu des résultats meilleurs. Le voile sur les plaques a été causé par la lumière lunaire parasite, qui pouvait entrer dans la caméra par une ouverture. Cette ouverture, dont la grandeur dépend de la position de la caméra, a dû être masquée pour chaque observation. Les premières photos bien réussies furent prises le 28 juin 1958.

Les plaques utilisées étaient des plaques de verre, Kodak,  $16 \times 16$  cm, sensibles au bleu et munies d'un „anti-halation-coating”. En combinant le type de plaque et le temps de pose, les meilleurs résultats dans toutes les circonstances ont été obtenus avec le type II-O ou IIa-O et 20 secondes. Les circonstances atmosphériques les plus favorables permettaient ainsi de photographier des étoiles de la magnitude 9,7. Les plaques ont été développées avec Kodak D76, coupé dans la proportion de  $1/10^e$ , et fixées avec Kodak Acid Fixer.

Pour chaque nuit d'observation on a porté sur le graphique les positions de la lune et des étoiles environnantes. On en trouve un spécimen dans la figure 24 (annexe 16). Dans ces plans figurent les données suivantes: le numéro des étoiles d'après le *Yale Zone Catalogue*, leur magnitude et leur type spectral. A l'aide de ces plans, les images des étoiles apparaissant sur les plaques ont été reconnues et marquées; les numéros des étoiles ont été ajoutés.

Les plaques, les plans et les heures TU aux moments des poses, réduites au signal horaire WWV, ont été envoyés à Washington après chaque lunaison. Le tableau 12 (page 39) donne les observations. On a pris au total 148 photos, dont 36 paires bien réussies ont été envoyées à Washington, où la mesure des plaques et l'interprétation seraient effectuées. Jusqu'à présent nous ne connaissons pas les résultats.

## CHAPITRE 5

## DÉTERMINATION DE L'HEURE ET DE LA LONGITUDE

**Curacao, comme service horaire**

Pour la réduction de la correction d'horloge on a adopté les longitudes conventionnelles suivantes:

pour l'astrolabe  $\lambda_0 = +4^{\text{h}}35^{\text{m}}39^{\text{s}},731$

pour la lunette méridienne  $\lambda_0 = +4^{\text{h}}35^{\text{m}}39^{\text{s}},800$

D'après la décision de l'U.A.I. à Dublin (1955) on a rectifié les corrections de l'horloge observées en raison de l'irrégularité saisonnière de la rotation de la Terre ( $\Delta T_s$ ) et de l'influence du déplacement du pôle ( $\Delta\lambda$ ), de sorte que:  $TU_0 + \Delta\lambda + \Delta T_s = TU_2$ . Les corrections ont été calculées à partir des données, fournies par les tableaux A et B du Bulletin Horaire, série 4. Les équations personnelles, qui ont été ajoutées aux corrections de l'horloge déduites des observations méridiennes de l'observateur S, sont:

août et septembre 1957: + 38 msec

octobre 1957 – janvier 1958: 0

février 1958 – octobre 1958: + 30 msec

Elles ont été évaluées en comparant les résultats des observations méridiennes et ceux des observations avec l'astrolabe. La courbe interpolée a été obtenue par la méthode graphique. Vu la précision supérieure des observations avec l'astrolabe, on a attaché plus d'importance aux résultats de ces observations. Les corrections qui sont à apporter aux valeurs observées de  $\Delta T$  pour avoir l'heure interpolée VUT, sont indiquées par  $e$ .

On a utilisé trois horloges à quartz en temps moyen, Airmec, munies des cristaux *GT-cut*. Elles donnent lieu aux remarques suivantes:

K0 – fonctionnement 17 mois, 3 bonds de 90, 218 et 72 msec

K1 – fonctionnement 10 mois, 10 bonds de 20 msec ou le multiple

K2 – fonctionnement 15 mois, 12 bonds de 20 msec ou le multiple

Toutes les horloges ont été interrompues trois fois à cause d'une panne d'alimentation d'électricité: le 13 juillet, le 10 septembre et le 12 novembre 1958. Grâce au grand nombre des signaux horaires reçus, on a pu rétablir le raccordement. La comparaison des trois horloges a été effectuée deux fois par jour à l'aide d'un oscillographe cathodique (TSO), construit à Delft [16]. La figure 25 (annexe 17) donne les moyennes de 5 en 5 jours des marches journalières des trois horloges par rapport au temps atomique. Pour la variation du temps atomique on a utilisé les valeurs de  $\Delta Am$ , publiées par Mme A. SROYKO dans le Bulletin Horaire, série G, no. 8.

La réception des signaux horaires a été effectuée à l'aide des trois récepteurs suivants:

27 juin 1957 – 28 février 1958 } : Marconi B-21  
 6 mars 1958 – 15 mars 1958 }  
 28 février 1958 – 15 mars 1958 : Hallicrafters S-40A  
 15 mars 1958 – 4 janvier 1959 : Marconi HR-100

L'antenne était un dipôle rhomboïdal (fig. 26, page 44), orienté de façon à ce que la direction privilégiée soit celle de l'Europe. Les signaux ont été comparés avec l'horloge au moyen de l'oscillographe cathodique, mentionné plus haut. Les débuts des signaux ont été définis comme indiqué dans la figure 27 (page 44). La dernière colonne du tableau 13 (page 45) montre le nombre des signaux enregistrés et dépouillés.

Le tableau 14 (page 46) donne les précisions obtenues à Curaçao, calculées par le B.I.H. et publiées au Bulletin Horaire, série F. Les valeurs moyennes des 23 stations permanentes pour l'année 1958 figurent dans la dernière colonne du même tableau.

### La variation de l'heure observée

En appelant  $e'$  la correction  $e$  à TU0,  $P$  la correction de VUT par rapport à l'Observatoire moyen (Bulletin Horaire, série F) et  $\Delta Am$  la correction du temps atomique moyen par rapport à l'Observatoire moyen (Bulletin Horaire, série G, tableau IIA), on a, pour l'heure observée à TU0 par rapport au temps atomique moyen du B.I.H. :

$$W = -e' - P + \Delta Am$$

Pour les observations avec l'astrolabe des moyennes de  $W$  sont données dans le tableau 15 (annexe 18). On a appliqué une pondération: l'écart quadratique moyen de l'unité de poids est de  $0^s,006$  et chaque moyenne a approximativement le même poids (20). Les moyennes ont été portées sur le graphique de la figure 28 (page 48). Dans cette figure, ainsi que dans les figures 29 et 30, on a réduit les ordonnées d'une marche journalière linéaire de  $0^s,0013$ . Comme c'était le cas en latitude, il apparaît un écart personnel en temps, également; la différence ( $\Delta T_R - \Delta T_S$ ) est environ de  $-5$  msec. La figure 29 (page 48) représente la variation moyenne de R et S, en tenant compte d'un écart personnel de  $0^s,005$  entre les deux observateurs. On a calculé les écarts quadratiques moyens externes; pour les observateurs R, S, RA et T ils équivalent à  $0^s,0043$ ,  $0^s,0039$ ,  $0^s,0070$  et  $0^s,0053$ . L'écart quadratique moyen interne, calculé antérieurement pour les observateurs R et S, est de  $0^s,0025$ .

Les moyennes de  $W$  d'après les observations méridiennes sont données dans le tableau 16 (annex 19); le poids de chaque moyenne est environ 11, l'écart quadratique moyen de l'unité de poids étant d'environ  $0^s,007$ . Les moyennes ont été représentées dans la figure 30 (page 49), sur laquelle on a reproduit la variation obtenue avec l'astrolabe comme sur la figure 29. Les équations personnelles de S, comme indiquées plus haut, n'étant pas appliquées, on peut voir qu'elles n'ont eu aucune valeur. La précision externe n'est que très faible.

La variation, déduite des observations avec l'astrolabe (figure 29) a été étudiée en retirant le mouvement du pôle d'après M. N. STOYKO (voir page 100) et la variation progressive de la rotation de la Terre, calculée par M. A. DANJON [18].\*) Comme

\*) On a utilisé une courbe lissée, tracée parmi les points noirs (Paris) dans la figure 7 de cette publication.

cette variation progressive se rapporte à l'étalon de Teddington, on a appliqué des corrections d'après le tableau II A du Bulletin Horaire, série G. La variation résiduelle est représentée dans la figure 31 (page 51); pour la plupart elle est due à la variation annuelle de la rotation de la Terre. Quant à la différence en variation à la fin de 1957 et à la fin de 1958, il est probable qu'elle est due aux erreurs systématiques d'observation pour les premières observations: les valeurs de 1957 et celles de 1958 aux mêmes dates se rapprochent peu à peu et elles sont égales pour 1958.0 et 1959.0.

### La longitude

La longitude  $\lambda$  d'une station est définie par la différence de l'heure locale de cette station et l'heure locale de l'Observatoire de Greenwich au même instant:  $\lambda = T_G - T$ . Il n'est pas intéressant de calculer la variation de  $\lambda$ : elle serait influencée par les incertitudes de l'heure observée de la station de référence. C'est d'ailleurs impossible, les observations à Greenwich ayant cessé à partir du 1er juillet 1957.

Cependant, par approximation, on peut déterminer la moyenne de la longitude pour une certaine période. Soit  $\lambda_0$  la longitude conventionnelle, on a:  $\lambda = \lambda_0 + P - P_G$ , où  $P_G$  est la correction  $P$ , définie plus haut, de l'Observatoire de Greenwich. Alors, pour une certaine période on a, en moyenne:  $\bar{\lambda} = \lambda_0 + K - K_G$ . Mme A. ΣΤΟΥΚΟ du B.I.H. a pu calculer par extrapolation une valeur de  $K_G$  pour la période 1 juillet 1957 - 1 juin 1958 [19]:  $K_G = +0^s,0130$ . Déduit des valeurs de  $P$  du Bulletin Horaire, série F, on trouve pour Curaçao dans la période 1 août 1957 - 1 janvier 1959:  $K = -0^s,0533$ . En supposant pour cette période que  $K_G$  est égal à  $+0^s,0130$ , on aura donc pour la longitude moyenne:

de l'astrolabe:  $+4^h35^m39^s,665$

de la lunette méridienne:  $+4^h35^m39^s,734$

Les valeurs de  $K$  et de  $K_G$  sont basées sur les valeurs provisoires du mouvement du pôle, données au tableau B du Bulletin Horaire, série, 4. Ce mouvement du pôle, pourtant, est différent de celui calculé récemment par M. N. ΣΤΟΥΚΟ. Basé sur ce dernier mouvement du pôle on trouve:

pour l'astrolabe:  $\bar{\lambda} = +4^h35^m39^s,675$

pour la lunette méridienne:  $\bar{\lambda} = +4^h35^m39^s,744$

## CHAPITRE 6

### DÉTERMINATION D'ERREURS DU CATALOGUE

#### Détermination d'erreurs du catalogue à l'aide de la lunette méridienne

L'observation d'une étoile donne une valeur de la correction en temps  $\Delta T$ , qui s'écarte de la valeur moyenne  $\overline{\Delta T}$  d'une série:  $d = \overline{\Delta T} - \Delta T$ . On a calculé les résidus moyens  $\bar{d}$  pour toutes les étoiles observées au moins 4 fois. Dans le tableau 17 (annexe

20) on peut voir que les résidus moyens ne dépendent ni de la magnitude, ni du type spectral de l'étoile. Le même tableau montre les corrélations des écarts quadratiques moyens d'une observation isolée avec la magnitude, le type spectral et la déclinaison. Pour l'observateur R il y a deux valeurs qui diffèrent significativement de la moyenne ( $0^s,0128$ ): pour les étoiles de magnitude 5,1-5,5 et pour les étoiles dans la zone de déclinaison de  $+6^\circ$  à  $+18^\circ$ . Ces étoiles ont été observées avec une précision plus grande. Pour S il n'y a pas de différences significatives avec la moyenne ( $0^s,0146$ ).

$$\text{Soit } \Delta\alpha = \alpha_{\text{Me}} - \alpha_{\text{FK3R}},$$

un résidu  $d$  d'une étoile appartenant à un groupe de  $n$  étoiles correspond à:

$$d = \left( \frac{[A]}{n} - A \right) \frac{[\Delta\alpha_N] - [\Delta\alpha_S]}{[A_S] - [A_N]} + \frac{[\Delta\alpha]}{n} - \Delta\alpha$$

où les indices  $N$  et  $S$  indiquent les étoiles nord et sud. Par suite du manque de raccordement des groupes, il faudra se borner à supposer que  $\frac{[\Delta\alpha]}{n}$  ait la même valeur pour tous les groupes et que  $[\Delta\alpha_N] = [\Delta\alpha_S]$  pour chaque groupe. Le tableau 18 (annexe 21) contient les valeurs approximatives de  $\Delta\alpha$  ( $= -\bar{d}$ ) et leurs écarts quadratiques moyens  $\sigma$  pour 183 étoiles;  $n$  est le nombre des observations.

Quant aux erreurs systématiques du type  $\Delta\alpha_\delta$ , on ne peut calculer également que des valeurs approximatives; il faut supposer  $[\Delta\alpha_N] = [\Delta\alpha_S]$  dans la zone de déclinaison de  $-18^\circ$  à  $+42^\circ$ . Ces valeurs, à la constante  $\frac{[\Delta\alpha]}{n}$  près, sont données dans le tableau 19 (annexe 22), ainsi que leurs écarts quadratiques moyens  $\sigma$ . Dans les dernières colonnes de ce tableau figurent les différences en  $\Delta\alpha_\delta$  pour les deux observateurs: il n'existe pas d'effet personnel significatif.

### Détermination d'erreurs du catalogue à l'aide de l'astrolabe

On a fait les moyennes des résidus pour chaque étoile observée en faisant usage d'une pondération, dépendant de l'écart quadratique moyen  $m_2$  de la série. Les poids des résidus ont été limités par le poids correspondant à  $m_2 = 0'',10$ .

Le tableau 20 (annexe 23) donne la corrélation des résidus moyens avec le type spectral et la magnitude. Quant au type spectral il apparaît une diminution faible du type B au type M. Remarquables sont les écarts significatifs pour le type spectral A; ils ne sont pas liés à la déclinaison. Pour la magnitude on trouve aussi un changement faible: une diminution des étoiles brillantes aux étoiles faibles. Les valeurs ne sont pas significatives. Les résidus moyens classés par azimuth de l'étoile dans la figure 32 (annexe 24) font soupçonner un écart personnel (voir le chapitre 8).

Les moyennes des écarts quadratiques moyens d'une observation isolée par classe du type spectral, de la magnitude et de l'azimut sont données dans le tableau 20 (annexe 23). Les moyennes des observateurs R et S sont resp.  $0'',137$  et  $0'',133$ . Seulement la magnitude pour l'observateur R donne quelques différences significatives: les étoiles faibles sont moins bien observées que les étoiles brillantes.

Calculé d'après les observations de R et S le tableau 21 (annexe 25) contient les résidus moyens  $V'$  des étoiles observées et leurs écarts quadratiques moyens  $\sigma$ . Les résidus moyens n'ont pas été corrigés d'une influence éventuelle de la magnitude, du type spectral ou de l'azimut.

*Les erreurs individuelles  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$*

Dans ce qui suit, on a procédé de façon analogue à M. B. GUINOT [20]. Les résidus moyens  $V'$  ont été ramenés au groupe moyen en utilisant les corrections de raccordement, mentionnées aux tableaux 7, 8 et 9 (annexes 11, 12 et 13). Ces résidus moyens  $V$  figurent dans la dernière colonne du tableau 21. Les erreurs  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$  d'une étoile observée à double passage, peuvent être déduites du résidu moyen  $V_o$  de l'étoile observée à l'est et du résidu moyen  $V_w$  de la même étoile, observée à l'ouest, par les formules:

$$\Delta\alpha = \frac{V_o - V_w}{2 \cos \varphi \cdot \sin a} + \xi$$

$$\Delta\delta = -\frac{V_o + V_w}{2 \cos q} - \frac{\cos a}{\cos q} \cdot \eta + \frac{1}{\cos q} \cdot \theta$$

Les erreurs  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$  sont prises dans le sens astrolabe moins FK4,  $q$  représente l'angle à l'astre et  $a$  l'azimut, compté du nord vers l'est. Les trois inconnues  $\xi$ ,  $\eta$  et  $\theta$  sont les écarts en  $\Delta T$ ,  $\varphi$  et  $r$  respectivement du groupe moyen par rapport à la position vraie. Le tableau 22 (annexe 26) donne les erreurs  $\Delta\alpha$  à la constante  $\xi$  près, des 77 étoiles observées à double passage.

Pour obtenir une précision suffisamment élevée pour les erreurs  $\Delta\delta$ , il faut que les valeurs de  $\frac{1}{2 \cos q}$  soient inférieures à 1,5. Donc les  $\Delta\delta$  des étoiles de la déclinaison entre  $+3^\circ$  et  $+25^\circ$  ne seront pas calculées. Pour les étoiles utilisables le terme  $\frac{\cos a}{\cos q} \cdot \eta$  est approximativement constant, comme on peut le voir dans la figure 33 (annexe 27). Cependant, la même figure montre que le facteur  $\frac{1}{\cos q}$  varie beaucoup et limite la précision. Le tableau 22 (annexe 26) donne les erreurs  $\Delta\delta$ , ainsi que les valeurs des facteurs  $\frac{1}{\cos q}$  de 70 étoiles à double passage.

Pour quelques étoiles observées à un seul de leurs passages on peut calculer  $\Delta\alpha$  d'après la formule:

$$\Delta\alpha = \frac{V}{\cos \varphi \cdot \sin a} + \frac{\cos q}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \Delta\delta + \xi + \frac{\cos a}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \eta - \frac{1}{\cos \varphi \cdot \sin a} \cdot \theta$$

Comme seulement 6 sur 70 des valeurs de  $\Delta\delta$  sont supérieures à  $0'',30$  la valeur absolue du deuxième terme ne dépasse pas  $0^s,005$  si  $\left| \frac{\cos q}{\sin a} \right|$  est inférieur à 0,25. Les étoiles dans la zone des déclinaisons de  $+5^\circ 30'$  à  $22^\circ 00'$  remplissent cette condition. La variation des deux derniers termes de la formule sont à négliger pour la zone de



déclinaison mentionnée. Pour 29 étoiles supplémentaires les erreurs  $\Delta\alpha$  figurent dans le tableau 23 (annexe 28).

En principe on pourrait calculer, d'une façon analogue,  $\Delta\delta$  de quelques étoiles à un seul passage. Pour limiter l'erreur commise à  $0'',05$  il faut que l'expression  $\left| \frac{\sin a}{\cos q} \right|$  ne dépasse pas 0,17, si l'on admet une valeur maximum de  $\Delta\alpha$  de  $0^s,020$ . Cependant, pour Curaçao  $\left| \frac{\sin a}{\cos q} \right|$  est supérieur à 0,17 pour toutes les étoiles.

#### *Estimation de la précision interne de $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$*

La loi de propagation des erreurs donne pour les étoiles à double passage:

$$m_{\Delta\alpha}^2 = \frac{m_{V_o}^2 + m_{V_w}^2}{4 \sin^2\varphi \cdot \sin^2 a} \quad \text{et} \quad m_{\Delta\delta}^2 = \frac{m_{V_o}^2 + m_{V_w}^2}{4 \cos^2 q}$$

et pour les étoiles à un seul passage:

$$m_{\Delta\alpha}^2 = \frac{m_V^2}{\cos^2\varphi \cdot \sin^2 a} + \frac{\cos^2 q}{\cos^2\varphi \cdot \sin^2 a} \cdot m_{\Delta\delta}^2$$

Les écarts quadratiques moyens  $m_V$  dépendent des corrections de raccordement  $m_{d\Delta T}$ ,  $m_{d\Delta\varphi}$  et  $m_{d\alpha}$ . En posant:  $m_{d\Delta T} = m_{d\Delta\varphi} = m_{d\alpha} = 0'',025$  (voir plus haut), on a:

$$m_V^2 = m_{V'}^2 + 12$$

Comme le tableau 21 (annexe 25) le montre, les valeurs des écarts quadratiques moyens des résidus moyens varient de  $0'',03$  à  $0'',05$ ; on peut alors supposer  $m_{V'} = 0'',04$  en moyenne. Donc:

$$m_{\Delta\alpha} = \frac{0^s,0025}{\sin a}, \quad m_{\Delta\delta} = \frac{0'',037}{\cos q} \quad \text{et} \quad m_{d\alpha} = \frac{0^s,0044}{\sin a}$$

Les valeurs, ainsi calculées, entrent dans les tableaux 22 et 23 (annexes 26 et 28); elles sont indiquées par  $\sigma$ .

#### *Erreurs systématiques*

Les erreurs systématiques  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$  en fonction de la déclinaison ont été calculées par les formules:

$$\Delta\alpha_s = \frac{V_o - V_w}{2 \cos \varphi \cdot |\sin \bar{a}|} \quad \text{et} \quad \Delta\delta_s = - \frac{V_o + V_w}{2 \cos \bar{q}}$$

$\bar{a}$  et  $\bar{q}$  étant l'azimut et l'angle à l'astre au milieu d'une zone de la déclinaison.  $V_o$  et  $V_w$  sont les moyennes des résidus moyens par classe d'azimut à l'est et à l'ouest. Les tableaux 24 et 25 (annexe 29) donnent resp.  $\Delta\alpha_s$  et  $\Delta\delta_s$ .

Pour déterminer les erreurs systématiques  $\Delta\alpha_a$  et  $\Delta\delta_a$  on a formé des classes d'ascensions droites de 2 heures pour quelques zones de déclinaison. Outre les valeurs de  $\Delta\alpha$ , calculées précédemment, on a pu utiliser pour le calcul de  $\Delta\alpha_a$  64 étoiles supplémentaires à un seul passage en supposant que la valeur de  $\Delta\delta_a$  ne dépasse pas  $0'',10$ . Les valeurs de  $\Delta\alpha$  des étoiles à double passage ont été pondérées

par 2. Il n'est pas possible d'avoir des étoiles supplémentaires pour le calcul de  $\Delta\delta_a$ : même si  $\Delta\alpha_a$  est inférieur à  $0^s,010$ , aucune des étoiles observées ne remplit la condition  $\left| \frac{\sin a}{\cos q} \right| < 0,33$  pour limiter l'erreur de  $\Delta\delta_a$  à  $0'',05$ . Le tableau 26 (annexe 30) montre  $\Delta\alpha_a$  pour trois zones de déclinaison et  $\Delta\delta_a$  pour une zone;  $\sigma$  est l'écart quadratique moyen et  $n$  est le nombre des étoiles par moyenne.

### *Conclusion*

Les valeurs de  $\Delta\alpha$  des tableaux 22 et 23 (annexes 26 et 28) ont été portées sur les graphiques de la figure 34 (annexe 31) en fonction des coordonnées des étoiles. On voit que dans le fuseau d'ascensions droites de  $12^h$  à  $20^h$  les valeurs sont, en général, positives. Il est douteux que ces erreurs soient causées par le FK4; surtout la variation de  $\Delta\alpha_a$  dans la zone de déclinaisons  $+20^\circ$  à  $+35^\circ$  (voir le tableau 26, annexe 30) n'a pas été confirmée par des stations européennes. Il faut remarquer que les corrections du raccordement des groupes – d'une importance fondamentale pour ces erreurs – n'ont pas été déterminées avec haute précision à cause du petit nombre de combinaisons observées.

