

BUREAU GRAVIMÉTRIQUE

INTERNATIONAL

Paris

=====

BULLETIN D'INFORMATION

Janvier 1966

N°12

BUREAU GRAVIMÉTRIQUE

INTERNATIONAL

Paris

=====

BULLETIN D'INFORMATION

Janvier 1966

N°12

T A B L E des M A T I E R E S

Bul. n°12

COMMISSION GRAVIMETRIQUE INTERNATIONALE (13-18 Sept. 1965)

La première partie du compte rendu a été traitée dans le Bul. n°11.

- Généralités

- I - Bureau Gravimétrique International
- Ibis- Vue d'Ensemble sur les Rapports Nationaux
- II - Mesure absolue de la Pesanteur
- III - Lignes d'étalonnage pour Gravimètres
- IV - Réseau International de 1er Ordre et Problèmes d'étalonnage
- V - Réseau européen de 1er Ordre

VI - MESURES DE PESANTEUR EN MER

- Compte rendu des Séances..... p. 4
- Publications présentées ou distribuées à la Réunion... p.14
- Bibliographic References (Sp. St. Gr. n°20)..... p.15

ANNEXE I

- Gravity Measurements on Sea and in the Air
Ju. D. BOULANGER & L.P. PELLINEN..... p.18

ANNEXE II

- Bouguer map of an area of the Mid-Atlantic Ridge
Dr. B.D. LONCAREVIC..... p.21
- Fig. 1 - Mid-Atlantic Ridge track chart..... p.22
- Fig. 2 - Modified Bouguer Anomaly map..... p.24
- Fig. 3-4- Gravity Anomalies and Depth Profiles..... p.25

ANNEXE III

- Data reduction and display procedures for continuous
gravity measurements at Sea. Manik TALWANI..... p.26
- Fig. 5 - Gravity Anomalies and Depth Profiles..... p.27
- Fig. 6 - Gravity Plotting Chart..... p.29

ANNEXE IV (A)

- Format for punched cards to be used for Gravity at Sea
Manik TALWANI..... p.30

ANNEXE IV (B)

- Some suggestions about the format for punched cards
Ing. COMOLET-TIRMAN..... p.32

ANNEXE IV (C)

- Some notes about the Sea Gravity data on punched cards
Dr. S. CORON..... p.33

ANNEXE V

- Note of the I.G.B. concerning Sea Gravity Measurements. p.35
Fig. 7 - Model of Harbour Station sketch..... p.37
Fig. 8 - " " " " p.37bis
Fig. 9 - Bedford Institute Sea Gravity Surveys..... p.38
Fig.10 - Tracks by H. Neth S. "SNELLIUS" NAVADO III p.39

VII - MESURES DE PESANTEUR EN AVION..... p.40

.....
.....

X - VARIATION SECULAIRE DE LA PESANTEUR

- Compte rendu des Séances..... p.43
Publications présentées ou distribuées
au cours de la Réunion..... p.50

ANNEXE VI

- Theoretical aspects on secular changes in the
Earth's gravity field - Dr. A. VOGEL p.51
Fig. 1 - Depth to core and magnetic field p.52
Fig. 2 - Depth to core and geoidal undulations ... p.52
Fig. 3 - Theoretical model of core mantle boundary ... p.54
Fig. 4 - Surface gravity anomaly and geoid ... p.54

XI - QUESTIONS INSTRUMENTALES

- Etudes du Prof. REICHENEDER..... p.56
New quartz gravity instruments - Dr. G.D. THOMPSON..... p.57

XII - ANOMALIES DE PESANTEUR - ISOSTASIE -

- Ebauche d'une théorie de la formation des continents
Dr. LAGRULA..... p.58
Gravity over the Cape Smith Belt
Dr. TANNER & R.K. McCONNELL..... p.59

ETALONNAGE DES GRAVIMETRES A QUARTZ AVEC FIL DE TORSION HORIZONTAL

K. ja. KOZ'JAKOVA - Trav. Inst. Ph. Gl., Acad. Sci. URSS
1964, n°31 (198)

Traduction en français..... p.58

(Voir début de l'article dans Bul. Inf. n°9,
Juillet 1965, p.46)

Dans le Bul. Inf. n°13, seront traitées les questions suivantes :

VIII - Emploi des anomalies de pesanteur en géodésie

IX - Gradient vertical de pesanteur

=====

Erratum au Bull. n°11 - Déc. 1965 -

Page 43, lire 0,005.302.37 au lieu de 0,005.302.87

COMMISSION GRAVIMETRIQUE INTERNATIONALE - 13-18 Septembre 1965 -

(Suite)

VI - MESURES de PESANTEUR en MER

Trois séances très importantes furent consacrées aux Mesures de Pesanteur en Mer, sous la présidence du Prof. L. WORZEL, Président du Groupe Spécial d'Etudes n°20 de l'A.I.G. : mercredi matin, après-midi et vendredi après-midi (15-17 Sept.).

Nous donnons ci-après le résumé des différents exposés et des principales interventions.

Première Séance, plus particulièrement réservée à la technique des observations, à la précision des mesures, etc...

Dr. LONCAREVIC discusses in some detail the Sea Gravimeter Reliability Trials carried out on board CSS BAFFIN in October 1963 over the Halifax Gravity test range. The full details and complete results will be published in the near future as a Publication of the Dominion Observatory.

"Askania-Graf Gss 2-17 and a LaCoste Romberg S-9 Sea Gravimeters were operated side by side during a period of four weeks. Two precisely located tracks were traversed a total of 108 times. The navigational control was by means of conventional Decca and was considered satisfactory. A wide range of weather conditions was experienced during the test and the RMS vertical (heave) acceleration for a run varied from 2 to 78 Gals with a median value of 13 Gals. Useful gravity readings were obtained with LaCoste gravimeter up to heave acceleration of about 30 Gals and up to at least 50 Gals with the Askania.

For the first 100 runs of the test, that is not including later runs influenced by the hurricane, the average magnitude of the mean errors was 3.2 milligals for the LaCoste results and 2.8 milligals for the Askania results.

The average standard deviation for the LaCoste results was 2.2 milligals and for the Askania, 1.4 milligals. The Askania results therefore were substantially better both in long term and short term accuracy. The Askania gravimeter was operated in two modes : normal mode allowing the beam to change the average position depending upon the value of gravity and the setting of the measuring spring and in the servo mode in which the average beam position is automatically and continuously adjusted to a position close to zero. In normal mode, 72.8 % of errors were less than 3 mgal and 91.1 % of errors were less than 5 mgal. In the servo mode the corresponding figures were 67.9 % and 81.4%. It is therefore concluded that there is no advantage in operating Askania gravimeter in servo mode.

Since the Baffin tests were completed, two more ships used the range for evaluation of analogue cross-coupling computers. It is hoped that the use of this and similar ranges will become a standard practice. Various investigators could compare their experimental and data reduction techniques by repeated measurements over the same Test range. Only in this way we can achieve a meaningful basis for integration of various sea gravity measurements into a World system."

Le Prof. MORELLI signale que les gravimètres Graf-Askania utilisés au cours des récentes croisières en Méditerranée (voir ci-après) ont été étudiés en laboratoire et contrôlés à partir des résultats obtenus sur la plateforme continentale italienne, avec un gravimètre télécommandé.

Il donne quelques résultats et mentionne la publication de U. FLEISCHER, (Institut Hydrographique Allemand de Hambourg) relative à la Méditerranée Orientale (3) : en particulier, la comparaison des 2 gravimètres Graf n°5 et 13 au cours des mesures à montré une précision instrumentale d'environ 2mgal (toutefois, cette différence est systématique).

Il précise que toute la Méditerranée Occidentale a fait l'objet de relevés gravimétriques et donne le résumé suivant de l'ensemble des travaux qui y ont été effectués*

"After having tested the Graf-Askania sea gravity meter in laboratory and by comparison with very accurate and dense bottom gravity measurements on the continental shelf around Italy, in cooperation with Saclant ASW Res. Center (which performed the magnetic measurements : Dr. Allan) following cruises have been realized".

* Note : Les mesures sont en cours de réduction au moyen d'une machine électronique ; le calcul des anomalies simples de Bouguer sera probablement terminé dans 6 mois et celui des anomalies "complètes" de Bouguer dans un an,

(Lettre de Morelli 29.10.1965)

<u>N°</u>	<u>Cruise</u>	<u>Year</u>	<u>Ship</u>	<u>Region</u>	<u>Posit. ing</u>	<u>Accur.</u> <u>Mgal</u>	<u>Miles</u>
I	Cossak	1961	Ar.	Northern Tyrrhenian	Radar	± 3.0	3,356
II	Corsair	1961	"	West Sardinia and Corsica + East Corsica	Radar		5,060
III	Concrete	1961	"	South Aegean and Crete + Red Sea	Radar		12,660
IV	Codicil	1962	"	Ligurian Sea + Sicily Channel	Loran C	3.8	6,744
V	Corinth	1962	"	Aegean + South Crete + East Med.	Radar		7,710
VI	Concord	1963	"	Central Aegean Sea	Radar	4.4	2,214
VII	Coran	1963	"	Ligurian Sea	Rad.+Rana		4,239
VIII	Cornet	1963	"	Central Tyrrhenian Sea	Loran C		3,788
IX	Coktail	1963	"	Southern Tyrrhenian Sea	Loran C		3,559
X	Coalesce	1964	M.P	South.Tyrr.+North Aeg.	Lor.C+Rad.		5,375
XI	Baby	1964	B.	Baleari + South Adriat.	Radar	6.0	6,420
XII	Cobweb	1965	M.P	Lion's Gulf	Loran C		3,093
XIII	Bachelor	1965	B.	Western Mediterranean	Loran C	3.0ab.	20,180
XIV	Cobra	1965	M.P	Gibraltar area	Loran C	3.0n	2.500

Total.....86.898

The ships belong :

(Ar.) Aragonese and (M.P) Maria Paolina : to Saclant ASW

(B.) Bannock : to the Italian Consiglio Nazionale delle Ricerche.

With a grid spacing from 5 to 15 miles, all the Mediterranean Sea West to Italy is now completely covered, and the same is true for the Aegean Sea and for the Red Sea.

In the paper (I), Mr. O.B. ANDERSEN makes a brief provisional report of the danish activity in the field of gravity measurements at the sea. Gravity measurements were carried out with the sea gravimeter Graf-Askania, mounted on a gyrostabilized platform.

Some provisional results and considerations are given, particularly on the accuracy of measurements. Three main sources of errors are mentioned :

- The automatic resetting attachment
- The gyrostabilized platform
- The determination of position, course and speed.

The final accuracy of the determined anomaly values thus, is estimated to be ± 2 mGal.

Une Note (2) du Service Hydrographique de la Marine Française mentionne l'utilisation satisfaisante du gravimètre Askania Gss2 n°15, muni du dispositif de poursuite automatique et indique plusieurs causes d'erreur qui ont dû être précisées :

- Influence du champ magnétique (champ vertical : 1,35 mGal pour 0,1 Oerstedt - champ horizontal longitudinal : 1,8 mGal pour 0,1 Oerstedt).

- Influence des vibrations (quatre principales fréquences critiques 13,9 Hz - 52,7 Hz - 94,0 Hz - 148,4 Hz, pouvant entraîner des erreurs de plusieurs milliGals pour des niveaux d'accélérations de l'ordre de 70 décibels, niveaux définis par $20 \log \frac{Y}{Y_0}$ avec $Y_0 = 10^{-3} \text{ cm/s}^2$; le plus souvent, il y a diminution apparente des mesures).

- Erreurs cycliques dans les lectures des axes de mesure.

Les études en laboratoire ont montré que le dépouillement pouvait s'effectuer uniquement sur l'enregistrement du "Minicomp" sans modification des amplitudes, avec un retard constant.

Le Dr. BAGLIETTO rappelle que depuis 1961, l'Institut de Géodésie de la Faculté des Ingénieurs (Université, Buenos-Aires) possède un gravimètre télécommandé North American et, qu'avec la collaboration du Service Hydrographique de la Marine, plusieurs profils gravimétriques ont été effectués sur le fond du Rio de la Plata et sur toute la plateforme continentale entre Buenos Aires et Bahia Blanca. De grandes difficultés ont été rencontrées dans les eaux peu profondes, sur un fond très boueux soumis aux mouvements propres du courant et des vagues (8)

Dans le rapport sur l'activité gravimétrique en U.R.S.S. (Académie des Sciences, Comité de Géophysique, Drs. BOULANGER & PELLINEN) qui fut présenté à la Réunion de la Commission Gravimétrique Internationale (Paris, 1965) un chapitre a été consacré aux "Mesures de Pesanteur sur Mer et dans l'Air".

La traduction en anglais de ce texte a été reproduite plus loin (Annexe I, p.18).

x

x

x

Deuxième Séance, tenue mercredi après-midi (16h1/2-18h)

Dr. WORZEL presents a paper (with many slides) on
"Errors in Surface Ship Gravity Measurements"(5)

"35 measurements of cross coupling on board R.V. VEMA show an approximately normal distribution about 0. The largest observed values were -27 mGal and +12 mGal. 50 % of the measurements lie in the range ± 2 mGal and 80 % of the measurements lie in the range of ± 5 mGal.

On the track from San Juan, Puerto Rico to Panama the seas were predominantly from the stern, from Panama to Hawaii, predominantly from the beam and between Hawaii and Victoria, Colombia, predominantly from the bow. The gravity meter was placed with the beam pointing forward. Results plotted in relation to the sea direction do not lie along the theoretical curve for a fully developed uniform amplitude sinusoidal wave system. This is partly due to varying wave amplitude, and partially to varying phase relations of surge acceleration and boom motion.

An empirical relation shows that in this sample 80 % of the cross coupling results could lie within 3 mGal while maximum differences would be 8 mGal.

Cross coupling can be eliminated by a force balance which maintains the beam at null, by oppositely directed beams, by preferentially locating the beam in any particular wave system, or by continuous rotation of the meter on the stable platform. These all offer either great difficulty or great expense. A simple and inexpensive equipment for evaluating this correction provides the most practical means for making this correction".

Then, Mr TALWANI makes a report on
"Some Recent Developments in Gravity Measurements
aboard surface ships".

"Errors experienced by surface ship gravimeters which arise from the ship's horizontal accelerations are discussed. Results from a continuously recording analog computer show that the cross coupling errors can be appreciable under normal sea conditions. Off levelling errors for the Anschütz gyrotable aboard R/V ROBERT D. CONRAD are small. It is shown that the off levelling error in the determination of the Browne correction for a gimbal suspended gravimeter is identical to the off levelling error experienced by a gravity meter on a stable platform provided the same vertical reference is used and the servo errors are the same. The gyros are more error free vertical references than long period pendulums. A simple slope correction can be applied to the record of the Graf-Askania GSS2 gravity meter to correct for the instrument response. Thus, "instantaneous" gravity values can be obtained.

An analog computer to continuously compute and record to Eötvös correction has been developed. Data reduction and display procedures are described. This paper will be published in full in a monograph of the American Geophysical Union".

Dr. LONCAREVIC presents the results of detailed measurements in deep ocean areas. "Bouguer map of an area of the Mid-Atlantic Ridge" (Annexe II, p. 21).

Cette deuxième séance s'est terminée après quelques échanges de vues sur la variation des anomalies avec la densité utilisée dans les réductions et sur l'importance des corrections topographiques dans les vallées.

x x

x

Troisième Séance :

Au cours de cette réunion tenue Vendredi après-midi, on traita surtout de la réduction des observations gravimétriques en mer et de la présentation uniforme des données.

M. MURT ouvre la séance en attirant l'attention sur la nécessité d'une meilleure coordination entre les différents Services Nationaux qui font des croisières gravimétriques en mer ; puis, il fait quelques suggestions relatives à la représentation cartographique des profils gravimétriques:

"A number of papers relating to sea gravity meters and the accuracy of the data they produce have already been presented. We should also give attention to associated problems such as :

- 1) Where is it most useful to make our survey ?
- 2) How should the resulting data be presented ?

In the 1950's sea gravity surveys were mainly of three types for instruments evaluation, surveys over "exciting" areas such as Mid Ridges and cross Ocean tracks. I think that major contributions to our sea gravity knowledge will now come from large scale detailed surveys over less dramatic terrain.

The Hydrographic Department of Great Britain (assisted by the Department of Geodesy and Geophysics of the University of Cambridge) has just completed a survey of this type in the Western Approches to Gibraltar, mainly in water deeper than 100 fathoms. Navigational control was provided by a specially erected DECCA LAMBDA system with slave stations sited in Morocco and Spain, so it has been possible to apply the Eötvös correction very accurately. The date is now being processed.

Dr. MORELLI has just completed a survey eastwards of the above area. It seems possible that there is a small gap left between the surveys.

If this is so, it is most unfortunate and we must ensure against this type of thing in future. With prior planning the surveys could have been controlled from the same base values, planned incursions could have been made into each other survey areas and the gap would not have been left.

