

MEDDELELSER OM GRØNLAND

UDGIVNE AF

KOMMISSIONEN FOR VIDENSKABELIGE UNDERSØGELSER I GRØNLAND

Bd. **173** · Nr. 1

---

EXPÉDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND

E. G. I. G. 1957—1960 Vol. 2 No. 2<sup>II</sup>

---

DÉTERMINATIONS ASTRONOMIQUES  
AU COURS DE LA CAMPAGNE 1959 DE  
L'EXPÉDITION GLACIOLOGIQUE  
INTERNATIONALE AU GROENLAND

PAR

JEAN COMMIOT

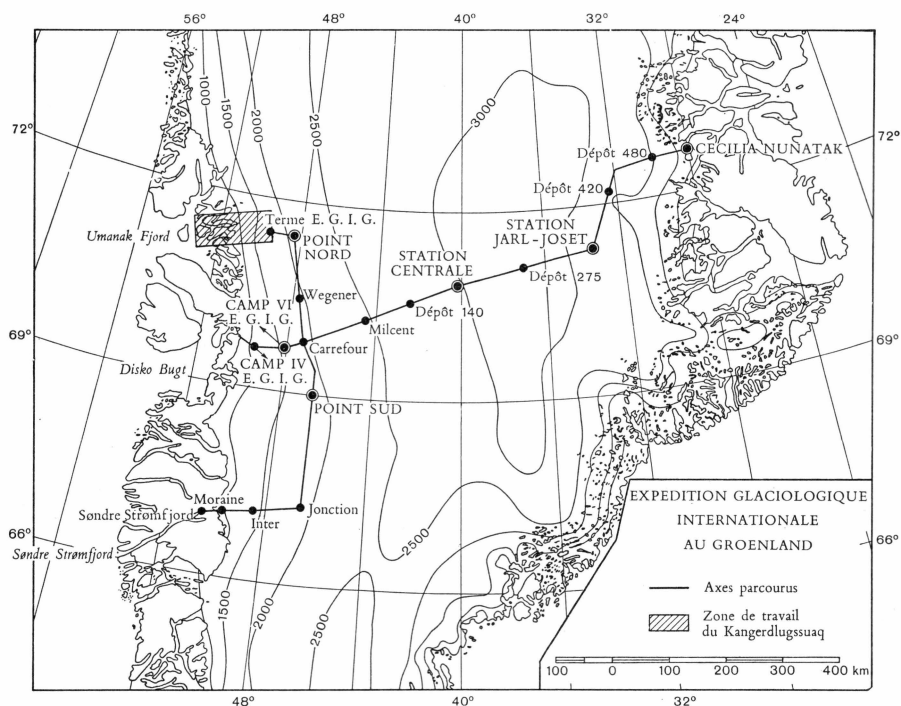
---

AVEC 6 FIGURES DANS LE TEXTE



Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck

København 1977



## EXPÉDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND 1957-1960

Réalisation technique:  
EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES  
(Mission PAUL-EMILE VICTOR)

L'EXPÉDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND est une expédition commune à un certain nombre d'organismes scientifiques des pays suivants: Allemagne, Autriche, Danemark, France et Suisse. Créée en 1956, elle fut autorisée par le Gouvernement du Danemark et patronnée par L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE.

La direction scientifique de l'expédition est assurée par le COMITE DE DIRECTION, et sa réalisation confiée aux EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES. Le chef d'expédition est PAUL-EMILE VICTOR. Le support aérien a été assuré par les FORCES ARMEES AIR (France).

Après deux années de préparation et de reconnaissances (1957-1958), le programme de recherches glaciologiques dans la partie centrale du Groenland a été réalisé pendant la campagne d'été 1959 et l'hivernage à la Station JARL-JOSET (1959-1960). L'expédition proprement dite s'est terminée par une campagne réduite en 1960 ramenant hivernants et matériel.



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
<i>Résumé</i> .....	4
1. INTRODUCTION .....	5
1.1. <i>Programme des mesures géodésiques</i> .....	6
1.2. <i>Préparation aux mesures astronomiques — matériel utilisé</i> .....	6
1.3. <i>Opérations préliminaires</i> .....	8
2. DÉTERMINATIONS ASTRONOMIQUES .....	10
2.1. <i>Remarque liminaire</i> .....	10
2.2. <i>Principe des déterminations astronomiques</i> .....	10
2.2.1. <i>Notations</i> .....	10
2.2.2. <i>Détermination des coordonnées géographiques</i> .....	11
2.2.3. <i>Détermination des azimuts</i> .....	14
2.3. <i>Réception de l'heure</i> .....	15
3. DÉTERMINATION DES COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES .....	19
3.1. <i>Préparation des observations</i> .....	19
3.2. <i>Organisation et pratique des observations</i> .....	22
3.3. <i>Dépouillement des observations</i> .....	24
3.4. <i>Calculs des coordonnées approchées</i> .....	26
3.5. <i>Calculs définitifs</i> .....	27
4. DÉTERMINATION DES AZIMUTS .....	29
5. COMPLÉMENTS: Méthode des droites d'azimut .....	32
5.1. <i>Principe de la méthode</i> .....	32
5.2. <i>Analogie avec le relèvement</i> .....	35
5.3. <i>Préparation des observations</i> .....	36
5.4. <i>Pratique des observations</i> .....	36
5.5. <i>Dépouillement des observations et calculs définitifs</i> .....	37
6. REMARQUES SUR LE MATÉRIEL .....	39
7. REMARQUES GÉNÉRALES — CONCLUSION .....	41
 <i>Annexes</i>	
A. <i>Réception de l'heure</i> .....	43
B. <i>Méthode des droites de hauteur</i> .....	45
C. <i>Feuille d'observation et dépouillement</i> .....	46
D. <i>Calcul des droites de hauteur</i> .....	47
E. <i>Azimut par l'angle horaire du soleil</i> .....	49
F. <i>Calcul de l'azimut par l'heure (soleil)</i> .....	50
G. <i>Méthode des droites d'azimut</i> .....	52
H. <i>Liste chronologique des principales observations astronomiques</i> .....	53
I. <i>E.G.I.G. 1959 — Profil ouest — est — Coordonnées astronomiques</i> .....	54

## Résumé

Le présent rapport traite des opérations astronomiques exécutées au sein du Groupe de Géodésie INDLANDSIS, au cours de la campagne d'été de l'E.G.I.G. 1 (1959).

Ces opérations avaient pour but la détermination de positions géographiques et d'azimuts en des points principaux du profil Ouest-Est et du profil Nord-Sud.

Les déterminations de positions ont été faites en utilisant exclusivement des étoiles. L'auteur indique les méthodes adoptées, mises au point sur place et dresse la liste du matériel utilisé. Il rappelle le principe de la méthode des droites de hauteurs, puis décrit successivement les opérations préliminaires (choix des étoiles, calcul d'un catalogue, détermination des coordonnées approchées et d'une orientation préalable de l'instrument), la réception de l'heure, les observations proprement dites (réticule à dix traits horizontaux). Il expose ensuite les procédés de dépouillement et les méthodes de calcul.

Les azimuts ont été déterminés par le procédé de l'azimut par l'heure par observation de l'Étoile Polaire et plus souvent du Soleil. Pour les visées sur le Soleil, l'auteur décrit une méthode mise au point au Groenland, qui permet de multiplier de façon commode les pointés (réticule à dix traits verticaux).

Il consacre un chapitre à la méthode des droites d'azimut (méthode de M. A. GOUGENHEIM), expérimentée à la fin de la campagne.

Il donne ensuite quelques indications sur le matériel qu'il estime adapté à des travaux analogues et propose quelques améliorations de détail.

A la suite du tableau chronologique des observations effectuées et du résumé des résultats obtenus, des extraits de catalogues, de fiches d'observation et de feuilles de calcul sont donnés en annexe à titre d'exemple.

## 1. INTRODUCTION

Au cours des années de préparation de l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland (E.G.I.G.), dont la genèse est rappelée dans l'avant propos de cet ouvrage, furent élaborés petit à petit, les projets concernant les différentes disciplines scientifiques, en même temps qu'étaient étudiés les programmes et les moyens de réalisation. Les techniques géodésiques se révélèrent très vite indispensables: dès 1956, en effet, il est apparu nécessaire, pour les recherches glaciologiques et géophysiques notamment, de disposer de déterminations planimétriques et altimétriques aussi précises que possible, compte tenu des conditions arctiques. C'est pourquoi l'expédition comprenait un groupe de Géodésie Côtière et, sur l'Indlandsis, en dehors des Groupes de Reconnaissance, de Glaciologie et de Géophysique, deux groupes importants, l'un chargé des opérations géodésiques proprement dites, l'autre des opérations de nivellement. Un détail purement matériel souligne l'intérêt qui s'attachait à ces opérations: pour sept groupes de travail, l'expédition disposait, comme moyens de transport terrestre, de:

16 véhicules à chenilles Weasel, 9 caravanes, 9 traîneaux.

Le Groupe de Nivellement utilisait 2 véhicules, une caravane et un traîneau.

Le Groupe de Géodésie Indlandsis 4 véhicules, 2 caravanes et 2 traîneaux.

C'est au Groupe de Géodésie Indlandsis qu'appartenait l'auteur du présent rapport. Pressenti à la fin de l'année 1958 pour remplacer un participant de nationalité allemande défaillant, il n'a pu prendre part aux études préliminaires; en mission à Madagascar pour l'Année Géophysique Internationale, il n'a pu prendre, pour la première fois, contact avec les autres membres du groupe qu'en février 1959.

Au cours de l'expédition, il a participé comme opérateur aux travaux du groupe: mesures des distances au telluromètre; mesures angulaires aux sommets des polygonales; rattachement géodésique au réseau côtier danois et préparation photogrammétrique dans la zone située à l'ouest du point dénommé «Terme E.G.I.G.».

En dehors des travaux entrepris en commun avec les autres membres du groupe, il était plus spécialement chargé des déterminations astrono-

miques: les pages suivantes traitent essentiellement de ces opérations, l'ensemble des travaux géodésiques et les résultats faisant l'objet de la publication E.G.I.G., Vol. 2, No. 4 (HOFMANN, 1964).

### 1.1. Programme des mesures géodésiques

La tâche principale du Groupe de Géodésie Indlandsis, placé sous la responsabilité scientifique de W. HOFMANN, consistait en des mesures par trilatération et polygonation sur les deux axes principaux retenus pour les études envisagées:

- profil Ouest-Est de Qapiarfît, à l'ouest, jusqu'à Cécilia Nunatak; à l'est.
- profil Nord-Sud dans la zone occidentale.

D'autres travaux étaient également confiés à ce groupe:

- implantation et détermination, pour les études glaciologiques, de quadrilatères dits «quadrilatères de déformation», en certains points du profil Ouest-Est;
- rattachements divers pour le Groupe de Géophysique;
- nivellement barométrique sur les deux axes, pour l'étude de ce mode de nivellement dans les conditions arctiques (une partie des observations était fournie par les observations nécessaires pour les réductions des mesures tellurométriques);
- enfin, déterminations astronomiques en certains points principaux des deux profils, notamment aux dépôts de matériel.

Le programme initial prévoyait ces déterminations en tant que contrôle des opérations géodésiques par réorientation de la chaîne géodésique. Ces dispositions appellent quelques remarques qui sont données dans la conclusion de ce rapport. Un jour entier était, en principe, réservé dans le plan de travail, pour les observations astronomiques: en réalité, ces opérations ont été effectuées au cours des journées dites de repos, interruptions périodiques des mesures géodésiques proprement dites.

### 1.2. Préparation aux mesures astronomiques-Matériel utilisé

Avant le départ de l'expédition, l'auteur, malgré ses recherches, n'a pu obtenir aucun renseignement concernant d'éventuelles observations astronomiques qui auraient été, antérieurement, exécutées en utilisant des étoiles au cours de l'été arctique. Les seules déterminations dont il ait pu avoir connaissance ne sont que des observations de moyenne précision ou des observations de reconnaissance, effectuées au théodolite Wild T2 en utilisant uniquement le Soleil. Diverses expériences, en France et outremer, lui permettaient néanmoins de penser qu'il était possible d'utiliser des étoiles pour les déterminations de position, mais il lui a

fallu attendre d'être sur place pour préciser les conditions favorables et adapter les méthodes d'observation. Nonobstant ces circonstances, le matériel pouvait être choisi et préparé, non seulement pour être utilisé dans les conditions arctiques, mais aussi pour être prêt à convenir pour les différentes opérations dont la mise en oeuvre pouvait raisonnablement être envisagée.

La majeure partie du matériel était prêtée par l'Institut Géographique National (Paris); la liste, en dehors des accessoires, comprenant essentiellement:

- deux théodolites Wild T3, No. 41252 et 26629, équipés l'un d'un réticule à dix traits verticaux, l'autre d'un réticule à dix traits horizontaux
- un prisme solaire pour théodolite
- un pied Raguét pour théodolite
- deux chronomètres de marine Leroy No. 1806 et 1808, réglés en temps sidéral
- une montre en temps sidéral
- une montre temps moyen
- un compteur à dédoublement au 1/100 de seconde
- un dispositif de coïncidence I.G.N. modèle 55
- deux dispositifs sélecteurs I.G.N. modèle 55
- un poste récepteur-radio ANGRC 9.

L'Institut de Géodésie de l'Ecole Polytechnique Fédérale—Zurich—avait, d'un autre côté, mis à la disposition de l'opérateur chargé des déterminations astronomiques un théodolite Kern DKM3A (première version prototype d'un instrument construit par la Société Kern).

Pour la préparation et le dépouillement des observations, les documents suivants ont été utilisés:

- Apparent Places of fundamental Stars 1959
- Connaissance des Temps 1959
- Tables de Friocourt
- Tables des valeurs naturelles des fonctions circulaires à 5 décimales en degrés, d'Hervé de St-Paul
- Tables de logarithmes à 5 décimales (I.G.N.)
- Tables de logarithmes à 7 décimales (Schrön)
- Tables des valeurs naturelles des fonctions circulaires à 8 décimales en grades (U.G.G.I.)
- Tables des valeurs naturelles des fonctions circulaires à 7 décimales en degrés (I.G.N.)
- Tables des valeurs naturelles des fonctions circulaires à 7 décimales en heures (I.G.N.)

- Tables de réfraction (I.G.N.)
- Carte du Ciel en projection stéréographique polaire.

Les calculs à la machine ont été effectués à l'aide :

- soit d'une machine CURTA à grande capacité
- soit d'une machine Brunsviga, de l'Institut de Géodésie Appliquée (Francfort/Main).