Pour les étoiles dont la déclinaison dépasse  $+35^\circ$  environ on trouve (voir aussi le tableau 24, annexe 29) des erreurs  $\Delta\alpha$  fortement négatives:  $\Delta\alpha_\delta = -0^s,016$ ,  $\sigma = 0^s,0038$ . Une comparaison avec les valeurs approximatives de  $\Delta\alpha_\delta$  d'après les observations méridiennes dans la figure 35 (page 62) montre un bon accord, sauf pour la zone citée. De plus les autres observatoires n'ont pas trouvé cette erreur: il est à craindre qu'elle soit due aux erreurs systématiques d'observation (voir le chapitre 8).

Les erreurs  $\Delta\delta$  dans le tableau 22 (annexe 26) ont été portées sur le graphique de la figure 36 (annexe 31). Les calculs ayant été établis sur un petit nombre de valeurs, on ne trouve pas d'anomalies.

## CHAPITRE 7

### EXPLICATION DE LA VARIATION DE LA HAUTEUR EN FONCTION DU TEMPS, CONSTATÉE DANS LES OBSERVATIONS AVEC L'ASTROLABE

#### **La variation de la hauteur observée**

Dans le chapitre 3 nous avons montré que, comme à Paris et Tananarive, les résidus des premières étoiles sont négatifs. L'hypothèse que cet effet soit du à l'adaptation de l'oeil à l'obscurité [15] n'est pas satisfaisante. D'une part on n'a pas trouvé cet effet à Alger et à Neuchâtel (observations faites par au moins sept personnes) et d'autre part on n'a pas pu donner une preuve directe.

En utilisant la même méthode que celle décrite page 97, l'effet de rang pour Curaçao a été déterminé d'après les résultats de la deuxième réduction. Les correc-

tions de l'effet de rang du tableau 6, annexe 10, appliquées pour la deuxième réduction, ont été réduites.

Pour les observations de Curaçao on a trouvé dans le chapitre 3 un autre phénomène lié à la variation de la hauteur observée: l'erreur de fermeture en rayon du cercle de hauteur était nettement significative ( $+1",58$  et  $\sigma = 0",12$ ). Ce qui veut dire qu'en moyenne le rayon de la première série était supérieur de  $0",13$  à celui de la deuxième série. Pour les deux observateurs R et S on trouve la même valeur. Cet effet a été trouvé également dans les résultats de la station de Tananarive pendant l'A.G.I.: la diminution du rayon était en moyenne de  $0",12$ . On a constaté que l'effet disparaît presque complètement après une bonne ventilation du pavillon avant le début des observations. L'effet a également été observé à Alger et Neuchâtel, mais la diminution du rayon était plus faible.

L'effet de rang et la diminution du rayon au cours de la nuit s'ajoutent et donnent une variation totale de la hauteur observée pendant deux séries. La figure 37, page 64, donne pour chacun des observateurs R et S la variation des résidus moyens, en tenant compte de l'écart de  $0",13$  entre les rayons des deux séries. La décroissance après les premières étoiles semble être continue. La recherche qui suit aura pour but d'expliquer ce qui est commun aux deux observateurs dans cette variation de la hauteur: un accroissement pendant les premières étoiles et une décroissance plus faible ensuite. Abstraction faite de l'observateur lui-même, il reste à étudier les circonstances extérieures, notamment la réfraction, et les changements dans l'instrument dont on n'a tenu compte que partiellement ou qu'on a laissés de côté jusqu'à maintenant.

### Réfraction

Pour la correction de réfraction il faut mesurer la température et la pression là, où les rayons entrent dans l'instrument. Bien que la définition de „l'entrée” soit confuse, la température avant le prisme ( $t_v$ ) sera plus exacte que la température frondée

( $t_s$ ), qui a été utilisée à Curaçao. Faute de mieux, on peut supposer:  $t_v = \frac{t_i + t_s}{2}$

où  $t_i$  est la température de l'instrument. La figure 38b, page 65, donne la variation approchée de  $t_v$  par rapport à  $t_s$ , calculée d'après les variations moyennes de  $t_s$  et  $t_i$  de la figure 38a. Les corrections de réfraction  $de_2$ , qui correspondent à  $(t_v - t_s)$ , sont données également dans la figure 38b. La différence en rayon diminue en effet, mais trop peu ( $0",02$ ); même si on prend  $t_v = t_i$  la différence reste  $0",08$ . Quant aux résidus trop négatifs des premières étoiles, la température  $t_v$  augmente après avoir placé le capot sur l'instrument – cette augmentation est représentée schématiquement sur la figure 38b par une ligne en tireté – mais les résidus négatifs de  $0",10$  ne peuvent pas être expliqués.

### Autocollimation sur le miroir

Les changements des parties optiques de l'instrument étant réduits par la formule:

$$\varepsilon_1 = K_0(v_0 - v_m), \quad K_0 = 25'',84$$

nous avons vérifié que les constantes  $v_m$  et  $K_0$  ne changent pas en fonction de la température. Pour rechercher l'influence de la température du miroir sur la lecture  $v_0$ , le miroir a été placé à une certaine distance de l'instrument. En chauffant le miroir, sans influencer l'instrument et l'air entre l'instrument et le miroir, la température du miroir ne changeait pas les lectures  $v_0$ . L'influence de l'interpolation *linéaire* est à négliger: les moyennes des différences en  $v_0$  au début et à la fin sont pour les premières séries et les deuxièmes séries respectivement  $0'',01$  et  $0'',02$ .

Cependant, il faut attirer l'attention sur la nécessité de *mesurer* les valeurs  $v_0$  au lieu de les prendre sur un graphique où  $v_0$  est donné en fonction de la température de l'air, comme on le fait par exemple à l'Observatoire de Neuchâtel;  $v_0$  est influencé aussi par la température de l'instrument et, probablement davantage, par celle de la partie voisine de la vis du micromètre.

On a recherché si la détermination même de  $v_0$  pourrait donner un changement de la hauteur instrumentale pendant quelque temps et notamment si l'influence de la chaleur dégagée par les deux lampes fortes qui sont utilisées pour l'autocollimation pourrait causer les résidus négatifs des premières étoiles. En général l'autocollimation était faite juste avant les premières séries, alors qu'elle était faite environ 15 minutes avant les deuxièmes séries: cette cause n'aurait pas d'influence sur les premières étoiles des deuxièmes séries. Pour mettre ceci en évidence, des séries ont été observées en mesurant également le  $v_0$  juste avant les deuxièmes séries. Les premiers résidus des deuxièmes séries étaient en effet négatifs, mais, comme on le verra plus loin, cela n'est pas anormal pour l'observateur S à Paris. Comme le  $v_0$  ne changeait pas si on laissait les lampes allumées un certain temps – et que chaque changement de l'instrument se répercute sur la mesure du  $v_0$  – on a abandonné cette explication.

### Recherche sur le prisme

Dans ce qui précède il est apparu que la variation de la hauteur n'est pas causée par la réfraction ou la partie de l'instrument qui est contrôlée par autocollimation. Il reste alors la partie de l'instrument située avant l'objectif, c'est à dire le prisme équilatéral. La forme de ce prisme fixe la hauteur instrumentale et il est évident qu'un changement de cette forme peut causer un changement de la hauteur. On peut d'abord penser à un changement du prisme en fonction de sa température: la diminution systématique de la hauteur pourrait être causée par la diminution de la température pendant la nuit. Il existe en fait une corrélation entre les rayons du cercle de hauteur et la variation annuelle de température, mais le coefficient de variation est trop petit pour fournir une explication de la diminution constatée.

Une recherche des températures autour du prisme a montré que, comme dit précédemment, la température en avant du prisme est influencée par celle de l'instrument, mais en outre que la température en arrière du prisme, c'est à dire entre le prisme et l'objectif, est approximativement égale à la température de l'instrument. Comme la différence de la température de l'air et de l'instrument, et donc

aussi la répartition des températures dans le prisme, varie, la forme du prisme peut changer et par conséquent aussi la hauteur instrumentale. Ce problème sera traité plus à fond.

*L'influence d'une déformation du prisme sur la hauteur instrumentale*

La figure 39, page 68, est une section du prisme donnant les rayons principaux  $p$  et  $q$  des deux faisceaux lumineux. La déformation du prisme qui influence la marche des rayons  $p$  et  $q$  peut être représentée par les déviations  $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta'$  et  $\gamma'$  des normales aux points  $A, B, C, A', B'$  et  $C'$ ; elles sont positives si la rotation des normales est de gauche à droite. La marche du rayon  $p$  à travers le prisme déformé est donnée dans la figure 40, page 68; les déviations du rayon sont ajoutées. On part d'un prisme équilatéral idéal dans lequel la marche du rayon  $p$  est donnée par une ligne en tireté.

Soit  $\lambda$  la déviation du rayon émergent, la figure 40 montre que

$$\lambda = +n(\alpha' + \gamma - 2\beta) - \alpha' - \gamma$$

$n$  étant l'indice du prisme. D'une manière analogue on trouve pour le rayon  $q$ :

$$\lambda' = +n(\alpha + \gamma' - 2\beta') - \alpha - \gamma'$$

En supposant  $\bar{\lambda}$  l'angle entre les deux rayons émergents, avec  $\bar{\lambda} = \lambda' - \lambda$  de sorte que  $\bar{\lambda}$  soit positif si les rayons divergent, on trouve:

$$\bar{\lambda} = +2n(\beta - \beta') + (n-1)(\alpha - \alpha') + (1-n)(\gamma - \gamma')$$

L'instant du passage de l'étoile étant celui où les rayons émergents sont parallèles, le changement correspondant  $\Delta h$  de la hauteur sera égal à  $+\frac{1}{2}\bar{\lambda}$  et on a, avec  $n=1,5$ :

$$\Delta h = +\frac{1}{2}\bar{\lambda} = +1,50(\beta - \beta') + 0,25(\alpha - \alpha') - 0,25(\gamma - \gamma') \dots \dots \dots (13)$$

*La déformation du prisme causée par des différences de température*

Par suite d'une variation de la température en avant et en arrière du prisme, le prisme se déforme; pour un cas théorique et simplifié cette déformation a été examinée. On a supposé que le prisme a une forme équilatérale idéale si sa température est partout 0 °C et qu'on peut exprimer la température  $t_p$  dans le prisme après un changement de température par  $t_p = c \cdot x$ .

Comme la dilatation  $\Delta dl$  d'un élément linéaire  $dl$  est égale à  $\lambda \cdot dl \cdot c \cdot x$ , si  $\lambda$  est le coefficient de dilatation du verre, la dilatation d'une ligne de longueur finie  $l$  est

$$\Delta l = \lambda \cdot c \cdot \int_0^l x \cdot dl$$

et en particulier  $\Delta x = \frac{1}{2}\lambda \cdot c \cdot x^2$  et  $\Delta y = \lambda \cdot c \cdot x \cdot y$ . Si les coordonnées  $x$  et  $y$  après dilatation sont  $x'$  et  $y'$ , la courbe de la section déformée de  $OP$  est donnée par

$$x' = y + \frac{1}{2}\lambda \cdot c \cdot x^2$$

$$y' = y + \lambda \cdot c \cdot x \cdot y = \frac{x}{\sqrt{3}} + \frac{\lambda \cdot c \cdot x^2}{\sqrt{3}}$$

Comme la pente de cette courbe est

$$\frac{dy'}{dx'} = \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{2}{\sqrt{3}} \lambda \cdot c \cdot x$$

ou par approximation:  $\frac{dy'}{dx'} = +\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{\lambda \cdot c \cdot x}{\sqrt{3}}$ , le changement de la pente, causé par la déformation est égal à  $+\frac{\lambda \cdot c \cdot x}{\sqrt{3}}$ . Au point  $A'$  la déviation de la normale est alors

(en comptant comme positives les déviations de gauche à droite)  $\alpha' = -\frac{1}{8}a \cdot \lambda \cdot c$ , où  $a$  est la longueur de  $OP$ . Au point  $B'$  on a  $\beta' = -\frac{1}{4}a \cdot \lambda \cdot c$ .

D'une manière analogue on trouve pour le changement de la pente de la section  $OQ$ :  $-\frac{\lambda \cdot c \cdot x}{\sqrt{3}}$  et les déviations des normales aux points  $A$  et  $B$  sont  $\alpha = +\frac{1}{8}a \cdot \lambda \cdot c$  et  $\beta = +\frac{1}{4}a \cdot \lambda \cdot c$ .

La face arrière ne change pas et on a  $\gamma = \gamma' = 0$ .

*Le changement de la hauteur instrumentale, causé par différences de température*

En remplaçant dans la formule (13)  $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta'$  et  $\gamma'$  par leurs valeurs trouvées plus haut on obtient la variation correspondante de la hauteur instrumentale:

$$\Delta h = 0,81a \cdot \lambda \cdot c . . . . . (17)$$

Cette formule n'est qu'approchée: pour étudier la déformation du prisme on a supposé une loi de répartition de la température simplifiée. De plus l'influence des tensions dans la verre dues aux différences de température, sur les faisceaux polarisés est difficile à évaluer.

Le gradient de température  $c$  n'est pas connu. Pour obtenir une relation entre  $\Delta h$  et la différence de température  $\Delta t_p$  dans le prisme ( $\Delta t_p =$  la température du face arrière moins celle à l'arête antérieure  $O$ ), on peut poser:  $c = +\frac{2}{a\sqrt{3}} \cdot \Delta t_p$ . Avec  $\lambda = 9 \cdot 10^{-6}$  on trouve d'après la formule (17):

$$\Delta h = +1,74 \Delta t_p . . . . . (18)$$

où  $\Delta h$  est exprimé en secondes d'arc.

Avec la relation (18) et la figure 38a on peut expliquer la variation de la hauteur observée de la figure 37, page 64, comme suit. Au moment où le prisme est placé sur l'instrument, l'équilibre des températures dans le prisme est rompu. La face arrière du prisme se chauffe sous l'influence de la température plus élevée de l'instrument, la différence  $\Delta t_p$  devient positive et la hauteur instrumentale croît. Comme la différence  $(t_t - t_s)$  diminue ensuite,  $\Delta t_p$  diminue et la hauteur décroît.

*Détermination de la variation de la hauteur instrumentale à l'aide d'autocollimation*

L'explication théorique donnée serait plus convaincante, si le phénomène pouvait être prouvé expérimentalement; en outre l'explication ne donne pas l'ordre du grandeur de la variation de la hauteur. Pour effectuer des mesures sur le prisme dans les conditions d'observation, les deux faces extérieures du prisme ont été aluminées,

de sorte que la variation d'angle du prisme puisse être mesurée avec l'équipement d'autocollimation de l'instrument.

La relation entre la déformation du prisme et la variation correspondante de la lecture du micromètre a été déduite à l'aide de la figure 41, page 72. Soit  $\bar{\eta}$  l'angle entre les deux rayons émergents on trouve :

$$\bar{\eta} = +4n(\beta - \beta') + 2n(\alpha - \alpha') + 2(1-n)(\gamma - \gamma')$$

$\bar{\eta}$  est positif si les rayons divergent. Comme le changement  $\Delta v$  de la lecture du micromètre est égal à  $-\frac{1}{2}\bar{\eta}$ , on trouve avec  $n = 1,5$  :

$$\Delta v = -\frac{1}{2}\bar{\eta} = -3,0(\beta - \beta') - 1,5(\alpha - \alpha') + 0,5(\gamma - \gamma') \quad . . . . . (19)$$

Avec les valeurs de  $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta'$  et  $\gamma'$ , trouvées précédemment (19) devient :

$$\Delta v = -1,87 a \cdot \lambda \cdot c$$

La relation entre la variation de la hauteur instrumentale et celle de la lecture du micromètre est alors avec la formule (17) :

$$\Delta h = -0,43 \Delta v \quad . . . . . (20)$$

$\Delta h$  et  $\Delta v$  étant exprimés en secondes d'arc.

#### *Expériences avec un prisme aluminé*

Pour tenir compte de la variation de  $v_0$ , le  $v_0$  a été déterminé régulièrement pendant les expériences et les lectures du micromètre sur le prisme aluminé ont été corrigées de cette variation. Les expériences suivantes ont été effectuées.

1. Avec le prisme placé sur l'instrument, l'air dans le pavillon a été chauffé et la température maintenue constante pendant quelque temps. Ensuite la température a été abaissée et maintenue constante. La figure 42, page 74, donne les variations de la température avant le prisme ( $t_v$ ) et celle en arrière ( $t_a$ ), ainsi que la variation de la hauteur instrumentale calculée d'après la formule (20). La figure montre que la température  $t_a$  suit la température  $t_v$  avec un retard. Si l'avant du prisme est chauffé, il se produit une différence de température de sorte que la hauteur diminue. Quand la différence des températures de l'air en avant et en arrière du prisme diminue, il en est de même pour la différence de température des faces correspondantes du prisme et la hauteur croît. Si l'air se refroidit on a le phénomène inverse.
2. On a fait en sorte que la température de l'instrument soit supérieure à celle de l'air au début des expériences. Pendant les expériences la température de l'air a été maintenue constante. Les circonstances étaient alors les mêmes qu'à Curaçao (comparer la figure 38a, page 65). La variation moyenne de la hauteur de 8 expériences sur des nuits différentes est donné dans la figure 43a, page 74. Le résultat correspond bien avec la variation observée d'après la figure 37.
3. Environ 30 minutes avant le début l'air et le prisme – non placé sur l'instrument – ont été chauffés de quelques degrés, de sorte qu'au début la température de l'instrument était inférieure à celle de l'air. Pendant les expériences la température de l'air était constante. Dans ces circonstances, on peut s'attendre à une variation de hauteur inverse de celle du 2. C'est bien ce que montre la figure 43b, donnant le résultat d'une expérience.

### Conclusion

Si pour le calcul de la correction de réfraction la température dans le capot est utilisée au lieu de la température frondée, on peut expliquer seulement une partie de la variation de hauteur observée en fonction du temps. Cependant la théorie comme l'expérience montrent que la variation est due au prisme avant l'objectif.\*) Ceci est dû à ce que la différence de température dans le prisme – causée par la différence de température de l'air et de l'instrument – ne reste pas constante.

Le fait que les rayons du cercle de hauteur des observations à l'Observatoire de Paris ne diminuent pas systématiquement pendant deux séries ne contredit pas cette explication. En effet les courbes des variations moyennes de la température de l'air et de l'instrument, représentées figure 44, annexe 32, montrent que la différence ( $t_i - t_1$ ) reste à peu près constante et que par conséquent la hauteur instrumentale ne change pas. Ceci n'est que valable qu'en moyenne. Pour les observations isolées on peut trouver cette diminution. Soit  $\bar{t}$  la moyenne des températures avant et après une série, sur la figure 45, page 76, les différences ( $r_1 - r_2$ ) des rayons des premières et des deuxièmes séries ont été portées sur le graphique en fonction du changement de la différence ( $\bar{t}_i - \bar{t}_1$ ); ( $\bar{t}_i - \bar{t}_1$ ) représentant approximativement la différence de température dans le prisme. La corrélation est évidente; de plus elle est en bon accord avec celle déduite des observations à Curaçao, qui est calculée d'après les valeurs de la figure 17, page 28, et donnée sur la même figure.

Pour les observations à Paris les premiers résidus sont négatifs, parce que la température de l'instrument est supérieure à celle de l'air et, comme à Curaçao, la différence de température dans le prisme change au début de la série. Le fait que les premiers résidus des étoiles des deuxièmes séries ne sont pas négatifs est dû à ce que le prisme est déjà placé sur l'instrument après la fin de la première série et l'équilibre dans le prisme est rétabli au commencement de la deuxième série. Comme l'observateur S plaçait le prisme juste avant les deuxièmes séries, les résidus observés par cet observateur sont négatifs, comme on le voit dans la figure 46, annexe 33, où les résidus moyens de 13 séries sont donnés (on a appliqué des corrections de lissage interne). Pour les observations à Curaçao l'instant de mise en place du prisme importait peu: les températures de l'air et de l'instrument étaient déjà environ égales entre les deux séries.

Pour éviter les variations de la hauteur instrumentale, il est nécessaire d'équilibrer les températures de l'air et de l'instrument à l'aide d'une ventilation avant le début des observations. De toute façon s'il subsiste un décalage entre les températures de l'air et de l'instrument, il faut que ce décalage ne varie pas au cours des observations: si les températures varient comme à Curaçao on pourrait peut-être chauffer légèrement l'instrument. De plus il est recommandé de placer le prisme sur l'instrument environ 30 minutes avant la première série et aussi longtemps que possible

\*) Cette hypothèse a déjà été ébauchée par M. FOURNET dans un rapport non publié sur les observations faites à Tananarive. Basée sur une étude théorique simplifiée, elle n'avait pas été confirmée expérimentalement.

Après l'achèvement de ma recherche j'ai pris connaissance d'une publication de J.-P. BLASER et M. CAVEDON (*Publications de l'Observatoire de Neuchâtel*, no. 3), où on propose la même explication. Là aussi le problème n'a été abordé que théoriquement.



avant la deuxième série. La figure 47, annexe 34, donne les résidus moyens, corrigés des corrections de lissage interne, calculés d'après 19 premières séries, observées à l'Observatoire de Paris par les observateurs GUINOT, LEFEBVRE et SCHEEPMAKER. Ces séries ont été observées le prisme étant placé au moins 30 minutes avant et on n'a pas observé d'étoiles préliminaires. L'effet de rang a disparu.

Si l'on fait pour les observations de Curaçao des écarts quadratiques moyens d'un résidu isolé en fonction du rang, on trouve pour la première et la deuxième étoile resp.  $0'',179$  et  $0'',178$ , tandis que les écarts quadratiques moyens des étoiles suivantes varient de  $0'',135$  à  $0'',153$ . Bien que les corrections appliquées pour l'effet de rang aient pu faire surestimer les écarts quadratiques moyens des premières étoiles – cet effet n'étant probablement pas le même pour chaque nuit – il est toutefois possible que les premières étoiles soient moins bien observées. Il sera alors préférable d'observer quelques étoiles avant le programme.

## CHAPITRE 8

### ÉTUDE DES QUELQUES ANOMALIES, CONSTATÉES DANS LES OBSERVATIONS AVEC L'ASTROLABE

#### **Écarts personnels**

La figure 19, page 32, a montré qu'il existe une différence constante entre les latitudes des observateurs R et S:  $\varphi_R - \varphi_S = +0'',06$ , tandis que la différence en temps,  $\Delta T_R - \Delta T_S$ , était de  $-0^s,005$  (voir la figure 28, page 48). Quant au rayon du cercle de hauteur, le tableau 27, page 78, donne les moyennes mensuelles des différences personnelles. Un écart personnel en rayon n'est pas anormal. D'une part la figure 48, page 79, montre qu'il existe un écart personnel en  $v_0$  et d'autre part des observateurs différents peuvent interpréter l'horizontalité des deux images de l'étoile d'une manière différente. Il y a également des écarts personnels, peut-être liés à ceux en temps et latitude, entre les variations des résidus moyens en fonction de l'azimut (voir le tableau 28, page 80).

#### *Contrôles de l'instrument à Paris*

Comme on pensait d'abord que les écarts en latitude et en temps ne se produisaient qu'à Curaçao, l'astrolabe a été examiné en 1959 à l'Observatoire de Paris par M. B. GUINOT [21]. Les deux anomalies les plus importantes constatées sont les suivantes:

1. Lors de l'observation d'un passage les deux images montent à l'est et descendent à l'ouest avec une amplitude de  $8''$  en grande course. Cette erreur est due à une dissymétrie du dédoublement du prisme de Wollaston et ne peut pas être corrigée.
2. Il y avait une erreur  $e$  dans la vitesse du micromètre en fonction de l'azimut (figure 49, annexe 35), qui peut être très atténuée par une rotation du cercle d'azimut.