Ships undertaking gravity surveys have frequently non gravity duties and their gravity instructions have to be planned several months in advance. It is clear that a better interchange of information about future sea gravity surveys is essential if we are to use to do full the present data collecting potential.

We should also give some attention to the end product. There is of course no substitute for basic data being inserted on punched cards in the Bureau format, and in the publication of profiles (preferably in conjunction with Bathymetry and Magnetic Force profiles), but something more pictorial is also needed. I would suggest that free air Anomaly "soundings" be plotted on charts of an agreed scale and schemes, such charts to be continuously updated. The framework for such a system already exists in the Marine Survey field in the form of the 1/1 M. scale plotting sheets of the International Hydrographic Bureau. The sheets are allocated to the 40 or so participating nations according to geographic areas and areas of special national interest. Surely it would be useful for us to adopt some system of this type for recording sea gravity data".

M. LANGERAAR informe les délégués des nombreuses mesures qui viennent d'être exécutées dans le Nord de l'Atlantique, dans le cadre du projet NAVADO (Carte p.39) et appuie la demande précédente au sujet de la représentation cartographique des données gravimétriques.

"H. Neth. M.S. "SNELLIUS" of the Netherlands Hydrographic Service has carried out gravity measurements in the North Atlantic Ocean from Nov. 1964 to September 1965.

The GRAF-ASKANIA sea gravimeter was purchased by the Technical University at Delft. Assistance was given by Cambridge University. The first crossing was made East-West at 22° N latitude. Line spacing was 3 degrees latitude to 55° N.

11 crossings were made, 35.000 nautical miles were crossed and about 55.000 discreet gravity measurements were obtained.

The problem arises what the International Gravity Commission is going to do with these measurements.

The suggestion made by Mr. MURT is gladly seconded, i.e., to ask the States Numbers of the International Hydrographic Bureau at Monaco to extend their responsibilities for charting and keeping up to date the 1 : 1 million plotting sheets, also to the charting of the gravity measurements at sea in the same areas.

This will facilitate the work of the Gravity Bureau without much additional cost and to our mutual benefit". (Voir note p.35).

Après ces suggestions d'organisation générale, des questions techniques sont de nouveau abordées et plusieurs délégués font part de leurs expériences concernant la précision du système de navigation et des données gravimétriques.

En particulier, M. BROWNE dit :

"Trials made in inshore waters using the DECCA LAMBDA navigation system showed that East-West speed could be measured with sufficient accuracy to enable the Eötvös correction to be determined to within ± 10 mGal. More exact measurements, made with taut wire gear, revealed that speed fluctuations of a few tenths of a knot were often present for a few minutes.

Tests of other navigational systems under oceanic conditions showed that, in daylight, V.L.F. could provide useful information.

The general question of the elimination of ship's acceleration from the output of a sea gravimeter was considered. By recording the output and subsequently processing the data by a symmetrical filter, it should be possible to obtain the gravity data with no lag and without amplitude distortion except for the elimination of those frequency components present in the spectrum of the ship's vertical accelerations.

Considerations of linearity and sampling rate indicated that some prefiltering in real time would be desirable in a practical system. The optimum conditions would depend on the sea state and the ship's speed."

Dr. LONCAREVIC replies :

"Very low frequency (V.L.F.) navigation system has been under investigation by the Bedford Institute of Oceanography since May 1964.

During August 1964, the accuracy of navigation was investigated using two receivers (TRACOR 599) and a crystal reference oscillator (SCHULZER 2,5 Mcs). A two range survey DECCA chain in the Bay of Fundy was used as a reference. V.L.F. readings were corrected for the oscillator drift and the diurnal change of the propagation path. Over the survey line about 40 miles long (3 hrs steaming time) the R.M.S. difference between 10-minute V.L.F. and DECCA fixes varied between 0.15 n.m (day time) and 0.3 n.m (night time). This is probably the best accuracy that can be obtained with the V.L.F.

On a recent cruise (July 1965) a track was made parallel to the coast of Labrador. Single radar bearing and distance fixes were taken on offshore islands at 10 to 20 n.m distance. These fixes were compared over a 36 hour period with V.L.F. fixes (not corrected for oscillator drift or diurnal effects). The R.M.S. difference between Radar and V.L.F. accuracy over short period of time are between 0.15 and 2.9 nautical miles under best and worst conditions respectively".

In a second comment (after Dr. TALWANI's report, Dr. LONCAREVIC suggestes the following proposition ;

"The ASKANIA-GRAF sea gravimeters have been in use at sea for almost 10 years and a great deal of operational experience has been accumulated concerning the reliability and nature of failure of this equipment. I believe that all the ASKANIA sea gravimeter users would welcome an analysis of all the failures of the equipment and a derivation of a mean time between failure (M.T.F.) figure for various components of the system. I would like to urge the manufacturers to undertake or sponsor such a study".

Le Dr. TALWANI fait un important exposé sur les méthodes utilisées par le Lamont Geological Observatory pour enregistrer les résultats obtenus en mer, les "réduire" et les exploiter. Il illustre son rapport en présentant quelques cartes de profils et le modèle des cartes perforées utilisées.

Le résumé de son exposé est reproduit, ci-après, ainsi que des informations complémentaires et des suggestions communiquées ultérieurement. (Annexe III, p. 26).

Après cet exposé, plusieurs questions sont posées sur la précision des résultats, la possibilité de calculer les anomalies complètes de Bouguer en tenant compte du relief ; le Dr. WORZEL répond que cette dernière question ne peut pas être considérée à l'heure actuelle étant donné la faible précision des résultats des mesures.

Le Dr. CORON renouvelle la question posée le Lundi précédent sur la représentation des anomalies gravimétriques en mer sur des cartes à petite échelle : Faut-il représenter sur la même carte les anomalies de Bouguer. (Régions continentales et mers intérieures) et les anomalies à l'air libre (pour les océans) ou faut-il reporter le même type d'anomalies sans distinction de région (continentale ou océanique ?).

Le Dr. WORZEL pense que les anomalies à l'air libre sur mer sont assimilables aux anomalies de Bouguer sur terre.

Le Dr. BULLERWELL pense qu'en mer au-dessus des plateformes continentales, la meilleure représentation des anomalies est celle des anomalies de Bouguer.

Le Dr. CORON insiste sur le fait qu'en mer, au voisinage des côtes, près des îles, c'est à dire dans les régions de faible profondeur, les anomalies individuelles à l'air libre n'ont pas plus de signification que sur les continents ; elles reflètent simplement l'image du relief marin. Une représentation d'anomalies moyennes est donc seule possible et significative. Par contre, en pleine mer, dans les régions de fortes profondeurs, le problème est tout à fait différent puisque dans l'ensemble, le principe de l'isostasie est vérifié et que l'influence des dénivellations du fond marin est faible sur les mesures faites à la surface de la mer.

Le Dr. TALWANI donne son point de vue comme suit :

"The problem of which kind of anomaly maps at sea are best is rather difficult. The difficulties arise from the fact that, while at sea one does obtain continuous measurements which are closely spaced and have a good relative accuracy, the absolute accuracy of these measurements can be quite poor. On land it is relatively easy, even if the measurements are detailed, to generalize them on small scale maps. At sea, on the other hand, when one tries to compare measurements from different cruises and from different institutes and observers, one finds severe discrepancies at intersections. This is especially true for free air anomalies which have a large variation from point to point.

In most of our work, we use standard U.S. Hydrographic Office plotting sheets with a scale of 4" to a degree longitude (10 cm represent approximately 111 km). Even at this large scale it is sometimes hard to draw sensible free air anomaly contours. For this reason I would suggest that at present the only solution is that one uses simple Bouguer anomalies on land as well as at sea. I think a density of 2.67 to replace water of density 1.03 would be the best, and I believe that one might be able to draw reasonable contours even at scale of 1/10.000.000. Certainly it would be worthwhile to make an attempt to make such a map in an area where there is gravity coverage from different cruises ; especially if this area is continuous to land.

Another procedure that we have used for drawing both free air and simple Bouguer maps at sea is to adopt some kind of an averaging procedure for the values along a profil - to use a Gaussian window 50 km wide is one possibility. But such a procedure might be considered too arbitrary for the kind of maps of I.G.B."

En conclusion, il semble qu'un grand nombre de délégués (Dr. TENGSTROM, Prof. MORELLI...) se ralie à l'établissement de cartes distinctes pour chaque sorte d'anomalies, étant donné la diversité des méthodes de mesures gravimétriques sur terre et sur mer.

x

x

x

Publications présentées ou distribuées au cours de la Réunion

- 1) ANDERSEN Ole B. - Preliminary Danish activity in the Field of Gravity Measurements at Sea. - Typewritten text, 5p.+ map.
The attached map is a map with Free air anomalies, not Bouguer Anomalies, as it is written.
- 2) COMOLET-TIRMAN A. - Quelques résultats sommaires d'études effectuées sur le gravimètre marin ASKANIA GSS2 n°15. - Texte ronéotypé. 4p.
- 3) FLEISCHER U. - Schwerestörungen im östlichen Mittelmeer nach Messungen mit einem ASKANIA Seagravimeter.
Deutsche Hydrogr. Z. 1964, 17, 4. (p.153-164 + list and maps).
- 4) TALWANI M. - Some Recent Developments in Gravity Measurements aboard surface ships - Amer. Geoph. Un. 1966 (In preparation)
- 5) WALL R.F. Manik TALWANI and J.L. WORZEL - Errors in Surface Ship Gravity Measurements.
J. Geophys. Res. 1966 (In preparation).
- 6) WORZEL J.L. - Report on Gravity Measurements at Sea - Typewritten text, 3p.
- List of the Members of the Sp. St. Gr. n°20.
- Bibliographic References (reproduced hereunder).

Dr. J.L. WORZEL, Chairman of the Sp. St. Gr. n°20 (Gravity Measurements at Sea) will present a General Report at the next IUGG meeting.

These three sheets mentioned above will be a part of the General Report.

New Publication

We are glad to mention the important book recently published.

WORZEL J.L. - Pendulum Gravity measurements at Sea 1936-1959 -
John Wiley & Sons, Glen House, Stag Place, London S.W.I.
422 p, 1965.

"This indispensable reference records for the first time 3000 new gravity measurements made with pendulums in submarines - 2/3 of all the measurements ever made. It serves, therefore, as a framework upon which surface ship observations can build, and represents a first view of the structure of what has been called the normal part of our planet - the ocean.

The observations are arranged so that they can be found either by cruise or by geographical area. Base stations are detailed in a special section.

Another outstanding feature is the presentation of all the gravity observations taken to date superimposed on the oceanic topography (both as free-air and as Bouguer anomalies) on charts suitable for mounting as a composite world chart. Interpretations of these data are given from both a geodetic and structural view of the world.

Dr. WORZEL gives special attention to the physics of the measurement techniques. Apparatus modifications and improvements are detailed, and the resulting geodetic, geophysical, and geological implications are discussed at length".

Bibliographic References

- 7) ALLAN T.D., H. CHARNOCK and C. MORELLI - Magnetic, Gravity and Depth Surveys in the Mediterranean and Red Sea - Nature, 204, 4965, p.1246-48, Dec. 26, 1964.
- 8) BAGLIETTO Eduardo E. and Angel A. CERRATO - Contribuciones a la Geodesia Aplicada - Paper presented at the 9th Assembly of the Pan American Institute of Geography and History in Guatemala 25 June, 10 July 1965, 51p. Univ. of Buenos Aires, Faculty of Engineering, 1965.
- 9) CAPUTO Michele, R. MASADA, M. HELFER and C.L. HAGER - Gravity Measurements in the Atlantic, Pacific, and Indian Oceans - May 1962. Aug. 1963. (R/V ARGO), Interim Report n°7 of the Inst. Geophys. and Plan. Phys. Univ. of California. Nov. 1964.

- 10) DEHLINGER Peter. 'Reliability at Sea of Gimbal-Suspended Gravity Meters with 0.7 Critically Damped Accelerometers'; Jour. Geophys. Res. 69. 24 p. 5383-5394, Dec. 15, 1964.
- 11) DEHLINGER Peter and B.R. JONES "Free-Air Anomaly Map of the Gulf of Mexico and its Tectonic Implications, 1963 Edition" Geophysics. 30. 1. p. 102-110, Feb. 1965.
- 12) DOBACZEWSKA Weneda - "Examination of the Four Pendulum Apparatus Askania, Polish Acad. Sci. Warsaw. 1963.
- 13) ELBEK Yakup - "Relation of Gravity Measurements between Padua, Italy and Diyarbakir, Turkey with the 4 Pendulum Sterneck Apparatus" Observatory of Kandilli, Istanbul, 1963.
- 14) FLEISCHER U. - "Surface-Ship Gravity Measurements in the North Sea" Geophys. Pros. 11. 4, p. 535-549, 1963.
- 15) GRAF Anton- Die Bestimmung des Bronwne-Effektes durch Messkreisel German Geodetic Commission, Bavarian Academy of Sciences, n° 92, 16 p. Munich 1963.
- 16) HAYES Dennis E. J. Lamar WORZEL and Hartmut KARNICK - "Tests on the 1962 Model of the Anschütz Gyrotable", Jour. Geophys. Res. 69. 4. p. 749-757 Feb. 15, 1964.
- 17) LECTA Janet E. and Robert K. LATTIMORE - "Sources of Gravity Data at the U.S. Naval Oceanographic Office", preliminary technical report of the U.S. Naval Ocean. Off. Wash. 1963.
- 18) MORELLI Carlo - "Gravity Measurements on surface - Ships" - Le Pétrole et la Mer - Section I, 107, 10 p.
Contr. n° 152 bis of the Osserv. Geof. Sper. Trieste, Italy.
- 19) POPOV E.I. and V.V. SUKHODOL'SKII - Test-Stand Studies of Marine Gravimetric Apparatus - Izv. Geophys. Serv. n° 6, p. 801-818, 1964.
- 20) TALWANI Manik, Xavier LE PICHON and Maurice EWING "Crustal Structure of the Mid-Ocean Ridges 2. Computed Model from Gravity and Seismic Refraction Data, Jour. Geophys. Res. 70. 2. p. 341-352, Jan. 15, 1965.
- 21) TENGSTROM Erik "Mediterranean Work of the Special Study Group n° 16 of the International Association of Geodesy carried out by the Institute of Geodesy, Uppsala University, Sweden, Part I Gravity Ties in the Mediterranean", 24 p. Uppsala, 1961.
- 22) THOMPSON Lloyd G.D. "Status Report on the United States Air Force Cambridge Research Laboratories Reversible Pendulum Apparatus", 1963.

- 23) VAJK Raoul - "Correction of Gravity Anomalies at Sea for Submarine Topography" - Jour. Geophys. Res. 69. 18. p.3837-3844, Sept.15, 1964.
 - 24) VENING MEINESZ F.A. - "Interpretation of Gravity Anomalies on the West coast of South America and in the Caribbean observed O/b U.S.S. Conger by P.C. Wuenschel and G.R. Hamilton" - and - "The Puerto Rico Trench, Two Types of Deep Ocean Trenches", Netherl. Geod. Com. 2. 1. 28 p. Delft, 1964.
 - 25) Von HUENE Roland and C.L. HAGER - "Gravity Data from Two cruises aboard the USNS Charles H. Davis (AGOR-5)" - Un. Cal. Inst. Geophys. Plan. Phys. Dec. 1964.
 - 26) WORZEL J. Lamar and J.C. HARRISON - "Gravity at Sea" from the Sea Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas, M.N. Hill, Ed. - Interscience, 3, p.134-174, 1963.
-

ANNEXE I

GRAVITY MEASUREMENTS ON SEA AND IN THE AIR
 (Extract from the Report of the Acad. Sc. U.R.S.S.
 Comité Soviéтиque de Géophysique)

by

Ju. D. BOULANGER & L.P. PELLINEN

2.1) A theory of the repeated optomechanical damping of the pendulum oscillations of the gravimeter is constructed (PANTELEEV, Soob. GAIS, 128, 1963). In principle the method allows to make gravity measurements in the presence of large vertical disturbing accelerations. Two models of the instrument are manufactured.