Tous les instruments de l'Institut Géographique National ont été vérifiés par les laboratoires du Service des Instruments; pour l'équipement en huiles spéciales, les théodolites ont été confiés à la Société Wild, les chronomètres à la Maison Leroy. Des housses spéciales antichocs ont été mises au point également, par l'Institut Géographique National, pour tous les instruments: la partie extérieure de ces housses est une forte toile (toile de bâche), le dessous est en cuir, l'intérieur est garni de mousse de polyuréthane, maintenue par une moleskine qui peut se retourner comme un doigt de gant pour dégager éventuellement la garniture.

En février 1959, une visite à Zurich (Institut de Géodésie—E.P.F.) d'une part, et une entrevue à Aarau d'autre part avec les ingénieurs de la Société Kern, a permis de régler certains points de détail concernant le théodolite DKM3A. La Société Kern s'est chargée de l'équipement en huiles spéciales; elle a ajouté une bonnette avec verre filtrant pour l'observation du soleil, et un circuit d'éclairage entièrement extérieur (demandé spécialement pour éviter tout risque de panne du dispositif intérieur). Enfin, elle a réalisé, de façon remarquable, la gravure d'un réticule à dix traits et celle du cercle de calage du micromètre.

### 1.3. Opérations préliminaires

Des calculs préparatoires relativement importants avaient été effectués à Paris dans les semaines précédant le départ de la mission, mais le nombre de ceux qui se sont révélés utiles sur place est pratiquement nul. L'opérateur avait pensé qu'il était peut-être possible, au début du mois de mai, de profiter de l'obscurcissement relatif du ciel au milieu de la « nuit », pour mettre en oeuvre soit la méthode des hauteurs égales, soit la méthode des droites d'azimut. Au cours des premiers essais, au Camp VI-EGIG, cet espoir fut rapidement déçu. Une étude systématique fut alors entreprise pour déterminer les valeurs minimales des magnitudes et les distances zénithales maximales des étoiles observables; cette étude, confirmée par les expériences ultérieures, a montré que dans les conditions moyennes du printemps et de l'été arctique; les étoiles de magnitude inférieure à 3 peuvent être observées jusqu'à une distance zénithale de l'ordre de  $30^\circ$  à  $40^\circ$ ; pour pouvoir observer à des distances zénithales de

l'ordre de  $40^{\circ}$  à  $50^{\circ}$ , il convient de n'utiliser que des étoiles de magnitude inférieure ou égale à 2 environ.<sup>1</sup> Ces valeurs s'entendent naturellement pour la période de la journée où le soleil est le plus bas au-dessus de l'horizon.

Au Camp VI-EGIG également, au cours de la même période (2-11 mai), les différents instruments furent testés, en même temps qu'étaient étudiées et mises au point la procédure des observations et les dispositions matérielles les plus favorables pour leur exécution dans les conditions locales (station sur la glace, basse température). Plusieurs séances ont été consacrées à l'entraînement, notamment à l'entraînement du secrétaire, dont les fonctions étaient remplies par l'un des membres du groupe, KL. NOTTARP, de l'Institut de Géodésie Appliquée, Francfort. A ce propos, il faut noter que, pour des raisons de commodité, l'usage presque exclusif de la langue allemande a été adopté pour l'ensemble des observations.

Parallèlement, le comportement du chronomètre a été étudié et de nombreux essais de réception des signaux horaires ont été faits, à diverses heures de la journée et sur des fréquences différentes.

L'ensemble de ces opérations préliminaires a été exécuté en même temps que des opérations analogues concernant les mesures géodésiques proprement dites, et auxquelles prenaient part, nécessairement, tous les membres du groupe. D'un autre côté, il ne pouvait être question de retarder le départ des travaux sur la polygonale, et la première soirée astronomique n'a pu alors être réalisée de manière entièrement satisfaisante avant le départ du groupe pour les mesures sur le Profil Ouest-Est.

<sup>1</sup> L'étoile No. 870, de Magnitude 2,6 a pu être utilisée plusieurs fois, à des distances zénithales comprises entre  $50^{\circ}$  et  $52^{\circ}$ . Le 11 août, au Camp VI — EGIG l'étoile 643, de magnitude 3,4 a été visée à la distance zénithale  $39^{\circ}36'$ , mais à cette date le soleil était, au moment des observations, légèrement au-dessous de l'horizon.

## 2. DÉTERMINATIONS ASTRONOMIQUES

### 2.1. Remarque liminaire

Il a semblé utile de rappeler le principe de la méthode des droites de hauteur, qui est décrite, certes, dans tous les traités ou manuels d'astronomie de position, mais dont la pratique ne paraît pas être développée tout au moins dans les services et instituts autres que l'I.G.N. dont les activités sont connues de l'auteur du présent rapport. Cette méthode simple et sûre, n'exigeant pas d'appareillage délicat, est depuis longtemps à l'honneur en France. Les procédés d'observation, les instruments, les accessoires et les méthodes de calcul ont été soigneusement étudiés et mis au point à l'Institut Géographique National, plus particulièrement pour la méthode des hauteurs égales, qui est considérée comme la méthode universelle pour la détermination simultanée des coordonnées géographiques.

### 2.2. Principe des déterminations astronomiques

#### 2.2.1. Notations

Il a paru utile, avant de définir le principe des méthodes utilisées, de résumer notations employées dans l'exposé ou dans les exemples de calcul:

$\varphi$ : latitude  $\varphi_0$ : latitude approchée

$\lambda$ : longitude  $\lambda_0$ : longitude approchée

$\alpha$ : ascension droite

$\delta$ : déclinaison  $\left( p = \frac{\pi}{2} - \delta = \text{distance polaire} \right)$

A': azimut (compté à partir du nord)

z: distance zénithale  $\left( h = \frac{\pi}{2} - z = \text{hauteur} \right)$

S: angle à l'astre

AH: angle horaire

HSL: Heure sidérale locale



HSG: Heure sidérale Greenwich

TU: Temps universel (heure civile du méridien international)

CpG: «correction» pour obtenir l'heure sidérale de Greenwich (quantité à ajouter à l'heure lue sur le chronomètre local pour obtenir HSG)

CpL<sub>0</sub>  $\doteq$  CpG +  $\lambda_0$  (Correction à ajouter à l'heure lue sur le chronomètre local pour obtenir HSL<sub>0</sub>, heure sidérale du méridien approché).

### 2.2.2. Détermination des coordonnées géographiques

La méthode utilisée pour les déterminations de position est celle des droites de hauteur. Le principe peut en être rappelé en quelques lignes: il consiste à mesurer la distance zénithale  $z$  d'une étoile à un instant dont on connaît l'heure de Greenwich (HSG). Les éléments inconnus (latitude  $\varphi$  et longitude  $\lambda$ ) sont liés aux éléments connus (ascension droite  $\alpha$  et déclinaison  $\delta$  de l'étoile) et aux éléments fournis par l'observation ( $z$  et HSG) par la relation:

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos (\text{HSG} + \lambda - \alpha) \quad (1)$$

Chaque étoile observée donne une relation de la forme (1); le procédé le plus simple pour la résolution fait appel à une méthode classique de «point approché»; on considère le changement de variables:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + d\varphi \\ \lambda &= \lambda_0 + d\lambda \end{aligned}$$

où  $\varphi_0$  et  $\lambda_0$  sont des valeurs approchées des inconnues. Si ces valeurs sont suffisamment proches des valeurs réelles, les nouvelles inconnues  $d\varphi$  et  $d\lambda$  peuvent être traitées comme des infiniment petits, liés par la relation suivante, obtenue en différentiant (1):

$$dz = -\cos A' d\varphi - \sin A' (\cos \varphi d\lambda) \quad (2)$$

où  $A'$  est l'azimut de l'étoile à l'instant de l'observation et de la différence entre la distance zénithale observée ( $z$  observé) et entre la distance zénithale calculée ( $z$  calculé) à l'instant de l'observation pour le lieu de coordonnées  $\varphi_0$  et  $\lambda_0$ . La relation (2) peut être mise sous la forme:

$$\begin{aligned} \cos A' d\varphi + \sin A' (\cos \varphi d\lambda) - dz &= 0 \\ \text{ou: } \cos A' y + \sin A' x - dz &= 0 \end{aligned}$$

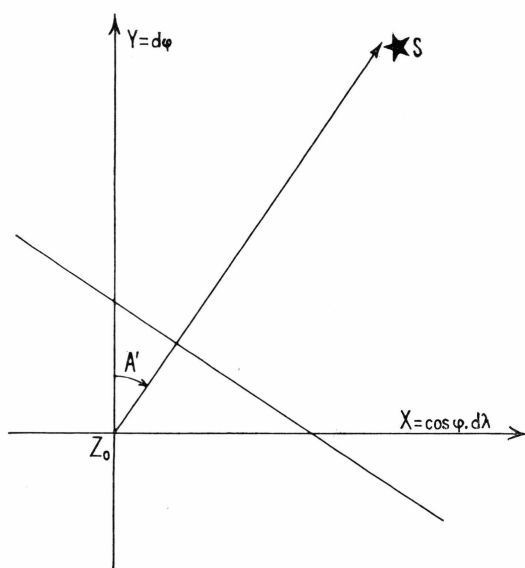


Fig. 1.

Dans un système d'axes rectangulaires (fig. 1), ayant pour origine le zénith approché  $Z_0$ , l'axe des  $x$  étant gradué en  $(\cos \varphi \, d\lambda)$ , l'axe des  $y$  en  $d\varphi$ , cette relation n'est autre que l'équation d'une droite («droite de hauteur»). Cette droite est perpendiculaire en  $H$  à la demi-droite  $Z_0 S$ , faisant l'angle orienté:  $(\vec{Z_0 y}, \vec{Z_0 S}) = A'$  avec l'axe des  $y$ ; le point  $H$  étant défini sur l'axe  $\vec{Z_0 S}$  par:  $\vec{Z_0 H} = -dz$ . Cette figure est, au second ordre près, la représentation de la sphère locale (ou de son plan tangent) au voisinage du zénith approché  $Z_0$ ; les axes sont le parallèle approché de latitude  $\varphi_0$  et le méridien approché de longitude  $\lambda_0$ .

La droite de hauteur est l'arc de cercle (ou sa tangente), ensemble des points de la sphère céleste locale, situés à la distance zénithale  $Z$  de l'étoile observée, à l'instant de l'observation.

Ce procédé fournit une solution graphique du problème, dont la précision est très amplement suffisante: l'échelle graphique adoptée étant de: 1 millimètre pour l'' (1 seconde), l'erreur graphique est négligeable par rapport aux erreurs d'observation.

Le zénith définitif  $Z$  (de coordonnées graphique  $\sec \varphi \, d\lambda$  et  $d\varphi$ ) serait le point d'intersection des droites de hauteur correspondant aux différentes étoiles observées. Mais il est immédiat de constater que, si la même erreur systématique  $\Delta z$  est commise sur toutes les distances zénithales observées, elle entraîne simplement pour chaque droite une translation mesurée par un vecteur porté par  $Z_0 S$  de module constant  $|\Delta z|$ . Dans ces conditions, au lieu d'être concourrantes comme elles

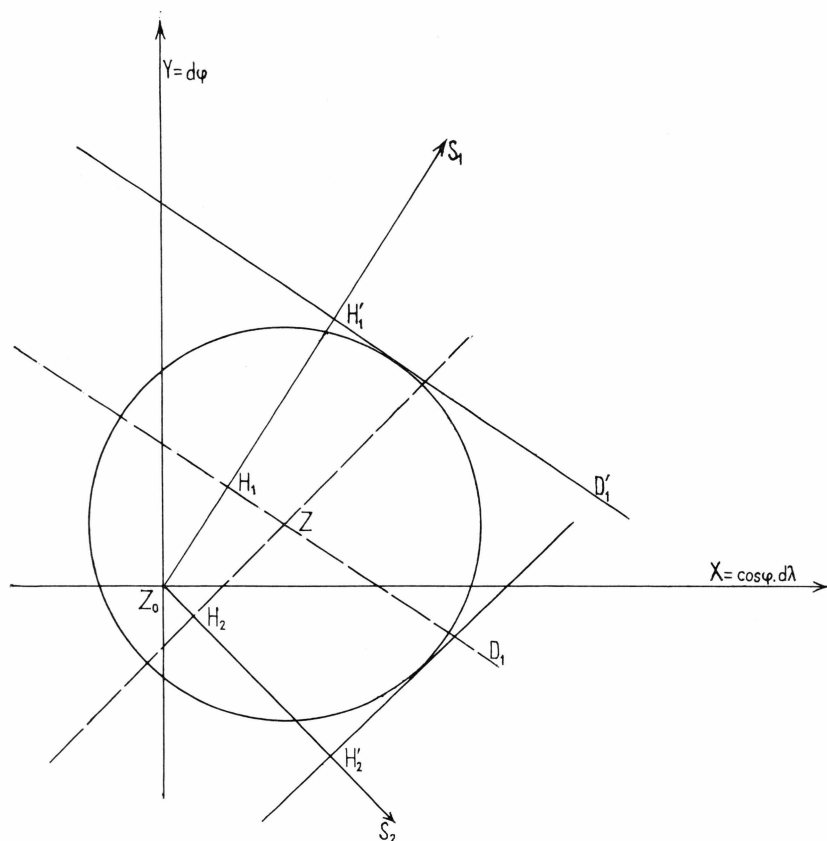


Fig. 2.

devraient l'être théoriquement, les droites sont tangentes à un cercle de rayon  $|\Delta z|$ , dont le centre est le zénith Z (fig. 2).

Dans les erreurs de ce type peuvent intervenir notamment les suivantes:

a) quelque précaution qu'on ait prise, le pointé zénithal de l'instrument (lecture sur le limbe vertical qu'on ferait si l'axe optique de la lunette était dirigé rigoureusement vers le zénith), reste défini avec une certaine indécision inconnue. Néanmoins, on peut considérer que sa valeur reste constante pendant la durée d'une séance d'observation:

b) la distance zénithale observée est la somme de la lecture faite sur le limbe et la réfraction.

Cette dernière n'est connue qu'avec une certaine indécision, elle-même fonction de  $z$ : mais cette indécision peut-être considérée sensiblement comme une erreur systématique, si l'on s'astreint à observer à des distances zénithales sensiblement égales.

La remarque précédente présente un autre avantage: il est toujours

possible, sans modifier la solution, d'ajouter systématiquement une constante algébrique, fixée à priori, à toutes les valeurs obtenues pour la valeur  $dz$ , en fin de calcul. C'est le procédé utilisé pratiquement: l'expérience montre, en effet, qu'il est plus facile de choisir le point définitif comme centre d'un cercle tangent au mieux diverse droites «décallee» que d'essayer de le définir comme «intersection» des droites primitives.

Pour augmenter la précision des observations, on est naturellement conduit à multiplier les pointés sur une même étoile, et l'heure sidérale Greenwich à l'instant de l'observation est obtenue par une moyenne: en fait, l'heure Greenwich n'est pas déterminée directement, mais par l'intermédiaire d'un garde-temps local, dont l'état est connu par rapport à Greenwich.