M. GUINOT a émis les hypothèses suivantes:

Pour 1. Il est possible qu'un observateur ne tienne pas les deux images côte à côte horizontalement, mais dans la direction du mouvement du couple. Etant situé tout près de l'équateur, l'erreur est symétrique au premier vertical. Dans les directions N-E et N-W on observera trop tôt et dans les directions S-E et S-W trop tard. Une telle erreur n'effectuera ni la latitude, ni le temps.

Pour 2. Un observateur ne corrige pas assez les écarts entre les deux images dus à la vitesse incorrecte du micromètre. Etant donné les différences des résidus de R et S, il n'était pas possible d'expliquer simultanément les différences en latitude et en temps et celles des résidus suivant l'azimut.

#### *La vitesse du micromètre*

Reprenons la deuxième hypothèse en y ajoutant les erreurs de la vitesse du micromètre dues à la différence entre l'azimut astronomique et l'azimut instrumental,  $\Delta a$ . L'erreur totale  $E$  de la vitesse du micromètre est alors:

- l'erreur  $e$  en fonction de l'azimut instrumental;
- l'erreur constante  $C$  de la vitesse du moteur;
- l'erreur  $A$  due à l'écart d'orientation de l'instrument; approximativement on a:  
 $A = 1,75 \cdot \Delta a \cdot \cotg a''/100$ ,  $a$  étant l'azimut et  $\Delta a$  exprimé en  $0''$ ,1.

En choisissant différentes valeurs de  $C$  et  $\Delta a$ , on a calculé  $E$  en fonction de l'azimut pour 9 combinaisons. En supposant  $d\delta h = E$ ,  $d\delta h$  exprimé en  $0''$ ,01 et  $E$  en  $10/100$ , les corrections  $d\varphi$  et  $d\Delta T$ , ainsi que les résidus ont été calculés pour les 9 cas dans le tableau 29, annexe 36, où les écarts observés sont donnés en chiffres gras. On voit qu'il n'est pas possible d'expliquer simultanément les différences en latitude, en temps et en variation des résidus en fonction de l'azimut entre les deux observateurs.

Bien que cette hypothèse ne puisse pas être confirmée, on ne peut l'abandonner complètement: la réaction de l'observateur sur la vitesse incorrecte du micromètre est peut-être plus compliquée et la distance, la vitesse et la direction des deux images peuvent jouer un rôle important.

#### *Etude des enregistrements sur les bandes du chronographe*

Si l'on tient le couple des deux images toujours côte à côte de la même manière dans le sens vertical, les intervalles de 21 contacts, par exemple, multipliés par  $\sin a$  ont la même valeur pour chaque azimut. S'il existe une erreur dans la vitesse du micromètre et si l'on ne corrige pas bien, ces erreurs se reflètent systématiquement dans les valeurs de ces intervalles. Pour chaque observateur 125 enregistrements de 5 séries différentes ont été utilisées. Les différences petites ne correspondent pas avec les différences observées.

Des recherches ont été faites sur les 24 contacts de l'enregistrement d'un seul passage entre R et S pour les azimuts divers. Elles aussi n'imposent aucune conclusion. Cependant, une comparaison avec les enregistrements faits à l'Observatoire de Paris a montré que l'amplitude des variations à Curaçao était, en général, la moitié de celle à Paris. Ce fait laisse soupçonner que les observateurs à Curaçao effectuaient des pointés plus fin en maniant peu le différentiel. Ce qui peut donner

lieu à des erreurs systématiques. Il est recommandé d'osciller les images, éventuellement exprès.

#### *Observations à l'Observatoire de Paris*

Pendant plus d'une année des observations ont été effectuées à l'Observatoire de Paris avec l'astrolabe de Curaçao. On n'a pas trouvé d'autre anomalie de cet instrument.

Bien qu'il semblait d'abord que les écarts personnels se produisissent seulement à Curaçao, l'introduction de nouveaux observateurs à Paris montre que ce n'est pas le cas. Une étude faite récemment par M. GUINOT à l'Observatoire de Paris a montré qu'on trouve des écarts du même ordre dans les observations avec l'astrolabe OPL 01. D'après des réductions provisoires les moyennes des valeurs absolues sont de  $0'',04$  en latitude et  $0^s,004$  en temps. Cependant on n'a pas trouvé des écarts personnels dans les résidus moyens en fonction de l'azimut. Ce que veut dire que les écarts en latitude et en temps peuvent exister sans un écart des résidus.

Une autre raison indique qu'il est peu probable que les écarts personnels soient causés par la vitesse du micromètre. D'après 22 observations par S à l'Observatoire de Paris avec l'astrolabe OPL 01, les écarts personnels par rapport aux moyennes de 10 observateurs en latitude et en temps équivalent à environ  $-0'',08$  et  $+0^s,006$ . On a réduit également la variation des résidus moyens en fonction de l'azimut en appliquant des corrections de lissage interne. Les variations, réduites d'après les observations avec deux instruments sont données dans la figure 50, annexe 37, ainsi que les différences (S–R) des observations à Curaçao d'après le tableau 28. Les trois courbes – d'après des observations avec des vitesses différentes du micromètre – sont en bon accord, notamment celles pour les instruments à Paris.

#### *Conclusion*

Les écarts personnels trouvés à Curaçao ne sont pas des exceptions: des écarts du même ordre se produisent maintenant à l'Observatoire de Paris.

L'hypothèse selon laquelle les différences personnelles pour les observateurs R et S ont été causées par les réactions incorrectes d'un des deux observateurs aux erreurs de vitesse du micromètre semble devoir être écartée.

Il est peu probable que les écarts personnels soient dus à une influence de la distance, la vitesse et la direction du déplacement horizontal des deux images. Ce déplacement étant symétrique par rapport au méridien, cela n'expliquerait pas les écarts en  $\Delta T$ . De plus les écarts de S d'après les observations à Paris semblent du même ordre de grandeur que ceux déduits des observations à Curaçao, malgré le fait que la relation entre le déplacement et l'azimut n'est pas la même pour les deux stations, étant donné la différence en latitude.

#### **Anomalie dans $\Delta\alpha_\delta$**

Comme on a montré dans le chapitre 6, la valeur trop négative ( $-0^s,016$ ,  $\sigma=0^s,004$ ) de  $\Delta\alpha_\delta$  pour la déclinaison d'environ  $+39^\circ$  est due aux erreurs d'observation. La

$\Delta\alpha_\delta$  pour  $+39^\circ$  a été déterminée par les résidus moyens dans les zones de l'azimut  $330^\circ-345^\circ$  et  $15^\circ-30^\circ$ . Comme ces moyennes sont respectivement  $+0^s,004$  ( $\sigma=0^s,003$ ) et  $-0^s,014$  ( $\sigma=0^s,003$ ) et comme la valeur de  $\Delta\delta_\delta$  pour la déclinaison de  $+39^\circ$  est plutôt trop négative que trop positive (voir le tableau 25, annexe 29), on peut supposer les résidus dans la zone de l'azimut  $15^\circ-30^\circ$  trop négatifs. La figure 51, page 84, donne les résidus moyens des étoiles avec l'azimut entre  $15^\circ$  et  $42^\circ$ , classées par intervalle de  $4^\circ$  et séparément pour les observateurs R et S. La figure montre une décroissance continue du nord-est au nord.

Les résidus trop négatifs ne sont pas causés par l'instrument de Curaçao. Pendant la période juillet 1961 – juillet 1962 plusieurs observateurs de l'Observatoire de Paris ont observé avec cet instrument: la moyenne des résidus des étoiles dans la zone  $15^\circ-30^\circ$  était de  $+0^s,001$  ( $\sigma=0^s,002$ ). La moyenne de S était de  $-0^s,006$  ( $\sigma=0^s,002$ ), mais cet écart est l'ordre du grandeur de l'écart personnel (voir la figure 50, annexe 37).

Il reste les deux hypothèses suivantes:

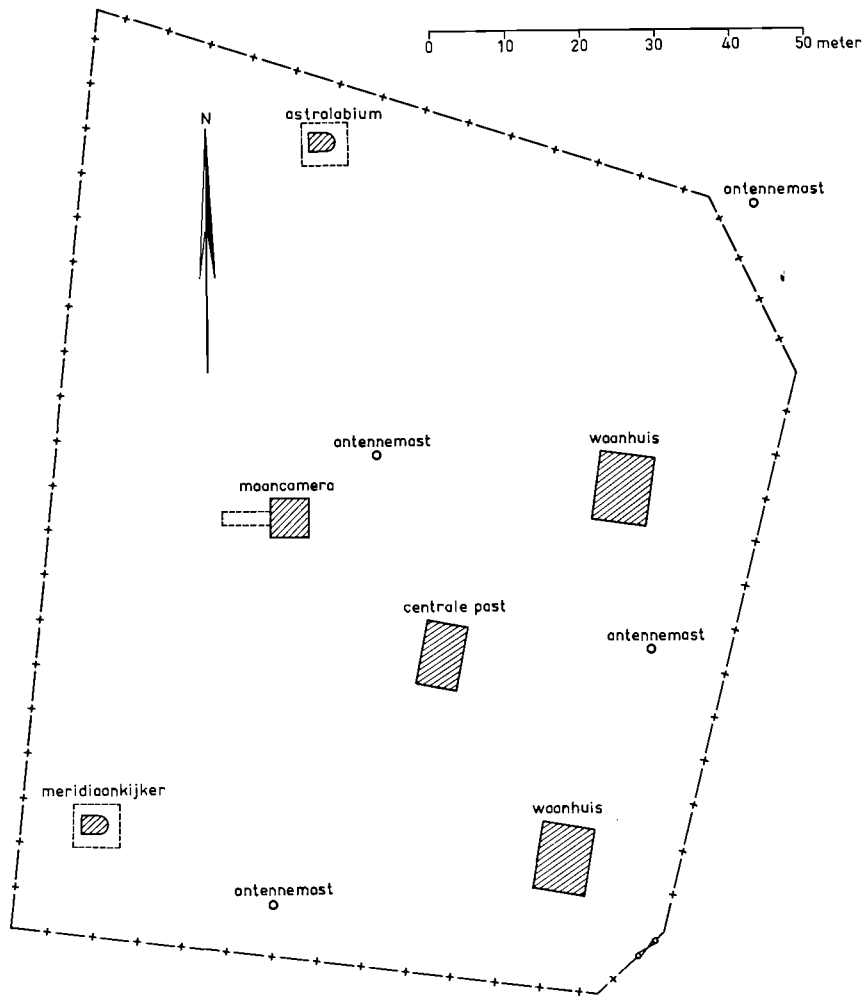
1. Les observateurs pourraient être influencés par une vitesse incorrecte du micromètre dans la zone de l'azimut  $15^\circ-30^\circ$ , en combinaison avec le grand déplacement du couple des images dans cette zone.
2. On peut supposer des circonstances atmosphériques anormales, de sorte que le calcul de la correction de réfraction ne soit pas bon. En particulier la distance la plus courte du station jusqu'à la ligne du côté dans la zone  $15^\circ-30^\circ$  (voir la figure 52, page 85) pourrait causer des anomalies de réfraction. Comme la température au-dessus de la mer est supérieur à celle au-dessus de l'île pendant la soirée, la réfraction est plus grande. Donc dans la zone particulière on pourrait avoir apporté des corrections trop petites ce que donne des résidus négatifs.

- [1] VENING MEINESZ, F. A., Het Internationale Geofysische Jaar. Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde, 1957, no. 6.
- [2] ROELOFS, R., Delft en het Internationaal Geofysisch Jaar. T.H. Mededelingen, 1956, no. 1 en Hemel en Dampkring, 1956.
- [3] ROELOFS, R., Beknopt, voorlopig verslag van de waarnemingen, verricht op het geodetisch-astronomisch station „Muizenberg” op Curaçao. Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde, 1959, no. 4.
- [4] ROLFF, J., Wat er komt kijken bij de vestiging van een geodetisch-astronomisch station op Curaçao. Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde, 1957, no. 6.
- [5] SCHEEPMAKER, A. C., Het instrumentarium voor Curaçao. Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde, 1957, no. 6.
- [6] STOUTE, J. R. D., Verslag van het werk aan een meetoculair voor een doorgangskijker. Niet gepubliceerd, opgenomen in de bibliotheek van de onderafdeling Geodesie der Technische Hogeschool.
- [7] MUNCK, J. C. DE, Nauwkeurige bepaling van het profiel van assen op hun rondheid. De Ingenieur, 1956, no. 24.
- [8] ROELOFS, R., Sterselectie voor tijdbepaling uit meridiaandoorgangen. Niet gepubliceerd, opgenomen in de bibliotheek van de onderafdeling Geodesie der Technische Hogeschool.
- [9] NIETHAMMER, TH., Die genauen Methoden der astronomisch-geographischen Ortsbestimmung. Birkhäuser, Basel, 1947, p. 46.
- [10] BRUINS, G. J., Astronomische lengtebepaling in Leeuwarden en op Ameland. Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde, 1951, p. 211.
- [11] DANJON, A., L'astrolabe impersonnel de l'Observatoire de Paris. Bulletin Astronomique, t. 18, fasc. 4.
- [12] DANJON, A., L'astrolabe impersonnel, modèle OPL. Bulletin Astronomique, t. 21, fasc. 4.
- [13] GUINOT, B., L'astrolabe impersonnel. Réductions des observations. Etude des Résultats. Bulletin Astronomique, t. 18, fasc. 4.
- [14] ROELOFS, R., Astronomy applied to Land-surveying. N.V. Uitgeverij Argus, Amsterdam, 1950, p. 176.
- [15] BONNEAU, M., Sur un effet systématique constaté dans les observations faites à l'astrolabe impersonnel de M. Danjon. – Bulletin Astronomique, t. 22, fasc. 1.
- [16] HAAS, TH. DE, A new method and a new instrument for the determination of the chronometer-correction by means of radio time signals. Publikatie van de Rijksc commissie voor Geodesie, aangeboden aan de General Assembly of the International Association of Geodesy, Rome, 1954.
- [17] MUNCK, J. C. DE, Voorspelling voor de ontvangst van radio-tijdsignalen ten behoeve van het geofysisch station te Curaçao. Niet gepubliceerd, opgenomen in de bibliotheek van de onderafdeling Geodesie der Technische Hogeschool.
- [18] DANJON, A., Résultats déduits des observations à l'astrolabe O.P.L. de Paris et au P.Z.T. de Neuchâtel. Notes et Informations, Publications de l'Observatoire de Paris, fasc. 8.
- [19] STOYKO, A., Opération des Longitudes. Résultats préliminaires. Congrès International de Chronométrie, München, 1959.
- [20] GUINOT, B., L'astrolabe impersonnel A. Danjon, modèle OPL de l'Observatoire de Paris. Etude des résultats d'une année d'observations. Variation de la latitude. Catalogues d'étoiles. Bulletin Astronomique, t. 22, fasc. 1.
- [21] GUINOT, B., Contrôles et essais de l'astrolabe A. Danjon, O.P.L. no. 3. Opgenomen in de bibliotheek van de onderafdeling Geodesie der Technische Hogeschool.

**Overzicht**

annex nr.	tabel/figuur nr.	pagina
1	figuur 2	121
2	figuur 8	uitslaand, achterin
3	figuur 9	122
4	tabel 2	123, 124, 125
5	tabel 3	121
6	figuur 13	uitslaand, achterin
7	figuur 15	122
8	tabel 4	126, 127, 128
9	tabel 5	129
10	tabel 6	129
11	tabel 7	130, 131
12	tabel 8	130, 131
13	tabel 9	130, 131
14	tabel 11	132
15	figuur 20	133
16	figuur 24	133
17	figuur 25	134
18	tabel 15	135
19	tabel 16	136
20	tabel 17	137
21	tabel 18	138
22	tabel 19	139
23	tabel 20	139
24	figuur 32	134
25	tabel 21	140, 141, 142
26	tabel 22	143, 144
27	figuur 33	145
28	tabel 23	145
29	tabellen 24, 25	146
30	tabel 26	146
31	figuren 34, 36	147
32	figuur 44	148
33	figuur 46	148
34	figuur 47	148
35	figuur 49	149
36	tabel 29	149
37	figuur 50	149

## Annex 1



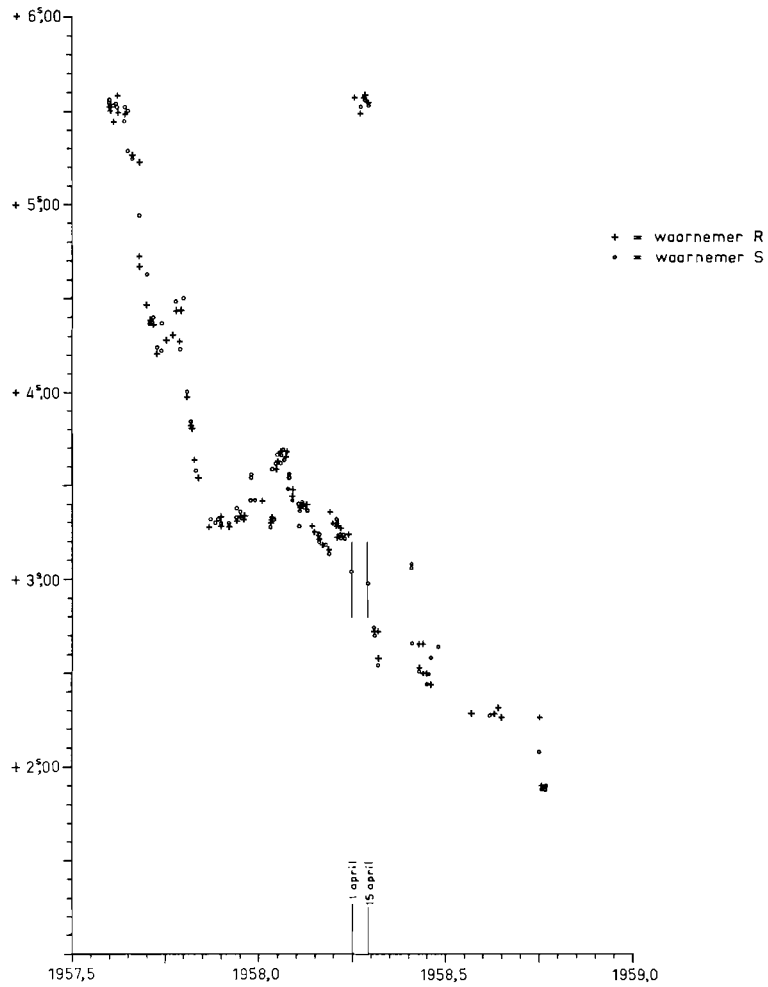
Figuur 2. Overzicht van het station.

## Annex 5

TABEL 3. Correctie  $A(X)$ .

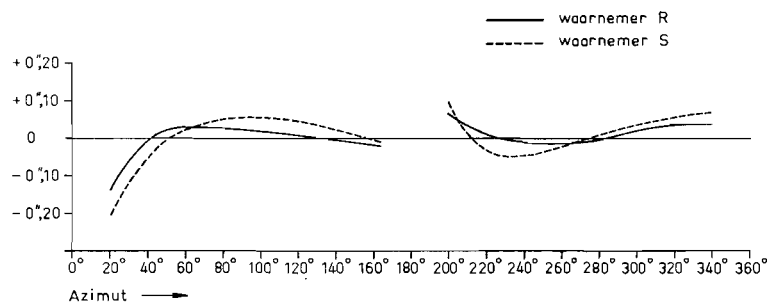
$i$	$A(X)$	$i$	$A(X)$
0	0",00	4,0	0",06
0,5	00	4,5	07
1,0	+ 01	5,0	09
1,5	+ 01	5,5	11
2,0	+ 01	6,0	13
2,5	+ 02	6,5	16
3,0	+ 03	7,0	18
3,5	+ 05		

Annex 3



Figuur 9. Azimut-afwijking.

Annex 7



Figuur 15. Gemiddelde residuen ten opzichte van het azimut uit de eerste berekening van de astrolabiumwaarnemingen.



TABEL 2. Astrolabiumwaarnemingen. Overzicht van de groepen.