The influence of irregularity of the ship's rolling on the accuracy of registration of accelerations was studied with usual accelerometric device which are frequency selecting systems. It has been theoretically determined that the application of slow pendulums with knife bearings is impossible for registration of wide band random disturbing accelerations (PANTELEEV Soob. GAIS, 135, 1964). The influence of damping plates has been studied as well as the asymmetry of the gravimeter's pendulum on the results of gravity measurements with damped gravimeters. An accuracy evaluation has been made of the influence of disturbing accelerations on the system (MARČUK, Soob. GAIS, 135, 1964 - Vest. Univ. 3, 1964 - Diss. 1964). A construction of the sea gravity meter has been worked out with continuous registration of gravity and automatic compensation of the influence of the vertical accelerations. A theory has been constructed of the filtration of vertical disturbing accelerations of the gravimeter (GLADUM, BOBROV, GAJNANOV, 1964). A new method is suggested for the solution of the differential equation with slowly developing parameters, applied in sea gravimetry (PANTELEEV, Vest. MGU, 2, 1963)

2.2) In TsNIIGAiK experiments were conducted with the view of determining the possibility of carrying out pendulum measurements on surface ships. Observations were conducted with a quarter-second pendulums on support fixed on gyrostabilised platform. The observations were conducted on board the ship of 6.000 tons displacement and sea waves of 4 units. The obtained results were compared with the measurements data received on submarines. The mean quadratic deviation of the Prey anomalies was ± 11 mGal. The most important is the fact that the results of pendulum measurements on the surface ship need the introduction of the Browne correction only for the vertical accelerations (mean quadratic value of which was 136 mGal). Introduction of corrections for the horizontal accelerations was not needed though their mean value was of the order of 90 mGal.

The researches showed that the edges of the pendulum knives in cross-section had a peculiar form which effect compensated the influence of the horizontal accelerations. Special laboratory tests confirmed the suggested hypothesis, it was also supported by theoretical calculations. Thus it should be considered as proved that it is possible to make pendulum measurements on surface ships with several units of sea swell by reducing the requirements to the accuracy of measurements of the most elusive disturbing influences.

Analogical measurements were made on airplanes. It has been revealed that in the conditions of aerosurvey it is possible to carry out airborne pendulum measurements (MALAHOV, HEIFEC, Sbor. CNIIGAiK, 27, 1962) (HEIFEC⁺ - MALAHOV⁺ - HEIFEC, MALAHOV & BEREZIN^{*} - MALAHOV, HEIFEC^{*} - BEREZIN, MALAHOV, HEIFEC^{*} - HEIFEC^o - MALAHOV^o).

2.3) At the Institute of Physics of the Earth, Ac. of Sc. of the USSR, the works have been continued for the improvement of the sea gravimeters. New experimental models of sea gravimeters were manufactured on gyrostabilised platforms :

GAL - M . Small-size gravimeter with photoregistration which allows to conduct measurements of gravity with accuracy of $\pm 5 - \pm 8$ mGal and disturbing accelerations 75 gl (Ye. I. POPOV.)

GAL - FM. Semi-automatic gravimeter with registration by pen. The instrument is made for measurements with comparatively small disturbing accelerations. The accuracy of measurements ± 3 mGal. (Ye.I. POPOV V.A. TULIN.)

2.4) Much attention was paid to the construction of stands which allow to imitate separate components of the disturbing acceleration caused by the rolling of the ship. A stand was constructed which can reproduce strictly horizontal and vertical linear accelerations with changing signs. The accelerations can reach 500 gl during the movement of the testing platforms with the amplitude up to 4-8 m. The stand is often used for testing of equipment before installation on ships (Ju. D. BOULANGER, V.A. SUKODOL'SKY), the testing of gravimeters GAL, GAL - M, GAL - F has shown that even in conditions of the influence of considerable disturbing accelerations the agreement of the theory of these gravimeter with their experimental testing is within the range of errors of counting devices (M.G. KOGAN, G.S. MARKOV).

⁺ Trudy CNIIGAiK, 159, 1964

^{*} Sbor. CNIIGAiK, 32, 1962

^o N°164970 & 164971 Bjull. izob... 17, 1964

2.5) The works were continued for the improvement of the theory and methods of standardisation of sea gravimeters by tilting. The accuracy of standardisation is limited only by the counting accuracy of the gravimeters. A method is worked out which allows to study the measuring scales of the gravimeters with practically any detail.

The comparison of results of the laboratory standardisation with the standardisation on points where gravity is known gave good correspondence within the counting accuracy (K.Ya. KOZ'JAKOVA, V.A. ROMANIUK).

ANNEXE II

BOUGUER MAP OF AN AREA OF THE MID-ATLANTIC RIDGE

by Dr. BD. LONCAREVIC

The continuous gravity measurements in the deep ocean have been made on many cruises since the method was introduced in 1958 by J.L. WORZEL. Detailed measurements have been made in several continental borderland areas. A contoured gravity map based on detailed high density observation in deep ocean areas has not been reported previously.

A pilot survey of a small area in the center of Mid Atlantic Ridge near 46°N was carried out in 1960 with an Askania-Graf sea gravimeter (Gss 2-11) on board RRS DISCOVERY II. The survey area was extended by CSS HUDSON in 1965 using sea gravimeter Gss 2-17. The area surveyed was approximately 35 x 90 kms with ship's tracks not more than 2 km apart. Continuous bathymetric and magnetic measurements were made simultaneously with gravity observations. Full results will be reported elsewhere.

The navigation was by radar fixes on moored navigational buoys with radar reflectors (two buoys - DISCOVERY II, 1960 survey) or active radar transponders (six buoys - HUDSON 1965 survey). With the latter, reliable radar ranges of 22 kms were possible. Buoys were moored to thin (2mm) steel piano wire to decrease current drag. Fixes were taken on the buoys every two minutes and the ship's track plotted as the survey progressed. The survey tracks and the location of the buoys are shown in Fig.1.

B. LONCAREVIC reported in 1963 (Nature, 198, 23-24) that for 1960 survey the RMS error for eighteen track cross-overs was 2.04 mGal. For 1965 survey, 39 cross-overs showed an RMS error of 3.4 mGal.

The free air anomaly was calculated using the International Gravity Formula. As might be expected, the F.A. anomaly map resembled smoothed topography. The central valley of the Mid Atlantic Ridge corresponded to a pronounced gravity low whilst the steepest gravity gradients occurred at the flanks of the valley where slopes between 1:2 and 1:5 were encountered.

In order to eliminate the effect of topography a modified Bouguer anomaly was calculated. The visible topography was approximated by prismatic blocks ; the size of each block was chosen so that the difference at the sea surface between its gravitational effect and the effect of real topography was not more than a couple of milliGals. The effect of topography was considered out to 200 km from the centre of survey area with the detail of approximation decreasing with distance. A total of 408 blocks had to be considered.

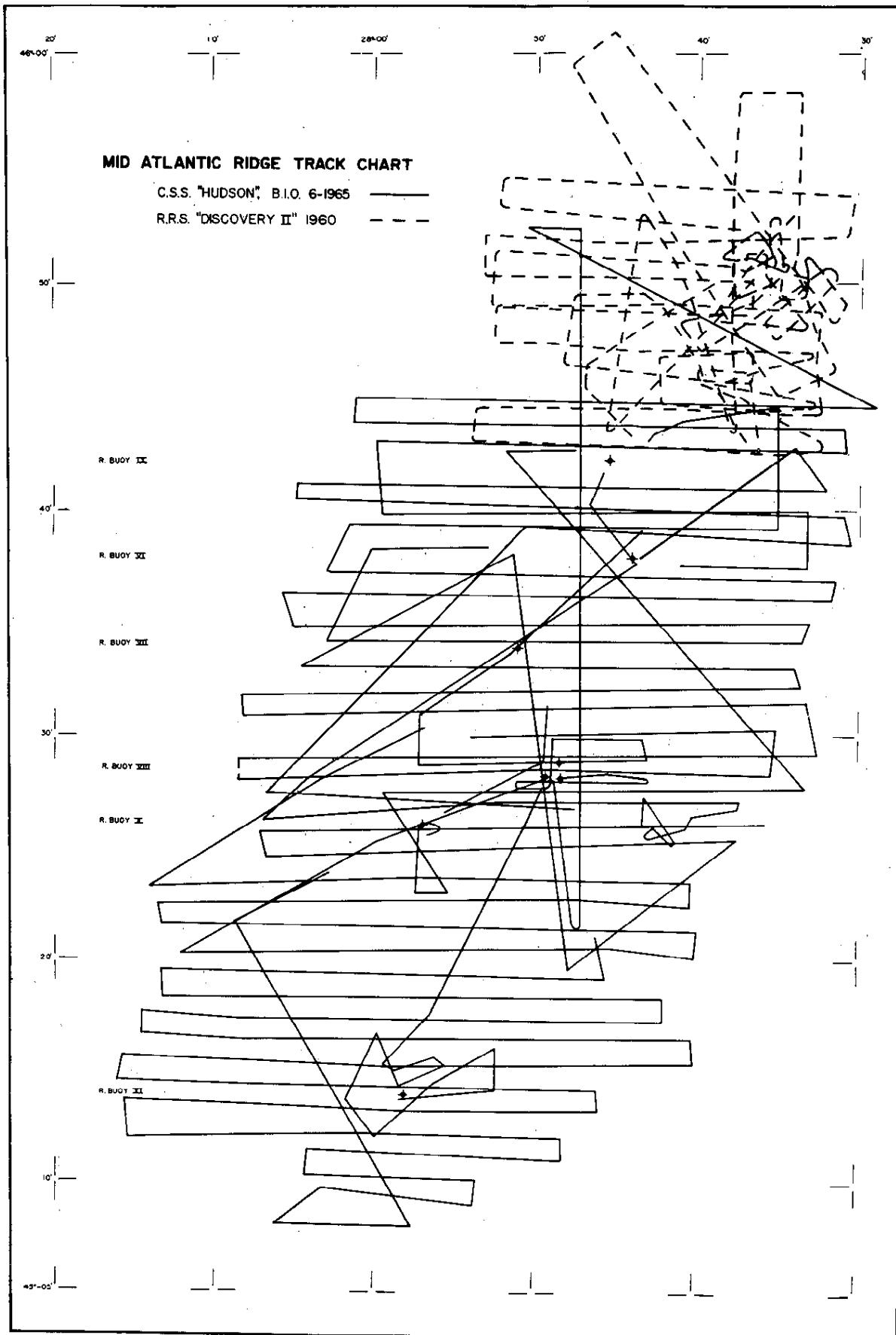


Fig. 1

Frequent course alterations precluded gravity observations on all tracks

The three dimensional gravity effect was calculated when the water column above the blocked topography was replaced by materials of various densities. The calculated correction was added to the observed free air gravity and the result for density 2.67 gm/cc is shown in Fig.2. (p. 24).

The most important feature of this map is the lack of correlation between topography and Bouguer gravity anomaly as previously concluded by TALWANI et al (J. Geophys. Res. 1965. 70, (2), 341-352) on the basis of single profiles. However, the map is not featureless but shows variations of the anomaly of the order of 20 mGal. These variations must be related to the underlying geology but the data is not sufficient for any interpretation. Because of the ruggedness of topography, the shape of anomaly contours is very sensitive to the choice of density for the water column. This is illustrated in Figs.3 and 4 (p.25) where one north-south and two east-west profiles (based on three dimensional calculations) are shown for five different densities. It is seen that by a suitable choice of density, variations of Bouguer anomaly can be minimized but not eliminated. Whether the density so chosen is physically plausible must be decided by considering other geophysical and geological information.

The work accomplished to date is only an indication of the potential of detailed gravity surveys at sea. In addition to errors usually encountered in gravity measurements at sea, further errors are introduced by inadequate knowledge of distant topography and by the arbitrariness in the choice of density. The 10 mGal contours on the Bouguer gravity anomaly map are comparable to the estimated errors and might not be significant. Nevertheless, it is believed that by extending the area of coverage, significant patterns might emerge. In conjunction with other geophysical techniques, gravity surveys will help us to understand better the nature of the largest tectonic feature on the surface of the earth.

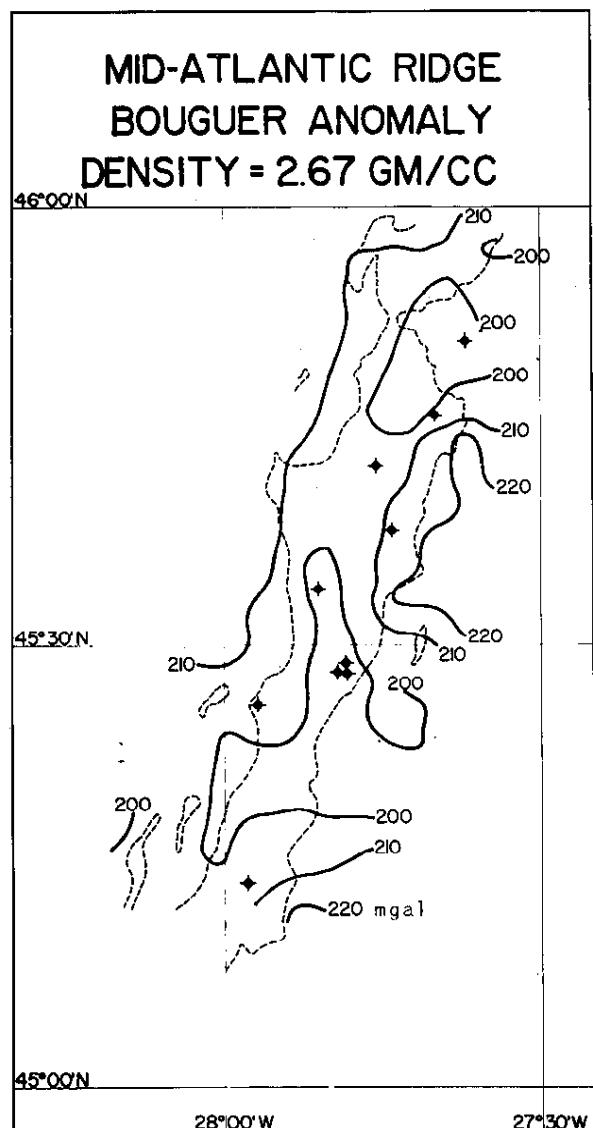
MODIFIED BOUGUER
Anomaly map

Fig. 2

----- = 1400 fathom contours delineating
the central Vallery of the Ridge

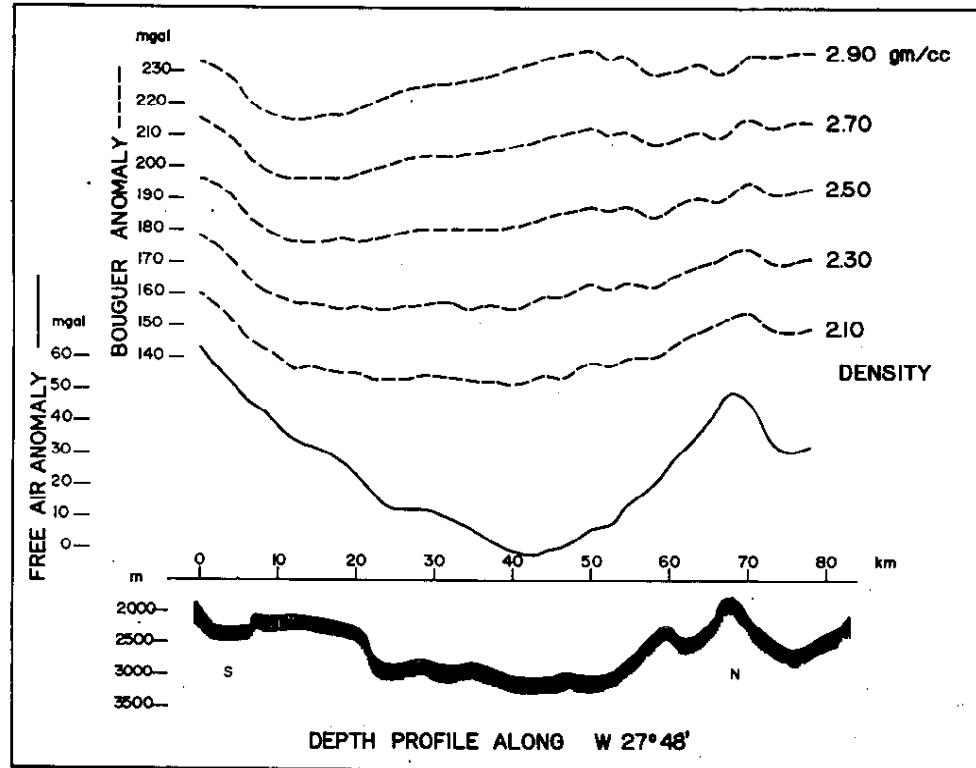


Fig. 3

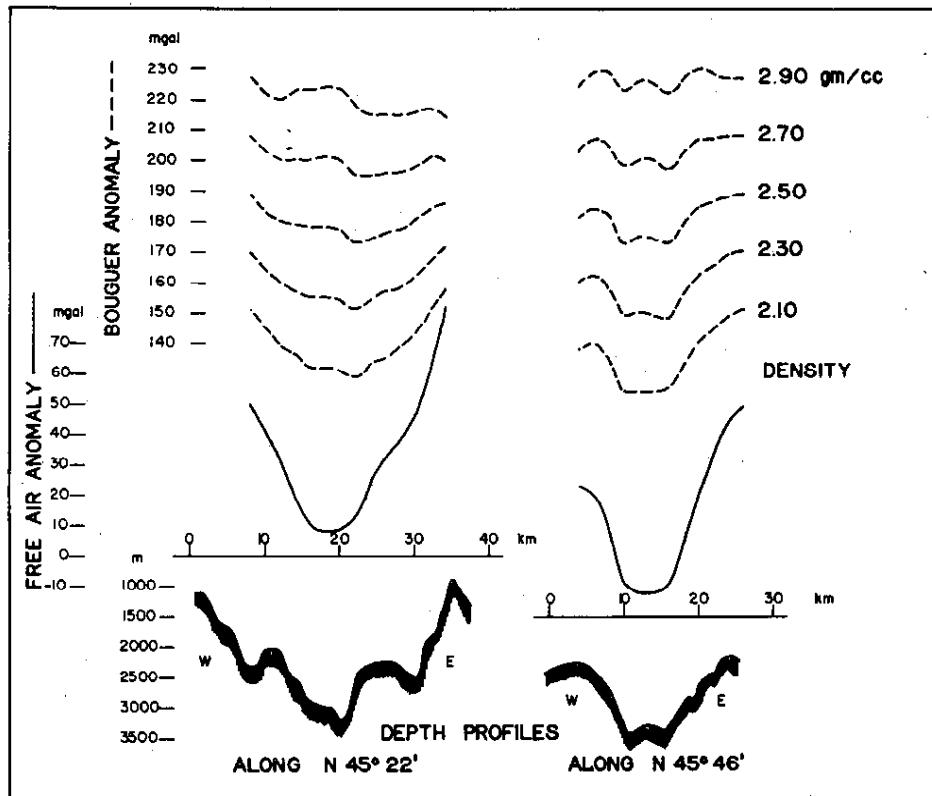


Fig. 4

ANNEXE IIIDATA REDUCTION AND DISPLAY PROCEDURES FOR CONTINUOUS
GRAVITY MEASUREMENTS AT SEA

Manik TALWANI

(Abstract)

Large amounts of continuous gravity data acquired at sea have raised at least two important problems as far as the reduction and display of these data are concerned. Firstly, the volume of the data is so large that it is difficult to use conventional methods to deal with it. Secondly, other geophysical data are generally collected at the same time (magnetic and bathymetric for instance) ; therefore it is very necessary to develop a reduction procedure such that all these data can be dealt with in similar fashion.