D'un autre côté, un problème important se pose pour des observations qui doivent être exécutées au cours de l'été arctique: celui d'amener l'étoile dans le champ de la lunette.

Pour mettre en oeuvre la méthode des droites de hauteur dans les conditions particulières de la mission, il était donc nécessaire de disposer tout d'abord d'éléments approchés  $(\varphi_0, \lambda_0)$ , puis de déterminer un azimut permettant l'orientation préalable de l'instrument, enfin de calculer un catalogue fournissant la distance zénithale et l'azimut approchés d'un certain nombre d'étoiles observables. Ces questions sont traitées en détail dans la suite de cet exposé.

### 2.2.3. Déterminations des azimuts

Les déterminations ont toujours été faites par la méthode de l'azimut par l'heure: il suffit de noter la lecture azimutale  $L_a$  correspondant au passage de l'astre visé derrière le fil central du réticule, et l'instant de ce passage sur le chronomètre (qui fournit l'heure sidérale Greenwich HSG).

La lecture azimutale sur le repère terrestre  $R$  étant  $L_R$ , l'azimut  $A'_R$  du repère est donné par:

$$A'_R = A'_a + (L_R - L_a)$$

ou  $A'_a$  est l'azimut de l'astre calculé par la relation:

$$\cotg A'_a = \sin \varphi \cotg AH - \frac{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta}{\sin AH}$$

dans laquelle l'angle horaire  $AH$  de l'astre a pour valeur:

$$AH = HSG + \lambda - \alpha$$

L'astre visé était soit le soleil, soit l'étoile Polaire ( $\alpha$  Ursae Majoris). Pour cette dernière, les observations n'étaient possibles qu'avec le théodolite Kern DKM 3A, le théodolite Wild T3 ne permettant pas des visées aux faibles distances zénithales.

### 2.3. Réception de l'heure

Pour éviter des transformations inutiles, le garde-temps utilisé était un chronomètre de marine à contacts électriques, réglé en temps sidéral. Un seul des deux chronomètres, emportés pour pallier toute défaillance, a été employée au cours de la campagne. Transporté, toujours dans sa housse, dans une caisse placée à peu près au centre du Weasel (pour éviter au maximum les chocs éventuels au cours des déplacements), le chronomètre était remonté tous les jours, sensiblement à la même heure: les observations étant faites à peu près aux mêmes heures de la journée, cette précaution permet un contrôle plus facile de la marche du chronomètre.

Au cours de la période préparatoire initiale au Camp VI-EGIG et par la suite, chaque fois que cela a été possible pendant les interruptions des travaux géodésiques, le comportement du chronomètre a été étudié par la méthode des coïncidences.

Cette méthode n'exige qu'un dispositif très simple (boîte de coïncidences) qui permet d'entendre simultanément dans un écouteur téléphonique les «tops» de seconde du chronomètre et ceux des émissions de radio-signaux scientifiques. Les intervalles de temps séparant respectivement deux «tops» du chronomètre et deux «tops» de la radio étant légèrement différents, la superposition des bruits crée en quelque sorte un vernier acoustique; il suffit de noter l'instant de la coïncidence; un calcul élémentaire permet alors d'obtenir le CpG, quantité à ajouter à l'heure lue sur le chronomètre pour obtenir l'heure sidérale Greenwich au même instant.

Plus précisément, la méthode mise en oeuvre presque exclusivement au cours de la campagne au Groenland est une variante de la précédente (méthode par court-circuit ou méthode Danjon): le dispositif IGN permet, au moyen d'un simple commutateur, de passer immédiatement, lorsque c'est nécessaire, de la première à la seconde méthode.

Dans la méthode Danjon, le circuit de sortie du poste récepteur ne parvient au casque que par l'intermédiaire du chronomètre: celui-ci court-circuite donc toutes les secondes pendant un intervalle d'une demi-seconde, et l'opérateur entend les signaux horaires seulement avant, ou seulement après la coïncidence suivant la procédure d'émission de la station horaire. Lorsque l'intervalle séparant deux signaux est d'une durée supérieure à celle d'une seconde de temps sidéral (signaux émis en

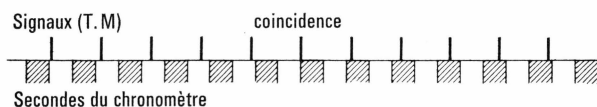
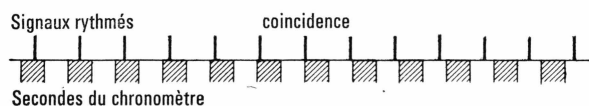


Fig. 3.

seconde de temps moyen), l'opérateur n'entend plus les signaux après la coïncidence.

Lorsqu'au contraire l'intervalle séparant deux signaux est d'une durée inférieure à celle d'une seconde de temps sidéral (signaux rythmés), l'opérateur n'entend les signaux qu'après la coïncidence. La figure 3 schématise les deux cas indiqués (la partie hachurée, d'une durée d'une demi-seconde, représente l'intervalle pendant lequel l'opérateur n'entend pas la radio).

Dans l'un et l'autre cas, l'échelle ne respecte pas la valeur des écarts : dans le premier cas, l'écart entre une seconde de T.M. et une seconde de T.S. est de l'ordre de  $1/365$  ; dans le deuxième cas, l'intervalle entre deux signaux rythmés diffère d'une seconde de T.S. d'environ  $1/73$ ).

Le poste récepteur utilisé, qui a fait ses preuves au cours de très nombreuses missions de l'Institut Géographique National en France et hors de France, était le poste A N G R C 9.

Les principales émissions de signaux horaires qui ont pu être captées au cours de la campagne 1959 sont les suivantes :

*signaux rythmés internationaux*

PONTOISE	F Y A <sub>3</sub>	7428	kHz
PONTOISE	T Q C <sub>9</sub>	10775	»
MOSCOU	R W M <sub>1</sub>	10050	»
MOSCOU	R W M <sub>3</sub>	11450	»
MOSCOU	R W M <sub>4</sub>	7690	»
TACHKENT	R P T <sub>1</sub>	11580	»
RIO DE JANEIRO	P P E	8721	»
SHANGAI	B P V <sub>2</sub>	9368	»
MONTE-GRANDE	L Q B <sub>9</sub>	8167,5	»

*signaux continus* (en secondes de temps moyen)

BELTSVILLE	W W V	5000 et 10000 kHz	puissance 0,7 W
RUGBY	M S F	5000 et 10000 »	0,5 W
OTTAWA	C H U	7335 »	—
NAUEN	D I Z	4525 »	5 kW

Cette nomenclature peut, compte tenu des fréquences et des puissances des postes émetteurs, et de leurs distances au Groenland, fournir éventuellement quelques renseignements à un utilisateur ultérieur. Il convient toutefois de souligner que de nombreuses modifications ou adjonctions sont fréquemment apportées aux listes de stations émettrices de signaux horaires.

Les signaux les plus fréquemment utilisés, en particulier au cours des soirées d'observation par la méthode des droites de hauteur, ont été ceux des stations W W V et M S F.

Le chronomètre a toujours eu une marche très régulière, variant naturellement avec la température, mais ces variations ne pouvaient avoir aucune influence sur la précision des déterminations en raison des précautions prises:

- d'une part, le CpG du chronomètre était déterminé à plusieurs reprises, pour des instants encadrant aussi près que possible la soirée d'observations, et souvent une fois au cours de la soirée elle-même;
- d'autre part, le chronomètre étant nécessairement appelé à rester à la température extérieure au cours de la séance d'observations, les seules valeurs de CpG prises en considération pour les calculs sont les valeurs obtenues lorsque l'équilibre thermique était réalisé de façon certaine pour le chronomètre.

Des exemples de réception et de calcul de CpG sont donnés en annexe ainsi qu'un graphique: établi sur papier millimétré, celui-ci porte en abscisses l'heure du chronomètre (3 cm pour 1 heure), en ordonnées le CpG (1 cm pour Oslo). Une simple translation permet d'obtenir directement la graduation de l'axe des ordonnées en  $CpL_0 = CpG + \lambda_0$ , quantité à ajouter à l'heure sur le chronomètre pour obtenir l'heure sidérale locale correspondant à l'instant de l'observation et à la longitude approchée. Pour des raisons évidentes de commodité, la mise à l'heure initiale du chronomètre a été faite, une fois pour toutes, de telle manière que, compte tenu des valeurs de la longitude aux différentes stations, la quantité  $CpL_0$  conserve une valeur positive et aussi petite que possible.

La connaissance de l'heure de Greenwich étant directement indispensable pour toute détermination de précision, il est naturellement

impossible d'envisager quelque observation que ce soit en l'absence de toute réception de signaux horaires: il ne peut être question, en effet, de considérer la marche du chronomètre comme sensiblement uniforme que pendant un intervalle relativement court. Au cours de la campagne d'été 1959, plusieurs périodes de silence-radio dues à des perturbations ionosphériques, ont interdit, parfois pendant plus de huit jours, toute opération astronomique.



### 3. DÉTERMINATION DES COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

#### 3.1. Préparation des observations

Toutes les opérations sur l'Indlandsis ont été faites alors que le soleil était constamment au-dessus de l'horizon: des opérations préliminaires relativement importantes s'imposaient pour permettre des visées sur les étoiles. Les procédés graphiques, suffisants en général pour les observations de nuit par la méthode employée, ne pouvaient apporter dans ce cas particulier la précision convenable. Il était donc nécessaire de calculer les éléments nécessaires pour amener l'étoile dans le champ de la lunette.

En premier lieu, il fallait connaître les valeurs approchées des coordonnées géographiques de la station; les valeurs utilisées étaient:

- soit les coordonnées déterminées antérieurement par le navigateur de l'équipe de reconnaissance et obtenues par la méthode des droites de hauteur (mesure de la distance zénithale du soleil au théodolite Wild T2, muni du prisme solaire, plusieurs fois au cours de la même journée),
- soit, à défaut, les coordonnées déduites de la station astronomique précédente par l'intermédiaire des déterminations géodésiques exécutées entre les deux stations.

Dans plusieurs cas, un rattachement géodésique a dû être fait (Station Jarl-Joset notamment) entre le point du Groupe de Transport et la station astronomique définitive. Souvent, les deux procédés ont permis un contrôle non dénué d'intérêt.

La valeur de la latitude approchée a également été obtenue par la méthode de Littrow, qui donne la latitude connaissant la hauteur  $\left(h = \frac{\pi}{2} - z\right)$  de la Polaire, par un développement en fonction des puissances de  $p$ , distance polaire de l'étoile polaire  $\left(p = \frac{\pi}{2} - \delta\right)$ .

Pour chaque station, un catalogue a été établi, fournissant l'azimut et la distance zénithale d'un certain nombre d'étoiles à une heure sidérale locale donnée.

Un premier tri des étoiles était fait par voie graphique: compte

tenu des critères imposés (limites en magnitude et distance zénithale) indiqués précédemment, ce procédé permet de choisir facilement les étoiles se présentant à un instant donné dans un azimut convenable. La solution de ce problème est rapide avec la carte du ciel en projection stéréographique éditée par l'Institut Géographique National, et le «calque des coordonnées horizontales». La carte du ciel est une représentation plane de la sphère céleste étoilée; le calque n'est autre que la projection stéréographique de la sphère céleste locale correspondant à la valeur approchée de la latitude. Sur le calque sont tracées, les projections des lignes coordonnées: verticales ou cercles d'azimut constant, cercles de hauteur ou de distance zénithale constante. La rotation du calque par rapport à la carte autour du pôle représente exactement le mouvement diurne; l'heure sidérale locale est égale à l'ascension droite du cercle horaire de la carte confondu avec la droite figurant le méridien du lieu; à cet instant, l'azimut et la distance zénithale d'une étoile peuvent être lus par simple interpolation entre les lignes coordonnées portées par le calque.

Ces valeurs sont, bien entendu, assez grossièrement approchées, en raison essentiellement des latitudes élevées des stations (entre  $69^{\circ}45'$  et  $72^{\circ}35'$ ); leur seule utilisation aurait entraîné des déboires certains. Pour assurer un nombre suffisant d'observations en une séance relativement courte, il était nécessaire de préciser cette première approximation par le calcul. C'est le but du catalogue, établi de la façon suivante:

- la longitude approchée permet tout d'abord de calculer l'heure sidérale locale prévue pour le début des observations;
- pour chaque étoile obtenue par voie graphique, une valeur rondede l'angle horaire est adoptée (pour éviter une interpolation dans les tables); l'heure sidérale locale est alors:  $HSL = \alpha + AH$
- la distance zénithale de l'étoile à cet instant est calculée par la relation:

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi_0 + \cos \delta \cos \varphi_0 \cos AH$$

- la formule des sinus permet ensuite de déterminer la valeur de l'azimut et celle de l'angle à l'astre:

$$\sin A' = \mu - \frac{\sin AH}{\sin z} \cos \delta$$

$$\sin S = - \frac{\sin AH}{\sin z} \cos \varphi_0$$

le calcul de l'angle à l'astre est destiné à garantir a priori le passage de l'étoile au centre du champ, comme le montrera le paragraphe relatif à la pratique des observations.

Un intervalle de cinq minutes environ était réservé entre deux

passages. Le calcul était fait en logarithmes à cinq décimales; pour la valeur de  $\cos z$ , les deux termes étaient calculés séparément et  $z$  obtenu soit par un nouveau passage en logarithmes, soit directement en utilisant le table des valeurs naturelles des fonctions trigonométriques d'Hervé de St Paul.

Distance zénithale et azimuth étaient exprimés en degrés et arrondis à la minute; l'angle à l'astre en grades, arrondi au grade.

Le nombre des étoiles distinctes de magnitude convenable se présentant au cours de la soirée dans des conditions favorables était souvent insuffisant; il est arrivé que la même étoile soit utilisée deux ou trois fois, à des intervalles de vingt à trente minutes au minimum (les observations étant indépendantes, chacune d'elles fournit, du zénith cherché, un lieu distinct).

Le nombre de passages calculés est donné ci-dessous par ordre chronologique pour chacune des stations:

Milcent	T A 15:28
Station Centrale	T A 31:35
Station Jarl-Joset	T A 53:40
Cécilia Nunatak	C N :40
Dépôt 420	T A 61:40
Terme EGIG	T A 100:70
Camp VI-EGIG	T A 0:80

Un exemple de calcul est donné en annexe, ainsi qu'un extrait de catalogue, qui contient:

- le numéro de l'étoile (No. du FK 3)
- la magnitude de l'étoile
- l'heure sidérale locale
- l'azimut
- la distance zénithale
- l'angle à l'astre.