GROEP 00						GROEP 02					
No. FK3R	LST	Azi- mut	Magn.	$B(a)$ 2c	$B(a)$ 4c	No. FK3R	LST	Azi- mut	Magn.	$B(a)$ 2c	$B(a)$ 4c
1034	23 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 39 <sup>s</sup>	104°,6	5,3	0°,00	0°,00	897	01 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>	222°,6	6,1	0°,00	0°,00
1039	22 56	72,9	5,6	0	0	1080	12 30	120,8	5,3	0	0
43	24 49	49,8	4,7	— 1	0	880	15 40	296,3	4,7	0	0
30	30 34	139,4	5,2	— 1	0	1094	18 52	68,9	5,2	0	0
866	33 51	200,2	3,5		— 1	116	22 44	114,9	5,1	0	0
1570	37 15	287,3	5,3	0	0	1614	25 04	261,1	4,5	0	0
852	39 20	335,4	4,9		— 1	1009	29 12	331,5	5,2		— 1
42	43 24	35,8	2,4	— 1	0	1630	35 09	233,4	4,7	0	0
40	46 51	137,9	3,6	0	0	900	38 49	239,4	5,1	0	0
66	52 02	69,7	2,7	0	0	1071	42 27	156,5	4,8		— 1
47	54 00	132,2	3,8	0	0	1091	48 06	133,8	4,9	0	0
1049	58 37	120,8	5,3	0	0	1629	50 41	299,2	4,8	0	0
1590	00 04 55	316,2	5,5	— 1	0	1	53 23	307,9	2,2	0	0
842	06 54	244,5	4,0	0	0	150	55 28	86,2	4,0	0	0
1600	09 06	328,6	6,0	— 2	0	109	59 17	25,2	3,8		— 1
1047	13 52	36,8	5,5	— 1	0	30	02 05 30	220,6	5,2	— 1	0
1595	16 10	237,9	5,3	0	0	127	07 48	135,6	3,8	0	0
1059	18 12	60,9	5,6	0	0	1004	13 17	289,0	4,9	0	0
1041	20 35	147,4	5,7	— 1	0	1116	15 46	57,6	5,6	0	0
850	23 10	247,3	4,1	0	0	162	18 10	76,1	3,9	0	0
857	25 13	310,5	3,1	— 1	0	59	22 15	199,6	3,7		— 1
1610	27 38	332,2	5,8		— 1	111	24 33	15,6	3,0		— 2
1051	30 11	139,4	4,8	— 1	0	1041	29 01	212,6	5,7	— 1	0
894	33 57	206,5	4,6		0	42	31 24	324,2	2,4	— 1	0
1608	38 03	225,2	4,5	0	0	148	33 38	35,0	4,1	— 1	0
75	40 07	37,5	3,1	— 1	0	154	36 45	128,4	4,1	0	0
79	42 57	40,5	4,1	— 1	0	1120	39 28	120,7	5,2	0	0
1607	47 25	233,4	4,4	0	0	1023	42 58	307,7	5,6	0	0
870	51 15	305,6	2,6	0	0	158	49 17	38,3	5,1	— 1	0
GROEP 04						GROEP 06					
1033	03 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	263°,6	5,6	0°,00	0°,00	1171	05 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	141°,4	5,4	—0°,01	0°,00
1071	17 48	203,5	4,8		— 1	114	10 24	288,2	4,5	0	0
181	20 12	41,9	2,9	— 1	0	1089	12 34	290,9	5,0	0	0
1049	22 37	239,2	5,3	0	0	261	19 39	39,6	3,6	— 1	0
188	27 10	123,8	2,9	0	0	285	23 49	94,3	3,1	0	0
1147	29 52	112,8	4,7	0	0	1186	26 53	121,5	5,0	0	0
1133	34 38	29,6	5,1	— 3	— 1	144	30 23	314,7	2,9	— 1	0
56	37 34	259,3	4,7	0	0	282	33 42	54,3	3,9	0	0
172	39 48	151,8	4,0	— 2	0	250	39 07	22,2	5,7		— 1
218	42 46	75,6	5,5	0	0	154	42 55	231,6	4,1	0	0
111	46 23	344,4	3,0		— 2	158	46 08	321,7	5,1	— 1	0
1070	50 39	325,9	5,4	— 2	0	1144	50 02	199,0	3,3		— 1
66	52 39	290,3	2,7	0	0	295	53 53	53,8	1,2	0	0
209	57 06	125,8	2,9	0	0	1205	55 46	107,8	5,1	0	0
1158	04 00 40	54,9	4,5	0	0	1133	59 36	330,4	5,1	— 3	— 1
1074	03 20	228,8	5,7	0	0	1120	06 03 46	239,3	5,2	0	0
230	05 46	103,0	5,7	0	0	1145	06 22	340,6	4,9		— 1
1059	08 31	299,1	5,6	0	0	1131	09 21	227,3	5,9	0	0
1068	11 18	309,3	5,4	0	0	274	11 46	22,4	5,1		— 1
1146	13 06	147,2	4,3	— 1	0	304	14 49	120,0	5,1	0	0
81	16 51	288,5	5,7	0	0	169	17 25	240,3	4,1	0	0
104	19 46	225,9	4,1	0	0	1192	21 38	148,9	5,8	— 1	0
1082	22 22	323,2	5,0	— 1	0	1126	26 41	307,1	5,7	0	0
1145	26 05	19,4	4,9		— 1	321	29 58	69,8	5,5	0	0
1144	32 05	161,0	3,3		— 1	1199	32 46	28,9	5,5		— 1
1080	36 35	239,2	5,3	0	0	219	37 58	206,2	3,7		0
1091	39 32	226,2	4,9	0	0	316	41 15	102,5	4,0	0	0
254	46 44	60,2	3,2	0	0	188	44 27	236,2	2,9	0	0
221	49 15	23,4	4,2		— 1	1202	48 10	152,1	5,1		0

TABEL 2 (vervolg)

GROEP 08						GROEP 10					
No. FK3R	LST	Azi- mut	Magn.	(Ba) 2c	B(a) 4c	No. FK3R	LST	Azi- mut	Magn.	B(c) 2c	B(a) 4c
202	07 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 31 <sup>s</sup>	307°,2	1,8	0°,00	0°,00	390	09 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	31°,2	4,4	-0°,02	0°,00
320	22 57	27,1	6,1		- 1	422	11 43	69,4	2,6	0	0
311	26 03	157,7	5,1		- 1	289	16 55	238,9	5,2	0	0
1244	29 42	57,7	4,6	0	0	1274	22 49	143,0	5,9	- 1	0
250	32 27	337,8	5,7		- 1	1292	31 22	119,7	4,6	0	0
1171	36 32	218,6	5,4	- 1	0	320	37 31	332,9	6,1	- 3	- 1
1249	38 30	101,6	4,8	0	0	304	40 31	240,0	5,1	0	0
1158	40 46	305,1	4,5	0	0	425	43 01	41,4	3,7	- 1	0
1245	44 08	123,3	5,8	0	0	1286	46 00	139,3	6,1	- 1	0
271	48 10	202,7	4,1		- 1	389	49 50	163,4	4,1		- 1
352	50 34	38,1	3,3	- 1	0	1211	52 31	300,5	5,9	0	0
224	53 16	263,7	0,5	0	0	445	54 33	107,6	3,8	0	0
1240	56 33	143,6	5,8	- 1	0	1311	58 53	97,4	4,6	0	0
1163	59 02	295,8	4,3	0	0	410	10 05 26	159,4	3,3		- 1
1191	08 02 49	344,2	5,3		- 2	1237	07 39	334,6	4,7		- 1
274	05 50	337,6	5,1		- 1	1293	11 30	26,2	4,8		- 1
370	07 33	121,2	6,0	0	0	1282	14 12	16,4	5,1		- 2
360	14 03	32,2	4,6	- 2	0	1240	17 53	216,4	5,8	- 1	0
384	17 26	63,5	3,7	0	0	1317	22 02	104,3	5,1	0	0
1258	21 01	44,4	5,6	- 1	0	1318	27 20	58,3	4,8	0	0
1192	24 50	211,1	5,8	- 1	0	1230	30 49	240,6	5,2	0	0
1181	26 32	227,9	5,8	0	0	1232	33 02	316,7	5,6	- 1	0
396	28 50	92,0	3,9	0	0	1323	34 50	65,1	4,8	0	0
1179	33 13	243,1	5,7	0	0	364	36 36	209,2	5,0	- 2	0
254	36 02	299,8	3,2	0	0	1228	40 15	292,4	4,7	0	0
364	40 04	150,8	5,0	- 2	0	326	44 17	285,6	4,2	0	0
1279	42 43	72,8	5,6	0	0	352	46 31	321,9	3,3	- 1	0
1263	45 39	130,8	5,4	0	0	1235	49 50	247,4	5,8	0	0
1186	49 28	238,5	5,0	0	0	354	53 12	227,6	2,2	0	0
GROEP 12						GROEP 14					
1261	11 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup>	214°,0	4,7	-0°,01	0°,00	1371	13 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> 05 <sup>s</sup>	147°,1	4,6	-0°,01	0°,00
1336	14 44	120,1	5,9	0	0	1400	16 21	69,5	5,7	0	0
381	19 28	216,5	3,8	- 1	0	461	22 09	337,1	5,2		- 1
492	20 58	53,9	4,3	0	0	535	25 40	25,9	3,0		- 1
1251	24 52	310,9	5,7	- 1	0	1306	27 40	236,3	5,8	0	0
1335	27 51	134,8	4,9	0	0	1394	30 40	132,1	5,4	0	0
410	29 43	200,6	3,3		- 1	1406	32 43	113,9	6,1	0	0
1249	34 07	258,4	4,8	0	0	1321	39 45	215,0	5,8	- 1	0
1258	36 15	315,6	5,6	- 1	0	445	42 32	252,4	3,8	0	0
1282	40 06	343,6	5,1		- 2	1304	46 19	290,0	4,5	0	0
1337	43 01	33,9	5,1	- 2	0	564	50 06	134,5	2,7	0	0
1274	46 09	217,0	5,9	- 1	0	1308	56 26	280,7	5,5	0	0
1267	50 41	320,7	5,8	- 1	0	485	58 26	334,3	2,9		- 1
1352	54 52	123,9	5,8	0	0	593	14 04 35	56,3	4,2	0	0
378	59 01	265,4	4,9	0	0	475	07 23	229,5	4,8	0	0
388	12 03 27	239,3	6,1	0	0	491	11 04	335,0	6,1		- 1
498	05 55	139,6	1,2	- 1	0	1318	13 30	301,7	4,8	0	0
517	09 13	55,0	6,1	0	0	555	16 11	16,9	3,6		- 2
1355	11 51	132,5	5,2	0	0	613	20 26	82,8	4,5	0	0
1348	15 34	144,6	5,6	- 1	0	1357	24 28	200,6	5,7		- 1
412	19 34	321,6	3,9	- 1	0	1414	27 39	34,6	4,8	- 1	0
1378	23 16	72,1	5,4	0	0	1420	30 14	131,9	5,6	0	0
407	25 10	312,6	5,4	- 1	0	1348	33 30	215,3	5,6	- 1	0
1346	31 25	17,9	5,7		- 2	605	35 59	122,5	3,3	0	0
525	37 09	125,4	4,2	0	0	577	38 50	152,9	4,0	- 2	0
533	39 38	116,5	5,0	0	0	1326	42 05	269,9	5,0	0	0
1279	45 39	287,2	5,6	0	0	502	45 34	330,3	5,0	- 3	- 1
534	47 25	48,2	3,8	- 1	0	1433	48 12	116,9	5,9	0	0
1383	49 42	56,9	4,9	0	0	1423	49 55	32,2	4,9	- 2	0

TABEL 2 (vervolg)

GROEP 16						GROEP 18					
No. FK3R	LST	Azi-mut	Magn.	$B(a)_{2c}$	$B(a)_{4c}$	No. FK3R	LST	Azi-mut	Magn.	$B(a)_{2c}$	$B(a)_{4c}$
1441	15 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>	45°,3	5,4	0°,00	0°,00	1414	17 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 43 <sup>s</sup>	325°,4	4,8	-0°,01	0°,00
622	15 37	138,2	2,7	0	0	1486	14 46	134,1	4,7	0	0
1445	17 34	121,4	5,0	0	0	1498	17 08	52,8	5,5	0	0
1371	21 41	212,9	4,6	- 1	0	713	21 36	43,1	3,3	- 1	0
1446	28 06	40,6	5,3	- 1	0	1423	25 01	327,8	4,9	- 2	0
1430	31 34	152,1	5,8		0	1420	26 55	228,1	5,6	0	0
535	35 10	334,1	3,0		- 1	696	31 59	152,7	4,7		0
1370	38 44	325,1	4,8	- 1	0	1513	36 49	76,3	4,5	0	0
626	40 58	23,9	3,6		- 1	732	39 37	54,3	3,2	0	0
647	45 33	123,6	4,6	0	0	626	42 00	336,1	3,6	- 1	
1450	48 11	138,1	5,6	0	0	1509	43 59	118,4	5,2	0	0
525	50 33	234,5	4,2	0	0	593	47 12	303,7	4,2	0	0
516	53 08	251,9	4,3	0	0	622	54 11	221,8	2,7	0	0
667	55 07	54,6	3,5	0	0	605	56 19	237,5	3,3	0	0
643	57 38	31,4	3,4	- 2	0	746	58 12	109,9	3,7	0	0
1468	16 00 40	58,3	5,5	0	0	737	18 02 11	128,8	5,0	0	0
522	02 58	300,0	4,8	0	0	724	06 58	27,4	4,5	- 1	
1390	10 11	219,5	5,6	- 1	0	1523	09 27	54,9	4,7	0	0
533	12 31	243,5	5,0	0	0	1495	16 16	162,1	5,6	- 1	
526	15 03	287,8	0,2	0	0	1433	20 12	243,1	5,9	0	0
1380	17 17	310,3	4,5	- 1	0	658	23 27	203,7	3,6	- 1	
580	21 25	342,7	5,4		- 2	1450	26 53	221,9	5,6	0	0
1378	25 48	287,9	5,4	0	0	643	29 37	238,6	3,4	- 2	0
577	27 37	207,1	4,0		0	1446	32 05	319,4	5,3	- 1	0
688	34 44	118,5	3,4	0	0	727	37 50	159,7	4,6	- 1	
564	39 30	225,5	2,7	0	0	1445	40 13	238,6	5,0	0	0
672	41 21	30,1	4,0	- 2	- 1	1440	45 24	298,8	5,2	0	0
703	43 30	69,9	4,3	0	0	1461	48 17	219,6	5,7	- 1	0
658	47 02	156,3	3,6		- 1	1525	50 31	31,9	4,8	- 2	0
GROEP 20						GROEP 22					
1522	19 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	157°,4	5,1		-0°,01	765	21 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup>	340°,9	2,3		-0°,01
780	13 21	40,1	2,6	-0°,01	0	1509	13 04	241,6	5,2	0°,00	0
800	15 42	101,1	4,1	0	0	1583	16 18	21,9	4,6	- 1	
804	19 06	71,7	4,3	0	0	732	18 32	305,7	3,2	0	0
781	22 29	135,7	3,8	0	0	1521	20 51	323,1	4,0	- 1	0
762	26 26	154,1	3,3		0	761	23 42	214,7	3,8	- 1	0
765	31 22	19,1	2,3		- 1	1614	26 41	98,9	4,4	0	0
667	34 36	305,4	3,5	0	0	884	32 25	109,7	4,9	0	0
669	38 14	335,1	0,1		- 1	852	35 31	24,6	4,9	- 1	
674	42 21	308,8	3,8	0	0	1513	41 37	283,8	4,4	0	0
1468	46 53	301,7	5,5	0	0	1613	45 21	44,3	5,5	- 1	0
1559	49 00	37,6	4,4	- 1	0	1608	49 23	134,8	4,5	0	0
677	53 58	254,4	4,0	0	0	1536	51 39	223,3	5,8	0	0
826	56 06	85,2	5,7	0	0	1609	54 40	136,3	5,2	0	0
727	20 00 56	200,3	4,6		- 1	752	58 13	287,8	3,7	0	0
688	03 39	241,5	3,4	0	0	1629	22 00 38	60,8	4,8	0	0
1569	06 17	131,2	4,8	0	0	781	08 27	224,3	3,8	0	0
702	09 34	228,0	5,1	0	0	866	11 00	159,8	3,5	- 1	
1480	14 04	243,6	5,4	0	0	1558	14 22	336,9	4,3	- 1	
1514	19 35	199,1	5,1		- 1	1	19 08	52,1	2,2	0	0
724	22 57	332,6	4,5		- 1	794	21 32	218,5	4,5	- 1	0
719	26 33	326,1	5,1	- 2	0	1543	24 07	236,1	4,6	0	0
818	30 16	141,5	5,4	- 1	0	1562	27 34	213,4	5,5	- 1	0
835	33 38	42,3	4,4	- 1	0	1010	29 46	108,2	6,0	0	0
1488	36 29	302,9	4,9	0	0	1006	36 08	46,5	5,8	- 1	0
1522	41 40	202,6	5,1		- 1	786	42 13	305,7	5,2	0	0
703	44 18	290,1	4,3	0	0	1020	44 11	77,6	5,2	0	0
811	47 06	18,6	5,1		- 2	894	47 10	153,5	4,6	- 2	0
1577	49 58	149,2	5,2	- 1	0	19	49 48	51,6	4,5	0	0

TABEL 4. Astrolabiumwaarnemingen. Residuen uit de eerste berekening.

GROEP 00					GROEP 02				
No.FK3R	$n$	$\bar{v}_3$	$\sigma$	$\bar{v}_4$	No.FK3R	$n$	$\bar{v}_3$	$\sigma$	$\bar{v}_4$
1034	10	+0",18	0",05	+0",23	897	15	-0",20	0",07	-0",23
1039	14	+ 13	4	+ 13	1080	16	- 1	4	- 3
43	15	- 13	4	- 20	880	18	- 10	5	0
30	16	+ 13	3	+ 8	1094	17	+ 10	3	+ 7
866	14	+ 9	3	+ 13	116	18	+ 3	3	+ 5
1570	17	- 2	3	+ 9	1614	20	- 10	3	- 7
852	17	+ 3	4	+ 3	1009	19	+ 3	4	+ 5
42	17	- 11	2	- 13	1630	17	0	3	- 5
40	17	+ 5	3	+ 7	900	19	+ 10	3	+ 7
66	15	+ 9	2	+ 10	1071	15	+ 2	4	0
47	16	- 12	2	- 15	1091	18	+ 2	3	+ 2
1049	17	- 10	2	- 10	1629	18	+ 3	4	+ 10
1590	17	+ 10	4	+ 13	1	17	+ 25	3	+ 27
842	14	- 1	3	+ 2	150	19	0	4	+ 5
1600	14	- 6	3	- 7	109	19	- 4	5	- 8
1047	17	+ 8	4	+ 4	30	19	+ 12	3	+ 7
1595	14	+ 3	4	+ 3	127	17	- 7	5	- 1
1059	17	+ 3	5	+ 1	1004	18	- 15	3	- 7
1041	16	- 13	4	- 16	1116	18	+ 6	4	+ 2
850	17	+ 1	4	0	162	18	+ 2	3	+ 4
857	16	- 5	3	- 3	59	15	+ 25	5	+ 23
1610	16	+ 1	4	+ 3	111	16	- 20	3	- 23
1051	16	0	3	- 3	1041	15	- 11	4	- 16
894	17	+ 5	3	+ 2	42	16	+ 12	4	+ 10
1608	15	- 1	3	- 7	148	19	+ 3	4	0
75	17	+ 12	4	+ 11	154	17	- 12	4	- 4
79	17	- 18	3	- 15	1120	17	- 1	4	+ 5
1607	17	- 14	3	- 19	1023	15	- 14	6	- 7
870	16	- 5	3	- 4	158	17	+ 1	6	- 2
GROEP 04					GROEP 06				
1033	17	-0",05	0",04	+0",01	1171	19	-0",28	0",04	-0",13
1071	18	+ 3	3	- 5	114	26	- 12	4	- 1
181	21	+ 3	3	+ 5	1089	28	- 8	4	+ 3
1049	22	- 3	4	- 12	261	29	- 2	3	- 2
188	20	+ 4	3	+ 12	285	30	+ 7	3	+ 7
1147	22	- 8	3	- 6	1186	29	- 3	3	0
1133	19	- 10	4	- 9	144	29	+ 10	4	+ 13
56	23	- 13	2	- 7	282	29	+ 2	3	+ 1
172	22	- 33	3	- 25	250	26	- 15	3	- 15
218	23	+ 8	3	+ 6	154	30	+ 5	3	- 3
111	17	+ 3	4	0	158	30	- 2	3	+ 2
1070	23	- 1	3	0	1144	29	+ 20	3	+ 20
66	24	+ 15	2	+ 22	295	31	+ 4	4	+ 7
209	24	+ 1	3	+ 8	1205	29	+ 11	2	+ 9
1158	22	+ 2	4	- 2	1133	29	- 3	3	- 1
1074	20	- 1	4	- 12	1120	29	+ 9	3	+ 8
230	21	+ 5	4	+ 3	1145	27	- 4	3	- 5
1059	21	- 9	3	- 1	1131	22	- 8	4	- 13
1068	23	- 6	3	- 2	274	28	- 6	3	- 7
1146	21	+ 9	3	+ 17	304	30	- 4	3	- 4
81	23	+ 11	3	+ 19	169	30	+ 6	3	- 1
104	22	+ 6	3	- 5	1192	27	- 11	3	+ 3
1082	19	+ 1	4	0	1126	25	+ 5	3	+ 10
1145	20	- 9	3	- 13	321	27	+ 9	2	+ 1
1144	21	0	4	+ 9	1199	25	+ 6	3	+ 2
1080	21	+ 21	3	+ 12	219	24	- 9	4	- 11
1091	17	+ 1	3	- 8	316	26	+ 2	3	+ 3
254	21	+ 10	4	+ 6	188	27	0	4	- 8
221	20	- 10	3	- 12	1202	23	- 7	4	+ 8

TABEL 4 (vervolg)

GROEP 08					GROEP 10				
No.FK3R	$n$	$\bar{v}_3$	$\sigma$	$\bar{v}_4$	No.FK3R	$n$	$\bar{v}_3$	$\sigma$	$\bar{v}_4$
202	15	+0",18	0",04	+0",14	390	15	-0",12	0",05	-0",18
320	18	- 17	4	- 17	422	17	+ 16	5	+ 16
311	22	+ 6	4	+ 13	289	19	- 8	5	- 13
1244	21	- 11	3	- 16	1274	19	- 1	4	+ 5
250	21	- 8	3	- 3	1292	18	+ 13	4	+ 16
1171	22	- 14	4	- 24	320	18	- 3	4	- 1
1249	20	- 22	4	- 23	304	19	- 9	5	- 14
1158	20	+ 24	4	+ 28	425	19	+ 11	3	+ 7
1245	21	- 2	4	- 2	1286	15	- 22	4	- 15
271	18	+ 33	3	+ 29	389	17	+ 6	3	+ 10
352	20	+ 10	3	+ 8	1211	13	+ 9	5	+ 15
224	21	+ 12	4	+ 7	445	19	+ 1	4	+ 2
1240	21	- 8	4	- 2	1311	19	+ 5	3	+ 6
1163	20	+ 6	4	+ 10	410	18	- 5	3	- 14
1191	11	+ 1	4	0	1237	16	- 18	4	+ 20
274	20	- 7	3	- 1	1293	19	- 9	4	- 14
370	19	+ 13	4	+ 14	1282	18	- 24	4	- 26
360	17	- 3	5	- 7	1240	17	- 5	4	- 9
384	21	+ 9	3	+ 6	1317	15	- 9	4	- 8
1258	21	- 10	2	- 15	1318	19	- 1	4	- 2
1192	21	- 9	3	- 13	1230	16	0	4	- 2
1181	16	- 20	5	- 24	1232	14	- 8	5	- 5
396	21	0	3	+ 3	1323	17	+ 15	5	+ 14
1179	20	- 11	5	- 10	364	15	+ 23	4	+ 21
254	20	- 2	2	+ 3	1228	15	+ 13	4	+ 22
364	17	+ 1	3	+ 9	326	15	- 1	5	+ 6
1279	19	+ 16	3	+ 13	352	15	- 5	5	- 3
1263	19	+ 11	5	+ 14	1235	11	- 5	7	- 6
1186	18	- 18	4	- 20	354	14	0	4	- 8
GROEP 12					GROEP 14				
1261	8	-0",10	0",04	-0",16	1371	7	+0",10	0",08	+0",14
1336	12	+ 9	7	+ 6	1400	11	- 2	4	- 4
381	13	+ 6	4	0	461	11	+ 16	3	+ 15
492	10	+ 9	5	+ 9	535	11	- 11	4	- 6
1251	13	+ 12	3	+ 16	1306	11	+ 1	5	- 6
1335	13	- 18	5	- 18	1394	10	+ 7	3	+ 6
410	13	+ 10	3	+ 25	1406	10	- 4	5	- 4
1249	12	+ 9	4	+ 9	1321	12	+ 8	2	+ 6
1258	13	+ 8	4	+ 11	445	12	- 6	3	- 11
1282	11	+ 3	3	+ 5	1304	12	- 4	4	- 3
1337	13	- 8	5	- 8	564	11	- 4	5	- 2
1274	13	- 9	3	- 15	1308	11	+ 4	4	+ 3
1267	12	+ 19	4	+ 22	485	11	+ 6	5	+ 2
1352	13	+ 3	3	+ 1	593	12	- 9	3	- 9
378	13	- 9	4	- 5	475	11	- 10	3	- 15
388	12	- 2	6	- 9	491	7	+ 12	5	+ 10
498	13	0	4	+ 6	1318	9	+ 8	3	+ 10
517	11	0	7	+ 1	555	9	- 22	4	- 17
1355	13	- 6	4	- 7	613	9	- 5	4	- 8
1348	11	- 8	3	- 5	1357	10	+ 4	4	+ 5
412	11	- 8	5	- 8	1414	12	+ 4	5	+ 3
1378	13	+ 8	4	+ 5	1420	11	+ 3	5	+ 1
407	12	- 2	4	+ 1	1348	11	- 10	3	- 11
1346	10	- 32	3	- 29	605	9	+ 7	6	+ 8
525	13	+ 33	4	+ 30	577	11	- 14	3	- 8
533	13	- 6	5	- 12	1326	12	+ 6	3	+ 6
1279	10	- 22	4	- 17	502	11	- 8	4	- 10
534	12	- 1	4	- 3	1433	9	+ 7	4	+ 4
1383	11	- 3	5	- 6	1423	9	+ 12	4	+ 11

TABEL 4 (vervolg)