With the present problems of errors in gravity data and the necessity of making subjective judgments as to when the data are good or poor, it is believed that the data should still be recorded in analog rather than digital form. On the other hand, reduction of data on digital computers (after the records have been read) and automatic plotting by digital plotters have proved very useful.

The basic function of the data reduction programs written at Lamont Geological Observatory is to convert the chart readings (of gravity, depth, or magnetic field) read at irregular intervals with respect to time to gravity and magnetic anomalies and depths with respect to position (distance along track and latitude and longitude).

The output of these data reduction programs is used as input to two kinds of plotting programs. The Calcomp digital plotter is used on line with an IBM 1620 computer to make both kinds of plots.

The first kind consists of profiles with respect to distance and is illustrated in Fig. 5. The notations along the top of the figure indicate day, month, and year. The next two lines locates positions along the track where even longitudes and even latitudes are crossed. The four traces illustrated on the graph give respectively from the top, Bouguer gravity anomaly, free air gravity anomaly, depth, and magnetic intensity (after regional has been removed). Along the bottom there are notations of points along the track where the ship changed course and/or speed. The course and speed between these points are indicated. Finally, the distance along the track in nautical miles is also annotated.

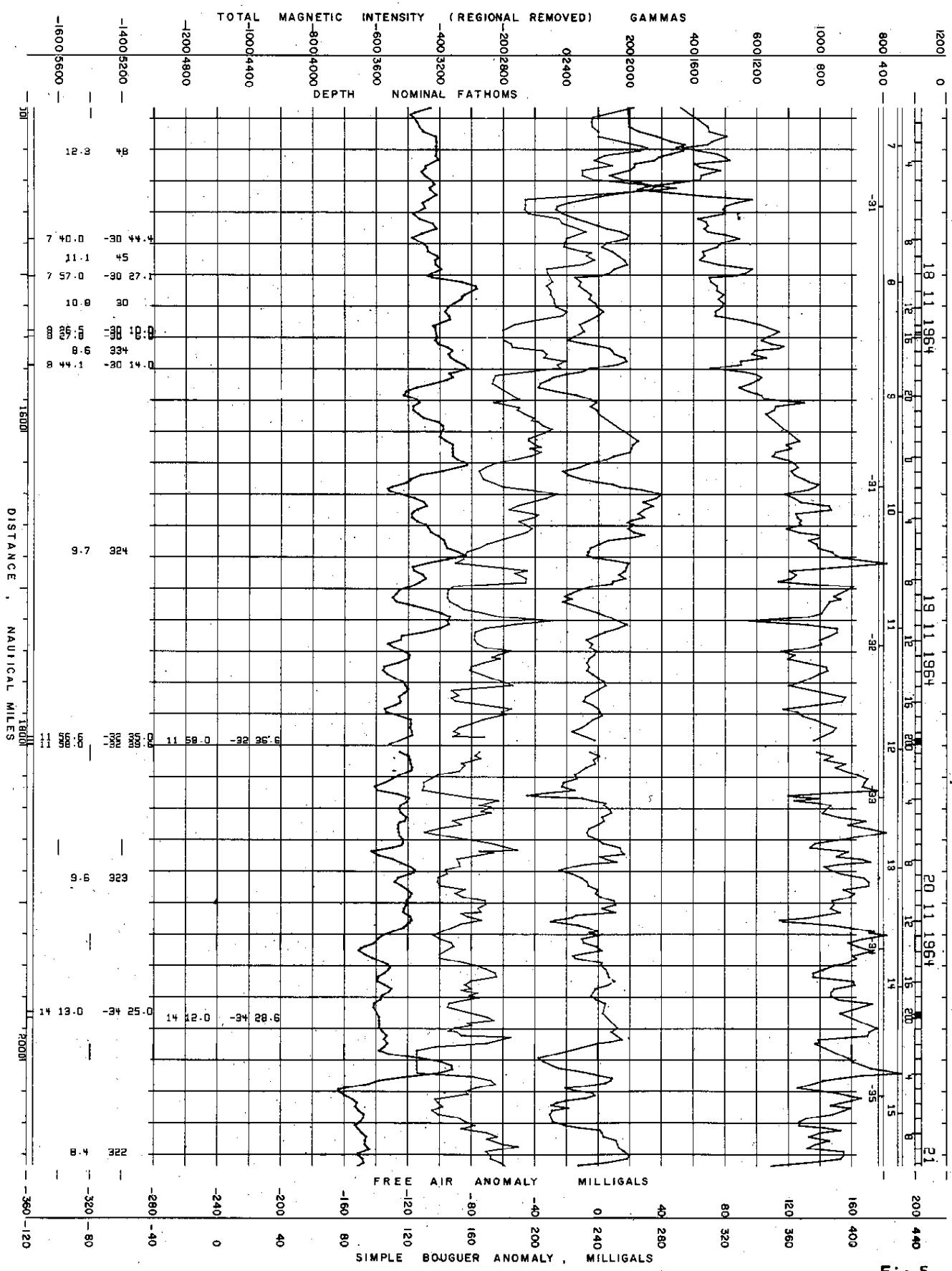


Fig.5

The scales on either side of the figure could also have been annotated by the computer but to save computing time they have been hand lettered.

The second kind of plot is shown in Fig.6. Here the gravity values are plotted on a Mercator chart and annotated. Similar programs exist for plotting and annotating topographic and magnetic data on Mercator charts.

The reduced gravity data are available on cards, one value to a card. In addition to depth and station coordinates we feel that it is very necessary to indicate distance along the track on the same card. The distance is required if any profiles such as the ones shown in Fig.5 are to be plotted. In addition, the Eötvös corrections are also indicated for each point.

On the other hand, we do not indicate the accuracy of the observations. One of the reasons for not doing so is that the errors due to incorrect navigation and due to cross coupling generally remain constant so long as the speed, course and heading of the ship as well as the sea state remain constant. Thus relative errors on a constant course are smaller than the overall errors, and a statement of errors can be misleading. Also, for sea observations, since one does not necessarily start from a base station and return to the same base station in a matter of days or weeks the problem of tying the sea measurements to a base station is more difficult than for land measurements.

The procedure that we have adopted at Lamont Geological Observatory is as follows : Let us say that the ship goes from Harbor 1 to Harbor 2 and takes about three weeks to do so. Adopting a gravity value at Harbor 1 and knowing the calibration constant of the sea gravity meter we find out the value of gravity at Harbor 2 from the reading of the sea gravity meter there. The discrepancy between this value and a known value at Harbor 2 is attributed to "drift", of the gravity meter. This "drift" is then assumed to have taken place at a constant rate and is used to correct the sea gravity values between the two harbors. The accuracy of the sea gravity measurements is so poor compared to land measurements that possible errors in the adopted harbor values are probably inconsequential.

Perhaps an adequate procedure might be to have a header card preceding a list of gravity values made at sea between the two harbors. This header card would contain the names of the harbors, the positions of the ship in the harbors, the adopted gravity values and the "drift" during the passage between the two harbors.

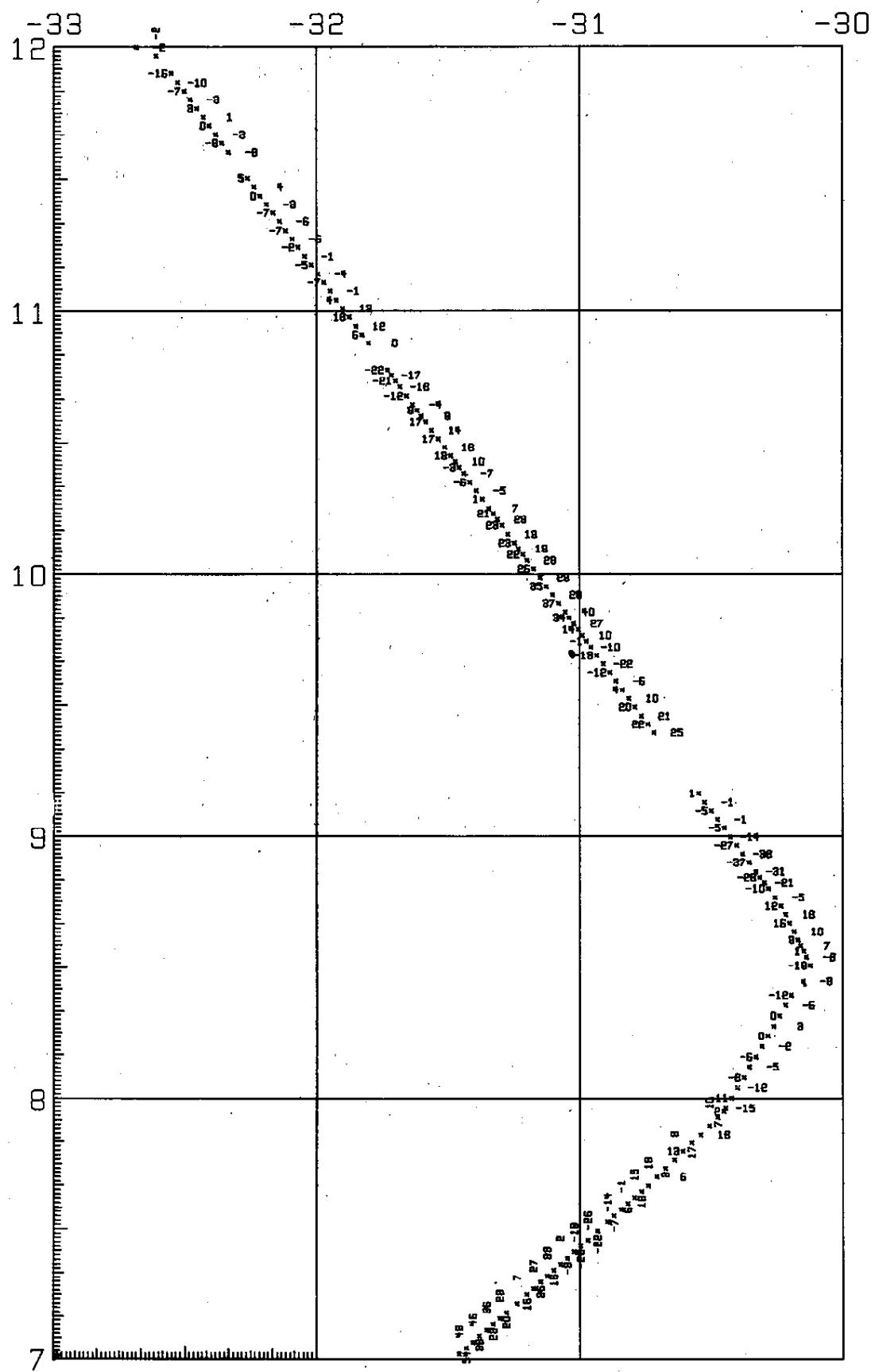


Fig. 6

ANNEXE IV (A)

FORMAT FOR PUNCHED CARDS TO BE USED FOR GRAVITY AT SEA

Manik TALWANI

I describe below the format we use for punching gravity data at sea - one gravity station to a card. I have also tried to indicate some possible modifications which might make our present format more convenient for general usage. Items which might be omitted are indicated by asterisks.

Column 1 : Blank

*Columns 2 - 3 : Day of the month

Column 4 : Blank

*Columns 5 - 6 : Month

Column 7 : Blank

*Columns 8-9-10-11 : Hour and minute

Columns 12 - 18 : Latitude of the station. This latitude is given to thousandth of a degree. A negative sign is used for south latitudes and blank or a plus for north latitudes.

The decimal point is in col. 15.

Columns 19 - 26 : Longitude of the station (to the thousandth of a degree). The decimal point is in col. 23. A minus sign indicates west longitudes. For east longitudes a blank or a plus sign is used.

Columns 27 - 33 : Distance along the track in nautical miles (to the tenth of a mile). The decimal point is in col. 32.

*Columns 34 - 41 : Similarly, distance along the track in kilometers (again measured to the tenth of a kilometer). The decimal point is in col. 40.

Column 42 : Blank

Columns 43 - 47 : Depth in corrected meters. We have used Mattews tables to correct the sounded depths. These are given to the nearest meter with the unit position in col. 47.

Column 48 : Blank

Columns 49 - 56 : Measured value of gravity in mGal (given to the tenth of a mGal. Some of the users might want to give the value of gravity only to the nearest mGal in which case col. 56 would be blank.

Column 57 : Blank

* Columns 58 - 61: Depth in uncorrected fathoms. These are depths as read off the echo sounder, using a sound velocity of 800 fathoms/sec. No correction is made for the fact that the sound transducer is mounted below the water surface.

Columns 62 - 65: Simple Bouguer anomaly to the nearest mGal. The unit value is in column 65: This is the "flat plate" anomaly calculated with density of $(2.67 - 1.03) \text{ gm/cm}^3$.

Columns 66 - 71: Free air anomaly to the tenth of a mGal with the decimal point in column 70. It is possible that some users may want to give the free air anomaly to the nearest mGal in which case they would use columns 66 - 69, with the unit position in column 69.

Columns 72 - 75: Used for cruise identification. VEMA cruise 18, for instance, is represented by V18.

Columns 76 - 80: Used for the Eötvös correction to the tenth of a mGal. The decimal point is in column 79. Some users might want to state the Eötvös correction to the nearest mGal in which case they would use columns 76 - 78, with the unit position in column 78.

Punched Card Model

1	2	3	4	5	6	7	8-11	12-18	19-26	27-33	34-41	42	43-47	48	49-56	57	58..	62..	66..	72..	76-80
14	5	745	-36.743	-35.464	1194.9	2214.5	4781	979.9106	2543	344	15.8	V18	62.1								
14	5	800	-36.737	-35.410	1197.5	2219.4	4795	979.9106	2550	346	16.4	V18	62.1								
14	5	815	-36.730	-35.356	1200.2	2224.2	4795	979.9106	2550	346	16.9	V18	62.1								
14	5	830	-36.724	-35.303	1202.8	2229.1	4759	979.9106	2531	345	17.5	V18	62.1								
14	5	845	-36.718	-35.249	1205.4	2233.9	4726	979.9106	2515	343	18.1	V18	62.1								
14	5	900	-36.711	-35.195	1208.0	2238.8	4706	979.9106	2504	342	18.6	V18	62.1								
14	5	915	-36.705	-35.141	1210.6	2243.6	4692	979.9092	2497	340	17.8	V18	62.1								
14	5	930	-36.699	-35.088	1213.2	2248.4	4661	979.9079	2481	337	16.9	V18	62.1								

Note : The justification for using track miles and Eötvös correction is given in the abstract Annexe III. In this paper, is also mentioned the difficulty with giving the base station on which the gravity values at sea can be said to have been based. Instead I have given the procedure that we use for sea gravity values obtained between two harbor stations.