L'utilisation du catalogue suppose naturellement que l'instrument est orienté, tout au moins de façon suffisamment approchée. Cette orientation préalable était obtenue par une détermination d'azimut par l'heure. L'astre visé était le soleil, observé soit avec le théodolite T2, muni du prisme solaire d'objectif, soit avec le théodolite DKM 3 A ou l'un des théodolites T 3 (les observations pouvaient être utilisées, après la détermination de position, pour le calcul de l'azimut définitif). Le calcul de l'azimut d'orientation était fait par logarithmes ou valeurs naturelles à cinq décimales à l'aide de la formule en cotangente déjà citée, en prenant la moyenne d'au moins deux, et le plus souvent quatre

valeurs correspondant à des observations différentes. L'orientation obtenue (avec une indécision de quelques centigrades) était généralement contrôlée par une visée sur l'Étoile Polaire: cette étoile étant utilisée également pour la détermination de la latitude, un calcul simple permettait de dresser un graphique donnant, en fonction de l'heure sidérale locale, son azimut et sa distance zénithale.

### 3.2. Organisation et pratique des observations

L'installation de l'instrument n'a jamais posé de problème particulier ni exigé des précautions spéciales. Le théodolite, centré sur le premier élément de la balise matérialisant le point, était mis en station sur le pied Raguet; aucune difficulté n'a été rencontrée sur l'Indlandsis pour la stabilité de ce dernier. Le trépied était mis en place quelques heures avant les observations, de façon que, quelles que soient les conditions de température ou d'ensoleillement, la couche superficielle puisse être éventuellement de nouveau solidifiée au moment des observations. A Cécilia Nunatak; le trépied a été placé sur une zone morainique dégagée de neige et stabilisé par plusieurs blocs de pierre. La station faite à proximité du camp I ne posait aucun problème puisqu'elle était exécutée sur le rocher.

Dans le Weasel, amené à quelques mètres de la station et disposé pour éviter autant que possible l'influence du vent, se tenait le secrétaire; devant lui, sur une tablette aménagée à cet effet, étaient disposés le catalogue, les feuilles d'observation et les accessoires indispensables: chronomètre de marine, dispositif de jonction et dispositif sélecteur, montre en temps sidéral, thermomètre fronde.

Le déroulement des observations suivait le schéma suivant: après les réceptions d'heure initiales, et la vérification de la mise en station et de l'orientation de l'instrument, l'opérateur coiffait un casque relié au chronomètre par l'intermédiaire du dispositif de jonction et du dispositif sélecteur (ce dernier, convenablement réglé, permet d'entendre uniquement les secondes paires du chronomètre); un autre casque analogue était réservé au secrétaire. En se référant aux indications de la montre auxiliaire réglée en heure sidérale locale.<sup>1</sup>

Le secrétaire annonçait à l'opérateur l'azimut et la distance d'une étoile choisie dans le catalogue, en précisant l'intervalle de temps qui restait avant l'heure prévue pour son passage; puis la magnitude de cette étoile, éventuellement; enfin, l'angle à l'astre.

Cet angle est égal à l'angle de la trajectoire apparente de l'étoile

<sup>1</sup> Le chronomètre de marine lui-même aurait pu jouer ce rôle, mais il est toujours préférable de toucher le moins souvent possible aux aiguilles, et la montre auxiliaire en T.S. est un accessoire peu volumineux, souvent commode pour des déterminations de faible précision.

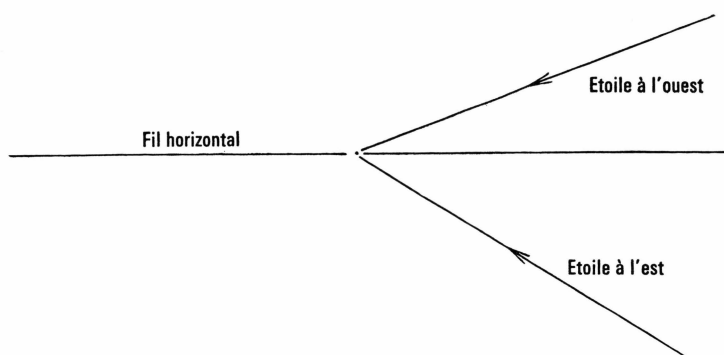


Fig. 4.

avec le fil horizontal: le réticule du théodolite porte une graduation (cercle de calage) de 10 en 10 grades. (fig. 5) Lorsque l'étoile apparaît au bord du champ, pour être assuré que sa trajectoire passera au centre du réticule, il suffit, par un éventuel petit déplacement de la lunette en azimut, d'amener son image à se présenter dans la direction correspondant

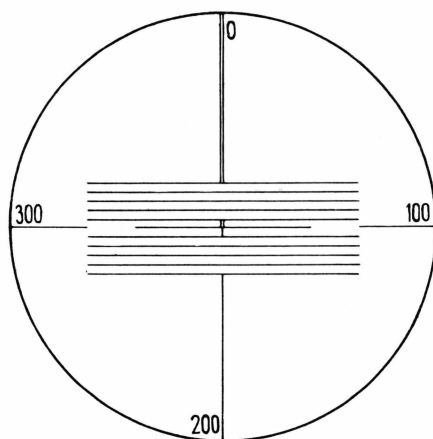


Fig. 5.

à l'angle à l'astre calculé. La lunette DKM3A fournit d'un objet une image droite, symétrique de l'objet par rapport à un plan vertical; comme pour la plupart des étoiles observées, la distance zénithale était supérieure à la colatitude ( $z > \frac{\pi}{2} - \varphi$ ), l'allure générale des trajectoires était toujours conforme au schéma de la figure 4.

Pour les observations proprement dites, le réticule utilisé (fig. 5), outre la graduation de calage et les traits horizontal et vertical classiques, porte dix traits (« fils ») horizontaux disposés symétriquement par rapport au trait central, l'écart entre chacun de ces onze traits étant de 50 secondes environ.

La méthode d'observation («interpolation spatiale sur références acoustiques») consiste à noter, par rapport à chacun des fils, la position de l'étoile, exprimée en dixième d'intervalle, à chaque «top» perçu, c'est-à-dire toutes les deux secondes.<sup>1</sup> Le secrétaire notait les observations qui se résument à une suite de chiffres (compris entre 0 et 9) et date, de temps en temps, certains de ceux-ci, en se référant au chronomètre de marine (les «tops» qu'il entend dans le casque facilitent cette opération). Étaient notées ensuite la distance zénithale (plusieurs lectures) et la lecture azimutale (à titre de contrôle).

À des intervalles réguliers était notée également la température; la pression atmosphérique, variant peu, était relevée avant et après la séance d'observations, sur l'un des baromètres utilisés pour les mesures au telluromètre, qui étaient conservés à demeure dans une caisse spéciale portée par le toit du Weasel.

Très souvent, l'Étoile Polaire ( $\alpha$  Ursae Majoris) était utilisée pour confirmer la latitude. Dans ce cas, le mode opérateur ne peut être celui décrit ci-dessus, en raison du faible mouvement de l'étoile. Il suffisait de faire plusieurs pointés en amenant le trait horizontal central sur l'étoile, le secrétaire notant l'heure du chronomètre à la seconde près, au moment du pointé, sur un signal convenu de l'opérateur.

Pour être assuré d'une répartition convenable en azimut, le secrétaire marquait schématiquement sur un cercle gradué le numéro des étoiles observées.

Onze soirées d'observation ont été conduites par la méthode des droites de hauteur pour la détermination de position de sept stations. Chaque séance durait de une à deux heures pour dix à quinze étoiles. Le tableau résumé des observations (page 53) indique par station et par soirée d'observation, la date, l'altitude de la station, le nombre d'étoiles observées, la durée de la séance, les températures relevées au début et à la fin de la soirée.

### 3.3. Dépouillement des observations

Le dépouillement des observations consiste essentiellement à déterminer l'heure du chronomètre à l'instant du passage de l'étoile au centre du champ, c'est-à-dire à la distance zénithale observée (celle-ci étant la somme de la lecture faite au limbe vertical et de la réfraction).

L'unité de longueur étant l'intervalle entre deux fils, chaque chiffre annoncé peut être considéré, par rapport au fil qui le précède immédiate-

<sup>1</sup> Compte tenu de la latitude et des étoiles utilisées, un intervalle de quatre secondes aurait été préférable: une modification de l'appareillage a été tentée dans ce sens, au cours de la période préparatoire. Mais le second dispositif sélecteur qui aurait pu être utilisé pour cela, était défectueux et n'a pu être remis en état.

ment, comme l'abscisse de l'étoile à un instant daté en heure du chronomètre (seconde paire). Pour calculer l'heure  $h_0$  du chronomètre au moment du passage au centre, on admet que le mouvement de l'étoile est uniforme pendant la durée des observations, et on affecte à la moyenne  $x_m$  des abscisses la moyenne des heures  $h_m$ . L'heure  $h_0$  est alors donnée par:

$$h_0 = h_m - \frac{x_m}{V}$$

où  $V$  est la «vitesse linéaire» de l'étoile exprimée en intervalle de fil par seconde. Si on désigne par  $E$  l'espace parcouru par l'étoile (exprimé en intervalles de fil) et par  $n$  le nombre des pointés (séparés par un intervalle de temps de deux secondes), la vitesse  $V$  a pour valeur:

$$V = \frac{E}{2(n-1)}.$$

Pour la commodité, les observations sont notées sur un imprimé qui schématise les onze fils du réticule et sur lequel le fil central est noté zéro (origine des abscisses), le premier fil rencontré par l'étoile est noté  $\bar{5}$ , le dernier 5. Cette notation, pseudo-logarithmique rend plus facile le calcul de l'abscisse moyenne  $x_m$ : si  $i$  est un chiffre annoncé entre les fils  $\bar{3}$  et  $\bar{2}$ , par exemple, et  $j$  un chiffre annoncé entre les fils 3 et 4, leurs abscisses respectives sont:

$$x_i = \bar{4}, i = -4 + i \quad \text{et} \quad x_j = 4, j = 4 + j; \quad \text{et} \quad x_i + x_j = i + j$$

Finalement on obtient  $x_m$  comme la moyenne arithmétique des abscisses telles que  $x_i$ :  $x_m = \frac{\sum x_i}{n}$ ; l'heure moyenne  $h_m$  comme la moyenne des heures du premier et du dernier pointé, et l'heure du passage au centre par:

$$h_0 = h_m - \frac{2(n-1)}{n \cdot E} \sum x_0.$$

La quantité  $E$  est au plus égale à 10, et toujours très voisine de 10 si le premier pointé a été noté 1, par exemple, et le dernier 8,  $E = 9,7$ . Le nombre  $n$  des pointés varie suivant l'étoile, mais dans des limites relativement étroites. L'expression  $\frac{2(n-1)}{nE}$  peut être facilement mise en table a priori ou représentée par un abaque: les deux procédés ont été utilisés au cours de la campagne.

Un extrait d'une feuille d'observation est donné en annexe, le dépouillement figure sur la même feuille.

### 3.4. Calculs des coordonnées approchées

Avant toute chose, les calculs de CpG, déjà effectués après chacune des réceptions d'heure, étaient repris à titre de vérification; sur le graphique établi en fonction de l'heure du chronomètre étaient reportées les valeurs de la température et de la pression.

Pour améliorer les valeurs approchées de la latitude et de la longitude adoptées pour les calculs préparatoires, les procédés suivants étaient employés concouramment:

- a) la mesure de la distance zénithale de l'Etoile Polaire permet d'obtenir une valeur correcte de la latitude par la formule de Littrow:

$$\varphi = h - p \cos AH + \frac{1}{2} p^2 \operatorname{tgh} \sin^2 AH. \operatorname{Sin} 1'' - \frac{p^3}{3} \cos AH \sin^2 AH \sin^2 1''$$

$$\text{ou } h = \frac{\pi}{2} - z \text{ et } p = \frac{\pi}{2} - \delta.$$

La Connaissance des Temps fournit les deux premiers termes du développement suivant les puissances de  $p$ ; le troisième terme devait être calculé séparément.

La valeur de l'angle horaire AH, qui entre dans cette formule, est fonction de la longitude: on adoptait, pour cette dernière, dans un premier temps, la valeur approchée initiale.

- b) dans la plupart des cas, lorsqu'avaient pu être observées des étoiles «horaires» (c'est-à-dire au voisinage des azimuts 100 ou 300 grades), celles-ci permettaient un calcul de la longitude approchée par l'intermédiaire de CpL, valeur à ajouter à l'heure de chronomètre pour pbténir l'heure sidérale locale:

$$\lambda = \text{CpG} - \text{CpL}$$

$$\text{avec } \text{CpL} = \text{HSL} - \text{heure du chronomètre}$$

$$\text{HSL} = \alpha + \text{AH}$$

$$\text{et } \cos AH = \frac{\cos z}{\cos \varphi} \sec \delta - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$

Cette dernière formule était calculée en valeurs naturelles à sept décimales, la valeur de la latitude étant celle qui avait été obtenue par la méthode précédente. Les conditions les plus favorables pour utiliser ce procédé sont; bien entendu, celles où deux étoiles ont été observées dans deux azimuts sensiblement symétriques par rapport au méridien.

- c) cette valeur de la longitude pouvait conduire à une amélioration de la latitude approchée par un simple calcul différentiel. De toutes façons, cette méthode d'approximations successives donne très rapidement des valeurs très proches des valeurs définitives.



Lorsque ces procédés étaient en défaut, pour une raison ou pour une autre, un premier calcul concernant quatre étoiles convenablement réparties (en principe une dans chaque quadrant), suivi d'un graphique à échelle petite, donnait des valeurs plus approchées; une seconde approximation était le plus souvent inutile. Ces calculs ont été faits soit en valeurs naturelles (comme les calculs définitifs), soit en logarithmes à 7 décimales également (tables de Schrön); dans ce cas, les deux termes de la formule donnant  $\cos z$  étaient séparément calculés par logarithmes, procédé plus simple et plus précis que celui qui utilise une transformation de l'expression de  $\cos z$  pour la rendre calculable par logarithmes.

### 3.5. Calculs définitifs

Le point définitif étant obtenu par le procédé graphique rappelé précédemment, le calcul consiste essentiellement à déterminer la valeur de la quantité  $dz$ :

$$dz = z \text{ calculé} - z \text{ observé}$$

La distance zénithale observée, tout d'abord, est égale à la moyenne des lectures faites sur le limbe vertical augmentée de la réfraction  $\varrho$ :

$$z \text{ observée} = \text{lecture} + \varrho$$

et

$$\varrho = \varrho_0 (1 + A) (1 + B)$$

où  $\varrho_0$  est la réfraction normale;  $(1 + A)$  et  $(1 + B)$  respectivement les facteurs de température et de pression. Ces trois quantités sont interpolées aisément dans les tables de réfraction, publiées par l'Institut Géographique National  $\varrho_0$  est donné en fonction de la distance zénithale;  $(1 + A)$  en fonction de la température en degrés Celsius;  $(1 + B)$  en fonction de la pression en millimètres de mercure.