GROEP 16					GROEP 18				
No.FK3R	<i>n</i>	$\bar{v}_3$	$\sigma$	$\bar{v}_4$	No.FK3R	<i>n</i>	$\bar{v}_3$	$\sigma$	$\bar{v}_4$
1441	11	+0",14	0",06	+0",12	1414	9	+0",29	0",07	+0",23
622	13	+ 4	4	+ 6	1486	13	0	6	- 4
1445	12	+ 15	3	+ 12	1498	17	- 14	3	- 14
1371	12	- 6	4	- 5	713	19	+ 7	2	+ 13
1446	13	+ 8	4	+ 11	1423	16	+ 8	3	+ 3
1430	14	+ 21	4	+ 26	1420	18	+ 9	3	+ 10
535	12	+ 22	4	+ 22	696	18	- 10	3	- 3
1370	14	0	3	+ 2	1513	17	- 2	4	- 3
626	11	- 27	4	- 20	732	18	+ 2	2	+ 5
647	13	+ 8	2	+ 4	626	16	- 7	3	- 11
1450	13	- 8	3	- 11	1509	16	+ 25	3	+ 24
525	14	+ 19	4	+ 15	593	19	+ 17	3	+ 14
516	14	+ 8	2	+ 3	622	16	+ 15	3	+ 16
667	12	- 51	3	- 52	605	17	- 2	3	- 8
643	14	- 11	3	- 4	746	17	+ 10	3	+ 9
1468	13	+ 14	3	+ 9	737	16	- 7	3	- 7
522	12	+ 10	3	+ 13	724	17	- 12	3	- 4
1390	12	- 26	4	- 24	1523	17	- 8	3	- 9
533	13	- 7	3	- 7	1495	11	+ 4	5	0
526	13	+ 10	5	+ 6	1433	13	- 11	6	- 12
1380	13	+ 14	2	+ 15	658	15	- 2	3	+ 10
580	9	- 14	3	- 9	1450	14	+ 2	3	+ 14
1378	12	- 11	3	- 9	643	16	- 7	3	- 11
577	13	- 19	4	- 14	1446	15	+ 1	3	0
688	11	+ 16	3	+ 12	727	13	- 4	3	- 10
564	13	- 11	3	- 10	1445	15	- 23	2	- 23
672	12	- 14	2	- 9	1440	15	- 4	3	- 1
703	11	+ 21	5	+ 13	1461	14	- 13	2	- 12
658	10	- 8	3	- 5	1525	15	- 11	4	- 3
GROEP 20					GROEP 22				
1522	10	+0",12	0",03	+0",14	765	15	+0",16	0",04	+0",09
780	16	+ 3	5	+ 9	1509	21	- 3	5	- 2
800	17	+ 3	3	+ 2	1583	20	- 9	4	- 4
804	16	+ 3	4	+ 3	732	20	+ 9	3	+ 10
781	17	+ 11	3	+ 9	1521	22	+ 17	3	+ 12
762	17	+ 7	4	+ 9	761	15	+ 8	5	+ 9
765	12	- 23	4	- 20	1614	22	- 13	3	- 9
667	17	+ 47	5	+ 43	884	20	+ 11	2	+ 9
699	18	+ 18	3	+ 12	852	23	- 15	3	- 12
674	16	+ 21	5	+ 20	1513	23	+ 11	3	+ 14
1468	15	+ 2	4	+ 2	1613	18	+ 11	2	+ 13
1559	17	+ 3	3	+ 10	1608	22	+ 4	3	+ 4
677	17	- 4	5	- 11	1536	20	- 2	3	- 2
826	14	- 1	4	- 2	1609	20	+ 6	3	+ 4
727	12	+ 7	6	- 1	752	23	- 5	3	0
688	16	- 14	3	- 20	1629	21	- 2	3	- 2
1569	16	0	3	- 3	781	21	+ 7	3	+ 4
702	16	+ 3	4	+ 7	866	16	+ 1	4	+ 1
1480	15	- 18	5	- 19	1558	19	+ 9	3	+ 1
1514	16	- 9	3	- 2	1	22	- 3	2	+ 1
724	15	- 5	5	- 6	794	20	- 8	3	- 9
719	16	- 24	4	- 24	1543	21	- 16	2	- 18
818	15	- 2	4	- 3	1562	21	- 7	4	- 9
835	14	- 15	4	- 7	1010	16	- 14	4	- 9
1488	15	+ 2	4	+ 4	1006	14	- 14	5	- 14
1522	14	+ 8	5	+ 12	786	17	- 19	3	- 17
703	15	- 10	3	- 7	1020	17	+ 10	5	+ 10
811	15	- 32	3	- 25	894	16	+ 10	4	+ 6
1577	13	- 15	5	- 13	19	16	+ 4	4	+ 2

## Annex 9

TABEL 5. Verloop van de klokken die de chronograaf synchroni-  
seerden voor de herberekening van de astrolabiumwaarnemingen.

Periode	Verloop in msec per dag		
	K0	K1	K2
25 juli 1957 – 27 september 1957	00		
28 september 1957 – 5 januari 1958	-10		
6 januari 1958 – 22 mei 1958	-20		
23 mei 1958 – 31 mei 1958			- 80
1 juni 1958 – 27 juni 1958			- 90
28 juni 1958 – 30 juni 1958			-100
1 juli 1958 – 31 juli 1958		-100	
1 augustus 1958 – 22 november 1958			-100
23 november 1958 – 3 januari 1959			-110

## Annex 10

TABEL 6. Correcties voor de verandering van de sterfswijkingen met de tijd.

	Series als eerste waargenomen			Series als tweede waargenomen		
	R	S	RA/T	R	S	RA/T
1	+0",07	+0",13	+0",10	0",00	-0",01	0",00
2	+ 4	+ 8	+ 6		- 1	
3	+ 1	+ 4	+ 2		- 1	
4	- 2	- 1	- 2		- 1	
5	- 5	- 3	- 4		- 1	
6	- 6	- 5	- 5		- 2	
7	- 6	- 5	- 5		- 2	
8	- 6	- 5	- 5		- 2	
9	- 5	- 5	- 5		- 3	
10	- 4	- 5	- 4		- 3	
11	- 4	- 5	- 4		- 3	
12	- 3	- 4	- 3		- 3	
13	- 2	- 4	- 3		- 2	
14	- 1	- 3	- 2		- 1	
15	- 1	- 2	- 1		0	
16	0	- 1	0		+ 1	
17	0	+ 1	+ 1		+ 2	
18	+ 1	+ 2	+ 2		+ 3	
19	+ 1	+ 3	+ 2		+ 4	
20	+ 2	+ 4	+ 3		+ 4	
21	+ 2	+ 4	+ 3		+ 4	
22	+ 3	+ 4	+ 3		+ 3	
23	+ 3	+ 3	+ 3		+ 3	
24	+ 3	+ 2	+ 3		+ 2	
25	+ 3	+ 1	+ 2		+ 1	
26	+ 4	0	+ 2		0	
27	+ 4	- 1	+ 2		- 1	
28	+ 4	- 2	+ 1		- 2	
29	+ 5	- 3	+ 1		- 3	

TABEL 7. Berekening van de groepcorrecties  $dAT$ . Eenheid:  $0^s,001$ .

Per kolom  $(i-1, i)$  worden achtereenvolgens gegeven: achter de datum de waargenomen verschillen  $\Delta T_{i-1} - \Delta T_i$  en hun gewichten, het gemiddelde verschil  $\bar{\Delta T}_{i-1} - \bar{\Delta T}_i$  en het gewicht, het verschil  $\Delta \bar{T}_{20} - \Delta \bar{T}_i$ , hetzelfde verschil verbeterd voor de sluitfout en tenslotte  $dAT_i = \bar{\Delta T}_g - \bar{\Delta T}_i$  voor groep  $i$ .

20-22	22-00	00-02	02-04	04-06	06-08
57-VIII-15 -11 3 22 0 2 58- IX- 2 -13 3 9 - 2 4 10 - 5 4	57-VIII-26 + 6 2 58- IX- 9 - 7 4 10 - 8 4 24 - 5 4 X-23 + 3 4	57- IX-24 +17 3 27 -19 4 X-14 +14 4 15 + 5 2 17 -15 3 58- XI- 2 - 3 4 11 + 1 4 12 - 3 4	57- X-26 + 5 4 XI- 3 +16 3 14 + 5 3 16 +24 1 58- XII-12 - 2 3	57- XI-25 + 5 3 XII- 8 -11 4 9 - 6 2 11 + 2 2 12 - 2 3 16 - 3 4 17 +12 3 20 + 5 4 22 +11 2 24 -22 3 58- XII-22 -23 3 31 -20 4 59- I- 3 - 4 4	58- I-17 -11 3 20 -21 3 24 +10 4 25 - 4 4 27 + 2 3 31 +29 4 II- 1 0 3 2 -12 3 6 - 9 3 7 -14 4
- 6,3 (16)	- 3,1 (18)	- 0,9 (28)	+ 7,2 (14)	- 5,1 (41)	- 2,0 (34)
- 6,3	- 9,4	-10,3	- 3,1	- 8,2	-10,2
- 6,0	- 8,7	- 9,3	- 1,8	- 6,5	- 8,2
22 - 3,5	00 - 6,2	02 - 6,8	04 - 0,7	06 - 4,0	08 - 5,7

TABEL 8. Berekening van de groepcorrecties  $d\Delta\varphi$ . Eenheid:  $0^s,01$ .

Per kolom  $(i-1, i)$  worden achtereenvolgens gegeven: achter de datum de waargenomen verschillen  $\varphi_{i-1} - \varphi_i$  en hun gewichten, het gemiddelde verschil  $\bar{\varphi}_{i-1} - \bar{\varphi}_i$  en het gewicht, het verschil  $\bar{\varphi}_{20} - \bar{\varphi}_i$ , hetzelfde verschil verbeterd voor de sluitfout en tenslotte  $d\Delta\varphi_i = \bar{\varphi}_g - \bar{\varphi}_i$  voor groep  $i$ .

20-22	22-00	00-02	02-04	04-06	06-08
57-VIII-15 + 9 3 22 - 4 2 58- IX- 2 - 4 4 9 - 2 4 10 +12 4	57-VIII-26 + 2 2 58- IX- 9 + 2 4 10 + 6 4 24 - 3 4 X-23 +10 4	57- IX-24 - 2 3 27 - 5 4 X-14 - 4 4 15 -21 1 17 - 8 2 58- XI- 2 - 9 4 11 -13 4 12 - 8 4	57- X-26 + 9 3 XI- 3 + 4 3 14 + 7 1 16 - 3 1 58- XII-12 +17 2	57- XI-25 + 5 3 XII- 8 +16 4 9 + 6 2 11 +22 2 12 +17 4 16 +12 4 17 +14 2 20 +10 4 22 + 1 1 24 + 5 3 58- XII-22 +15 3 31 + 2 3 59- I- 3 +14 4	58- I-17 -10 2 20 + 8 3 24 + 4 4 25 - 6 3 27 -18 1 31 + 2 3 II- 1 + 9 3 2 - 2 3 6 -11 3 7 +10 4
+ 2,5 (17)	+ 3,6 (18)	- 7,7 (26)	+ 7,7 (10)	+11,3 (39)	+ 0,6 (29)
+ 2,5	+ 6,1	- 1,6	+ 6,1	+17,4	+18,0
+ 3,0	+ 7,2	0	+ 8,3	+20,1	+21,3
22 - 6,6	00 - 2,4	02 - 9,6	04 - 1,3	06 +10,5	08 +11,7

TABEL 9. Berekening van de groepcorrecties  $dr$ . Eenheid:  $0^s,01$ .

Per kolom  $(i-1, i)$  worden achtereenvolgens gegeven: achter de datum de waargenomen verschillen  $r_{i-1} - r_i$ , het gemiddelde verschil  $\bar{r}_{i-1} - \bar{r}_i$ , het verschil  $\bar{r}_{20} - \bar{r}_i$ ; na de dubbele streep:  $\bar{r}_{i-1} - \bar{r}_i$  bepaald uit figuur 17,  $\bar{r}_{20} - \bar{r}_i$ , hetzelfde verschil verbeterd voor de sluitfout en tenslotte  $dr_i = \bar{r}_g - \bar{r}_i$  voor groep  $i$ .

20-22	22-00	00-02	02-04	04-06	06-08
57-VIII-15 +17 22 +15 58- IX- 2 +22 9 +19 10 +13	57-VIII-26 + 5 58- IX- 9 + 4 10 + 8 24 +19 X-23 +26	57- IX-24 +14 27 + 5 X-14 0 15 +17 17 + 7 58- XI- 2 +15 11 + 2 12 + 6	57- X-26 +16 XI- 3 + 5 14 - 2 16 +14 58- XII-12 +32	57- XI-25 0 XII- 8 + 9 9 + 6 11 -11 12 +15 16 +11 17 + 5 20 + 6 22 +15 24 + 7 58 XII-22 +11 31 + 5 59- I- 3 + 6	58- I-17 + 8 20 +15 24 +25 25 + 5 27 +10 31 +16 II- 1 +22 2 +14 6 +15 7 - 3
+17,2 +17,2	+12,4 +29,6	+ 8,2 +37,8	+13,0 +50,8	+ 6,5 +57,3	+12,7 +70,0
- 1,4	- 0,8	- 0,2	+ 0,8	- 2,6	- 0,6
- 1,4	- 2,2	- 2,4	- 1,6	- 4,2	- 4,8
- 1,8	- 3,0	- 3,5	- 3,1	- 6,1	- 7,0
22 + 2,2	00 + 1,0	02 + 0,5	04 - 0,9	06 - 2,1	08 - 3,0



## Annex 11

08-10		10-12		12-14		14-16		16-18		18-20	
58- I-24 - 5	4	58- III-20 +11	3	58- IV- 9 +12	3	58- V-28 - 7	4	58- V-29 -10	4	58- VII-31 - 6	4
25 + 4	4	26 +10	3	10 - 3	4	29 + 7	4	VI-28 + 1	4	VIII- 4 - 5	4
31 -42	3			15 +10	4	VI- 9 - 3	4	VII-11 + 4	4		
II- 8 ÷ 5	3			16 - 2	4			12 - 3	4		
10 +10	4			V-24 + 8	4			13 + 4	4		
18 - 7	3			25 0	4						
19 + 6	3										
23 +10	3										
III- 9 + 3	3										
10 + 3	4										
- 0,8 (34)		+10,5 (6)		+ 3,8 (23)		- 1,0 (12)		- 0,8 (20)		- 5,5 (8)	
-11,0		- 0,5		+ 3,3		+ 2,3		+ 1,5		sluitfout = -4,0	
- 8,7		+ 2,2		+ 6,3		+ 5,6		+ 5,2		0	20-g = -2,5
10 - 6,2		12 + 4,7		14 + 8,8		16 + 8,1		18 + 7,7		20 + 2,5	

## Annex 12

08-10		10-12		12-14		14-16		16-18		18-20	
58- I-24 - 9	4	58- III-20 -10	3	58- IV- 9 -16	3	58- V-28 + 1	4	58- V-29 + 6	4	58- VII-31 - 9	4
25 + 8	3	26 - 4	3	10 -16	3	29 -13	4	VI-28 + 9	4	VIII- 4 - 9	4
31 - 4	2			15 - 6	4	VI- 9 -22	4	VII-11 + 9	4		
II- 8 - 2	2			16 - 9	4			12 + 9	4		
10 + 3	4			V-24 + 9	4			13 + 6	4		
18 + 2	2			25 + 8	3						
19 - 9	2										
23 - 3	3										
III- 9 0	3										
10 + 5	4										
- 0,5 (29)		- 7,0 (6)		- 4,6 (21)		-11,3 (12)		+ 7,8 (20)		- 9,0 (8)	
+17,5		+10,5		+ 5,9		- 5,4		+ 2,4		sluitfout = -6,6	
+21,3		+14,9		+10,9		+ 0,1		+ 8,4		0	20-g = +9,6
10 +11,7		12 + 5,3		14 + 1,3		16 - 9,5		18 - 1,2		20 - 9,6	

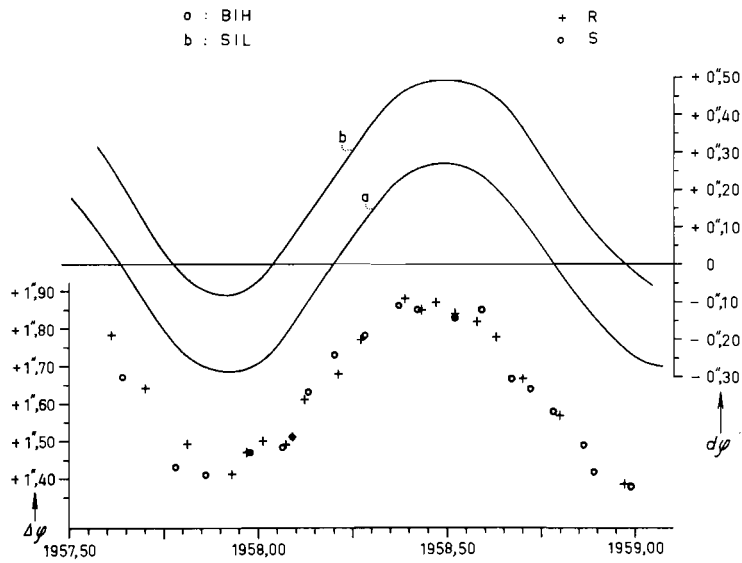
## Annex 13

08-10		10-12		12-14		14-16		16-18		18-20	
58- I-24 + 9		58- III-20 - 1		58- IV- 9 +13		58- V-28 +28		58- V-29 +12		58- VII-31 +13	
25 + 2		26 + 7		10 +12		29 +19		VI-28 +19		VIII- 4 +20	
31 + 6				15 +21		VI- 9 +17		VII-11 +15			
II- 8 + 8				16 +15				12 + 9			
10 +10				V-24 +30				13 +13			
18 +10				25 +29							
19 +19											
23 +18											
III- 9 +32											
10 +24											
+13,8		+ 3,0		+ 20,0		+ 21,3		+ 13,6		+ 16,5	
+83,8		+86,8		+106,8		+128,1		+141,7		sluitfout = +158,2	
+ 2,1		- 6,0		+ 5,0		+ 6,5		+ 2,9		- 1,2	
- 2,7		- 8,7		- 3,7		+ 2,8		+ 5,7		sluitfout = +4,5	
- 5,3		-11,7		- 7,1		- 0,9		+ 1,6		0	20-g = -4,0
10 - 1,3		12 - 7,7		14 - 3,1		16 + 3,1		18 + 5,6		20 + 4,0	

TABEL 11. Variatie van de waargenomen breedte  $\varphi$ .  $\varphi_0 = +12^{\circ}09'50'',00$ 

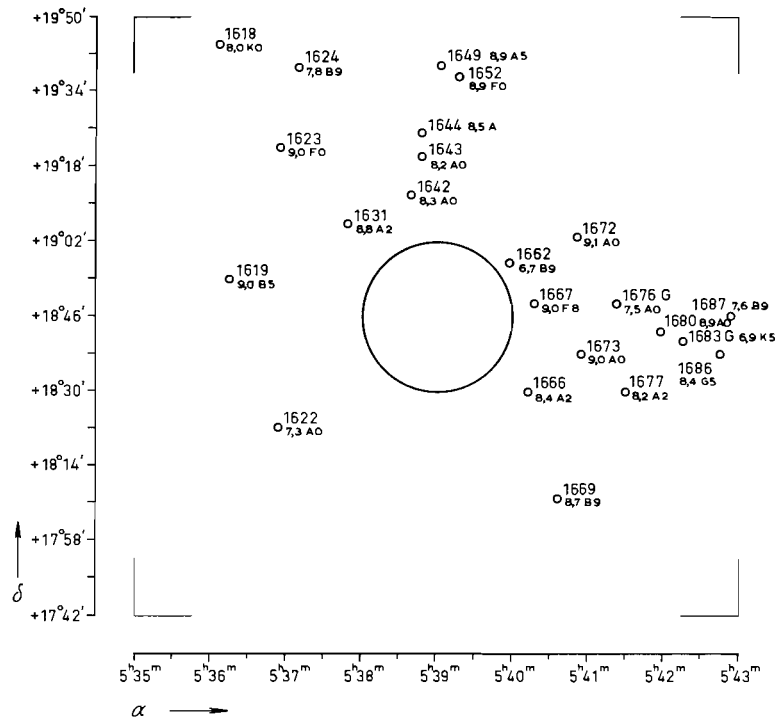
Waar- nemer	Periode	Gemidd. datum	Gemidd. datum in 0,01 jaar	Aantal series	Som gewicht	$\Delta\varphi$	
R	1957 25 juli - 24 aug.	11 aug.	61	7	21	+1",81	
	25 aug. - 27 sept.	12 sept.	70	7	20	+1 ,67	
	27 sept. - 15 nov.	21 okt.	81	9	21	+1 ,52	
	16 nov. - 15 dec.	4 dec.	93	7	21	+1 ,44	
	16 dec. - 23 dec.	19 dec.	97	6	20	+1 ,50	
	24 dec. - 20 jan.	5 jan.	01	6	19	+1 ,53	
	1958 21 jan. - 28 jan.	25 jan.	07	6	19	+1 ,52	
	29 jan. - 7 febr.	2 febr.	09	7	21	+1 ,54	
	8 febr. - 28 febr.	12 febr.	12	7	22	+1 ,64	
	1 mrt. - 26 mrt.	18 mrt.	21	6	21	+1 ,71	
	26 mrt. - 30 april	7 april	27	6	22	+1 ,80	
	1 mei - 29 mei	23 mei	39	5	18	+1 ,91	
	29 mei - 15 juni	5 juni	43	5	20	+1 ,88	
	16 juni - 28 juni	22 juni	47	5	20	+1 ,90	
	28 juni - 19 juli	8 juli	52	5	20	+1 ,87	
	20 juli - 4 aug.	29 juli	58	5	20	+1 ,85	
	4 aug. - 5 sept.	18 aug.	63	5	19	+1 ,81	
	6 sept. - 30 sept.	14 sept.	70	5	19	+1 ,70	
	1 okt. - 30 nov.	19 okt.	80	5	20	+1 ,60	
	1 dec. - 31 dec.	21 dec.	97	6	18	+1 ,42	
	S	1957 7 aug. - 20 sept.	23 aug.	64	7	19	+1 ,64
		21 sept. - 27 okt.	11 okt.	78	6	20	+1 ,40
		28 okt. - 10 dec.	10 nov.	86	7	21	+1 ,38
		11 dec. - 14 jan.	22 dec.	98	7	20	+1 ,44
1958 15 jan. - 24 jan.		21 jan.	06	6	21	+1 ,45	
24 jan. - 8 febr.		1 febr.	09	6	22	+1 ,48	
9 febr. - 28 febr.		17 febr.	13	7	19	+1 ,60	
1 mrt. - 31 mrt.		13 mrt.	30	6	21	+1 ,70	
1 april - 16 april		11 april	28	6	21	+1 ,75	
16 april - 27 mei		14 mei	37	6	22	+1 ,83	
28 mei - 30 juni		3 juni	42	5	20	+1 ,82	
1 juli - 15 juli		10 juli	52	5	20	+1 ,80	
16 juli - 18 aug.		2 aug.	59	5	19	+1 ,82	
19 aug. - 10 sept.		2 sept.	67	5	20	+1 ,64	
10 sept. - 25 sept.		18 sept.	72	5	20	+1 ,61	
26 sept. - 31 okt.		21 okt.	78	5	20	+1 ,55	
1 nov. - 12 nov.		8 nov.	86	6	24	+1 ,46	
13 nov. - 15 dec.		21 nov.	89	7	24	+1 ,39	
1959 16 dec. - 3 jan.		29 dec.	99	6	23	+1 ,35	
RA		1958 26 juli - 6 sept.	14 aug.	62	12	19	+1 ,97
	28 nov. - 14 dec.	5 dec.	93	10	11	+1 ,63	
T	1958 5 aug. - 17 aug.	11 aug.	61	5	8	+2 ,01	