ANNEXE IV (B)

SOME SUGGESTIONS ABOUT THE FORMAT FOR PUNCHED CARDS

(Described above)

Ing. COMOLET-TIRMAN

(Serv. Hydrog. de la Marine, Paris)

-
- I) Date and time should be mentioned.
 - 2) State the coordinates to the degree, minute and the tenth of a minute, eventually keep a column free for the hundredth of a minute (surveys at large scale).
 - 3) Columns 34 - 41, concerning the distance in kilometers can be omitted as the distance is already indicated in nautical miles.
 - 4) Replace the uncorrected "fathoms" columns by columns for depths in meters corrected for the slope (if it seems necessary and if we get enough data).
 - 5) Replace the columns of the Eötvös correction by columns stating the course and speed adopted to obtain this correction. These data could be used for other studies.
 - 6) Think of an information, even quite rough, on the measurements conditions. The simplest way would be to indicate the state of the sea (this information would be relatively valuable for the data of a same cruise) or better the value of the horizontal and vertical accelerations (only one of those values if experimented users think it is enough).
 - 7) For systematic surveys at large scale, it could be interesting to think of a numbering of the profiles.
 - 8) It seems interesting to use a card for each result giving some information on drift, details on the method to obtain the position, the gravimeter type used, its number, the method adopted to correct the depths, and so on.
-

ANNEXE IV (C)

SOME NOTES ABOUT THE SEA GRAVITY DATA ON PUNCHED CARDS

S. CORON (I.G.B.)

- I) Before defining a special format for recording sea gravity data, it seems necessary to ask the question : What is the use of those punched cards ?

Is it to give many details to the observers and to obtain better reductions in the future with the progress of technical methods or instruments, and to facilitate the comparisons with the other results ?

Or is it for general scientific studies ?

In the first case, most detailed information are desirable, in the second case, the international format (I.G.B.) for recording gravity data seems sufficient. The particularities of this format for sea measurements are given hereafter.

- II) The international format for the recording of gravity data on punched cards proposed by I.G.B. and approved by A.I.G. (See bul. Inf. N°5, p.27) may also be used for results of gravity at sea.

A - Those measurements are to be distinguished from land measurements in the following columns :

Col. 4 : Type of observation :

...

4 - Individual observation at sea

5 - Mean observation at sea (or in the air) obtained from a continuous recording.

6 - Coastal ordinary observation (harbour, bay, sea-side...)

7 - Harbour base observation

...

Col.18-23 : Altitude of the observation - h_s

Col. 25 : Type of the altitude above mentioned

...

8 - At the bottom of the sea or of a lake

9 - At the surface of the sea ($h_s = 0$)

Col.26-31 : Altitude of the Earth's surface at the vertical of the station in the above defined case 9 : Depth of the sea.

B - In this international format, the coordinates (longitude and latitude) are indicated in minutes and hundredths of a minute.

It seems better to use the same unit for all punched cards.

C - Columns 40 - 46 (reference station) and 47 - 53 (calibration information) of this international format are to be used to give the most adequate information about the reference system to which the concerned survey (or the concerned station) has been referred.

For sea measurements these columns could define both harbour stations to which the concerned observation is the most directly connected

D - Some delegates thought that it would be interesting to know the accuracy of the coordinates. If so, a code should be adopted and this information should be punched in columns 27 - 28 (Complementary Card).

ANNEXE V

NOTE OF THE I.G.B. CONCERNING SEA GRAVITY MEASUREMENTS

1°) - To reply to M. MURT's suggestion concerning a better interchange of information, the I.G.B. insists on the necessity of being advised beforehand of the planned surveys.

In such case, it could publish all information in the following Bul. Inf. or, at least, diffuse the planned project and send it to all directly concerned Hydrographic and Oceanographic Department, in case that information could not be postponed. Hereafter, see two charts reprinted (Fig.9 - 10) giving the recent cruises carried out by :

- Bedford Institute of Oceanography - Sea Gravity Surveys.
- H. Neth M.S. "SNELLIUS" during NAVADO III.

On the other hand, the I.G.B. being aware of the most recent other gravity surveys, could, in some cases, make useful suggestions or be helpful in any other way.

2°) - As far as the recording sea gravity data on the 1/1M scale plotting sheets of the International Hydrographic Bureau (GEBCO) is concerned it is firstly to be reminded that there are about 600 sheets for the whole world and that a great number of values are plotted on some of them. Secondly, it seems difficult in practical to ask to the participating Nations to compile also the gravimetric data on these sheets for it would require for that purpose special staff in every nation and probably quite a long time.

As it is the I.G.N. (Paris) which is in charge with printing the GEBCO (1/10.000.000 map obtained from the plotting sheets...), it would perhaps be possible to play in the future a collaboration with the I.G.B.?

On the other hand, the I.G.B. has going on taking up to date a general map (planisphere) mentioning all sea profiles. Another format, for instance the n° 5330 chart (The world Index of Plotting Areas at the scale of 1/36.000.000.) could perhaps be adopted as framework ? This chart is smaller and it would be easier to diffuse copies of it.

3°) - Furthermore, the I.G.B. intends to extend to the sea surfaces the general maps giving respectively free air and Bouguer Anomalies as it has already been done for the "Europe-Afrique" map. (Scale about 1/1.000.000).

Obviously, each "sounding" could not be plotted but only the significative values as for the "Europe-Afrique" map which was presented at the meeting of the Int. Grav. Com.

4°) - About the Harbour Stations :

At the meeting of the Int. Grav. Com (Sept. 1965), a special format for gravity harbour stations was presented (see model : Casablanca harbour). No important modification was suggested. Therefore, that format will be adopted by the I.G.B. for all harbour stations.

The first sheet shows the different sites used for gravity measurements and the different observers who occupied these sites for their sea surveys.

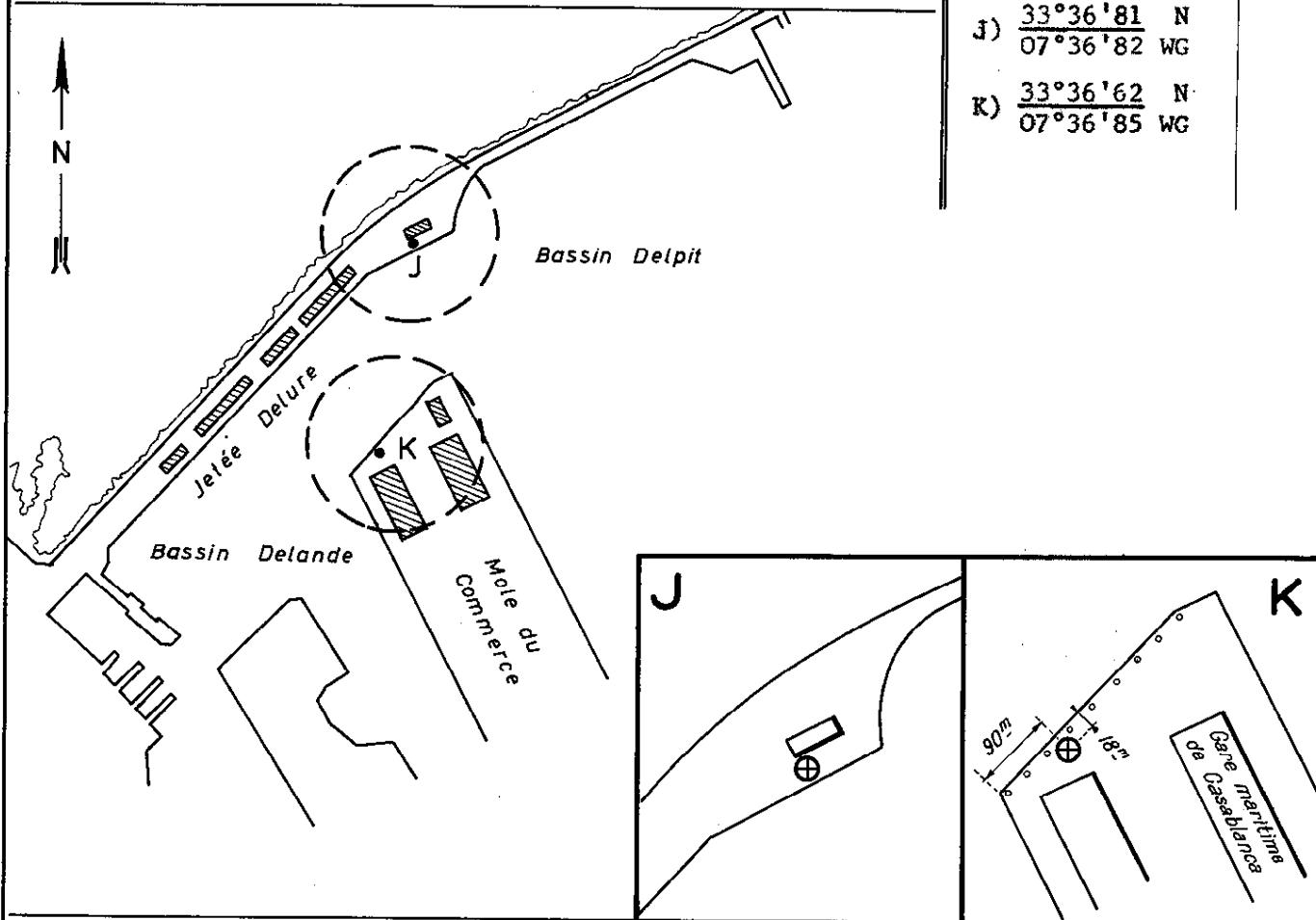
The second sheet shows the connexion between the harbour stations and continental stations, generally connected with the international and national gravity network.

We will keep the 21 x 29,5 cm size already adopted by Prof. C. MORELLI (St. Sp. Gr.n°5) for the "Catalogue of Pendulum Stations and Excenters".

In order to get as many sketches as possible, with the best possible accuracy, all of you are kindly requested to send to the I.G.B. all information dealing with that purpose.

In a later bulletin, a list of harbours will be published.

CASABLANCA, MOROCCO. (Africa)



Description:

Station J : Casablanca harbour . On south westcorner of building situated on enlargement in bend of Jetée Delure .

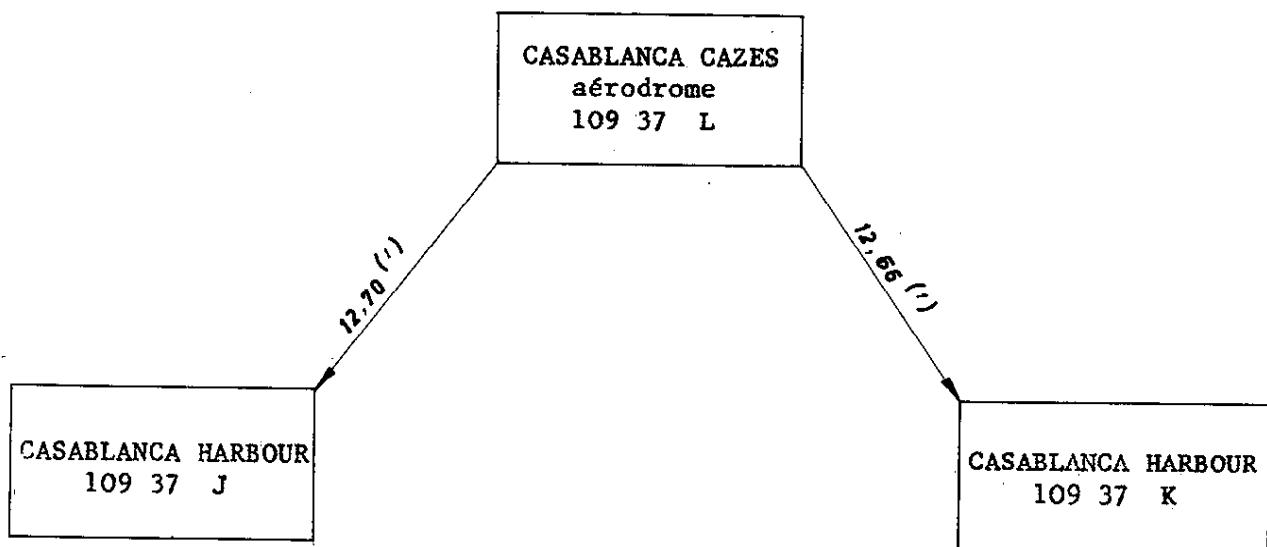
Station K : Casablanca harbour . On north western end of Mole du Commerce . Opposite fourth bollard from westcorner and 18m from the northwest wateredge .

$$\varepsilon_{J,K} = 979\ 657 \text{ mGal (approx. value Pots. Syst.)}$$

	Station	Year	Instrument	Agency	Connexion See sheet 2	Refer. n° (p)
1	{ 109 37 J 109 37 K	{ 4 - 1965 4 - 1965	Word. Mast. 642 W ... M.... 642	G.I.Delft - R.Neth.Navy G R	{ 109 37 L	

CONNEXIONS

Sheet 2



109 37 L = Casablanca CAZES aéroport, in Customs and Baggage Hall

33°33'8 N - 7°40'0 WG - 50,5 m
ORSTOM St., n° 22 g = 979 644,26

ORSTOM -1954- p.37

Fig. 8

37 bis.

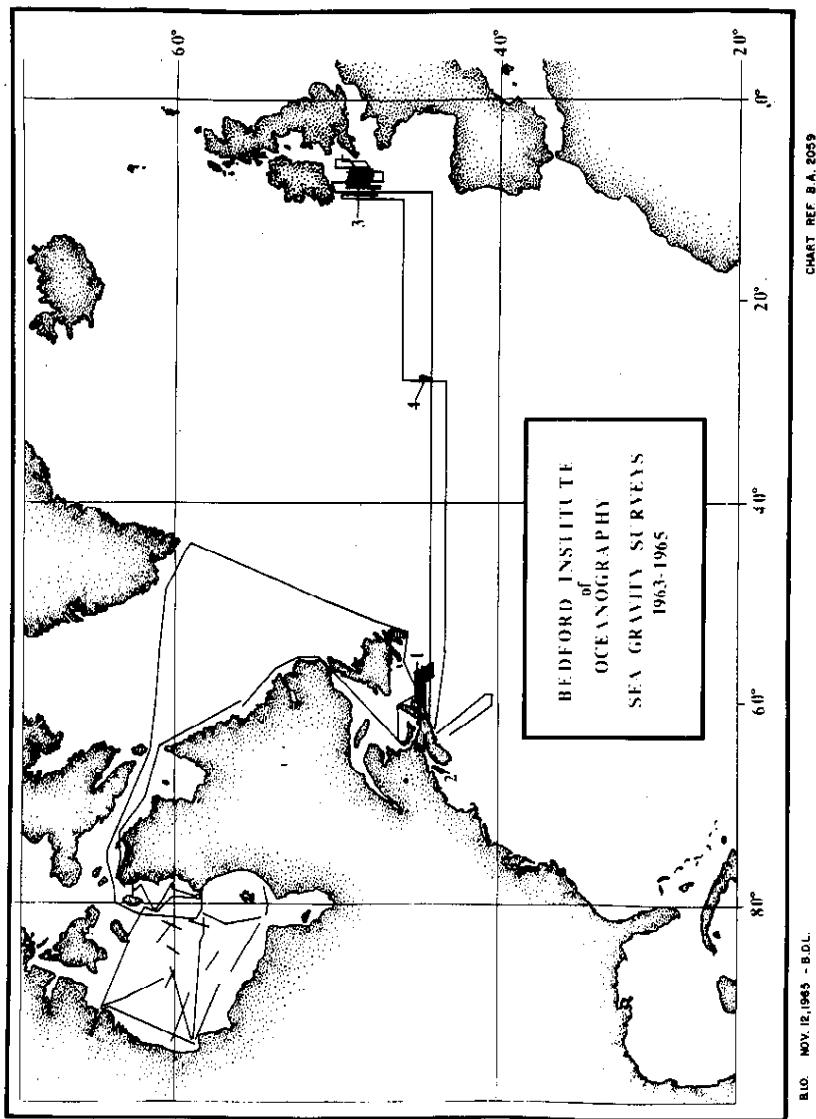
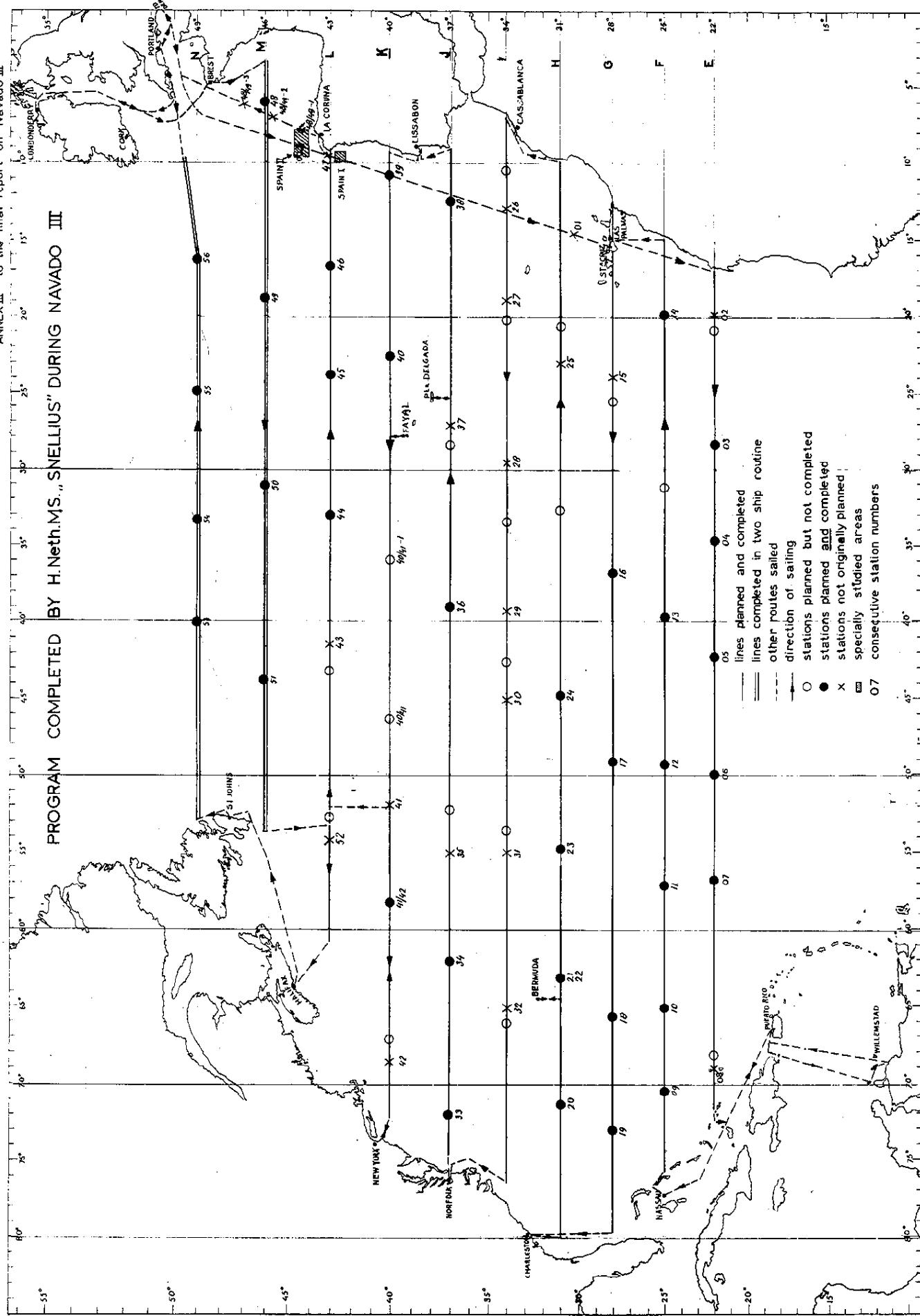