Il convient de remarquer qu'aucune correction instrumentale n'était faite à la lecture du limbe vertical et qu'il faut en préciser la raison: les observations étaient effectuées dans une seule position de la lunette; en toute rigueur, la lecture donne l'angle de l'axe optique non pas avec la verticale, mais avec la direction de la graduation zéro du limbe et il faudrait donc; théoriquement, corriger la lecture de la valeur du pointé zénithal ( $z_0$ ; lecture du limbe lorsque la lunette est pointée vers le zénith).

A chaque mise en station, une mesure du pointé zénithal était faite et contrôlée après la séance d'observations: le théodolite DKM 3 A utilisé possédait un limbe vertical réitérateur. Il était, par conséquent, relativement facile de rendre la valeur de  $z_0$  très proche de zéro; en fait, l'opération n'a été faite qu'une fois ou deux, la valeur du  $z_0$  étant restée

stable au cours de la campagne. Enfin, il était inutile de modifier les lectures de cette petite valeur  $z_0$ , car, d'une part cela n'entraînait qu'une erreur tout à fait négligeable sur la réfraction, d'autre part une erreur systématique constante sur la valeur de la distance zénithale n'a pour effet que de déplacer la « droite de hauteur » parallèlement à elle-même et dans le même sens par rapport à l'étoile, comme cela a déjà été indiqué.

La distance zénithale calculée est obtenue par :

$$\begin{aligned} & \cos z : \sin \delta \sin \varphi_0 + \cos \delta \cos \varphi_0 \cos AH_0 \\ \text{ou} \quad & AH_0 = HSG + \lambda_0 - \alpha \text{ et } HSG = \text{heure chrono} + CpG \\ \text{ou} \quad & \text{plus simplement : } AH_0 = HSL_0 - \alpha \\ \text{et} \quad & HSL_0 = \text{heure chrono} + CpL_0 \end{aligned}$$

Les coordonnées équatoriales de l'étoile, (ascension droite  $\alpha$  et déclinaison  $\delta$ ) sont interpolées dans les éphémérides « Apparent Places of fundamental Stars 1959 » pour l'instant de l'observation (arrondi au dixième de jour TU).

Les calculs ont tous été effectués à la machine à sept décimales. Plus précisément, la formule pratiquement utilisée était mise sous la forme :

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi_0 + \frac{\cos \varphi_0 \cos AH_0}{\sec \delta}.$$

Le dernier terme, en effet, est calculable à la machine sans réinscription ; une table publiée par l'Institut Géographique National fournit les valeurs de  $\sin \delta$  et  $\sec \delta$  à 7 décimales ; une autre table de l'I.G.N. donne la valeur de  $\cos AH_0$  à 7 décimales (entrées en heures de 10 en 10 minutes).

Finalement, les valeurs de la quantité  $dz$  sont obtenues à 0, « 1 près. Une constante de l'ordre de ( $-40''$ ) environ étant ensuite ajoutée à tous les  $dz$  : le choix d'une valeur négative décale la droite sur le graphique vers l'étoile. Tous les graphiques ont été établis en adoptant comme échelle : 1 millimètre pour  $1''$  (seconde sexagésimale).

Ultérieurement, pour trois des soirées, une compensation des résultats effectués à la calculatrice électronique CAB 500 par la méthode des moindres carrés, a permis de déterminer l'ordre de grandeur de la précision interne : l'erreur moyenne quadratique d'une observation isolée est de l'ordre de  $1''$ , l'erreur moyenne quadratique de position de l'ordre de  $0,3''$ .

Un exemple de calcul et de graphique est donné en annexe.

#### 4. DÉTERMINATION DES AZIMUTS

La détermination des azimuts a été faite par la méthode classique de l'azimut par l'heure, l'astre visé étant le Soleil ou l'Etoile Polaire, le repère terrestre une balise du profil.

Pour les visées sur l'Etoile Polaire, la procédure adoptée pour les observations est la suivante:

trois pointés sur le repère	C G (cercle à gauche)
cinq pointés sur la polaire	C G
cinq pointés sur la polaire	C D (cercle à droite)
trois pointés sur le repère	C D
trois pointés sur le repère	C G à tire de fermeture.

A chaque pointé sur l'étoile, le secrétaire notait l'heure du chronomètre par simple lecture directe. Le niveau cavalier était lu dans les deux positions de la lunette. Néanmoins, malgré les précautions prises, l'inclinaison des tourillons  $\beta$  reste assez mal définie et son influence sur l'azimut ne permet pas d'obtenir des valeurs très précises, car elle se traduit par une correction  $\beta \cotg z$  sur l'azimut et qu'aux latitudes des stations,  $\cotg z$  est compris entre, 2, 7 et 3, 2.

Si les observations sur le Soleil sont un peu délicates en raison du déplacement rapide de l'astre en azimut, l'inconvénient précédent disparaît pratiquement: il est toujours possible d'utiliser le soleil lorsqu'il est à une faible hauteur au-dessus de l'horizon.

Pour les azimuts déterminés à l'aide du Soleil, certaines observations ont été faites au théodolite Wild T2 muni du prisme d'objectif, comme le signale le paragraphe relatif à la préparation des observations pour la mise en oeuvre de la méthode des droites de hauteur. Un premier calcul, effectué avec les valeurs approchée de la latitude et de la longitude, fournissait pour l'azimut une valeur suffisante pour l'orientation préalable de l'instrument. En général, quatre déterminations indépendantes ont été faites: les calculs, dans certains cas, ont été repris en introduisant les coordonnées définitives et permis une comparaison entre les valeurs obtenues avec le théodolite T2 et les autres théodolites (T3 et DKM3A). Le prisme solaire d'objectif adapté au théodolite T2 permet un pointé commode et rapide: la visée faite sur le centre du petit quadrilatère

curviligne formé par les quatre images du soleil équivalant à celle qui serait faite sur le centre de l'image de l'astre.

Avec les théodolites Wild T2 et Kern DKM3 A, les observations ont été effectuées en notant l'heure du chronomètre à l'instant où le disque solaire tangente le fil vertical du réticule, le secrétaire lisant le chronomètre à un signal convenu de l'opérateur. Une détermination comprenait l'ensemble des observations faites successivement sur les deux bords du soleil; pour que la moyenne des lectures azimutales et des heures puisse être légitimement attribuée à la visée qui aurait été faite sur le centre du soleil, donc pour que l'intervalle de temps séparant les deux observations soit le plus court possible, la procédure suivante était utilisée:

L'image d'un bord du Soleil étant amené un peu «en avant» du fil vertical, la lecture du cercle horizontal était faite *avant* le pointé; immédiatement après celui-ci, la lunette était déplacée pour permettre le pointé sur l'autre bord; cette fois, la lecture du cercle horizontal était faite *après* le pointé.

De cette façon, les heures des deux pointés ne différaient que de vingt à vingt cinq secondes en moyenne.

Au moins quatre déterminations de ce type, à des origines réparties sur le limbe, concourent à la détermination de l'azimut.

Un autre mode d'observation du Soleil a été mis au point et expérimenté avec succès au cours de la campagne; le but poursuivi était l'amélioration des pointés obtenue en les multipliant: pour cela, il suffisait d'adopter la méthode décrite précédemment (interpolation spatiale sur référence acoustiques). Celle-ci s'est avérée très intéressante dès les premiers essais. Elle exigeait, naturellement, un réticule à onze traits verticaux, puisqu'il s'agit de visées azimutales. Un des deux théodolites Wild T3 avait été muni d'un tel réticule (prévu initialement pour d'autres observations); pour le théodolite DKM 3 A, le porte-oculaire peut prendre deux positions distinctes dans deux directions rectangulaires: il suffisait donc de le déplacer pour que le réticule utilisé pour les observations de droites de aluteur se trouve dans la position convenable.

Avec ce procédé, chaque série d'observations ne concerne qu'un seul bord du soleil: pour tenir compte de ce fait, il suffit de faire intervenir dans le calcul de l'azimut le demi-diamètre apparent à du soleil; l'azimut est à corriger de  $\pm \frac{d}{\sin z}$  (la distance zénithale  $z$  n'est pas mesurée, mais facilement obtenue par le calcul de son cosinus).

On obtenait ainsi en général 17 pointés sur un bord du soleil en 34 secondes. Dans cet intervalle de temps, la variation de l'azimut peut être considérée comme linéaire, et il est légitime de faire le dépouillement des observations de la même façon que celle qui a été indiquée par les étoiles.

La formule donnant l'azimut :

$$\operatorname{tg} A' = \frac{\sin AH}{\sin \varphi \cos AH - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta}$$

était calculée à la machine, en utilisant les tables de valeurs naturelles à 7 décimales citées précédemment et la table des valeurs naturelles de l'UGGI (pour obtenir l'azimut en grades, éventuellement).

Les coordonnées de l'Etoile Polaire étaient interpolées dans l'«Apparent Places of fundamental stars» en fonction de l'heure sidérale Greenwich.

Celles du Soleil étaient prises dans la Connaissance des Temps et interpolées en fonction de l'heure T.U. (déduite au début des calculs de l'heure sidérale Greenwich).

## 5. COMPLÉMENTS: MÉTHODE DES DROITES D'AZIMUT

Quelques observations ont été effectuées par une méthode exposée pour la première fois en 1960 par M. A. GOUGENHEIM, ingénieur hydrographe en chef de la Marine.

Cette méthode, désignée par son auteur sous le nom de «méthode des droites d'azimut» permet la détermination simultanée de trois inconnus: latitude, longitude et azimut. Mise en oeuvre avec un simple théodolite, elle est d'un intérêt particulier pour les latitudes élevées, car la discussion montre qu'elle doit conduire à des résultats plus précis à ces latitudes que les méthodes classiques qui conviennent mieux aux latitudes moyennes ou basses. Par contre, elle présente un inconvénient non négligeable pour des travaux devant être exécutés pendant l'été arctique: les observations étant faites à une distance zénithale sensiblement constante, il est nécessaire de pouvoir disposer d'un obscurcissement suffisant du ciel pour que des étoiles de magnitude relativement faible puissent être utilisées.

Le principe de la résolution utilise, ici encore, une méthode de point approché tout à fait analogue au procédé classique du calcul d'un relèvement en géodésie.

### 5.1. Principe de la méthode

La méthode des droites d'azimut utilise un théodolite approximativement orienté, et dont la lunette est calée à une distance zénithale constante. Les observations consistent à lire le limbe horizontal lorsque l'étoile passe derrière le fil vertical du réticule, en notant à cet instant l'heure d'un garde temps permettant de connaître l'heure sidérale Greenwich.

Les trois inconnues du problème (latitude  $\varphi$ , longitude  $\lambda$  et azimut  $A'$ ) sont liées aux éléments connus (ascension droite  $\alpha$  et déclinaison  $\delta$ ) et à l'heure sidérale Greenwich de l'observation (HSG) par la relation:

$$\left. \begin{array}{l} \sin AH \cotg A' = \sin \varphi \cos AH - \cos \varphi \tg \delta \\ \text{avec } AH = \text{HSG} + \lambda - \alpha \end{array} \right\} \quad (1)$$

Chaque étoile fournit une relation de la forme (1). pour la résolution, on considère le changement de variables:

$$\begin{aligned}\varphi &= \varphi_0 + d\varphi \\ \lambda &= \lambda_0 + d\lambda \\ A' &= A'_0 + dA'\end{aligned}$$

où  $\varphi_0$ ,  $\lambda_0$  et  $A'_0$  sont des valeurs approchées des inconnues. Si ces dernières sont suffisamment proches des valeurs réelles, les nouvelles inconnues  $d\varphi$ ,  $d\lambda$  et  $dA'$  peuvent être considérées comme liées par la relation linéaire suivante, obtenue en différentiant (1):

$$\left. \begin{aligned}\cos z \sin A' d\varphi + \cos \delta \cos S d\lambda - \sin z dA' &= 0 \\ \sin A' d\varphi - \cos A' (\cos \varphi d\lambda) - \operatorname{tg} z (dA' - \sin \varphi d\lambda) &= 0\end{aligned} \right\} \quad (2)$$

L'inconnue  $dA'$  est la différence entre l'azimut vrai de l'étoile et l'azimut  $A'_0$  calculé à l'instant de l'observation pour le lieu de coordonnées  $\varphi_0$ ,  $\lambda_0$ . Pour éviter toute confusion, il est préférable d'introduire la lecture  $L$  faite sur le limbe horizontal (qui est un des éléments fournis par l'observation) et de considérer l'azimut  $A'$  comme la somme de cette lecture  $L$  et d'une quantité inconnue  $V$ , constante d'orientation de l'instrument:

$$A' = L + V$$

Les trois inconnues du problème sont alors  $\varphi$ ,  $\lambda$  et  $V$ ;  
ou encore:  $d\varphi$ ,  $d\lambda$  et  $dV$ , en posant:

$$V = V_0 + dV$$

$V_0$  étant une constante d'orientation approchée.

Dans ces conditions on peut écrire:

$$dA' = A' - A'_0 = (L + V_0 + dV) - A'_0 = (L + V_0) - A'_0 + dV$$

ou, en posant:

$$\begin{aligned}(L + V_0) - A'_0 &= \Delta A' \\ dA' &= \Delta A' + dV\end{aligned}$$

$\Delta A'$  est une valeur connue, ou, plus exactement, calculable: différence entre l'azimut approché  $(L + V_0)$  et l'azimut calculé  $A'_0$  précédemment défini.

La relation (2) s'écrit alors:

$$\sin A' d\varphi - \cos A' (\cos \varphi d\lambda) - \operatorname{tg} z \Delta A' - \operatorname{tg} z (dV - \sin \varphi d\lambda) = 0 \quad (3)$$

Les observations étant faites à une distance zénithale fixe, le dernier terme de cette équation est une constante. Il faut noter que la distance

zénithale peut ne pas être rigoureusement constante: il suffit que la valeur de  $\operatorname{tg} z$  ne varie pas de plus de  $10^{-3}$  par exemple, condition réalisée sans difficulté (pour une distance zénithale de  $45^\circ$ ,  $\operatorname{tg} z$  varie de 0,001 lorsque  $z$  varie de  $1'30''$  environ).