Annex 15

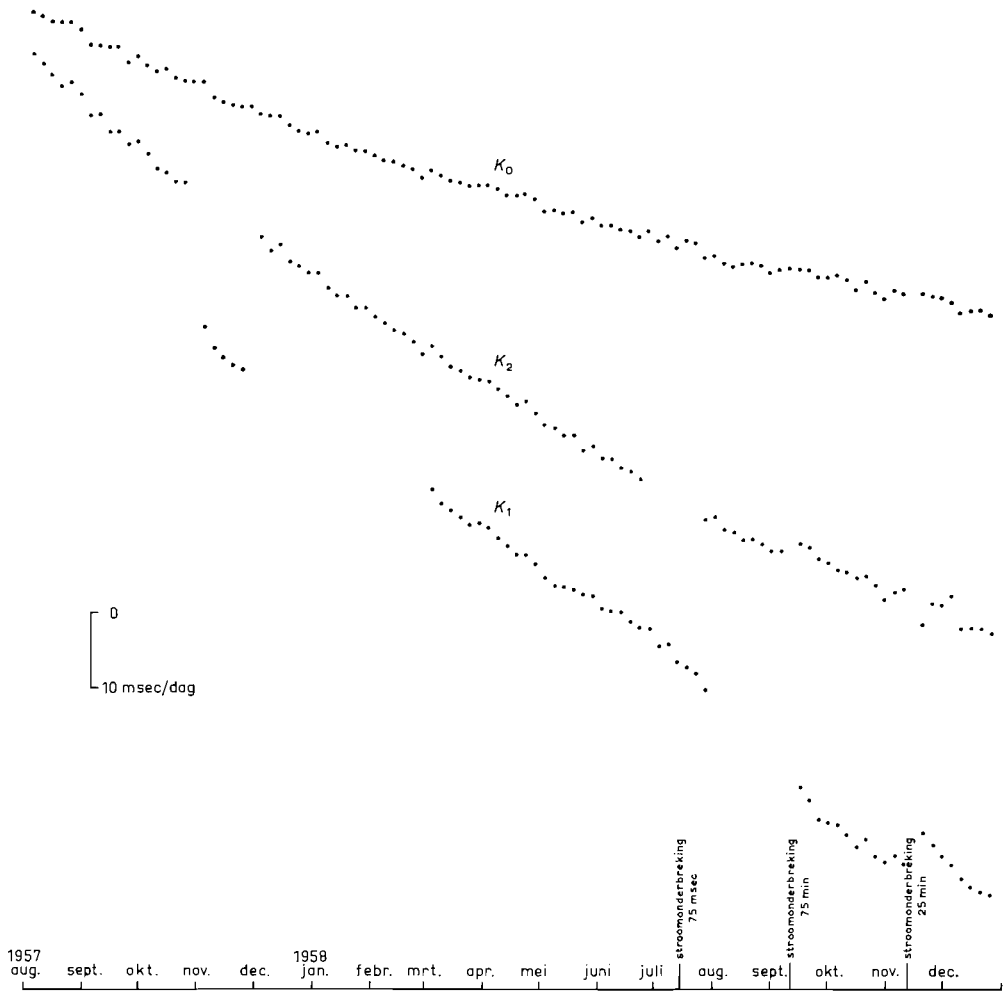


Figuur 20. Vergelijking van de breedtevariatie met reeds bekende poolbewegingen.

Annex 16

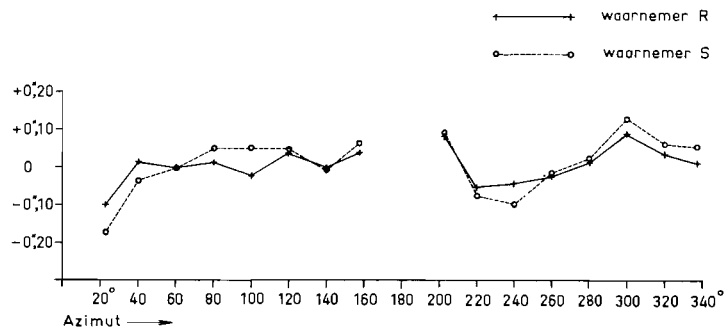


Figuur 24. Schets, behorend bij een maancamera-opname Curaçao, 28 november 1958.



Figuur 25. Het dagelijks verloop van de drie kwartsklokken.

Annex 24



Figuur 32. Gemiddelde residuen als functie van het azimut.

## Annex 18

TABEL 15. De tijdvariatie uit astrolabiumwaarnemingen ten opzichte van atoomtijd.

$$W_r = W + (t - t_0) \times 0^s,0013; t \text{ in dagen.}$$

Waarnemer	Periode	Gemidd. datum	Gemidd. datum in 0,01 jaar	Aantal series	Som gewicht	Gemidd. $W_r$	
R	1957	7 aug. - 31 aug.	20 aug.	64	7	20	+0 <sup>s</sup> ,0951
		1 sept. - 30 sept.	20 sept.	72	6	22	889
		1 okt. - 14 nov.	22 okt.	81	7	19	801
		14 nov. - 13 dec.	29 nov.	91	7	22	697
		14 dec. - 21 dec.	17 dec.	96	5	19	626
		22 dec. - 16 jan.	28 dec.	99	6	20	604
	1958	17 jan. - 25 jan.	18 jan.	05	5	18	490
		25 jan. - 31 jan.	28 jan.	08	5	18	492
		31 jan. - 8 febr.	4 febr.	10	6	19	411
		8 febr. - 28 febr.	13 febr.	12	6	20	366
		1 mrt. - 26 mrt.	18 mrt.	21	6	22	276
		26 mrt. - 30 april	7 april	27	6	23	225
		1 mei - 29 mei	23 mei	39	5	19	117
		29 mei - 15 juni	5 juni	43	5	20	134
		16 juni - 28 juni	22 juni	47	5	20	192
		28 juni - 19 juli	8 juli	52	5	20	226
		20 juli - 4 aug.	29 juli	58	5	20	374
		4 aug. - 5 sept.	18 aug.	63	5	19	504
		6 sept. - 30 sept.	14 sept.	70	5	20	572
		1 okt. - 30 nov.	19 okt.	80	5	20	518
1 dec. - 31 dec.	21 dec.	97	6	20	325		
S	1957	7 aug. - 20 sept.	23 aug.	64	7	21	973
		21 sept. - 26 okt.	8 okt.	77	5	19	938
		26 okt. - 25 nov.	5 nov.	85	5	19	798
		25 nov. - 31 dec.	11 dec.	95	8	22	629
		1 jan. - 23 jan.	6 jan.	04	6	23	484
	1958	24 jan. - 1 febr.	26 jan.	07	5	20	568
		1 febr. - 18 febr.	9 febr.	11	6	22	526
		19 febr. - 10 mrt.	26 febr.	16	6	20	434
		11 mrt. - 10 april	23 mrt.	22	6	23	365
		10 april - 30 april	14 april	28	5	20	368
		1 mei - 27 mei	20 mei	38	5	19	163
		28 mei - 30 juni	3 juni	42	5	20	168
		1 juli - 15 juli	10 juli	52	5	20	336
		16 juli - 18 aug.	2 aug.	59	5	19	466
		19 aug. - 12 sept.	4 sept.	68	6	23	620
		13 sept. - 30 sept.	21 sept.	72	5	20	596
		1 okt. - 2 nov.	19 okt.	80	5	20	528
		2 nov. - 12 nov.	10 nov.	86	5	20	440
		13 nov. - 2 dec.	23 nov.	90	6	22	444
		3 dec. - 31 dec.	22 dec.	98	5	20	416
RA	1958	26 juli - 6 sept.	13 aug.	62	13	19	351
		28 nov. - 14 dec.	5 dec.	93	12	17	338
T	1958	5 aug. - 17 aug.	11 aug.	61	5	10	387

TABEL 16. De tijdvariatie uit meridiaanwaarnemingen ten opzichte van atoomtijd.

$$W_r = W + (t - t_0) \times 0^s,0013; t \text{ in dagen.}$$

Waarnemer	Periode	Gemidd. datum	Gemidd. datum in 0,01 jaar	Aantal series	Som gewicht	Gemidd. $W_r$	
R	1957	6 aug. - 10 sept.	22 aug.	64	10	9	+0 <sup>s</sup> ,0926
		11 sept. - 10 okt.	21 sept.	72	6	10	+ 830
		11 okt. - 10 nov.	23 okt.	81	8	11	+ 760
		11 nov. - 10 dec.	28 nov.	91	6	11	+ 690
	1958	11 dec. - 15 jan.	3 jan.	01	7	10	+ 464
		16 jan. - 28 jan.	23 jan.	06	6	11	+ 558
		29 jan. - 14 febr.	6 febr.	10	4	10	+ 587
		15 febr. - 28 febr.	22 febr.	15	4	10	+ 510
		1 mrt. - 12 mrt.	7 mrt.	18	4	13	+ 376
		13 mrt. - 25 mrt.	18 mrt.	21	4	10	+ 057
		26 mrt. - 13 april	6 april	26	4	11	+ 422
		13 april - 30 april	21 april	30	5	12	+ 222
		5 juni - 16 juni	10 juni	44	6	15	- 050
		27 juli - 28 aug.	17 aug.	63	4	13	+ 181
		1 okt. - 5 okt.	3 okt.	76	2	7	+ 226
		S	1957	6 aug. - 31 aug.	17 aug.	63	10
1 sept. - 15 okt.	24 okt.			73	8	11	+ 570
16 okt. - 17 nov.	1 nov.			84	7	11	+ 664
18 nov. - 17 dec.	3 dec.			92	6	11	+ 520
1958	18 dec. - 15 jan.		2 jan.	01	6	11	+ 590
	16 jan. - 29 jan.		22 jan.	06	8	10	+ 369
	30 jan. - 10 febr.		4 febr.	10	5	10	+ 299
	10 febr. - 4 mrt.		17 febr.	13	6	13	+ 117
	5 mrt. - 28 mrt.		17 mrt.	21	8	11	- 268
	29 mrt. - 14 apr.		11 april	28	4	11	- 103
	15 april - 30 april		21 april	30	5	13	+ 073
	29 mei - 10 juni		1 juni	42	4	12	- 248
	11 juni - 25 juni		16 juni	46	4	11	- 452
	1 okt. - 8 okt.		4 okt.	76	5	14	+ 135

## Annex 20

TABEL 17. Meridiaanwaarnemingen.

Gemiddelde middelbare fouten en gemiddelde residuen naar spectraaltype, magnitude en declinatie. Eenheid: 0<sup>s</sup>,001

	R		S		R		S	
	gemidd. m.f.	$\sigma$	gemidd. m.f.	$\sigma$	gemidd. residuen	$\sigma$	gemidd. residuen	$\sigma$
<i>Spectraal type</i>								
B	11,3	0,9	13,7	1,1	-0,3	2,2	+0,2	1,8
A	15,0	1,7	14,4	1,7	+1,9	1,8	-0,6	1,8
F	13,4	1,7	15,6	2,0	+0,5	2,2	-0,1	1,7
G	12,2	1,6	13,9	1,6	-3,1	1,9	+0,6	1,9
K	12,5	1,4	15,1	1,5	+0,4	1,2	+1,0	1,0
M	10,0	1,3	14,8	1,7	+2,7	5,1	-0,2	4,3
<i>Magnitude</i>								
2,1 - 3,0	13,2	1,3	13,7	2,8	-0,3	2,3	-4,0	1,9
3,1 - 4,0	15,5	1,8	14,8	1,2	+3,8	2,0	+1,4	1,7
4,1 - 5,0	13,5	1,0	12,9	1,1	-2,6	1,5	+0,4	1,5
5,1 - 5,5	9,4	0,8	15,8	1,5	+2,7	2,2	+2,1	2,3
5,6 - 6,0	11,7	1,6	17,3	2,5	+2,4	1,0	+1,3	2,5
<i>Declinatie</i>								
-20° -- 6°	13,2	1,2	15,0	1,5				
- 6° - + 6°	12,7	1,8	14,2	1,4				
+ 6° - +18°	9,0	0,9	14,1	1,3				
+18° - +30°	12,9	1,1	14,9	1,2				
+30° - +44°	13,6	1,8	14,1	1,7				

TABEL 18.  $\Delta\alpha$  uit meridiaanwaarnemingen.  $\Delta\alpha = \alpha_{Me} - \alpha_{FK3R}$  (1958.5).

No. FK3R	$n$	$\Delta\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	No. FK3R	$n$	$\Delta\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	No. FK3R	$n$	$\Delta\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001
1	6	- 2	4	321	13	- 4	5	677	12	-14	4
1004	6	- 4	5	360	9	+ 8	7	681	10	- 1	5
1009	5	+ 3	7	364	10	- 4	5	684	11	+17	4
13	5	+ 1	8	367	11	- 3	3	690	13	- 8	5
19	6	-12	8	371	13	0	3	696	10	- 3	4
22	6	- 4	8	378	12	+ 2	3	1482	17	- 1	6
33	4	+10	6	1261	12	+ 2	3	702	11	+ 6	5
36	4	+ 4	4	381	13	+ 2	2	705	8	- 2	5
40	4	+14	9	384	12	- 7	4	1495	6	+ 7	10
1033	4	- 5	6	386	13	0	4	712	6	+10	10
47	4	- 3	5	389	11	0	3	719	6	- 9	6
50	9	+10	6	1270	5	- 8	9	1500	6	- 5	9
1045	9	+ 7	6	450	4	+ 7	5	724	6	+ 2	8
56	7	- 1	5	457	4	- 5	8	730	7	+ 5	7
1051	6	0	7	460	5	+ 8	3	732	7	- 8	9
66	7	- 4	5	461	5	- 1	3	737	11	+ 5	5
73	6	+ 4	8	466	4	-10	6	1514	8	-16	6
75	5	-24	10	1322	5	- 9	4	743	11	+10	5
80	7	+ 6	4	1323	4	- 5	8	746	11	+ 6	3
1066	7	- 5	5	475	7	+ 2	3	1522	11	- 3	4
1071	5	+ 2	4	1328	7	+ 5	6	1524	11	- 1	4
97	4	- 4	5	1332	7	+ 1	4	1525	12	- 2	3
100	4	-16	3	485	6	+ 1	4	760	9	+ 2	4
109	4	- 2	11	1337	9	+ 3	2	1527	4	- 2	3
1091	4	0	6	492	7	- 5	3	765	14	- 1	3
1094	4	0	11	1345	5	-12	5	1534	13	- 4	3
1100	13	-15	5	1348	7	- 4	2	772	9	- 3	4
134	19	+ 8	4	1351	6	+ 5	2	778	7	+ 8	1
142	18	- 9	2	1355	9	- 9	4	1543	8	+ 9	2
144	18	0	3	507	9	+ 9	4	1547	7	- 3	3
148	19	+ 1	3	513	7	+ 1	5	788	5	+ 5	9
151	18	- 7	3	516	7	+ 8	5	1552	4	+ 5	6
154	15	- 1	4	1368	5	+ 3	3	797	4	- 9	7
159	17	- 2	3	523	5	- 1	4	1561	4	-12	6
1120	17	+ 4	3	1370	5	- 9	3	1565	4	+ 1	14
1123	18	+ 3	3	1375	5	- 6	2	808	6	+10	5
169	16	+12	8	533	7	+ 8	7	811	8	- 7	7
172	4	+16	16	534	6	- 1	4	819	9	-17	4
174	4	- 5	15	576	4	-16	15	823	9	- 9	5
209	12	+ 5	4	580	4	-25	14	826	7	- 1	7
219	13	-12	4	583	4	+38	3	827	9	- 3	6
1158	14	+ 4	5	1419	4	-22	4	835	7	+ 8	6
227	12	+ 4	3	597	5	+15	9	840	7	- 2	4
1163	15	+ 2	4	1423	6	- 5	4	842	9	+12	6
1168	16	- 8	3	605	5	- 7	10	1585	5	+ 6	6
1170	14	+ 4	3	1429	4	+ 7	10	1590	8	+ 1	6
1171	14	+ 3	3	1430	4	+ 4	10	852	4	+ 3	10
1173	15	0	3	622	10	+ 4	7	861	5	- 4	9
1174	14	+ 8	4	626	7	+11	5	866	4	- 6	4
254	5	+ 1	9	1438	11	- 6	5	869	5	- 7	5
258	6	- 8	3	1442	10	+ 9	3	1603	5	- 3	4
266	4	-15	5	634	8	- 1	10	1606	5	+ 4	4
289	11	0	3	1450	8	- 4	8	878	5	+ 1	6
293	12	+ 2	3	643	9	+ 1	5	1613	4	-15	2
1199	14	+ 2	3	1454	8	-16	6	885	5	+10	10
1207	12	- 3	5	647	8	- 3	8	1616	5	+11	6
304	13	- 1	5	1460	9	+ 3	7	892	4	-12	7
305	13	0	6	658	12	+ 7	8	1623	6	- 2	3
311	14	- 9	3	665	10	+ 5	5	898	5	- 7	6
1217	12	+ 4	4	1465	11	- 8	4	900	4	+23	4
316	13	+ 3	4	1468	13	- 1	4	905	5	-10	8



TABEL 19.  $\Delta\alpha = \alpha_{Me} - \alpha_{FK3R}$  als functie van de declinatie. (1958.5).

Gebied zenitafstand	Gemiddelde $\delta$	$\Delta\alpha_\delta$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\Delta\alpha_\delta$ (R-S) in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001
32 °N - 24 °N	+40°10'	+1,9	1,6	-0,4	3,5
24 °N - 18 °N	+33°10'	-5,1	1,1	-0,7	3,4
18 °N - 12 °N	+27°10'	-3,1	1,9	-0,7	3,5
12 °N - 6 °N	+21°10'	-3,3	2,0	-0,3	3,3
6 °N - 0 °	+15°10'	+7,3	1,4	+6,0	11,2
0 ° - 6 °Z	+ 9°10'	+2,8	4,8	-3,8	4,1
6 °Z - 12 °Z	+ 3°10'	-0,6	1,2	+3,6	5,8
12 °Z - 18 °Z	- 2°50'	+3,9	1,3	+2,8	5,3
18 °Z - 24 °Z	- 8°50'	+0,7	2,2	-0,7	3,0
24 °Z - 32 °Z	-15°50'	-4,1	1,6	-2,0	4,0

## Annex 23

TABEL 20. Astrolabiumwaarnemingen.

Gemiddelde middelbare fouten en gemiddelde residuen naar spectraaltype, magnitude en azimut. Eenheid: 0",01.

	R		S		R		S	
	gemidd. m.f.	$\sigma$	gemidd. m.f.	$\sigma$	gemidd. residuen	$\sigma$	gemidd. residuen	$\sigma$
<i>Spectraal type</i>								
B	14,1	0,7	13,5	1,1	+1,7	1,9	+1,7	2,4
A	14,2	0,6	13,2	0,7	+3,7	1,0	+4,2	1,5
F	14,9	1,0	13,4	0,8	+1,5	1,3	+1,7	1,4
G	13,4	1,2	14,6	1,0	-1,1	2,7	-1,1	2,7
K	12,5	0,5	13,2	0,5	-2,7	1,1	-3,4	1,2
M	12,5	1,5	12,7	1,2	-2,3	2,6	-2,8	2,5
<i>Magnitude</i>								
2,1-3,0	11,7	1,0	10,9	1,1	+3,2	2,8	+3,6	2,8
3,1-4,0	11,6	0,5	14,2	0,9	+0,3	2,0	+1,4	1,9
4,1-5,0	13,2	0,5	13,2	0,5	-0,3	1,1	+0,9	1,2
5,1-5,5	15,1	0,8	13,9	0,7	+0,2	1,1	-0,2	1,4
5,6-6,0	15,8	0,8	12,8	0,9	-1,1	1,5	-3,9	1,8
<i>Azimut</i>								
15°- 30°	12,8	1,5	14,4	1,0				
30°- 50°	12,4	0,8	12,6	1,1				
50°- 70°	13,3	1,2	14,7	1,0				
70°- 90°	13,0	1,4	14,2	2,6				
90°-110°	12,6	0,9	12,6	1,7				
110°-130°	13,3	1,3	11,4	0,9				
130°-150°	14,6	1,4	12,5	1,2				
150°-165°	13,4	1,8	14,2	1,1				
195°-210°	13,7	1,1	15,6	2,2				
210°-230°	13,7	1,1	14,4	1,1				
230°-250°	15,7	1,4	13,0	1,0				
250°-270°	12,0	1,7	13,8	2,4				
270°-290°	14,4	1,1	12,4	1,8				
290°-310°	14,2	1,5	12,6	1,0				
310°-330°	12,9	1,1	12,9	1,4				
330°-345°	15,3	1,3	13,0	1,3				

TABEL 21. Astrolabiumwaarnemingen.  
Overzicht van de residuen  $V'$  en de residuen  $V$  ten opzichte van de gemiddelde groep.