Fig. 1)

PROGRAM COMPLETED BY H. NETH.MS. "SNEILLIUS" DURING NAVADO III



VII - MESURES de PESANTEUR en AVION

Mercredi matin, 15 Septembre, une des séances a été consacrée aux Mesures de pesanteur en Avion, sous la présidence du Dr. WILLIAMS. Celui-ci expose brièvement les travaux de l'AFCRL (Air Force Cambridge Research Laboratories) et de FLAGS (Fairchild LaCoste Gravity Surveys, Inc.)

"The AFCRL and FLAGS accomplishments from 1958 to the time of the 1962 Meeting of the ICC included feasibility determination test objectives, flights with the first prototype airborne meter (LaCoste-Romberg), flights in KC-135, C-130 and B-17 type aircraft, flights over test ranges and flights over a 700mi triangle in Louisiana and Texas and the mean deviation between calculated and observed values.

From 1962 (Paris) to 1965, our KC-135 and C-130 aircraft were extensively modified and the electronics on the LaCoste-Romberg and Askania-Graf revised. Furthermore, a prototype airborne quartz element was developed. In addition, theoretical techniques were devised for correctly extrapolating the ground gravity field to flight altitude for comparing with observed values. Also, a means for carrying the observed profile from the aircraft to the ground, considering area representation, was prepared.

During 1965, the modified LaCoste-Romberg and Askania-Graf have been extensively flown in a KC-135. A new ART-57 stabilized platform (max. deviation of 5 min. of arc) has been developed and used. We have as navigation components the APN-81 Doppler Navigation system and ASN-7 navigation computer, the N-I compass, an APR-5 (airborne profile recorder) a photo panel and dial system, a 35mm spotting camera, a new three accelerometer system, a level bubble system, an analog to digital converter and magnetic type recorder.

During 1965 we have performed extension test missions over California, Oklahoma-Kansas, North Dakota and over water from Charlestion SC to Bermuda to Nova Scotia. For the North Kadota area, we are flying 800mi legs E W every 30' with NS profiles every 1°. Our tests have been flown at various altitudes to 29.000 feet, various speeds and they include over 500 hours and 200.000miles a performance. Data reduction is just starting to flow in.

Our current objectives are to determine the most desirable navigation system as well as gravity sensor. A third sensor, a miniature quartz system will be incorporated into the aircraft and flown in late 1965.

This review then covered activities at FLAGS (none during last few years) and at US NAVOCEANO. NAVOCEANO has flown a standard sea meter (LaCoste-Romberg) in their Douglas and Lockheed piston aircraft under Project Magnet. They have determined that the meter has worked and they are deriving environmental characteristics. They plan to publish data on the magnitudes and periods of motion involved and they will discuss means of controlling their vertical reference. NAVOCEANO also relates they have jointly established with US & GS, an airborne - surface ship test range from Wallops Island to Norfolk, Virginia."

Dr. WILLIAMS describes a series of photographs showing the current installation of equipment in our KC-135 aircraft.

Dr. RICE mentions some unique advantages of airborne gravity observations :

- 1) Average anomalies over large areas - rapid world-wide coverage
- 2) Determination of the near external field by measuring variations in vertical gradients - variations horizontally and with altitude.
- 3) Delineation of extremely anomalous regions for later detailed land and shipborne gravity surveys, e.g., determination of large ore bodies.
- 4) Generalized evaluation and control of shipborne surveys in open oceans by means of low level flights.
- 5) Provided the gravity response threshold can be made low enough, we can foresee the possibility of making rapid redetermination of gravity over the same lines to study secular variation over large areas.

Some delegates ask information on the comparison of profiles and on the representativity of mean values.

Dr. SZABO says that test areas are selected over gravimetrically well surveyed areas. From ground data gravity profiles are computed at flight altitudes and these profiles are compared with the profiles observed by aerial gravimetry. In a well surveyed area, the accuracy of the profiles computed from ground data is between ± 1 to 3 mGal, which is adequate for the evaluation of the aerial profiles.

From aerial profiles system, it is possible to compute the mean values for various size of compartments at the flight altitude, for ex. $1^\circ \times 1^\circ$, $5^\circ \times 5^\circ$, $10^\circ \times 10^\circ$. Knowing the accuracy of the profiles and the distribution of the profiles, the accuracy of the mean values can be also computed. In the test areas, these mean values will be computed from the independent ground data.

The uplifted values can be then compared with the mean values derived from the aerial profiles. It is also possible to compute - by a downward continuation technique - the mean values at the sea level from the mean values at the observations altitude. These can be compared with the corresponding values computed from independent data.

Lastly Dr. WILLIAMS announces that he was in communication with Prof. Boulanger and others and none indicated activity in the airborne gravity field.*

He predicts that the next three years will find vast strides and advancement in the airborne gravity fields and suggests that much more time will be then required on the agenda to discuss the subject.

* See page 18, abstract of the report of the USR Report distributed at the meeting of the IGC.

X - VARIATION SECULAIRE de la PESANTEUR

Etant donné l'importance et l'étendue de ce sujet qui intéresse de nombreuses disciplines, une séance supplémentaire (Vendredi après-midi) compléta la séance prévue pour la présentation du Rapport Général.

Première Séance :

Présidée par le Dr. BARTA, qui expose brièvement l'état d'avancement des travaux et études relatifs au problème de la variation séculaire de la pesanteur. (a).

Dr. BARTA sums the results of the studies in the recent years about the secular variation of the magnetic field and other geophysical phenomena (1). These studies indicate that the Earth's inner core is by 300 or 400 km eccentric relatively to the geometric centre and by its displacement it causes a secular variation in various geophysical phenomena and processes.

A) - The eccentricity first appeared the most sharply in the geomagnetic data ; the magnetic centre is lying eccentric at about 300 or 400 km in the direction of the Marshall Islands and it moves $0^{\circ}2$ westwards in a year.

The investigations proved that in inner core equally eccentric as the magnetic eccentricity deforms by its gravitational effect the level surface about the same way, as is known from various geodetic surveys and observations on satellites (W.M. KAULA). It is a very important fact that the highest elevation of the geoid is in the region of North Australia and its deepest depression is in India. (Characteristic magnetic regions).

The seismological data collected in the Soviet Union (J.L. NERSESOV) shows that the Gutenberg-Wiechert surface is lying higher under the Pacific than under Eurasian Continent ; this is in good accord with the ideas about the eccentricity of the Earth. Unfortunately, owing to the uncertainty of arrival of the waves reflected by the inner core, it was impossible so far to get reliable information on the position and eccentricity of the inner core from seismological observations.

On the other hand, the study of seismic waves (A. VOGEL) showed great differences (100 or 200 km) in the depth of the Gut.-Wiechert surface.

(a) Voir rapport détaillé dans les articles indiqués p. 50.

B) - The oscillation of about 50 years in the magnetic secular variation seems also appear in other geophysical phenomena :

In the oscillation of the sea level, in the rotational speed of the Earth, and in the oscillation of the polar altitude. (G. BARTA - F. MOSETTI).

In the periodicity of earthquakes, from data of European and Asian earthquakes for the period from 1700 to 1930 (F. MOSETTI) ; the greatest number of these earthquakes would result from the outburst of tensions accumulated in mondial scale.

This idea seems corroborate by the sudden changes in the horizontal gravitational pendulums (V.F. BONTCHKOVSKIY), after earthquakes of mondial extent.

C) - As the motion of the large masses changes the level surface, consequently it changes the gravity field. Gravimetric surveys sometimes affirm, sometimes refute the ideas concerning the secular variation of gravity.

For instance, the repetition of the Madison-India connection seems reveal an average increase of 0,4 mGal in India, after 10 years. The direction of this variation concords with theoretical variation seen on the PINTER' map.

In Hungary a part of the survey of 1951-55 was repeated in 1964. A change of g was measured, but it is not yet possible to decide if the change is really called forth by the change of eccentricity of the inner core. Gravimetric surveys will be carried out again every 5 years. (5)

D) - Further, Dr. BARTA studies what sort of energies should cause these variations, because it is natural that the supposed variations and motions of masses are accompanied by significant transformations of energy ?

He computed that the decrease of energy (with the relative increase of the length of a day) is $9,7 \cdot 10^{10}$ erg/year, i.e, is 400 times as high as the amount of the total energy of earthquakes. On the other hand, if the core is moving by an angle of $0^{\circ}2$ westward in a year, its rotation is 1/650.000 less than that of the whole Earth ; consequently, from the rotational energy of the core, $5 \cdot 10^{26}$ erg is converted into heat. It is to been seen that a substantial reason for the decrease of the rotational speed can be the westward motion of the core. The decrease of the rotational speed turns over the energy balance of the inhomogereous earth, which can be one reason for the tectonic motions.

M. LAGRULA signale qu'il a observé quelques variations de pesanteur en Algérie, après les tremblements de terre d'Orléansville et attire l'attention sur les variations constatées au cours des observations au gravimètre (phénomène dit généralement de "dérive").

Il est d'avis que les variations de g en fonction du temps (autres que les variations périodiques de l'effet luni-solaire) ne sont pas forcément des fonctions vraiment séculaires, mais peuvent comporter une suite de discontinuités, liées à des ruptures de tensions provoquées par des mouvements du noyau et des couches moins profondes. La "fluidité" de certaines couches n'exclut pas de fortes viscosités, ni des tensions importantes.

Ce qui paraît continu en première approximation se révèle parfois n'être qu'une suite de discontinuités. C'est ce qu'il a observé notamment concernant la "dérive" de certains pendules et gravimètres.

Conformément à ce schéma, on pourrait avoir des variations momentanées bien supérieures aux variations "séculaires", une secousse produisant une variation dans un sens suivie d'une variation de retour presque équivalente.

Comme cause de variations vraiment séculaires, il faut mentionner les glaciations et fusions, ainsi que leurs réajustements isostatiques, par exemple les relèvements actuels en Finlande et en d'autres régions. Mais, il s'agit là de variations très lentes, et il faudra sans doute très longtemps avant qu'on puisse les mesurer.

Le Dr. CORON attire l'attention sur la nécessité de tenir compte de la structure géologique des régions considérées pour l'observation des variations séculaires de g et la comparaison des divers résultats.

Le Dr. BULLERWELL insiste sur les effets géologiques régionaux qui peuvent entraîner une redistribution de masses, près de la surface et fait d'importantes remarques sur les emplacements des stations du Réseau Gravimétrique de 1er Ordre.

"In addition to the very deep-seated causes of secular changes in gravity, discussed in such an interesting way by Prof. BARTA, these appear to be possibilities of less systematic changes from relatively shallow geological processes which may result in near-surface redistribution of mass."

It is interesting to consider these processes in relation to positions chosen for First Order and Calibration Line stations. Firstly, there is seismicity, and it may be noted that many important gravity stations lie on the Circum-Pacific, Mediterranean and African Rift Valley seismic belts. A second process is volcanicity, and several other gravity stations, such as Honolulu, Catania, Reykjavik (also on a mid-oceanic seismic belt) are near to active igneous centres. Another is isostatic recovery from ice-loading : stations in Northern Europe, Hammerfest, Oslo, Helsinki and Copenhagen might be affected differentially. Even in the aseismic and non-volcanic areas these might be shallow redistribution of mass related to local geology.

In parts of the London area, for example, more than 100ft of strata have been de-watered since the turn of the century, and in some places the water-table is depressed locally to a much greater depth. Similar effects are likely to occur in any centres of rapidly-expanding population or industrial development. Changes of water-table may also be significant in permafrost areas, such as Alaska.

Gravity changes likely to result from redistribution of mass consequent on these processes would have been considered as beyond the limits of measurement when the original F.O. Stations were selected in 1953. With the higher accuracies now reported, however, and particularly with the possibilities of quick, accurate absolute determination in mind, it may be necessary to study these factors more fully from the dual aspects of evaluating their possible effects on closing errors in the world network and as a method of examining the geological processes themselves. Mr. B.C. BROWNE has already stressed the importance of restricting pendulum measurements only to "good" sites, and it may be desirable to consider geological factors in assessing the site conditions.

In pursuing further studies concerning both secular changes and the FOWGN, it might be considered desirable to repeat some of the more important inter-connexions in the shortest possible time at intervals of a few years, and to combine this with the long-term operation of continuously recording gravity meters and seismographs at the stations to be connected".

Le Prof. BOULANGER signale que depuis 1936, des travaux sont effectués en URSS afin d'étudier les variations séculaires de la pesanteur. Des mesures ont été effectuées à travers l'URSS, approximativement le long du parallèle 56°, les différences de pesanteur mesurées ne dépassent jamais 100 mGal. Ainsi, les mesures répétées dans les villes Tbilisi, Minsk, Riga, Talline, Leningrad, Kazan, Sverdlovsk, Omsk, Novosibirsk, Krasnoiarsk et Petropavlovsk sur Kamtchatka n'ont pas montré des variations qui dépassent les erreurs de mesures; les erreurs de mesures se trouvent dans les limites de 0,15 à 0,45 mGal.

On propose de faire des mesures spéciales entre des points présentant de petite différence de g et situés dans des conditions essentiellement différentes au point de vue géologique.

At the end of this session Dr. VOGEL presents a contribution "Theoretical Aspects on secular changes in the Earth's Gravity Field" (See annexe p. 51)

Deuxième Séance :

A la fin de l'après-midi du Vendredi 18 Septembre, de nouveaux échanges de vues furent engagés à propos de la variation séculaire de la pesanteur.

Dr. TENGSTROM stresses upon the fact, that no evidence for a secular change in the Potsdam value has been demonstrated. On the contrary : we should start our discussion after admitting, that a change of the order of tenths of milligals per 50 years has been shown as nonexistent !