Le choix de la distance zénithale d'observation doit réaliser un compromis entre deux conditions contradictoires: pour la détermination

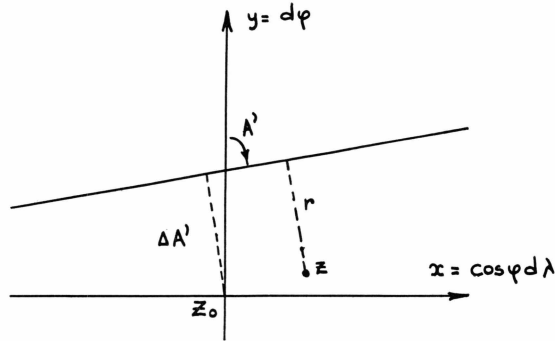


Fig. 6.

de position, il serait préférable d'observer à une distance zénithale assez faible; pour l'orientation, au contraire, à une distance zénithale aussi voisine que possible de  $90^\circ$ . Ces considérations expliquent le choix de la valeur adoptée:  $z = 45^\circ$  et  $\operatorname{tg} z = 1$ . La relation (3) s'écrit donc:

$$\left. \begin{aligned} \sin A' d\varphi - \cos A' (\cos \varphi d\lambda) - \Delta A' - (dV - \sin \varphi d\lambda) &= 0 \\ \text{ou, en posant:} \\ x = \cos \varphi d\lambda \quad y = d\varphi \quad r = dV - \sin \varphi d\lambda \\ \sin A' y - \cos A' x - \Delta A' - r &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Dans un système d'axes rectangulaires, ayant pour origine le zénith approché  $z_0$ , la relation:

$$\sin A' y - \cos A' x - \Delta A' = 0 \quad (5)$$

n'est autre que l'équation d'une droite («droite d'azimut»), faisant l'angle  $A'$  avec l'axe des  $y$  et passant à une distance de l'origine égale à  $-\Delta A'$ . L'équation (4) montre immédiatement que cette droite passe à une distance  $r$  du point  $z$  de coordonnées  $(x, y)$ .

Les droites d'azimut correspondant aux différentes étoiles observées et dont les équations sont de la forme (5), sont donc tangentes à un cercle dont le centre est le zénith cherché et donc le rayon  $r$  permet de calculer la troisième inconnue,  $dV$ , par:

$$dV = r + x \operatorname{tg} \varphi$$



### 5.2. Analogie avec le relèvement

La méthode des droites d'azimut a pour objet la détermination des coordonnées de la station et de la constante d'orientation de l'instrument. Il est intéressant de rapprocher ce problème de celui du relèvement. En Effet, la détermination d'un point géodésique par relèvement consiste également à calculer les coordonnées,  $x$  et  $y$ , d'un point inconnu  $M$  et la constante d'orientation,  $V$ , de l'instrument, à l'aide des lectures du limbe horizontal faites sur un certain nombre de points connus.

Une méthode classique de calcul utilise un point approché. Les inconnues du problème sont  $x$ ,  $y$ ,  $v$ ; on considère le changement de variables:

$$x = x_0 + dx$$

$$y = y_0 + dy$$

$$v = v_0 + dv$$

ou  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $v_0$  sont des valeurs approchées des inconnues.

Le gisement  $G$  d'une direction (angle avec l'axe des  $y$ ) est égal à la somme de la lecture sur le limbe,  $L$  et de la constante d'orientation inconnue,  $V$ :

$$G = L + V$$

Si on désigne par  $A$  et  $B$  les coordonnées d'un point connu  $C$ , le gisement  $G$  de la direction  $MC$  est donné par:

$$\operatorname{tg} G = \operatorname{tg} (L + V) = \frac{A - x}{B - Y}. \quad (6)$$

Et le gisement  $G$  de la direction  $MC$ . ( $M$ . désignant le point approché) peut être calculé par:

$$\operatorname{tg} G_0 = \frac{A - x_0}{B - y_0}.$$

En différentiant (6), on obtient:

$$\frac{dV}{\sin G \cos G} = -\frac{dX}{A - X} + \frac{dY}{B - Y},$$

ou, en appelant  $D$  la distance  $MC$ ,  $D = \frac{A - X}{\sin G} = \frac{B - Y}{\cos G}$ :

$$\sin G dy - \cos G dx - D dG = 0. \quad (7)$$

L'inconnue  $dG$  est la différence entre le gisement définitif  $G$  et le gisement calculé  $G_0$ :

$$dG = (L + V) - G_0 = (L + V_0 + dV) - G_0 = (L + V_0) - G_0 + dV$$

soit, en posant:  $\Delta G = (L + V_0) - G_0$  (quantité calculable):

$$d\mathcal{G} = A\mathcal{G} + dV.$$

La relation (7) s'écrit alors :

$$\sin \mathcal{G} dy - \cos \mathcal{G} dX - D A \mathcal{G} - DdV = 0 \quad (8)$$

L'analogie apparaît immédiatement entre cette relation et la relation (4).

### 5.3. Préparation des observations

La détermination d'une position et d'une orientation approchées était effectuée par les procédés indiqués au paragraphe 3.1.

Le calcul d'un catalogue était nécessaire, non seulement pour amener l'étoile dans le champ, mais surtout pour connaître aussi correctement que possible l'heure sidérale locale et l'azimut, pour chaque étoile, à l'instant de son passage à la distance zénithale d'observation. La connaissance de l'angle à l'astre était également utile pour que les observations puissent être faites au voisinage du centre du champ.

Pour l'établissement du catalogue, les formules utilisées (calculées en valeurs naturelles, à cinq et six décimales) étaient les suivantes :

$$\begin{aligned} \cos AH &= a \sec \delta - b + g \delta & \text{avec } a = \frac{\cos z}{\cos \varphi} \quad b = \operatorname{tg} \varphi \\ \cos A' &= c \sin \delta - d & c = \frac{1}{\sin z \cos \varphi} \quad d = \operatorname{tg} \varphi \cotg z \\ \cos S &= c \sec \delta - f \operatorname{tg} \delta & e = \frac{\sin \varphi}{\sin z} \quad f = \cotg z \\ \text{et: HSL} &= \alpha + AH \end{aligned}$$

L'angle à l'astre, dont il suffit d'avoir une valeur ou grade près, était interpolé sur un simple graphique, établi pour des valeurs rondes de la déclinaison.

La présentation du catalogue est identique (à l'exclusion, bien entendu, de la distance zénithale) à celle des catalogues décrits au paragraphe 3.1.

### 5.4. Pratique des observations

L'instrument utilisé était le théodolite Kern DKM 3 A, équipé du niveau transversal permettant la mesure de la composante, perpendiculaire au plan de visée, de l'inclinaison de l'axe principal.

Le calage en hauteur était effectué de telle manière que, compte tenu du pointé zénithal la lecture au limbe vertical soit telle que la distance zénithale réelle d'observation ait une valeur aussi voisine que

possible de  $45^\circ$  : pour obtenir ce résultat, il suffisait de tenir compte de la réfraction, calculée pour les conditions de l'observation.

Le réticule était mis en place pour que les dix traits soient parallèles au fil azimutal, condition facilement réalisée par simple rotation de la pièce portant l'oculaire. Les observations étaient conduites d'une façon tout à fait analogue à celle des observations par la méthode des droites de hauteur ou celle des observations sur le Soleil décrite à la fin du chapitre 4.

Après le passage de l'étoile, étaient notées :

- la lecture azimutale (moyenne de trois valeurs);
- la position du niveau

De plus, à plusieurs reprises au cours des observations, des lectures étaient faites sur le repère d'azimut servant de référence d'orientation cette précaution permettant de tenir compte de la torsion du support au cours de la soirée.

### 5.5. Dépouillement des observations et calculs définitifs

Le dépouillement des observations est strictement identique au procédé décrit au paragraphe 3.2.

La partie principale des calculs définitifs consiste essentiellement à déterminer la valeur de la quantité  $A A'$  :

$$A A' = A' \text{ approché} - A' \text{ calculé}$$

La valeur de l'azimut approché est donné par :

$$A' \text{ approché} = +V_0 + \beta$$

avec :

$L$  = lecture du limbe horizontal

$V$  = constante d'orientation approchée

$E$  = terme correspondant à la torsion, obtenu à partir des lectures faites sur la référence

$\beta$  = composante de l'inclinaison de l'axe principal dans la direction perpendiculaire au plan de visée : l'influence de cette inclinaison sur l'azimut, soit  $\beta \cotg z$ , se réduit ici, simplement, à  $B$ , puisque  $z = 45^\circ$ .

L'azimut calculé est obtenu par :

$$\cotg A' = \frac{\sin \varphi_0 \cos AH_0 - \cos \varphi_0 \tg \delta}{\sin AH_0}$$

$$\text{avec : } AH_0 = HS\mathcal{G} + \lambda_0 - \alpha.$$

Les calculs ont été exécutés à la machine, en valeurs naturelles à sept décimales.

Les graphiques ont été établis en adoptant comme échelle pour la construction des droites d'azimut: 1 millimètre pour 1'' (seconde sexagésimale). Une constante, de l'ordre de 40'', était ajoutée à la valeur  $\Delta A'$  pour faciliter la détermination du cercle tangent au mieux aux diverses droites.

---

L'obligation d'observer à une distance zénithale imposée, d'une part, et le choix de cette distance zénithale ( $45^\circ$ ), d'autre part, ne permet de mettre en oeuvre cette méthode que lorsque l'obscurcissement est suffisant pour que puissent être observées des étoiles de magnitude relativement faible. Ces conditions n'ont été réalisées, dans la zone de travail, qu'une semaine environ avant la fin de la campagne d'été.

Pour cette raison, trois soirées seulement ont pu être observées par cette méthode: l'une, le 12 Août 1959, à la station  $TA_0$ , qui était la première expérimentation; deux autres le 16 et le 17 août au camp I (Point  $A_1$ ).

Pour ces deux dernières, les valeurs obtenues pour les coordonnées sont en très bon accord avec les valeurs déterminées antérieurement, et celles de la constante d'orientation avec les valeurs de l'azimut obtenues par un autre procédé: azimut par l'angle horaire du soleil, déterminé par quatre séries le 16 août et quatre séries le 17 août 1959.

Malgré le petit nombre d'observations réalisées, ces résultats sont tout à fait encourageants. D'autres mises au point pratiques doivent vraisemblablement être encore étudiées, notamment en ce qui concerne la stabilité de l'instrument au cours des mesures. Il n'en reste pas moins que cette méthode mérite d'être retenue en zone polaire: le seul inconvénient majeur qu'elle présente est de ne pouvoir être appliquée que lorsque l'obscurcissement du ciel est suffisant pour permettre l'observation d'un nombre convenable d'étoiles dans un intervalle de temps relativement court.

## 6. REMARQUES SUR LE MATÉRIEL

Aucun incident n'est à signaler dans l'emploi du matériel au cours de la campagne. Les instruments radio-électrique, l'appareillage de chronométrie et les théodolites ont parfaitement fonctionné en toutes circonstances.

Il convient pourtant d'attirer l'attention des opérateurs appelés ultérieurement à participer à une mission dans des conditions analogues à celle d'EGIG I, sur un point de détail qui peut avoir son importance: les sociétés Wild et Kern avaient spécialement préparé pour les conditions arctiques les théodolites employés, mais sans penser à modifier le volume du liquide contenu dans les nivelles. Aux basses températures, la «bulle» du niveau de mise en station risque de ne plus apparaître dans la fenêtre. L'inconvénient était minime, en 1959, avec le théodolite Kern DKM 3 A, car l'opérateur disposait d'un niveau cavalier, à longueur de bulle réglable, qui s'est révélé utile pour des mises en station à des températures approchant  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Pour les observations d'étoiles au cours de la journée, il est nécessaire que la lunette soit correctement mise au point sur l'infini: l'utilisation d'un repère terrestre est le plus souvent insuffisante; il est recommandé de mettre au point en visant le soleil (les taches sont très commodés dans ce but, ou de préférence la lune (ou une planète comme Jupiter).

La méthode d'observation dite «à l'oeil et à l'oreille» (l'opérateur interpole l'instant du passage de l'étoile derrière un fil, entre deux tops consécutifs du chronomètre, les tops étant numérotés entre chaque passage par le secrétaire) n'a pas été utilisée au cours de cette campagne, essentiellement parce qu'elle nécessite un secrétaire entraîné: l'apprentissage du secrétaire étant rendu difficile par les circonstances (conditions atmosphériques, emploi du temps chargé) et, de plus, il aurait vraisemblablement été assez délicat en raison de la différence de langue. La méthode d'observation, décrite en 3.2. peut, au contraire, être remise en oeuvre très facilement avec un secrétaire même débutant; le dépouillement est seulement un peu plus long que par la méthode «à l'oeil et à l'oreille», dans laquelle il suffit simplement de faire la moyenne arithmétique de dix valeurs.

Pour des travaux analogues, si la même méthode d'observation est retenue, il serait judicieux de prévoir un dispositif sélecteur permettant d'obtenir des tops du chronomètre à des intervalles de 1,2 ou 4 secondes, ce qui est très facile à réaliser.

L'oculaire du microscope du théodolite Kern DKM 3 A est placé immédiatement au-dessous de l'oculaire de la lunette, dans le même plan vertical. L'opérateur, doit garder l'oeil à l'oculaire pendant toute durée du passage de l'étoile derrière les fils du réticule, et son haleine entraîne presque toujours le givrage de l'oculaire du microscope. Il semble facile de pallier cet inconvénient, par exemple en adaptant un capuchon escamotable devant cet oculaire.

En égard à la nature même des travaux géodésiques sur l'Indlandsis et le but poursuivi, il est absolument inutile de chercher à utiliser des instruments plus perfectionnés que ceux de la campagne 1959.

L'emploi du chronomètre à quartz, convenablement thermostaté, est parfaitement concevable, à condition cependant de conserver le même mode opératoire pour les observations.

Des observations avec micromètre impersonnel, en effet, ne s'imposent en aucune manière. Tout d'abord, la précision cherchée ne nécessite pas un tel dispositif; de plus, celui-ci entraîne obligatoirement l'emploi d'un chronographe imprimant, dont la manipulation dans les conditions arctiques n'est pas à conseiller.

A supposer même qu'un matériel de ce type puisse être correctement adapté, il faut noter que les observations à l'aide d'un micromètre impersonnel impose à l'opérateur l'usage simultané ces deux mains. La manipulation des boutons au Groenland même avec des gants de soie, est certainement très mal commode: au cours des soirées d'observation par la méthode des droites de hauteur, l'auteur de ce rapport à la plus souvent été obligé de se déganter pour manipuler le théodolite, et par des températures atteignant, certain jour,  $- 29^{\circ}\text{C}$ .

## 7. REMARQUES GÉNÉRALES – CONCLUSION

La responsabilité des calculs géodésiques échappait entièrement à l'auteur de ce rapport. Les calculs se rapportant proprement aux observations astronomiques ont été en grande partie faits au cours de la campagne, puis entièrement repris après le retour de l'expédition. Un échange de correspondance s'est établi entre l'opérateur astronome et le responsable du Groupe de géodésie Indlandsis, pour préciser certains points litigieux. A cette occasion, les calculs ont été revus une nouvelle fois pratiquement en totalité.