GROEP 00					GROEP 02				
No.FK4	$n$	$V'$	$\sigma$	$V$	No.FK4	$n$	$V'$	$\sigma$	$V$
1034	8	+0",25	0",05	+0",16	897	14	-0",26	0",04	-0",12
1039	12	+ 13	4	+ 2	1080	15	- 3	4	- 7
43	13	- 18	3	- 28	880	17	- 1	4	+ 4
30	14	+ 10	3	+ 5	1094	16	+ 9	4	- 3
866	12	+ 15	4	+ 19	116	17	+ 3	4	- 2
1570	15	+ 10	3	+ 17	1614	19	- 6	3	+ 5
852	15	- 3	3	- 2	1009	18	+ 3	3	0
42	15	- 12	3	- 20	1630	16	- 6	4	+ 8
40	15	0	3	- 5	900	18	+ 7	3	+ 21
66	13	+ 10	3	- 1	1071	15	- 3	4	+ 2
47	14	- 17	3	- 23	1091	17	+ 1	4	+ 1
1049	15	- 13	3	- 21	1629	17	+ 10	4	+ 14
1590	15	+ 6	3	+ 9	1	16	+ 28	4	+ 30
842	12	+ 2	4	+ 10	150	18	+ 4	4	- 7
1600	13	- 5	4	- 3	109	18	- 10	4	- 23
1047	15	+ 5	3	- 3	30	18	0	4	+ 14
1595	13	+ 1	4	+ 9	127	17	+ 2	4	+ 2
1059	16	+ 3	3	- 7	1004	18	- 2	3	+ 5
1041	15	- 12	3	- 16	1116	18	+ 8	3	- 3
850	15	+ 3	3	+ 11	162	18	+ 7	3	- 5
857	14	0	3	+ 4	59	15	+ 26	4	+ 38
1610	15	+ 6	3	+ 7	111	16	- 24	4	- 36
1051	14	- 1	3	- 6	1041	14	- 11	4	+ 2
894	15	0	3	+ 5	42	15	+ 12	4	+ 10
1608	15	- 6	3	+ 1	148	18	+ 4	3	- 10
75	15	+ 13	3	+ 4	154	17	- 3	4	- 5
79	15	- 19	3	- 28	1120	16	+ 7	4	+ 3
1607	15	- 17	3	- 10	1023	14	- 5	4	- 3
870	14	- 2	3	+ 3	158	16	- 16	4	- 29
GROEP 04					GROEP 06				
1033	17	-0",02	0",04	-0",04	1171	19	-0",17	0",04	-0",27
1071	18	- 6	3	- 7	114	26	- 7	3	+ 4
181	21	+ 7	3	+ 6	1089	28	+ 3	3	+ 14
1049	22	- 12	3	- 13	261	29	- 2	3	+ 4
188	20	+ 10	3	+ 11	285	30	+ 6	3	+ 1
1147	22	- 6	3	- 5	1186	29	+ 4	3	- 4
1133	19	- 7	3	- 8	144	29	+ 16	3	+ 29
56	23	- 9	3	- 11	282	29	+ 1	3	+ 4
172	22	- 28	3	- 27	250	26	- 19	3	- 9
218	23	+ 4	3	+ 4	154	30	- 2	3	- 2
111	17	0	3	- 2	158	30	0	3	+ 14
1070	23	- 1	3	- 4	1144	29	+ 18	3	+ 12
66	24	+ 13	3	+ 13	295	31	+ 4	3	+ 7
209	24	+ 4	3	+ 5	1205	29	+ 9	3	+ 2
1158	22	- 2	3	- 3	1133	29	0	3	+ 14
1074	20	- 8	3	- 9	1120	29	+ 7	3	+ 9
230	21	+ 5	3	+ 5	1145	27	- 6	3	+ 8
1059	21	0	3	- 3	1131	22	- 11	3	- 12
1068	23	0	3	- 3	274	28	- 7	3	+ 3
1146	21	+ 20	3	+ 21	304	30	+ 2	3	- 6
81	23	+ 22	3	+ 20	169	30	+ 2	3	+ 4
104	22	- 2	3	- 3	1192	27	0	3	- 10
1082	19	+ 4	3	+ 1	1126	25	+ 14	3	+ 27
1145	20	- 12	3	- 14	321	27	+ 3	3	+ 3
1144	21	+ 10	3	+ 10	1199	25	+ 5	3	+ 13
1080	21	+ 14	3	+ 13	219	24	- 11	3	- 15
1091	17	- 7	3	- 8	316	26	+ 2	3	- 6
254	21	+ 7	3	+ 6	188	27	- 8	3	- 7
221	20	- 13	3	- 14	1202	23	+ 8	3	0

TABEL 21 (vervolg)

GROEP 08					GROEP 10				
No.FK4	<i>n</i>	<i>V'</i>	$\sigma$	<i>V</i>	No.FK4	<i>n</i>	<i>V'</i>	$\sigma$	<i>V</i>
202	15	+0°,17	0°,04	+0°,34	390	15	-0°,18	0°,04	-0°,12
320	18	- 20	4	- 11	422	17	+ 15	4	+ 11
311	22	+ 11	3	0	289	19	- 16	4	- 13
1244	21	- 16	3	- 14	1274	19	+ 2	4	- 11
250	21	- 1	3	+ 16	1292	18	+ 13	4	0
1171	22	- 26	3	- 27	320	18	- 1	4	+ 14
1249	20	- 24	4	- 31	304	19	- 15	4	- 12
1158	20	+ 24	4	+ 41	425	19	+ 9	4	+ 13
1245	21	- 4	3	- 14	1286	15	- 17	4	- 31
271	18	+ 31	4	+ 26	389	17	+ 11	4	- 2
352	20	+ 4	4	+ 11	1211	13	+ 15	4	+ 30
224	21	+ 7	3	+ 17	445	19	+ 1	4	- 11
1240	21	- 6	3	- 17	1311	19	0	4	- 10
1163	20	+ 7	4	+ 23	410	18	- 2	4	- 15
1191	11	+ 1	5	+ 17	1237	16	+ 17	4	+ 33
274	20	- 3	4	+ 14	1293	19	- 11	4	- 3
370	19	+ 14	4	+ 4	1282	18	- 27	4	- 18
360	17	- 5	4	+ 4	1240	17	- 8	4	- 11
384	21	+ 10	3	+ 11	1317	15	- 8	4	- 19
1258	21	- 13	3	- 8	1318	19	0	4	- 1
1192	21	- 11	3	- 14	1230	16	- 3	4	0
1181	16	- 23	4	- 22	1232	14	0	4	+ 16
396	21	+ 5	3	0	1323	17	+ 13	4	+ 11
1179	20	- 9	4	- 4	364	15	+ 23	4	+ 18
254	20	+ 6	4	+ 22	1228	15	+ 22	4	+ 35
364	17	+ 11	4	0	326	15	+ 6	4	+ 19
1279	19	+ 16	4	+ 15	352	15	- 4	4	+ 12
1263	19	+ 15	4	+ 4	1235	11	- 11	5	- 6
1186	18	- 19	4	- 15	354	14	- 9	4	- 9
GROEP 12					GROEP 14				
1261	8	-0°,16	0°,05	-0°,16	1371	7	+0°,12	0°,05	+0°,21
1336	12	+ 8	4	+ 19	1400	11	- 3	4	+ 12
381	13	- 2	4	- 2	461	11	+ 12	4	+ 11
492	10	+ 9	5	+ 26	535	11	- 7	4	+ 3
1251	13	+ 18	4	+ 24	1306	11	- 6	4	- 15
1335	13	- 13	4	- 4	1394	10	+ 8	4	+ 20
410	13	+ 10	4	+ 11	1406	10	- 1	4	+ 13
1249	12	+ 13	4	+ 13	1321	12	+ 1	4	- 4
1258	13	+ 6	4	+ 13	445	12	- 12	4	- 21
1282	11	- 2	5	+ 9	1304	12	- 8	4	- 17
1337	13	- 9	4	+ 7	564	11	- 3	4	+ 8
1274	13	- 17	4	- 17	1308	11	+ 1	4	- 9
1267	12	+ 18	4	+ 26	485	11	+ 3	4	+ 1
1352	13	- 2	4	+ 9	593	12	- 9	4	+ 6
378	13	- 2	4	- 1	475	11	- 15	4	- 23
388	12	- 3	4	- 4	491	7	+ 12	5	+ 11
498	13	+ 7	4	+ 15	1318	9	+ 11	4	+ 4
517	11	- 1	5	+ 16	555	9	- 16	4	- 8
1355	13	- 6	4	+ 3	613	9	- 8	4	+ 8
1348	11	- 2	5	+ 6	1357	10	+ 9	4	+ 6
412	11	- 3	5	+ 5	1414	12	+ 4	4	+ 15
1378	13	+ 6	4	+ 23	1420	11	- 1	4	+ 11
407	12	+ 8	4	+ 15	1348	11	- 8	4	- 13
1346	10	- 27	5	- 12	605	9	+ 6	4	+ 19
525	13	+ 33	4	+ 44	577	11	- 8	4	0
533	13	- 10	4	+ 2	1326	12	+ 11	4	+ 1
1279	10	- 14	5	- 11	502	11	- 7	4	- 9
534	12	- 5	4	+ 12	1433	9	+ 2	4	+ 15
1383	11	- 7	5	+ 10	1423	9	+ 9	4	+ 20

TABEL 21 (vervolg).

GROEP 16					GROEP 18				
No.FK4	<i>n</i>	<i>V'</i>	$\sigma$	<i>V</i>	No.FK4	<i>n</i>	<i>V'</i>	$\sigma$	<i>V</i>
1441	11	+0",12	0",04	+0",10	1414	9	+0",20	0",04	+0",07
622	13	+ 6	3	+ 18	1486	13	+ 1	3	+ 4
1445	12	+ 16	3	+ 28	1498	17	- 12	3	- 10
1371	12	- 8	3	- 9	713	19	+ 14	3	+ 15
1446	13	+ 14	3	+ 12	1423	16	+ 2	3	- 11
1430	14	+ 25	3	+ 36	1420	18	+ 5	3	- 8
535	12	+ 23	3	+ 6	696	18	- 2	3	- 2
1370	14	0	3	- 18	1513	17	- 3	3	+ 2
626	11	- 24	4	- 31	732	18	+ 3	3	+ 5
647	13	+ 3	3	+ 15	626	16	- 15	3	- 27
1450	13	- 9	3	+ 3	1509	16	+ 19	3	+ 24
525	14	+ 10	3	+ 3	593	19	+ 12	3	- 4
516	14	- 1	3	- 12	622	16	+ 11	3	- 2
667	12	- 55	3	- 54	605	17	- 10	3	- 24
643	14	- 5	3	- 10	746	17	+ 6	3	+ 11
1468	13	+ 9	3	+ 11	737	16	- 11	3	- 7
522	12	+ 11	3	- 7	724	17	- 4	3	- 6
1390	12	- 20	3	- 24	1523	17	- 8	3	- 6
533	13	- 5	3	- 15	1495	11	+ 8	4	+ 7
526	13	+ 6	3	- 11	1433	13	- 15	4	- 30
1380	13	+ 15	3	- 3	658	15	+ 8	3	- 2
580	9	- 5	4	- 21	1450	14	+ 7	3	- 6
1378	12	- 4	3	- 21	643	16	- 6	3	- 19
577	13	- 14	3	- 14	1446	15	+ 3	3	- 11
688	11	+ 12	4	+ 24	727	13	+ 2	4	+ 1
564	13	- 8	3	- 12	1445	15	- 19	3	- 34
672	12	- 6	3	- 11	1440	15	+ 9	3	- 8
703	11	+ 9	4	+ 14	1461	14	- 6	3	- 18
658	10	- 5	4	+ 6	1525	15	- 5	3	- 6
GROEP 20					GROEP 22				
1522	3	+0",25	0",07	+0",31	765	6	+0",16	0",05	+0",10
780	10	+ 6	4	- 3	1509	11	- 5	4	0
800	10	+ 1	4	+ 3	1583	10	- 3	4	- 13
804	10	+ 1	4	- 2	732	9	+ 15	4	+ 13
781	9	+ 8	4	+ 14	1521	11	+ 15	4	+ 11
762	9	+ 11	4	+ 18	761	8	+ 13	4	+ 19
765	6	- 18	5	- 30	1614	11	- 7	4	- 13
667	9	+ 48	4	+ 35	884	10	+ 12	4	+ 7
699	10	+ 9	4	- 6	852	12	- 12	4	- 22
674	9	+ 22	4	+ 9	1513	12	+ 5	4	+ 6
1468	9	- 2	4	- 14	1613	10	+ 7	4	- 4
1559	9	+ 6	4	- 4	1608	12	+ 1	4	0
677	9	- 18	4	- 23	1536	11	- 11	4	- 4
826	7	- 2	4	- 3	1609	11	+ 6	4	+ 5
727	7	+ 5	4	+ 9	752	12	- 3	4	- 2
688	8	- 27	4	- 29	1629	11	- 4	4	- 13
1569	8	0	4	+ 5	781	12	+ 4	4	+ 11
702	8	0	4	- 1	866	6	+ 10	6	+ 12
1480	10	- 15	4	- 18	1558	10	+ 10	4	+ 4
1514	8	0	4	+ 4	1	11	- 1	4	- 11
724	7	+ 5	5	- 10	794	10	- 6	4	0
719	9	- 22	4	- 36	1543	11	- 17	4	- 11
818	9	- 5	4	0	1562	11	- 6	4	+ 1
835	8	- 6	4	- 15	1010	7	- 4	5	- 9
1488	7	+ 7	4	- 5	1006	9	- 9	4	- 20
1522	9	+ 11	4	+ 15	786	8	- 16	5	- 18
703	9	- 6	4	- 16	1020	9	+ 1	4	- 7
811	9	- 27	4	- 39	894	9	+ 5	4	+ 7
1577	8	- 10	4	- 4	19	9	- 2	4	- 12

## Annex 26

TABEL 22.  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  (Astr.-FK4) van sterren met twee waargenomen doorgangen. (1958.5)

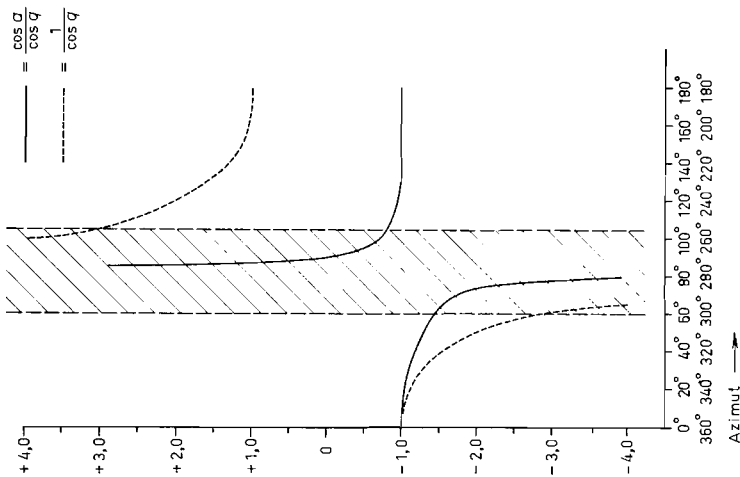
No. FK4	Groepen van doorgang	$\Delta\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\Delta\delta$ in 0 <sup>''</sup> ,01	$\sigma$ in 0 <sup>''</sup> ,01	$\frac{1}{\cos q}$
1	22-02	-18	3	+22	8	-2,1
30	00-02	-5	4	-12	5	+1,3
42	00-02	-17	4	-7	5	-1,4
1041	00-02	-11	5	+8	4	+1,2
1049	00-04	-3	3	+31	7	+1,9
66	00-04	-5	3	-	-	-
1059	00-04	-2	3	-15	11	-2,9
1071	02-04	+8	6	+3	4	+1,1
1080	02-04	-8	3	-6	7	+1,9
111	02-04	-42	9	-20	4	-1,1
1091	02-04	+4	4	+5	5	+1,4
154	02-06	-1	3	+5	6	+1,6
158	02-06	-24	4	-11	6	-1,5
1120	02-06	-2	3	-11	7	+1,9
1133	04-06	-15	5	+4	5	-1,3
188	04-06	+7	3	-3	6	+1,7
1144	04-06	-2	8	-12	4	+1,1
1145	04-06	-22	8	-3	4	-1,1
1158	04-08	-18	3	+44	9	-2,3
1171	06-08	0	4	+35	5	+1,3
250	06-08	-22	7	+4	4	-1,1
254	04-08	-6	3	+40	11	-2,9
1186	06-08	+4	3	+17	7	+1,8
274	06-08	-10	7	+10	4	-1,1
1192	06-08	+3	5	+14	4	+1,2
304	06-10	+2	3	+17	7	+1,9
320	08-10	-19	6	+2	4	-1,2
1240	08-10	-3	4	+17	4	+1,2
352	08-10	-1	4	+17	6	-1,5
1249	08-12	-15	3	-	-	-
364	08-10	-13	5	-10	4	+1,1
1258	08-12	-10	4	+4	6	-1,7
1274	10-12	+3	4	+17	4	+1,2
1279	08-12	+9	3	-	-	-
410	10-12	-25	7	+2	4	+1,1

TABEL 22 (vervolg).

No. FK4	Groepen van doorgang	$\Delta\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\Delta\sigma$ in 0 <sup>o</sup> ,01	$\sigma$ in 0 <sup>o</sup> ,01	$\frac{1}{\cos q}$
1282	10-12	-33	9	- 5	4	-1,1
445	10-14	+ 4	3	+44	10	+2,8
1318	10-14	- 2	3	+ 4	10	-2,6
1348	12-14	+11	4	+ 4	4	+1,2
525	12-16	+17	3	-39	6	+1,7
1371	14-16	+19	5	- 7	4	+1,2
1378	12-16	+15	3	-	-	-
533	12-16	+ 6	3	+14	8	+2,1
535	14-16	- 2	6	+ 5	4	-1,2
564	14-16	+10	4	+ 3	5	+1,4
577	14-16	+10	6	+ 8	4	+1,1
1414	14-18	+ 5	4	+15	5	-1,4
593	14-18	+ 4	3	+ 2	9	-2,4
1420	14-18	+ 9	3	- 2	6	+1,5
1423	14-18	+20	5	+ 6	5	-1,3
605	14-18	+17	3	+ 4	7	+1,8
1433	14-18	+17	3	+15	7	+2,0
622	16-18	+10	4	-11	5	+1,3
626	16-18	- 3	6	-33	4	-1,2
1445	16-18	+25	3	+ 5	7	+1,8
1446	16-18	+12	4	+ 1	6	-1,5
1450	16-18	+ 5	4	+ 2	5	+1,3
643	16-18	+ 6	5	-19	5	-1,3
658	16-18	+ 7	6	- 2	4	+1,1
667	16-20	-37	3	-22	9	-2,3
1468	16-20	+10	3	- 4	10	-2,6
688	16-20	+21	3	+ 5	7	+2,0
703	16-20	+11	3	-	-	-
724	18-20	+ 3	5	-10	4	-1,2
727	18-20	- 8	7	- 5	4	+1,1
1509	18-22	+ 9	3	-24	7	+2,0
732	18-22	- 3	3	+20	9	-2,3
1513	18-22	- 1	3	-	-	-
1522	20-20	+14	7	-25	4	+1,1
765	20-22	-42	8	-11	4	-1,1
781	20-22	+ 1	4	-18	5	+1,4
852	22-00	-16	6	-14	4	-1,2
866	22-00	- 7	7	-17	4	+1,1
1608	22-00	0	4	- 1	5	+1,4
1614	22-02	- 6	3	-	-	-
894	22-00	+ 2	6	- 7	4	+1,1
1629	22-02	-11	3	+ 1	11	-2,9

TABEL 23.  $\Delta\alpha$  (Astr.-FK4) van sterren met één waargenomen doorgang (1958.5).

No. FK4	Groep van doorgang	$\Delta\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001
1004	02	- 4	5
1020	22	- 5	4
1033	04	+ 3	4
1039	00	+ 1	5
81	04	-14	5
114	06	- 3	5
1089	06	-10	5
1094	02	- 2	5
150	02	- 5	4
218	04	+ 3	5
224	08	-12	4
285	06	+ 1	4
321	06	+ 2	5
1228	10	-26	5
326	10	-13	5
378	12	+ 1	4
396	08	0	4
422	10	+ 8	5
1304	14	+12	5
1308	14	+ 6	4
1311	10	7	4
1326	14	- 1	4
526	16	+ 8	5
1400	14	+ 9	5
613	14	+ 6	4
752	22	+ 1	5
804	20	- 1	5
1570	00	-12	5
826	20	- 2	4



Figuur 33.  $\frac{\cos a}{\cos q}$  en  $\frac{1}{\cos q}$  als functie van het azimut.

TABEL 24.  $\Delta\alpha$  (Astr.-FK4) als functie van de declinatie (1958.5).

Azimut	Gemiddeld azimut	Gemiddelde declinatie	$\Delta\alpha_\delta$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001
15°- 30°	22°,5	+39°.20'	-16,2	3,8
30°- 50°	40°	+33°.50'	- 3,6	2,3
50°- 70°	60°	+25°.20'	- 3,1	1,8
70°- 90°	80°	+15°.30'	+ 0,9	1,7
90°-110°	100°	+ 5°.40'	+ 0,1	1,9
110°-130°	120°	- 3°.30'	+ 4,8	1,5
130°-150°	140°	-11°.00'	+ 4,1	1,6
150°-165°	157°,5	-15°.40'	- 3,2	4,4

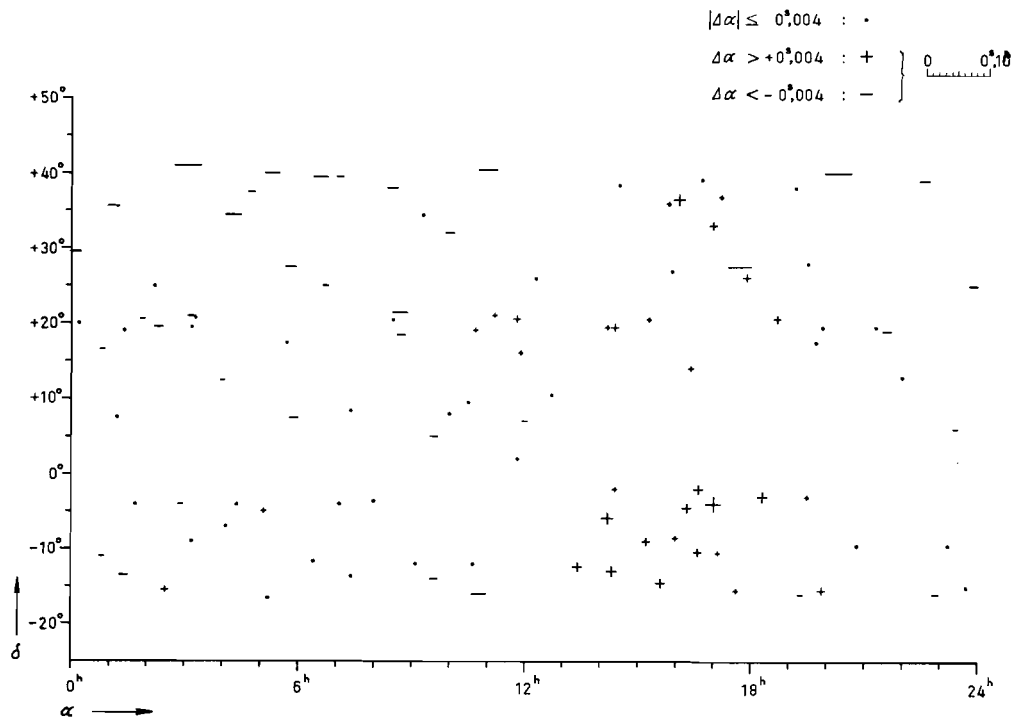
TABEL 25.  $\Delta\delta$  (Astr.-FK4) als functie van de declinatie (1958,5).

Azimut	Gemiddeld azimut	Gemiddelde declinatie	$\Delta\delta_\delta$ in 0'',01	$\sigma$ in 0'',01	$\frac{1}{\cos q}$
15°- 30°	22°,5	+39°.20'	-5,5	2,4	-1,1
30°- 50°	40°	+33°.50'	+1,0	3,3	-1,6
50°- 60°	55°	+27°.35'	+9,8	7,3	-2,4
110°-130°	120°	- 3°.30'	-0,1	3,7	+2,1
130°-150°	140°	-11°.00'	+4,5	2,0	+1,3
150°-165°	157°,5	-15°.40'	-7,1	2,7	+1,0

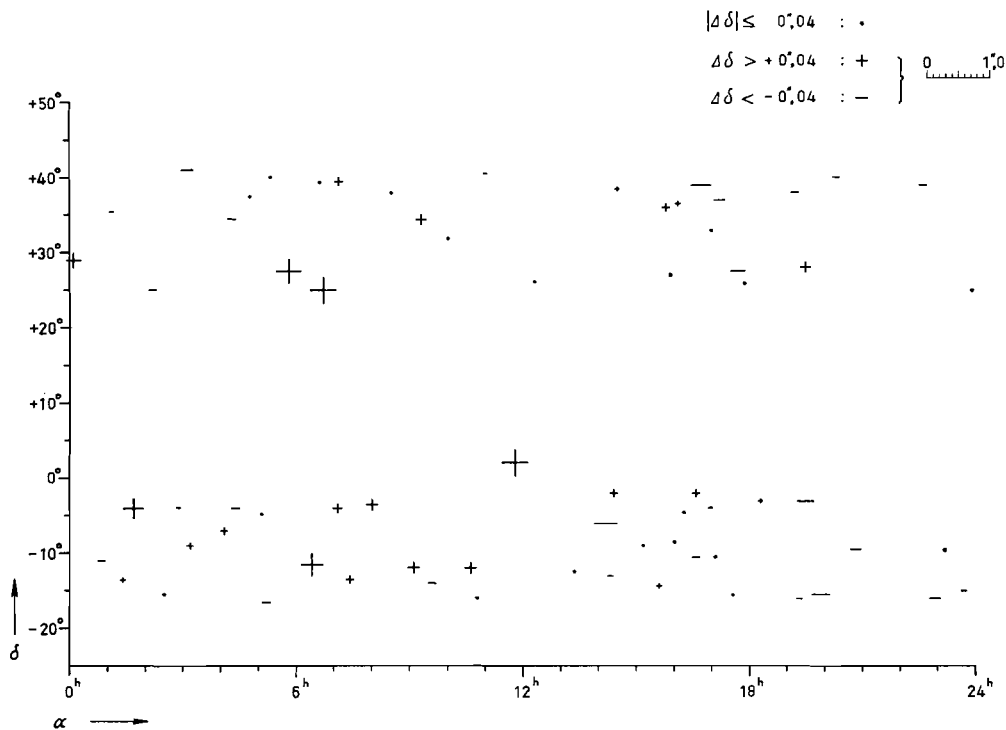
TABEL 26.  $\Delta\alpha$  en  $\Delta\delta$  (Astr.-FK4) als functie van de rechte klimming. (1958.5).