However, there might be small changes of secular type in gravity as has been shown to exist for the magnetic field, probably created in the liquid core. If the general tetrahedron-solution for the outer core includes a westdrift of the surface magnetic field, a gravitational parallelity may exist with same drift, due to the massdistribution in the convection currents of the core and their motion. Studying the wavelengths of the magnetic undulations the tetrahedron solution (wavelength 120°) seems to be verified, and comparing the amplitude of corresponding harmonics in the satellite - and gravimetric geoids of today, he concludes that we have to study changes in gravity of the order of 0.05 mGal/year or less rather than 0.2mGal/year, as demanded by BARTA's theory for an excentric inner core and its motion.

Such a small magnitude of secular variation was not yet possible to detect. But for geodesists of the future it is very important to know if it exists and how big its real magnitude is. Otherwise our computed geoids and external gravity fields are not comparable, if we use data, measured over different periods. Several possibilities to investigate this problem practically are :

- 1) To measure relative gravity differences with accurate gravity meters calibrated on north-south calibration lines in regular intervals of time.
- 2) Absolute gravity measurements.
- 3) Astronomical position with up to date precision.
- 4) Horizontal pendulum records from a world wide net of stations, in which each station contributes :
 - a - A constant drift from instrument type.
 - b - Irregular drift from tectonic and other random causes.
(Tectonic drift is random for the whole sample)
 - c - Systematic secular drift, the coefficients of which expanded in spherical harmonics, could be calculated from a world wide adjustement for different time intervals.

Dr. LONCAREVIC points out that there are two possible ways of interpreting P-wave delays on reflection from the mantle-core boundary. The delays can be explained in terms of the undulations of the boundary (as was done by Dr. VOGEL) or as due to the inhomogeneities in the mantle along the propagation path.

If large scale convection currents exist in the mantle then the latter explanation for P-wave delays seems more likely and search for secular variations of g on the basis of the dynamics of an eccentric core will not prove fruitful.

Dr. LAGRULA fait remarquer que la variation séculaire de g peut être influencée par les phénomènes glaciaires (fusion, glaciation) et pense que ce sont surtout des variations locales tectoniques qu'on peut observer par des séries de mesures répétées par exemple tous les 10 ans.

Après l'intervention du Prof. MORELLI sur l'utilisation des pendules horizontaux pour détecter les variations de g, le Dr. STOYKO fait remarquer que les gravimètres donnent des variations locales et qu'il faut se baser sur les variations d'un autre phénomène pour obtenir des variations plus générales :

Pour la détermination de la variation séculaire de la pesanteur, on utilise ordinairement des méthodes différentielles, étant donné que la détermination par la méthode absolue est encore très imprécise et longue. Le fait de ne détecter aucune variation séculaire relative de la pesanteur dans une région, ne permet pas de conclure sur la variation de la pesanteur en général. Par conséquent, il faut utiliser un phénomène qui se rapporte à toute la Terre : c'est la variation de la rotation de la Terre.

Actuellement, on a d'un côté la relation entre la variation du champ magnétique terrestre et la pesanteur, et de l'autre, la variation de la rotation de la Terre. Grâce aux étalons atomiques, on peut suivre la variation de la rotation de la Terre avec une très grande précision en utilisant les observations astronomiques.

On sait qu'une partie de la variation séculaire de la rotation de la Terre est due au ralentissement provenant du frottement des marées océaniques dans les mers peu profondes. Mais actuellement, on détecte des variations progressives de la rotation de la Terre souvent 100 fois supérieures (période 1963-65 : ralentissement de la vitesse de l'ordre de 10^{-8} sec. par jour). On peut expliquer les variations de courte durée (en plus des variations saisonnières) par les variations des conditions météorologiques anormales. Les variations de longue durée, difficiles à expliquer par les variations météorologiques, doivent provenir, dans la plupart des cas, de causes internes au Globe terrestre et doivent produire aussi des variations de pesanteur.

Pour déterminer la partie due à la variation de g, il faut utiliser les pendules à balancier de haute précision et comparer les résultats avec les étalons atomiques. Il est regrettable qu'on ait abandonné actuellement les pendules à balancier dans les Services horaires. Leur utilisation pour des études gravimétriques et géophysiques, présente un très grand intérêt à condition de leur apporter quelques perfectionnements et de les installer dans des caves profondes, à température constante.

La variation du rayon de la Terre influe sur la valeur de la pesanteur et sur la vitesse de rotation de la Terre en fonction de la couche de la Terre qui participe au changement du rayon. Si la Terre tout entière participe uniformément à la variation du rayon, la marche de la pendule à balancier ne varie pas, malgré la variation de la rotation de la Terre à cause de l'élasticité actuelle de la Terre. Ainsi, l'étude de comparaison des pendules à balancier et des étalons atomiques peut permettre de déterminer la variation de la pesanteur suivant le modèle adopté pour la Terre.

Dr. VOGEL says what has been pointed out by Dr. STOYKO is very important. These are fluctuations in the rate of Earth-rotation. Consequently there must be changes in the mass-distribution in the Earth. These variations in the Earth-rotation are correlated with the magnetic field as has been shown by Prof. CAGNIARD. We have to clear again the conclusion that the generation of the magnetic field is connected with mass displacements and consequently changes in the gravity field.

At the end, Dr. TENGSTROM recommended an intime collaboration to be started for solving the secular variation problem practically with Prof. MORELLI's Study Group on the World Wide Gravity Net and with the International Earth Tide Center in Brussels. He also recommended a collaboration with Dr. MARKOWITZ, the International Bureau of Longitudes and International Latitude Service for the same purpose.

A ce sujet, les résolutions n° 3 et 4 sont adoptées par la Commission Gravimétrique Internationale, dans sa séance du Samedi matin 19 Septembre.

x x

x

Publications présentées ou distribuées au cours de la Réunion

- 1) BARTA Gy. - Recent results of Researches into the Secular Variation of Gravity - Typewritten text, Int. Grav. Com. Paris 1965, 8 p.
 - 2) BARTA Gy. - Magnetic and Telluric Research in Hungary in the years 1960-62. Act. Techn. Hung. 1963, n°43, p. 41-48.
 - 3) BARTA Gy. - The Secular Variation in the Geomagnetic Field and other Geophysical Phenomena - Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Geol. 1963 t.VII, p.71-81.
 - 4) BARTA Gy. - Correspondence between the Shape of the Earth and some Geophysical Phenomena - Studia Geoph. & Geod. 1965. n°9, p.214-216.
 - 5) BARTA Gy. - The evolution of the idea of the Secular Variation of Gravity - Boll. Geof. Teor. Appl. 1965, vol.VII, n°25, p. 3-5.
 - 6) BAGI R - Investigation of the Secular Variation of Gravity Field on the basis of Field measurements (Extract). Typewritten text. Int. Grav. Com. Paris, 1965, 2 P.
 - 7) VOGEL A. - Theoretical aspects on secular changes in the Earth's gravity field. Type written text. Int. Grav. Com. Paris, 1965. 4 p. (See annexe p. 51).
-

ANNEXE VI

THEORETICAL ASPECTS ON SECULAR CHANGES IN THE EARTH'S GRAVITY FIELD

By Dr. A. VOGEL

The ideas of Dr. BARTA and my own ideas on secular variations of gravity are the same in at least one respect : We compare both the earth's gravity with its magnetic field.

Dr. BARTA considers one dominating feature in the non-dipol magnetic fields and the gravity anomaly field. There is obviously an eccentricity in both fields.

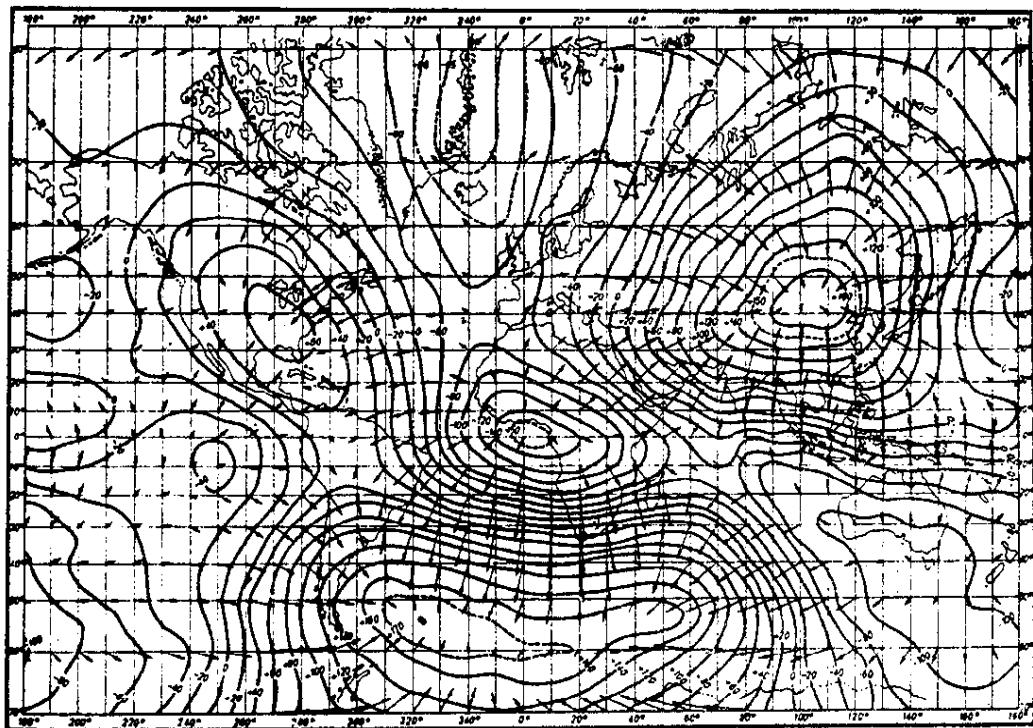
My own starting point is the comparison of all the regional features in both the magnetic and gravity field. There exists a certain correlation between the lower harmonics of the non-dipol magnetic and the gravity anomaly field and consequently the geoidal undulations. This correlation is not a perfect one, but on the contrary, it cannot be shown that there is no correlation. But there is no or very poor correlation between these lower harmonics and the distribution of continent and ocean.

The lower harmonics in both anomaly fields must - just because of their regional distribution and because of the poor correlation to the continents and oceans but because of their similarity - have a common source in the deep interior of the earth.

Some years ago I made an investigation on the depth to the outer-core by evaluating the traveltimes of earthquake waves reflected at the coremantle boundary and found depth-to-core anomalies which are to a certain extent correlated to both the lower harmonics of the non-dipol magnetic and the gravity anomalies : Depth to core and magnetic field (Fig.1) and geoidal undulations (Fig.2).

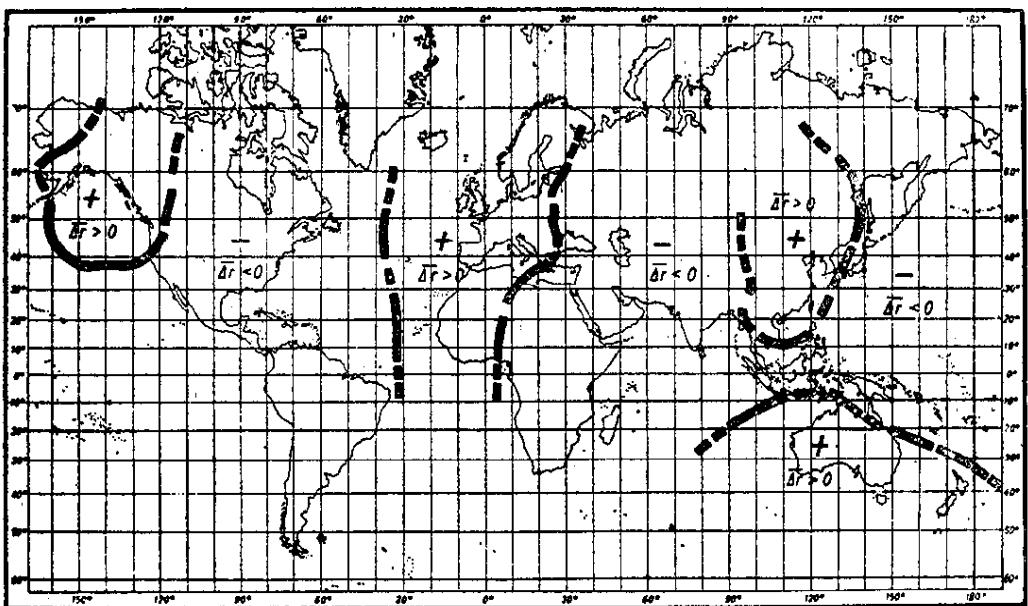
This correlation makes me strongly believe that the lower harmonics in the field and in the magnetic field have their common source close to the mantle-core boundary (this does not exclude the possibility of Dr. BARTA's eccentricity of the inner core). Probably the common source are convection currents in the liquid outer core.

When my paper on the anomalies to depth-to-core and the correlation to the gravity and magnetic field was published, it has been criticized because there is obviously a correlation to the gravity field but the depth-to-core of about ± 50 km should give bigger gravity anomalies if one assumes a density contrast of 4.0 between core and mantle.



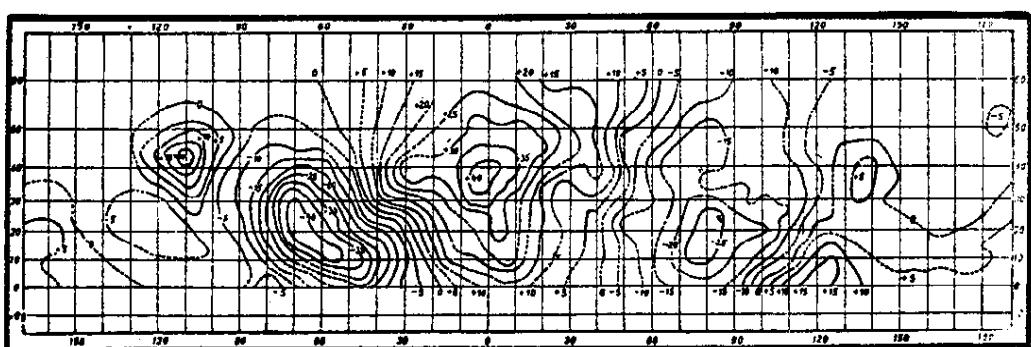
The non-dipole magnetic field for epoch 1935 (after E. C. Bullard).

Fig. 1.



Depth to Earth's core from reflected earthquake waves during the period 1948–1954.

+ less than 2900 km, — more than 2900 km (after A. Vogel).



Geoidal undulations (Columbus Geoid, after W. A. Heiskanen).

Fig. 2.

However, this critique can be contradicted, because the gravity anomalies from the core-mantle boundary undulations have been calculated on the surface of the earth, without taking into account the compensating effect if the anomaly is referred to a point on the geoid. The observed gravity anomalies are referred to the geoid. The theoretical gravity anomalies from the core-mantle boundary which are compared with the observed have also to be reduced to the geoid. This means that we have to calculate the gravity from disturbing masses and their potential in order to get the deformation height of the geoid. The reduction to the geoid is mainly a free air correction which diminishes the pure gravity anomaly.

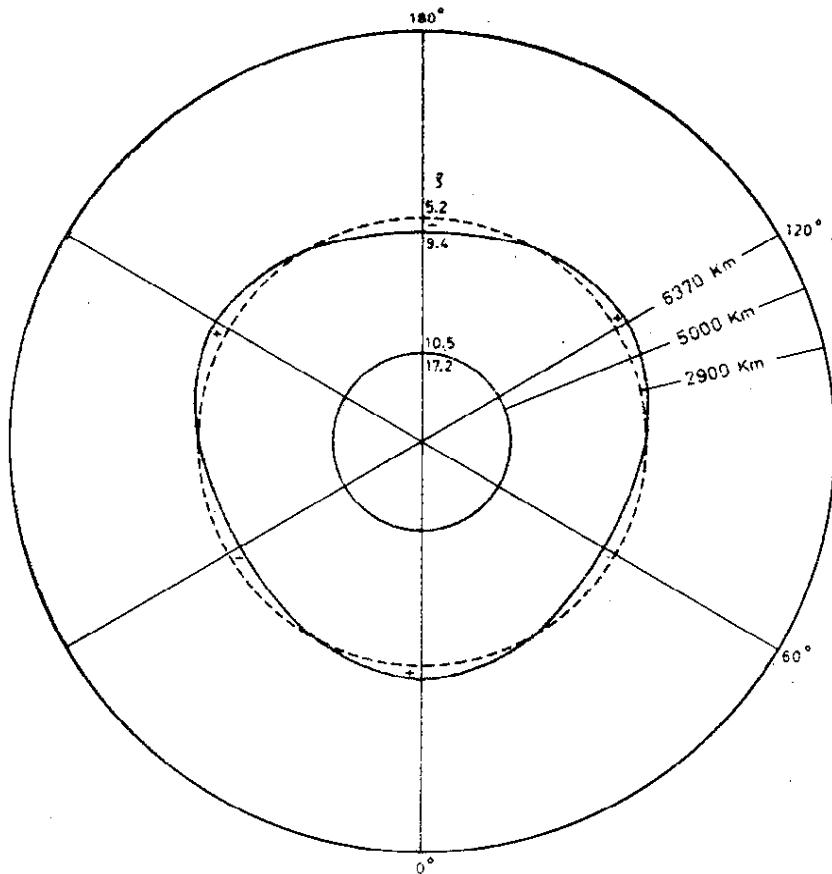
To begin with it will be shown, that if we refer the gravity anomalies to the geoid, depth-to-core undulations of some tens of km can give anomalies which are in magnitude close to the observed. Fig. 3 shows the cross section through the equator of a simple earth model. We assume six circular bumps of the core-mantle boundary round the equator with an amplitude of 10 km and each having the center on the equator. Three of those are mass-excesses and the other three mass-deficiencies. It is worthwhile to notice that the amplitudes in the cross section of these undulations are in the figure about 10 times as much as those which give the observed gravity anomalies, as we will see later on. I have concentrated these mass-excesses and deficiencies to point masses and calculated for points on the equator of this theoretical earth the gravity anomalies and the disturbing potentials. Fig. 4 shows the pure gravity anomalies, the geoidal undulations calculated from the disturbing potentials and the gravity anomalies reduced to the geoid by free air correction.