Malheureusement, aucun des résultats obtenus n'a été utilisé autrement que par simple comparaison avec les valeurs obtenues par les seules opérations géodésiques, ce qui semble dénier tout intérêt aux opérations astronomiques.

Certes les mesures sur le profil Ouest-Est ne peuvent être cohérents dans leur ensemble, eu égard au déplacement de la glace pendant leur exécution qui a demandé deux mois environ: la répétition, au mois d'Août, des mesures entre le Camp VI-EGIG et la Station Carrefour, exécutées en mai, a mis en évidence des déplacements déjà non négligeables. Théoriquement, les observations faites en une station ne sont valables qu'à un instant donné: il n'en reste pas moins que les observations géodésiques et astronomiques *exécutées à la même époque* peuvent participer au même calcul d'ensemble. Cette remarque a davantage de poids pour toute la partie centrale où selon toute vraisemblance les déplacements sont relativement faibles. Pour conserver une certaine précision, une polygonale doit être réorientée plusieurs fois: il est regrettable que les azimuts déterminés au cours de la campagne n'aient pas été introduits, dans ce but, dans le calcul du profil Ouest-Est.

Il semble qu'une comparaison entre les résultats de 1959 et ceux d'une seconde campagne ne pourrait être valablement entreprise qui si les premiers calculs pouvaient être repris dans cet esprit.

Tels qu'ils existent actuellement, les résultats de 1959 ne permettent vraisemblablement que des comparaisons locales, si le déroulement des nouvelles opérations prévues suit le même rythme qu'au cours de la première campagne.

Le problème posé par les déplacements de la glace est un problème complexe. En toute rigueur, pour conserver la précision souhaitée, il faudrait tenir compte a priori de ces mouvements. au cours des opérations géodésiques, dont le but est précisément l'étude de ces mouvements . . . Cette question épineuse n'avait pas échappé aux promoteurs de l'expédition; les travaux de 1959 l'ont mise davantage peut-être en lumière et il faut souhaiter qu'au cours d'une prochaine campagne, les opérations géodésiques conduites avec tout le soin nécessaire, permettent la mise au point de la solution la plus favorable: les résultats, s'ils satisfont glaciologues et physiciens, seront agréables également—pour l'amour de l'art—aux géodésiens.



## Annexes

### A. Réception de l'heure (signaux T. M.)

*Observations.*

Chronomètre TS N° 1806

Station : TA 61

	heure TU	heure du chronomètre	coïncidence
7 juillet	23H 09 <sup>m</sup>	15H 00 <sup>m</sup> 26°9	15H 00 <sup>m</sup> 31°
	23H 10 <sup>m</sup>	15H 01 <sup>m</sup> 27°1	
8 juillet	2H 36 <sup>m</sup>	18H 28 <sup>m</sup> 01°9	18H 00 <sup>m</sup> 02°
	2H 37 <sup>m</sup>	18H 29 <sup>m</sup> 02°0	
	2H 38 <sup>m</sup>	18H 30 <sup>m</sup> 02°1	

*Calcul du CpG*

Soit h l'heure du chronomètre à l'instant de la coïncidence et h<sub>0</sub> l'heure du chronomètre à l'instant H de la minute ronde TU précédant la coïncidence.

L'heure TU à l'instant de la coïncidence s'obtient en ajoutant à H la différence (h-h<sub>0</sub>) arrondie à l'entier le plus voisin (soit 4 secondes dans le premier exemple).

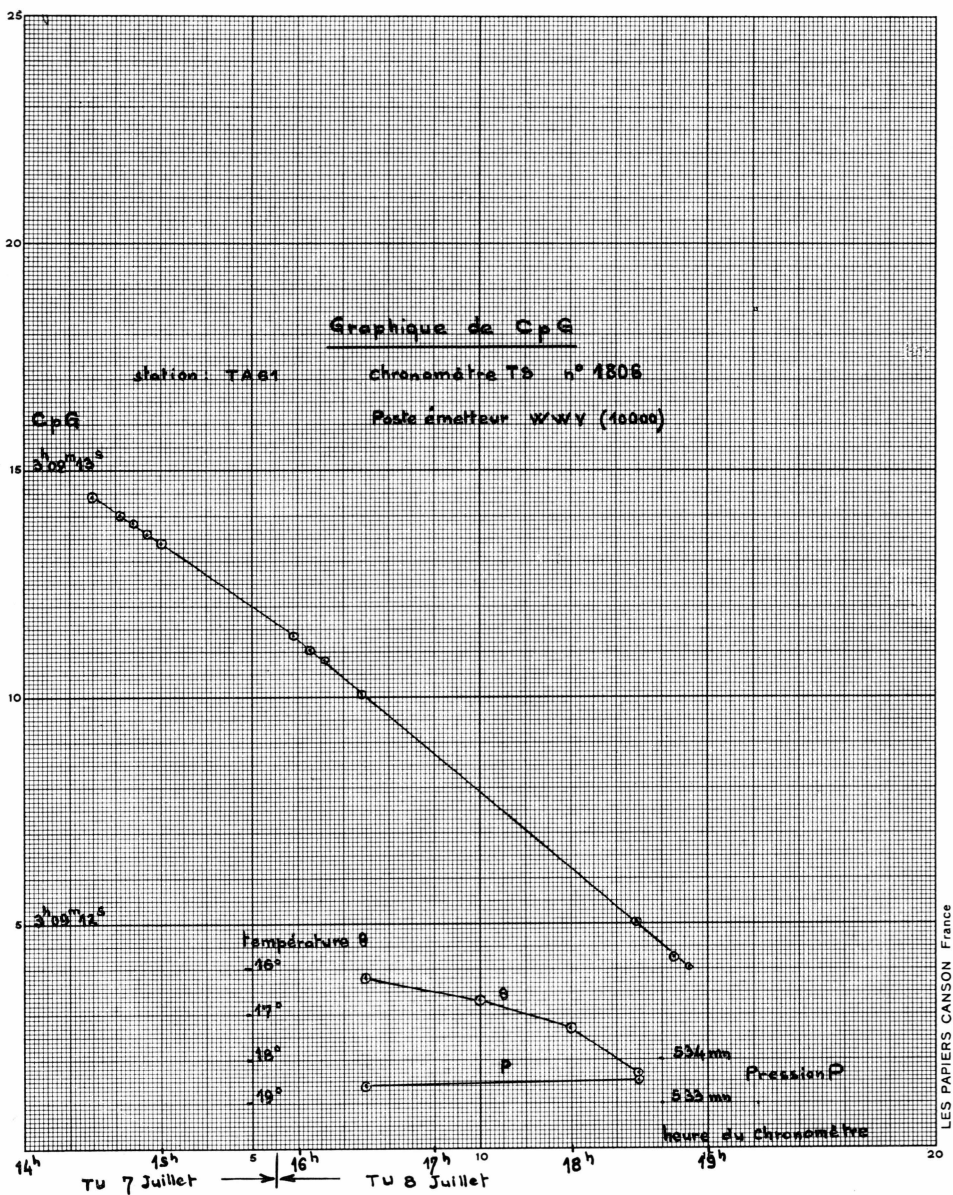
Le calcul est fait selon le schéma suivant:

1er exemple

HSG à OH TU le 7 juillet .....	18H 50 <sup>m</sup> 51° 657
heure TU de la coïncidence .....	+ 23H 09 04
correction (TM→TS) .....	+ 3 48 188
HSG de la coïncidence.....	18H 09 <sup>m</sup> 33° 845
heure du chronomètre .....	— 15 00 31
CpG.....	3H 09 <sup>m</sup> 12° 745

2e exemple

HSG à OH TU le 8 juillet .....	19H 00 <sup>m</sup> 48° 215
	+ 2 37 00
	+ 25 791
	21H 38 <sup>m</sup> 14° 006
	— 18 29 02
CpG.....	3H 09 <sup>m</sup> 12° 006



## B. Méthode des droites de hauteur

### *Calcul du catalogue*

Formules:  $\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos AH = (I) + (II)$

$$\left. \begin{aligned} \sin A' &= -\frac{\sin AH}{\sin z} \cos \delta \quad | \sin A' | = (III) \cos \delta \\ \sin S &= -\frac{\sin AH}{\sin z} \cos \varphi \quad | \sin S | = (III) \cos \varphi \end{aligned} \right\} \text{ avec } (III) = \frac{|\sin AH|}{\sin z}$$

CECILIA NUNATAK

$\varphi_0 = 72^\circ 36'$

Etoile n°	535	509	417	48	780
magnitude	3,0	1,9	2,0	2,8	2,6
$\delta$ .....	38°29'20"	49°31'12"	61°58'27"	60°01'12"	33°49'06"
HLS.....	17H 20 <sup>m</sup> 27	17H 23 <sup>m</sup> 00	17H 26 <sup>m</sup> 12	17H 30 <sup>m</sup> 10	17H 35 <sup>m</sup> 36
$\alpha$ .....	14 30 27	13 46 00	11 01 12	1 23 10	20 44 36
AH .....	+ 2H 50 <sup>m</sup>	+ 3H 37 <sup>m</sup>	+ 6H 25 <sup>m</sup>	— 7H 53 <sup>m</sup>	— 3H 09 <sup>m</sup>
$\log \sin \varphi$ ..	$\bar{1}.97966$	$\bar{1}.97966$	$\bar{1}.97966$	$\bar{1}.97966$	$\bar{1}.97966$
$\log \sin \delta$ ..	$\bar{1}.79404$	$\bar{1}.88117$	$\bar{1}.94583$	$\bar{1}.93762$	$\bar{1}.74551$
$\log (I)$ ...	$\bar{1}.77370$	$\bar{1}.86083$	$\bar{1}.92549$	$\bar{1}.91728$	$\bar{1}.72517$
$\log \cos \varphi_0$ ..	$\bar{1}.47573$	$\bar{1}.47573$	$\bar{1}.47573$	$\bar{1}.47573$	$\bar{1}.47573$
$\log \cos \delta$ ..	$\bar{1}.89361$	$\bar{1}.81237$	$\bar{1}.67198$	$\bar{1}.69871$	$\bar{1}.91950$
$\log  \cos AH $	$\bar{1}.86763$	$\bar{1}.76660$	$\bar{1}.03690$	$\bar{1}.67515$	$\bar{1}.83174$
$\log  (II) $	$\bar{1}.23697$	$\bar{1}.05470$	$\bar{2}.18461$	$\bar{2}.84959$	$\bar{1}.22697$
(I) .....	59399	72582	84234	82657	53109
(II).....	+ 17257	+ 11342	— 01530	— 07073	+ 16864
$\cos z$ .....	76656	83924	82704	75584	69973
$z$ .....	39°57'	32°56'	34°12'	40°54'	45°36'
$\log  \sin AH $	$\bar{1}.82968$	$\bar{1}.90933$	$\bar{1}.99741$	$\bar{1}.94492$	$\bar{1}.86589$
$\csc \sin z$	0.19232	0.26460	0.25020	0.18393	0.14601
$\log  (III) $ ..	.02200	.17393	.24761	.12885	.01190
$\log \sin A'$	$\bar{1}.91561$	1.98630	1.91959	1.82756	1.93140
A'.....	235°26'	255°41'	303°48'	42°15'	121°34'
$\log \sin S$ .	$\bar{1}.49773$	$\bar{1}.64966$	$\bar{1}.72334$	$\bar{1}.60458$	$\bar{1}.48763$
S (grades)	20	29	35	26	20

Méthode de droites de hauteur

CATALOGUE (extrait)

Terme EGIG . TA 100       $\varphi_0 = 71^{\circ}25'$

numéro de l'étoile	grandeur	heure sidérale	azimut	z	S
578	2,3	18H 10 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	227°51'	49°35'	17
777	1,3	18H 15 <sup>m</sup> 05 <sup>s</sup>	126°55'	31°27'	23
48	2,8	18H 20 <sup>m</sup> 10	49°56'	38°56'	32
416	2,4	18H 25 <sup>m</sup> 23	311°45'	43°21'	29
578	2,3	18H 30 <sup>m</sup> 00	233°26'	50°49'	19
803	2,6	18H 34 <sup>m</sup> 40	99°32'	17°51'	48
2	2,4	18H 40 <sup>m</sup> 00	68°21'	33°20'	39
2	2,4	18H 40 <sup>m</sup> 00	68°21'	33°20'	39
777	1,3	18H 45 <sup>m</sup> 05	136°43'	29°40'	20
417	2,0	18H 50 <sup>m</sup> 12	319°17'	39°49'	29
653	3,0	18H 55 <sup>m</sup> 30	218°08'	21°16'	21

C. Feuille d'observation et dépouillement

Méthodes des droites de hauteur

Station                      Date: 7 juillet 1959

Etoile n°	509									
5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
13579	φ 24689	φ 13579	φ 2468	φ 24689	13579	φ 2468	φ 13578	φ 2468	φ 13678	φ
	⋮			⋮		⋮			⋮	
	18 H 00 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>			18 H 00 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>		18 H 01 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>			18 H 01 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	

n = 55	—	+	lectures au		Lecture au	
	20	2	cercle vertical	40°13'58''7	cercle horizontal	279°50'13''
	1	24,2		60''7		
				59''5		
	21	26,2	moyenne	40°13'59''3		
	—21					
		+ 5,2				

heure du premier pointé:	17H 59 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>
+ (n—1)	+ 54
hm:	18H 00 <sup>m</sup> 42 <sup>s</sup>
$C_h = -\frac{5:2}{55} \times \frac{108}{9,9} :$	— 1,03
h <sub>0</sub> :	18H 00 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> 97

Le tableau portant les signes — et + permet de calculer la moyenne des abscisses:

il y a 5 pointés entre 5 et 4; 1 pointé sur le fil 5 : d'où la valeur (—20)  
il y a 5 pointés entre 2 et 1; 6 pointés entre 2 et 3: doù la valeur (+2)  
il y a 6 pointés entre 1 et 0; 5 pointés entre 1 et 2: d'où la valeur (—1)  
la somme de tous les chiffres écrits est 242 : d'où la valeur 24,2

Avec les notations du texte (3,3), ou a, ici, :  $\sum x_i = +5,2$   
et  $E \pm 9,9$

D. Calcul des droites de hauteur (extrait)

Station TA 61 —  
Juillet 8,1

$\varphi_0 = 72^{\circ}13'40''$   
 $\sin \varphi_0 = .9522775$   
 $\cos \varphi_0 = .3052337$

$\varphi_0 = -2H\ 09^m\ 18^s$   
 $Cp\mathscr{G} = \underline{3H\ 09^m\ 12^s \dots}$   
 $(CpL)_0 = 0H\ 59^m\ 54^s \dots$

Étoile numéro grandeur	48  2,8	509  1,9
heure du chronomètre .....	16H 56 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup> 92	18H 00 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> 97
+ (CpL) <sub>0</sub> .....	59 54 39	59 54 12
heure sidérale locale approchée .....	17H 56 <sup>m</sup> 07 <sup>s</sup> 31	19H 00 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> 09
α.....	1 23 09 86	13 45 56 72
AH <sub>0</sub> .....	— 7H 27 <sup>m</sup> 02 <sup>s</sup> 55	+ 5H 14 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup> 37
cos AH <sub>0</sub> .....	— .3707296	+ .1966328
δ.....	60°01'13'' 54	49°31'12'' 93
sin δ.....	.8662036	.7606356
sec δ.....	2.0012360	1.5404068
sin φ <sub>0</sub> sin δ.....	.82486620	.72433617
$\frac{\cos \varphi_0}{\sec \delta} \cos AH_0$ .....	— .05654464	+ .03896306
cos z calculé.....	.76832156	.76329923
lecture limbe vertical.....	39°47'10'' 7	40°13'59'' 3
réfraction ρ .....	+ 37'' 5	+ 38'' 2
z observé.....	39°47'48'' 2	40°14'37'' 5
z calculé .....	39 47 45 8	40 14 38 7
dz'' .....	+ 2'' 8	— 1'' 2
constante .....	— 40	— 40
π.....	— 37'' 6	— 41'' 2
Azimut A' .....	51,5 gr	310,9 grades
température θ facteur (1 + A).....	— 16°5 1,0673	— 17°3 1.0707
Pression P facteur (1 + B).....	533,4 mm — 7018	533,5 mm .7020
réfraction normale P <sub>0</sub> .....	50'' 03	50'' 82



## E. Azimut par l'angle horaire du soleil

Station: CECILIA NUNATAK

Date: 30 juin 1959

Instrument: Kern

DKM 3 A

Feuille d'observation.