$\delta$	+20° tot +35°			0° tot +20°			-16° tot 0°			-16° tot 0°		
	$\Delta\alpha_\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$n$	$\Delta\alpha_\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$n$	$\Delta\alpha_\alpha$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$\sigma$ in 0 <sup>s</sup> ,001	$n$	$\Delta\delta_\alpha$ in 0'',01	$\sigma$ in 0'',01	$n$
0h	- 9	4	6	- 4	2	5	- 3	3	4	- 7	3	3
2h	- 6	5	4	0	5	4	- 3	4	4	+ 9	8	4
4h	-14	5	5	-	-	-	0	1	5	0	5	3
6h	-16	5	4	- 2	5	3	+ 1	2	6	+ 7	14	3
8h	- 8	7	5	- 4	5	3	+ 3	1	7	+16	1	3
10h	- 7	4	5	- 2	6	4	- 7	4	7	+ 6	7	4
12h	+ 5	3	4	- 1	3	5	+ 9	5	3	-	-	-
14h	+10	3	6	+12	2	3	+13	3	5	- 7	11	4
16h	+ 6	1	3	-	-	-	+12	1	7	+ 3	4	6
18h	- 1	8	6	-	-	-	+14	3	6	+ 2	2	4
20h	- 1	5	4	+ 2	3	3	+ 5	4	5	-18	5	4
22h	-	-	-	- 3	3	4	- 7	1	4	-	-	-



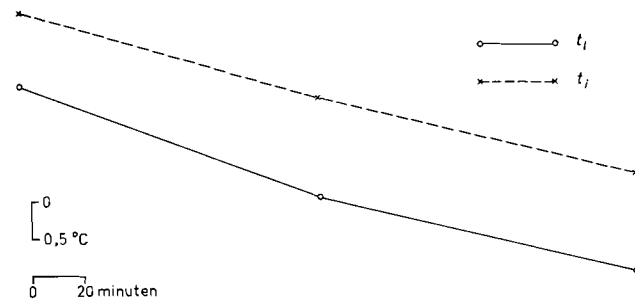


Figuur 34. Correctie  $\Delta\alpha$  (Astr. - FK4).



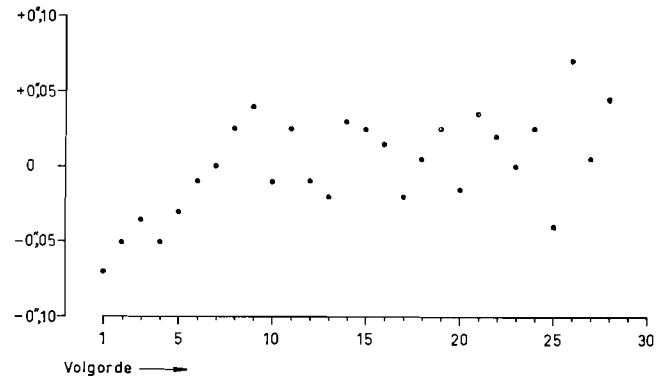
Figuur 36. Correctie  $\Delta\delta$  (Astr. - FK4).

Annex 32



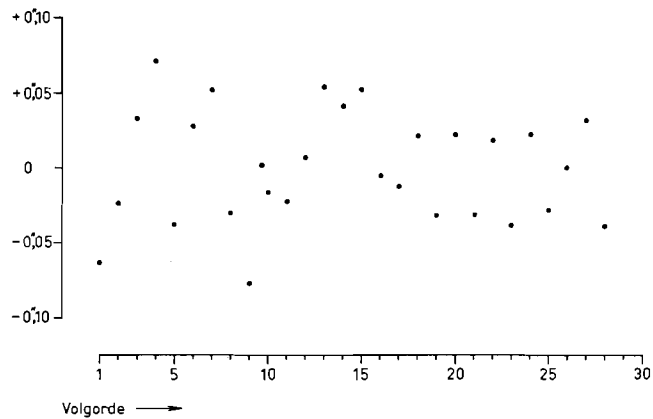
Figuur 44. Het gemiddelde verloop van de luchttemperatuur  $t_l$  en de instrument-temperatuur  $t_i$  op het Observatoire de Paris.

Annex 33

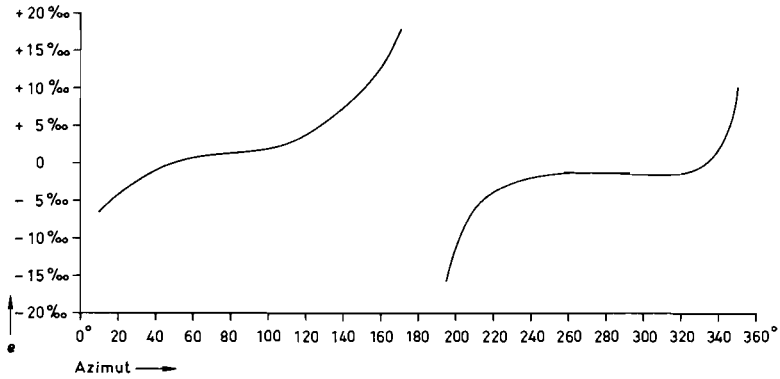


Figuur 46. Gemiddelde sterfwichingen van 13 tweede series van waarnemer S op het Observatoire de Paris.

Annex 34



Figuur 47. Gemiddelde sterfwichingen van 19 eerste series van de waarnemers Guinot, Lefebvre en Scheepmaker op het Observatoire de Paris. Het prisma werd ongeveer 30 minuten vóór het begin op het instrument geplaatst en er werden geen sterren vooraf waargenomen.



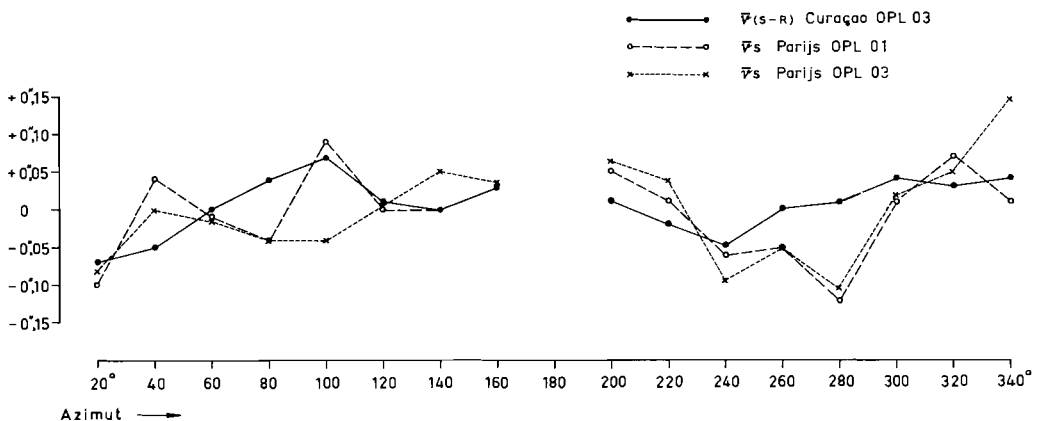
Figuur 49. De afwijking  $e$  van de snelheid van de micrometer als functie van het azimut.

Annex 36

TABEL 29. Overzicht van de te verwachten verschillen in de breedte  $\varphi$ , de klokcorrectie  $\Delta T$  en de strafwijkingen, bij verschillende snelheden van de micrometer.

$a$	$\Delta a = +0^{\circ},20$			$\Delta a = 0$			$\Delta a = -0^{\circ},20$			R-S
	$C=+10^{\circ}/_{00}$	$C=0$	$C=-10^{\circ}/_{00}$	$C=+10^{\circ}/_{00}$	$C=0$	$C=-10^{\circ}/_{00}$	$C=+10^{\circ}/_{00}$	$C=0$	$C=-10^{\circ}/_{00}$	
20°	+0",05	-0",01	-0",07	+0",03	-0",01	-0",08	+0",02	-0",04	-0",10	+0",07
40°	+ 1	- 1	- 3	+ 1	+ 1	- 2	+ 3	+ 1	- 1	+ 5
60°	- 2	- 1	- 1	- 1	+ 1	0	+ 1	+ 1	+ 1	0
80°	- 5	- 1	0	- 4	- 1	0	- 2	0	+ 2	- 4
100°	- 4	- 1	0	- 5	- 2	0	- 5	- 3	- 1	- 7
120°	- 1	0	0	- 2	- 2	- 1	- 2	- 2	- 2	- 1
140°	+ 4	+ 2	0	+ 4	0	- 1	+ 2	0	- 2	0
160°	+ 8	+ 2	- 4	+ 10	+ 2	- 3	+ 11	+ 5	- 1	- 3
200°	- 4	+ 2	+ 8	- 2	+ 2	+ 9	- 1	+ 5	+ 11	- 1
220°	- 4	- 2	0	- 4	- 4	- 1	- 6	- 4	- 2	+ 2
240°	- 1	- 2	- 2	- 2	- 4	- 3	- 4	- 4	- 4	+ 5
260°	+ 1	- 2	- 4	0	- 3	- 5	- 2	- 4	- 6	0
280°	+ 1	- 2	- 4	+ 2	- 1	- 3	+ 2	0	- 2	- 1
300°	0	- 1	- 1	+ 1	+ 1	0	+ 1	+ 1	+ 1	- 4
320°	- 1	+ 1	+ 3	- 1	+ 3	+ 4	+ 1	+ 3	+ 5	- 3
340°	- 4	+ 2	+ 8	- 6	+ 2	+ 7	- 7	- 1	+ 5	- 4
$d\varphi$	+0",01	+0",01	+0",01	+0",04	+0",06	+0",05	+0",09	+0",09	+0",09	+0",06
$d\Delta T$	-0 <sup>s</sup> ,009	0	+0 <sup>s</sup> ,008	-0 <sup>s</sup> ,009	0	+0 <sup>s</sup> ,008	-0 <sup>s</sup> ,008	0	+0 <sup>s</sup> ,008	-0 <sup>s</sup> ,005

Annex 37



Figuur 50. Persoonlijke verschillen en afwijkingen van de gemiddelde residuen als functie van het azimut, uit waarnemingen op Curaçao en in Parijs.

Meridian-observations													
Date: 19. <sup>o</sup> aug. 1958			Group: 18			UT: 00 <sup>h</sup> .9		ST: 18 <sup>h</sup> .1		T: 29.3		B:	
Star No.	Mg	dψ = - 0".10		dε = + 0".06		interp.		Δα FK3 R	α <sub>c</sub>	Red. MT from 17 <sup>h</sup>	+ C (k-c)	N	α <sub>r</sub>
		dα (ψ)	N1	dα (ε)	N2	Δ <sub>1</sub> α	Δ <sub>2</sub> α						
658	3.6	+ 0.068	- 7	- 0.002	0	- 3	0	0	17.35.14.200	- 5.773	- 6	- 7	
665	2.9	+ 0.059	- 6	0.000	0	- 3	0	- 5	41.26.806	- 6.790	- 6	- 6	
1465	5.8	+ 0.051	- 5	+ 0.002	0	- 3	0	+20	46.39.324	- 7.643	- 6	- 5	
1468	5.5	+ 0.048	- 5	+ 0.001	0	- 4	0	+ 3	53.46.157	- 8.809	- 7	- 5	
677	4.0	+ 0.060	- 6	0.000	0	- 3	0	+ 6	58.35.553	- 9.599	- 6	- 6	
681	3.8	+ 0.046	- 5	- 0.001	0	- 4	0	- 6	18.05.56.924	-10.805	- 7	- 5	
684	5.4	+ 0.037	- 4	- 0.004	0	- 4	0	+18	14.22.937	-12.186	- 8	- 4	
690	3.9	+ 0.050	- 5	- 0.003	0	- 3	0	- 9	21.57.385	-13.427	- 6	- 5	
1482	4.1	+ 0.065	- 7	+ 0.001	0	- 2	0	- 2	32.58.741	-15.231	- 6	- 7	
1486	4.7	+ 0.065	- 7	+ 0.002	0	- 2	0	- 3	40.01.941	-16.388	- 6	- 7	
			-57			0			3.59.968	-106.651	- 64	-57	

$\alpha = \frac{\sum I_n - \sum I_s}{\sum A_s - \sum A_n} = \frac{308.943 - 301.907}{+ 3.096} =$ $\underline{\underline{+ 2^s.273}}$	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">17</td> </tr> <tr> <td>+ λ conv.</td> <td style="text-align: right;">04.35.39.800</td> </tr> <tr> <td>GAST</td> <td style="text-align: right;">21.35.39.800</td> </tr> <tr> <td>- ST at 0<sup>h</sup></td> <td style="text-align: right;">- 21.47.21.154</td> </tr> <tr> <td>- ΔN</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>int. in ST</td> <td style="text-align: right;">- 00.11.41.354</td> </tr> <tr> <td>- corr. to MT</td> <td style="text-align: right;">+ 01.915</td> </tr> <tr> <td>UT</td> <td style="text-align: right;">- 00.11.39.439</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">+ 23.48.20.561</td> </tr> </table>		17	+ λ conv.	04.35.39.800	GAST	21.35.39.800	- ST at 0 <sup>h</sup>	- 21.47.21.154	- ΔN	0	int. in ST	- 00.11.41.354	- corr. to MT	+ 01.915	UT	- 00.11.39.439		+ 23.48.20.561
	17																		
+ λ conv.	04.35.39.800																		
GAST	21.35.39.800																		
- ST at 0 <sup>h</sup>	- 21.47.21.154																		
- ΔN	0																		
int. in ST	- 00.11.41.354																		
- corr. to MT	+ 01.915																		
UT	- 00.11.39.439																		
	+ 23.48.20.561																		

Figuur 8. Voorbeeld van een berekeningsformulier v

Station: Curaçao

18<sup>h</sup>.1 T: 29.3 B: — W: — k-c: -0<sup>s</sup>.006 Obs: R Comp: S

	Red. MT from 17 <sup>h</sup>	+ C (k-c)	N	$\alpha_T$	$T_{obs}$	$\bar{b}$	$B\bar{b}$	$l$	$Aa$	$\Delta T$	$d =$ $(\bar{\Delta T} - \Delta T_i)$	$N \times$ S	Remarks
4.200	- 5.773	- 6	- 7		08.410	- 46	59.958	+ 1.091	01.049	+ 11			
6.806	- 6.790	- 6	- 6		19.188	- 50	60.766	+ 0.302	.068	- 8			
9.324	- 7.643	- 6	- 5		30.196	- 53	61.421	- 0.355	.066	- 6	x		
6.157	- 8.809	- 7	- 5		35.624	- 54	61.658	- 0.607	.051	+ 9	x		
5.553	- 9.599	- 6	- 6		25.207	- 49	60.686	+ 0.366	.052	+ 8			
6.924	- 10.805	- 7	- 5		44.262	- 55	61.790	- 0.741	.049	+ 11	x		
2.937	- 12.186	- 8	- 4		08.070	- 58	62.611	- 1.532	.079	- 19	x		
7.385	- 13.427	- 6	- 5		42.431	- 53	61.463	- 0.407	.056	+ 4	x		
8.741	- 15.231	- 6	- 7		43.180	- 47	60.270	+ 0.802	.072	- 12			
1.941	- 16.388	- 6	- 7		45.266	- 47	60.227	+ 0.834	.061	- 1			
9.968	- 106.651	- 64	- 57		301.834	- 0.44	- 512	610.850	- 0.247	10.603 01.060	- 3		

<p>17 04.35.39.800</p> <hr/> <p>21.35.39.800 - 21.47.21.154 0</p> <hr/> <p>- 00.11.41.354 + 01.915</p> <hr/> <p>- 00.11.39.439 + 23.48.20.561</p>	<p style="text-align: right;">→ <math>\bar{\Delta T}</math> 20.561 01.060</p> <p><math>\Delta</math> chronogr chr → Cl<sub>2</sub> 21.021 + 33.531</p> <hr/> <p><math>\Delta T</math> Cl<sub>2</sub> 55.152 <u>- 04<sup>s</sup>.848</u></p> <p>UT 00<sup>h</sup>.56<sup>m</sup> ST 18<sup>h</sup>.08<sup>m</sup></p>	$m^2 = \frac{[d^2]}{\Delta T^{n-2}} = 126 \quad m = 11.2$ $M^2 = \frac{m^2}{n} = 12.6 \quad M_{\Delta T} = 3.5 \text{ msec}$
---	--	--

Abbeeld van een berekeningsformulier voor meridiaanwaarnemingen.

Date : 19.<sup>2</sup> aug. 1958

Observer : S

Station : Curaçao

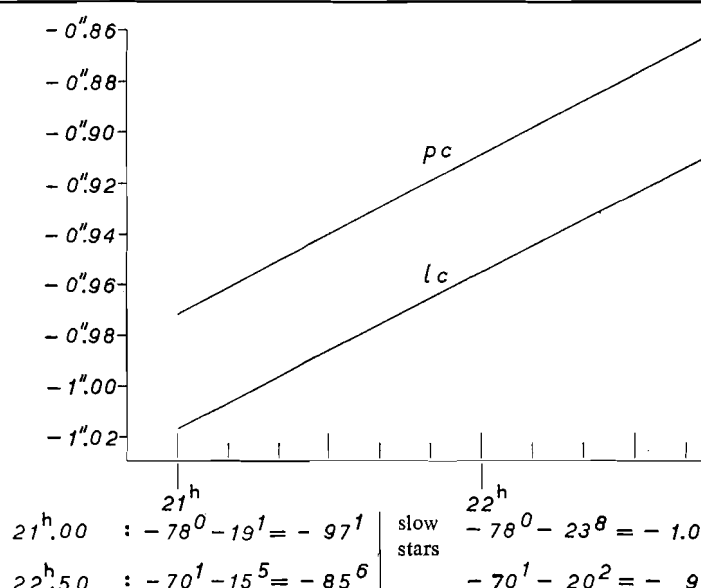
Instr. : Danjon astrolabe

Computer : V - S

Group : 22

Nr.	Nr. FK 3	Eph.	int.	Eph. int.	Obs.	Calc.	O - C	15 sin a cos φ <sub>o</sub>	J''	K''	Jdψ	Kdε	A	B
1	765			08 <sup>5</sup> .652	27 <sup>5</sup> .815	28 <sup>5</sup> .242	-0 <sup>5</sup> .427	-4.816	-.00	+.59	+0 <sup>00</sup>	+0 <sup>03</sup>	0 <sup>00</sup>	-0 <sup>01</sup>
2	1509			01.665	20.903	21.255	-0 <sup>3</sup> .352	-12.932	+.88	-.46	-10	-2	+1	0
3	1583			14.576	34.424	34.166	+0.258	+5.482	-.59	+.66	+6	+3	0	-1
4	732			28.911	48.246	48.501	-0.255	-11.946	+.51	+.25	-6	+1	0	0
5	1521			47.828	07.100	07.418	-0.318	-8.839	+.26	+.42	-3	+2	0	-1
6	761			38.654	57.563	58.244	-0.681	-8.373	+.73	-.61	-8	-3	+2	-1
7	1614			36.400	56.219	55.990	+0.229	+14.527	-.79	+.07	+9	+0	0	0
8	884			20.106	39.978	39.696	+0.282	+13.845	-.69	-.04	+8	-0	0	0
9	852			24.525	44.327	44.115	+0.212	+6.122	-.64	+.60	+7	+3	0	-1
10	1513			30.019	49.340	49.609	-0.269	-14.282	+.74	-.04	-8	-0	0	0
11	1613			13.454	33.247	33.044	+0.203	+10.278	-.82	+.51	+9	+3	+1	-1
12	1608			14.592	34.608	34.182	+0.426	+10.437	-.37	+.26	+4	-1	0	0
13	1536			30.411	49.491	50.001	-0.510	-10.076	+.83	-.51	-9	-3	0	0
14	1609			30.800	50.861	50.390	+0.471	+10.161	-.34	+.25	+4	-1	0	0
15	752			03.801	23.137	23.391	-0.254	-14.001	+.71	-.01	-8	-0	0	0
16	1629			27.356	47.123	46.946	+0.177	+12.833	-.92	+.40	+10	+2	0	0
17	781			15.648	34.713	35.238	-0.525	-10.264	+.84	-.47	-9	-2	0	0
18	866			48.691	09.303	08.281	+1.022	+5.077	+.04	-.36	-0	-2	0	-1
19	1558			10.513	29.688	30.103	-0.415	-5.763	+.01	+.34	-0	+2	0	-1
20	1			54.491	14.253	14.081	+0.172	+11.607	-.90	+.41	+10	+2	0	0
21	794			18.737	37.732	38.327	-0.595	-9.156	+.82	-.44	-9	-2	+1	-1
22	1543			53.407	12.595	12.997	-0.402	-12.202	+.92	-.39	-10	-2	0	0
23	1562			19.900	38.843	39.490	-0.647	-8.083	+.78	-.44	-9	-2	0	-1
24	1010			31.552	51.402	51.142	+0.260	+13.968	-.70	+.06	+8	+0	0	0
25	1006			51.448	11.213	11.038	+0.175	+10.659	-.88	+.39	+10	+2	+1	-1
26	786			56.553	15.910	16.143	-0.233	-11.938	+.49	+.04	-5	+0	0	0
27	1020			53.634	13.423	13.224	+0.199	+14.360	-.93	+.27	+10	+1	0	0
28	894			52.199	12.552	11.789	+0.763	+6.562	-.05	-.20	+1	-1	0	0
29	19			30.011	49.785	49.601	+0.184	+11.526	-.91	+.35	+10	+2	0	0
30														
				868.534	955.794	956.644	-850				+12	+5	+6	-11

λ<sub>0</sub> (diurnal ab. incl.) 04<sup>h</sup>.35<sup>m</sup>.39<sup>s</sup>.749  
 LAST 21.  
 Sid. ind. (-) -21.47.21.154  
 interval in ST 03.48.18.595  
 var. nut. (-) + 1  
 conv. ST-UT (-) - 37.403  
 UT 03.47.41.193  
~~λ<sub>0</sub> (diurnal ab. incl.)~~  
 clock<sub>2</sub> correction (-) + 04.863  
 chronograph-clock<sub>2</sub> + 46.056  
 33.534  
 C<sub>21</sub> + 19<sup>5</sup>.590  
 conv. 2<sup>h</sup> ST-UT - 19.659  
 C



Figuur 13. Voorbeeld van een berekeningsformulier voor astrolabe