C.G.

$$\text{Balise:} \quad \left. \begin{array}{l} 0^{\circ}00'21''0 \\ 21''0 \end{array} \right\} 21''0$$

$$\text{Soleil:} \quad \left. \begin{array}{l} 140^{\circ}02'14''2 \\ (bord\ droit) \quad 14''1 \\ 14''5 \end{array} \right\} 14''3$$

$$\begin{array}{cccccccccccc} \bar{5} & \bar{4} & \bar{3} & \bar{2} & \bar{1} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ | & | & | & | & | & | & | & | & | & | & | \\ \phi & 6 & 27 & 27 & 28 & 4 & \phi & 6 & 16 & 28 & 39 & 5 & 18 & | \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \vdots & & \vdots \\ \rightarrow 14H \ 57^m \ 30^s & & 14H \ 57^m \ 46^s \end{array}$$

n = 18	—	+	h. premier pointé:	14H 57 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>
	10	2	+ (n—1)	+
	3	8.1	hm	14H 57 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>
	13	10.1	C <sub>h</sub> = + $\frac{2,9}{18} \cdot \frac{34}{9,6}$ =	+
	10.1		h <sub>0</sub>	14H 57 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup> 57
	— 2.9			

$$\text{Soleil:} \quad \left. \begin{array}{l} 139^{\circ}54'07''1 \\ (bord\ gauche) \quad 07''5 \\ 08''0 \end{array} \right\} 07''6$$

$$\begin{array}{cccccccccccc} \bar{5} & \bar{4} & \bar{3} & \bar{2} & \bar{1} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \phi & 6 & | & 18 & | & 49 & | & 5 & \phi & 6 & | & 18 & | & 39 & | & 49 & | & 5 & \phi & 6 & | \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \vdots & & \vdots \\ 14H \ 59^m \ 16^s & & 14H \ 59^m \ 34^s \end{array}$$

n = 18	—	+	h. premier pointé:	14H 59 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>
	10	2	+ (n—1)	+
	3	8.4	hm	14H 59 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup>
	13	10.4	C <sub>h</sub> = + $\frac{2.6}{18} \times \frac{34}{9.6}$	+
	16.4		h <sub>0</sub>	14H 59 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup> 51
	— 2.6			

$$\text{Balise:} \quad \left. \begin{array}{l} 0^{\circ}00'22''4 \\ 20''4 \end{array} \right\} 21''4$$

## F. Calcul de l'azimut par l'heure (soleil)

(extrait)

CECILIA NUNATAK	$\varphi = 72^{\circ}34'55''$	$\sin \varphi = .9541460$
30 juin 1959	$\lambda = 1^{\text{h}} 51^{\text{m}} 50^{\text{s}}$ ouest Greenwich	$\cos \varphi = .2993415$

	C.G. (cercle à gauche)	
	bord droit	bord gauche
heure chrono .....	14H 57 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup> 57	14H 59 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup> 51
Cp $\mathcal{G}$ .....	+ 3 09 26 78	+ 3 09 26, 78
HS $\mathcal{G}$ .....	18H 07 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> 35	18H 08 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup> 29
HSG à OH TU le 30 juin 1959 .....	18 29 15, 75	18 29 15, 75
intervalle de temps (TS) depuis .....	23H 37 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup> 60	23H 39 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup> 54
OH TU — correction (TS $\rightarrow$ TM) .....	— 3 52, 26	— 3 52, 45
TU .....	23H 33 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> 34	23H 35 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup> 09
— 24H .....	— 24	— 24
n = TU — 24H .....	— 26 <sup>m</sup> 07 <sup>s</sup> 66	— 24 <sup>m</sup> 23 <sup>s</sup> 91
n en fraction décimale d'heure .....	— OH 435460	— OH 406642

## Coordonnées du soleil

Variation pour $\alpha$ : $V\alpha = 10^{\text{s}}352$ .....		
$\frac{n}{2} \cdot \frac{0,009}{24}$ .....	+ 10s 352	+ 10s 352
Variation pour $\varphi$ : $V\delta = -9'' 08$		
$+\frac{n}{2} \cdot \frac{1,02}{24}$ .....	— 9'' 07	— '' 07
$\alpha_0$ (1er juillet OH TU) .....	6H 36 <sup>m</sup> 42 <sup>s</sup> 23	6H 36 <sup>m</sup> 42 <sup>s</sup> 23
+ $nV\alpha$ .....	— 4. 51	— 4. 21
$\alpha \odot$ .....	6H 36m 37s 72	6H 36m 38s 02
$\delta_0$ (1er juillet OH TU) .....	23°10'25'' 2	23°10'25'' 2
+ $nV\delta$ .....	+ 3'' 9	+ 3'' 7
$\delta \odot$ .....	23°10'29'' 1	23°10'28'' 9
$\sin \delta$ .....	.3935368	.3935359
$\sec \delta$ .....	1.0877737	1.0877733
$\text{tg } \delta$ .....	.4280790	.4280779
HSG .....	18H 07 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> 35	18H 08 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup> 29
+ $\lambda$ .....	— 1 51 50	— 1 51 50
HSL .....	16H 15 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> 35	16H 16 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup> 29
— $\alpha \odot$ .....	— 6 36 37 72	— 6 36 38 02
AH $\odot$ .....	9H 38 <sup>m</sup> 32 <sup>s</sup> 63	9H 40 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup> 27
$\sin \text{AH}$ .....	+ .5787695	+ .5726068
$\cos \text{AH}$ .....	— .8154912	— .8198300



Calcul de l'azimut par l'heure (soleil)  
(extrait)

formules:  $\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sec} \operatorname{tg} A' = \frac{\sin AH}{\sin \varphi \cos AH - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta}$

$\sin \varphi \sin \delta$ .....	.3754916		.3754907
+ $\frac{\cos \varphi}{\sec \delta} \cos AH$ .....	— .2244128	—	.2256069
$\cos z$ .....	<u>.1510788</u>		<u>.1498838</u>
$\frac{\pi}{2} - z$ .....	8°41'22" 0		8°37'12" 7
$\frac{1}{\sin z} = \sec \left( \frac{\pi}{2} - z \right)$ .....	1.0116116		1.0114254
demi diamètre apparent du soleil: d..	15'45" 38		15'45" 38
lecture sur balise.....	0°00'21" 2		0°00'21" 2
lecture sur bord soleil .....	<u>140 02 14 3</u>		<u>139 54 07 6</u>
différence .....	219°58'06" 9		220°06'13" 6
$\pm \frac{d}{\sin z}$ .....	+ 15'56" 4	—	15'56" 2
angle centre soleil — balise.....	220°14'03" 3		219°50'17" 4
$\sin \varphi \cos AH$ .....	— .7780977	—	.7822375
— $\cos \varphi \operatorname{tg} \delta$ .....	<u>— .1281418</u>	—	<u>.1281415</u>
dénominateur.....	— .9062395	—	.9103790
$\operatorname{tg} A \hat{\circ}$ .....	— .6386496	—	.6289763
$A \hat{\circ}$ .....	{ — 32°33'51" 5 327°26'08" 5	—	32°10'08" 1
+ angle centre soleil—balise .....		+ 219 50 17 4	327°49'51" 9
A' balise .....	<u>187°40'11" 8</u>		<u>187°40'09" 3</u>

Deux autres observations (cercle à droite; origine 180°) conduisent aux résultats suivants:

	187°40'17" 4		187°40'20" 5
La moyenne des quatre valeurs est:	187°40'14" 8	soit	208,5231 grades.

G. Méthode des droites d'azimut

Calcul du catalogue

Formules:

$\cos AH = a \sec \delta - b \operatorname{tg} \delta$   
 $\cos A' = c \sin \delta - \lambda$   
 $\cos S = e \sec \delta - f \operatorname{tg} \delta$   
(S obtenu par voie graphique)

$a = \cos z \cdot \sec \varphi$   
 $c = \frac{\sec \varphi}{\sin z}$   
 $e = \frac{\sin \varphi}{\cos z}$

$b = \operatorname{tg} \varphi$   
 $d = \operatorname{cotg} z \operatorname{tg} \varphi$   
 $f = \operatorname{cotg} z$

$\varphi$	$= 69^{\circ}44'$	$z$	$= 45^{\circ}$	
$\sec \varphi$	$= 2.8869198$	$\cos z = \sin z$	$= 0.0701068$	
$\operatorname{tg} \varphi$	$= 2.7081923$	$\operatorname{tg} z = \operatorname{cotg} z$	$= 1$	
$\sin \varphi$	$= 0.9380906$	$a$	$= 2.01423606$	$b = d = 2.7081923$
				$c = 4.0827210$
n° de l'étoile	355	1575	57	
magnitude	3.8	5.0	4.2	
$\delta$	$63^{\circ}13'$	$29^{\circ}59'$	$50^{\circ}29'$	
$\sec \delta$	2.21918	1.15451	1.57158	
$\operatorname{tg} \delta$	1.98110	0.057696	1.21238	
$\sin \delta$	0.89272	0.49975	0.77144	
$a \sec \delta$	4.530147	2.356771	3.208161	
$- b \operatorname{tg} \delta$	— 5.365200	— 1.562519	3.283358	
$\cos AH$	— 0.835053	+ 0.794252	— 0.075197	
$ AH $	9H 46 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	2H 29 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>	6H 17 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup>	
$\alpha$	9 28 18	21 48 05	1 41 09	
HSL {				
passage est $\alpha -  AH $		19H 18 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	19H 23 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup>	
passage ouest $\alpha +  AH $	19H 14 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>			
$c \sin \delta$	3.64473	2.04034	3.14957	
$-d$	— 2.70819	— 2.70819	— 2.70819	
$\cos A'$	+ 0.93654	— 0.66875	+ 0.44138	
$A'$	339°31'	131°54'	63°48'	
$S$	17	19	32	

Méthode des droites d'azimut

Catalogue (extrait)

$\varphi = 69^{\circ}44'$        $z = 45^{\circ}$

numéro de l'étoile	grandeur	heure sidérale	azimut	S
355	3,8	19H 14m 48s	339°31'	17
1575	5,0	19 18 25	131 54	19
57	4,2	19 23 51	63 48	32
1590	5,5	19 25 49	128 08	22
99	4,0	19 26 05	48 11	30
1414	4,8	19 32 14	251 17	26
555	3,6	19 33 41	266 54	29
667	3,5	19 37 25	233 49	14
52	3,8	19 40 57	69 47	32

H. Liste chronologique des principales observations astronomiques

Nom de la station	Date	Droites de hauteur	Azimut	
Numéro de la balise	1959	Nombre d'étoiles	instrument utilisé	
altitude		observées	Soleil	Polaire
		Durée de la soirée		
		Température °C		
Milcent	1er juin		T2	
TA 15	2 juin	12 étoiles 2H 05 <sup>m</sup>	DKM3A	
2440 m		— 15,8 à — 18,5		
Station Centrale	11 juin	15 étoiles 1H 45 <sup>m</sup>	T2	
		— 24,0 à — 29,2		
TA 31				
2960 m	12 juin	12 étoiles 1H 45 <sup>m</sup>	T3	
		— 25,0 à — 29,1		
Station Jarl-Joset	22 juin		T2	
TA 53	23 juin	10 étoiles 1H 15 <sup>m</sup>	DKM3A	
2890 m		— 10,2 à — 11,2		
	9 juillet		DKM3A	
Cecilia Nunatak	29 juin	10 étoiles 1H 50 <sup>m</sup>	T3	
		— 2,2 à — 2,6		
C. N.	1770 m 30 juin	11 étoiles 1H 45 <sup>m</sup>	DKM3A	
		— 0,8 à — 1,6		
	1er juillet	10 étoiles 1H 10 <sup>m</sup>	DKM3A	
		— 1,4 à 2,8		
Dépôt 420	7 juillet	16 étoiles 1H 40 <sup>m</sup>	T3	
TA 61	2760 m	— 16,2 à — 18,3		
Terme EGIG	28 juillet	11 étoiles 1H 10 <sup>m</sup>		
TA 100		+ 0,2 à + 0,8		
1880 m	29 juillet	7 étoiles 0H 45 <sup>m</sup>		
		+ 0,2 à + 0,8		
	3 août		T3	
Camp VI-EGIG	11 août	18 étoiles 2H 15 <sup>m</sup>	T3 DKM3A	
TA <sub>0</sub>	1680 m	— 16,0 — 17,6		

I. Egig 1959

Profil Ouest-Est

Coordonnées astronomiques

nom de la station	latitude nord $\varphi$	longitude ouest $\lambda$	azimut (en grades)	repère d'azimut
Camp VI EGIG TA <sub>0</sub>	69°44'12'' 0	48°04'26'' 6	291,51159	T 301
Milcent TA 15	70°18'25'' 0	44°35'03'' 9	385,5417	T 14
Station Centrale TA 31	70°54'42'' 0	40°38'10'' 5	385,5900	TAA 31
Station Jarl Joset TA 53	71°21'35'' 0	33°27'56'' 1	292,1520	T 52
Dépôt 420 TA 61	72°13'33'' 0	32°19'30'' 0	222,1249	T 60
Cecilia Nunatak CN	72°34'55'' 0	27°57'30'' 0	208,5231	C S