As we can see in Fig. 4 the theoretical gravity anomalies on the geoid from undulations of the core mantle boundary of 10 km magnitude are close to the observed ones.

If we proceed to the real theoretical mass distribution on the core-mantle boundary we need a bigger amplitude, about twice as much, to get gravity anomalies close to the observed, which means about 20 km. This is close to the depth to core anomalies of some tens of km which I found by studies of seismic wave propagation.

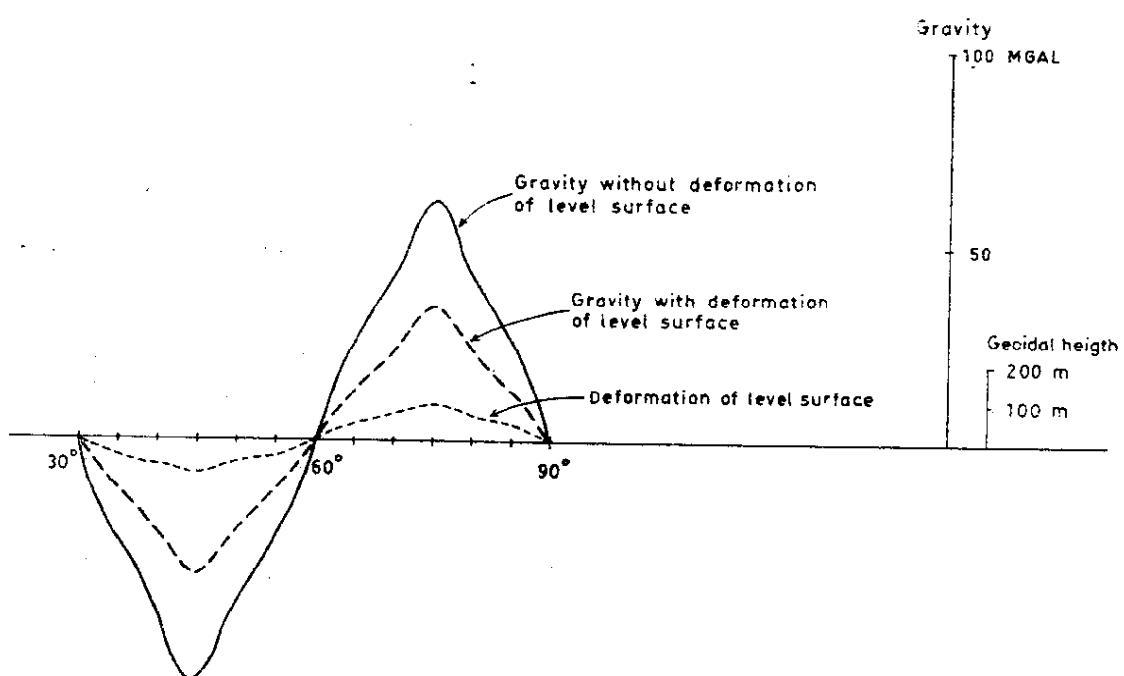
The magnetic non-dipol field is drifting westward. There are certain features in the field which are drifting with about $0.2^\circ/\text{year}$. We can make the extreme assumption that the lower harmonics in the gravity field, which are correlated to the non-dipol field, are drifting with the same amount. From the theoretical model we get a change which is in an extreme case 0.2 mGal/year . In reality we have not three areas with positive gravity anomaly and three with negative anomaly distributed around the equator but we have three or four big areas of each distributed on the globe. If one distributes the bumps of our theoretical model over the whole core-mantle boundary we will regarding all latitudes generally get changes in gravity which are less than $0.1^\circ/\text{year}$.

Let us now consider the real earth. We start from the Bouguer anomalies reduced to the geoid and make the assumption that these anomalies are drifting westward with $0.2^\circ/\text{year}$.



Theoretical model of core-mantle boundary
Equatorial section

Fig. 3



Surface gravity anomaly and geoid along the equator of an earth model assuming undulations of the core-mantle boundary of 10 km amplitude and 4.0 g/cm^3 density contrast. Anomalous masses are approximated by point masses.

Fig. 4

From the east-west gradient of this anomalies one can easily calculate the change in one year for a point on the geoid. Generally the change is less than 0.1 mGal/year.

From studies on earthtides we know that the crust due to elastic properties of the earth follows to a certain extent even the short period diurnal and half-diurnal deformations of the levelsurfaces in the earth's gravity field. We know that even the upper part of the crust has a secular plasticity. From this we must conclude that the crust follows closely any secular deformation of the geoid. A point at the earth's surface changes therefore its gravity value according to its reference point on the geoid.

One objection is always made. The changes of gravity which we expect should give changes in the geoid and consequently changes in the sealevel. In case of a west-drift of 2° /year it would be in extreme cases 1 meter in 2 or 3 years. This is not in reality what happens, because the crust follows the deformation of the geoid.

Obviously it follows not exactly. As Dr. BARTA has shown that there are variations of sealevel and the most interesting fact is that these changes of the sealevel are related to the earth's magnetic field and changes in the rate of the earth's rotation. This proves again that the generation of the magnetic field is connected with changes in the mass distribution in the earth's interior and consequently changes in gravity.

What can we do in the future to detect secular changes of gravity ? The question is not if there are or if there are no secular changes of gravity. The question is how big they are. Even if the existing theories about secular variations from mass displacements in the earth's deep interior are wrong, we must admit, that there must exist secular changes of gravity due to tectonic movements, lava flow, etc... close to the earth's surface

Regarding secular variations of gravity the following investigations should be made :

- 1) - Absolute and relative gravity measurements at such places where one can expect the biggest effect with respect to existing theories and repeat those from time to time. Error adjustments of gravity measurements in the world wide net made at different epoch should be avoided.
- 2) - Studies which indicate indirectly secular variations of gravity, as comparison of the gravity and magnetic field, sealevel, earth's rotation and other geophysical phenomena that indicate mass displacement in the earth's interior. Studies of seismic wave propagation will give a valuable contribution. We are preparing a new investigation on depth-to-core and start as soon as it will be supported.

References :

- BARTA Gy. (See p.50)
- LUCKE O.-Z. Geophys. 1960, 26, Heft 1.
- Gerlands Beitr. Geophys. 1961, 70, Heft 1
- VOGEL A.- Gerlands Beitr. Geophys. 1960, 69, Heft 3
- 2. Geophys. 1960, 26, Heft 6

XI - QUESTIONS INSTRUMENTALES

Au cours de 2 séances tenues respectivement Mercredi et Vendredi (15 et 17 Septembre), le Prof. REICHENEDER a présenté les publications suivantes qui ont été distribuées aux délégués au cours de la Réunion. Les remarques faites dans ces articles sont relatives aux appareils de mesure et permettraient d'améliorer la précision obtenue dans les résultats ou les comparaisons d'appareils.

- 1) - "About the influence of the height of measuring system in a gravimeter"

("Einige Bemerkungen zur sogenannten Bezugshöhe beim Schwerpendel")
Typewritten text, 4 p. + Fig.

"The gravitational attraction of pillars or walls, where a gravimeter is fitted up may produce considerable changes of the normal gradient, as shown in 2 examples. Therefore the measured gravity difference between 2 places varies somewhat with the height of the measuring system. In the given example, a correction of some 0,01mGal would be necessary".

This work (German text) will be published in "Gerlands Beitr. Geophys. 1966. (Letter of 10.28.1965)

- 2) - "Some remarks on the so-called reference high of a gravity value measured with the pendulum". Typewritten text. 4 p.

"The terms "reference-high" and "measured gravity", sometimes used in measurements with reversible pendulum, are critically considered. It is pointed out, that the well known equations of the movement of a pendulum are only valid on the assumption of a homogenous gravity field. The exact solution in the case of an inhomogenous field (3) is stated by a close formula. In the opinion of the author, the reference-high is a superfluous term, because the gravity in the height of the measuring place only is of interest. The reduction is described, when different pendulums are used".

- 3) - Das Pendel im inhomogenen Schwerefeld. Gerlands Beitr. Geophys. 1965. 74. Heft 3. S. 218-229.

Please, correct in the equations (6), (18) and (26) of this publication n° 3 (Letter of 10.28.1965)

+1/3072 instead of -5/3072

Note :

In addition, the following paper recently received :

K. REICHENEDER - "Einfluss von Abstimmsschrauben in einem Pendel"

Gerlands Beitr. Geophys. 1965, 74, Heft 2
S. 127-132

"It is calculated how much the period of a pendulum, especially a reversible one, is changed by turning a screw (radius 2, length 2 λ) provided for synchronization".

In a letter (August 1965) Dr. Lloyd G.D. THOMPSON mentioned the following paper : "New quartz gravity Instruments".
(Geo. Space Gravity Observatory).

"A digital, force-balanced, miniature quartz mobile gravity meter has been developed primarily for aerial gravity measurements. A quartz gravity gradiometer has also been developed primarily for earth tide studies. Based on these two instruments, a series of new instruments for different applications are being developed".

This gravity gradiometer is basically a very sensitive quartz micro-balance with two equal masses suspended from the balance arms. The quartz element is contained in a pyrex chamber about 5" in diameter and 5" high with the masses hanging on quartz fibers in pyrex tubes suspended below the chamber. In the vertical gradiometer one mass is suspended one meter below the other. The sensitivity is adjusted by increasing or decreasing a third mass suspended just below the center of the system. The instrument is supported in a tripod frame about 5 feet high and 3 feet across at the base. An electronic transducer detects minute variations in tilt of the balance arm caused by changes in the gravity field acting on the two masses. The signal is recorded on an analogue potentiometer recorder.

The sensitivity of the instrument is basically infinite but is limited by ground disturbances which generally only allow a precision of 1 to 10 Eötvös Units. However, in the very stable environment on the natural rock outcrop at the Geo Space Gravity Observatory a precision of 1 to 10 Eötvös Units has been achieved and greater sensitivity is possible...

XII - ANOMALIES de PESANTEUR - ISOSTASIE -

Le Dr. LAGRULA présente au cours de Vendredi après-midi 18 Sept., son étude sur "l'ébauche d'une théorie de la formation des continents".(2)

Le caractère essentiel de la répartition entre les domaines océanique et continental, correspondant aux termes du 1er ordre (dans le développement du relief en séries de fonctions sphériques) consiste en une dissymétrie, difficile à expliquer par des phénomènes d'origine interne (contraction, convection, expansion etc...).

Par contre, cette dissymétrie est compatible avec une origine externe de la différentiation (obliquité de l'écliptique et excentricité de l'orbite terrestre) à condition d'admettre que les couches superficielles du Globe ont subi des déplacements par rapport à l'axe de rotation : il s'agirait d'une glaciation totale (antécambrienne) survenue dans des conditions astronomiques favorisant une notable dissymétrie climatique.

Imaginons, dans l'antécambrien reculé, la Terre à l'état "naturel" ne comportant que la fonction sphérique d'ordre zéro (il s'agit du "panthalassa", océan mondial uniforme). Que survienne alors une période glaciaire à dissymétrie accentuée, et la banquise de la région polaire la plus froide prend des dimensions énormes. Venant toucher le fond de l'océan la banquise se transforme en un inlandsis. Au fur et à mesure de la croissance de ce dernier, le réajustement isostatique grâce à l'érosion et à la sédimentation sous-crustales, développe une racine compensatrice. Le réchauffement qui succède à la période froide provoque la fusion de l'inlandsis ; ce transfert de H₂O du domaine glaciaire au domaine océanique peut s'effectuer beaucoup plus rapidement que l'inverse : le réajustement isostatique de la fusion est donc essentiellement constitué par un mouvement ascendant de la racine qui devient ainsi le continent primitif.

Dr. LAGRULA rappelle ensuite la loi qu'il avait énoncée en 1950, sur la permanence du niveau "eustatique" des océans, en d'autres termes, sur l'indépendance de l'altitude moyenne des continents par rapport au volume des inlandsis ; si l'eau des océans actuels était totalement transformée en glace continentale, l'altitude moyenne des continents qui est quasi nulle à condition de ne pas omettre les plateaux continentaux, resterait quasi nulle, compte tenu des réajustements isostatiques ; la surface des continents en dessous de la glace serait au même niveau moyen que les fonds océaniques. On retrouve ainsi ce qui est considéré comme l'état de l'écorce terrestre à la fin de la glaciation envisagée, qui aurait été totale.

Il paraît difficile de considérer comme fortuite une telle concordance d'une loi concernant l'eustatisme et d'un schéma de la formation des continents.

A propos des anomalies de pesanteur, nous citerons la note du Dr. TANNER relative à une étude sur la répartition des anomalies (positives et négatives) dans une région volcanique (3)

Recent studies at the Dominion Observatory have suggested that geological features such as folded volcanics belts and basic intrusions may be isostatically compensated by either faulting or warping of the crust. Gravity observations over the Cape Smith belt indicate a large positive anomaly over the folded belt of volcanic rocks which is flanked by parallel regional negative anomalies. Although small granitic masses are found within the volcanic belt there is, as yet, no evidence of granites or other light density material underlying the areas of negative anomaly.

Therefore, it appears reasonable to suggest that we are observing an isostatic effect. The very high density volcanic rocks constitute a load on the crust and should be compensated by a root at the base of the crust. The root could take the form of a crustal downwarp or possibly a down-faulted bloc.

Recent unpublished work over large gabbroic intrusions also indicated regional negative anomalies flanking the positive Bouguer anomaly over the intrusion. The best explanation of this phenomena at present is crustal warping. If we assume that there was a gradual downwarping of the crust as the magma, which formed the basic intrusion, penetrated it and formed an anomalous mass distribution, which explains the negative Bouguer anomaly can be readily derived.

It should be emphasized that other interpretations of these Bouguer anomalies are possible and investigations using other techniques, such as seismic methods, should be carried out in order to verify these results.

Publications présentées ou distribuées au cours de la Réunion

- 1) Van AUTENBOER T. - Gravity Measurements in the Sør-Rondane Mountains, Dronning Maud Land - Centre Nat. Rec. Pol. de Belgique, Ist. Géol. Université de Louvain, Série VIII, p.532-537.
"Résultats de 33 mesures de pesanteur en Antarctique, effectuées par les expéditions Antarctiques belges de 1958 & 1959. Carte des anomalies de Bouguer".
- 2) LAGRULA J. -Ebauche d'une théorie de la formation des continents - C.R. Acad. Sc. 1965, t.260, p.4365-4367
- 3) TANNER J.G. & R.K. McCONNELL - The Gravity Anomaly Field in the Ungava Region of Northern Quebec. Gravity Map series of the Dom.Obs. 1964. N°5-6.

ETALONNAGE DES GRAVIMETRES A QUARTZ
AVEC FIL DE TORSION HORIZONTAL

K Ja.Koz'jakova

(Académie des Sciences de l'URSS
Travaux de l'Institut de Physique du Globe)
1964, n° 31 (198)

III - ETALONNAGE DES GRAVIMETRES PAR LA METHODE
D'INCLINAISON

1. Fondements de la méthode

La méthode d'étalonnage par inclinaison est basée sur le fait que c'est la pesanteur totale g qui agit sur le système sensible du gravimètre lorsque celui-ci est horizontal, tandis que, c'est une force moindre, égale à $g \cos \alpha$ qui interviendra lorsque le gravimètre fera un angle α avec l'horizontale. Dans cette méthode, la différence de pesanteur étalon se calcule d'après l'angle α mesuré et la force de pesanteur g connue au point d'observation, par la formule :

$$\Delta g \lambda = g - g \cos \alpha \quad (45)$$

Le Δg_r mesuré par le gravimètre est la différence des indications de l'appareil en positions horizontale et inclinée :

$$\Delta g_r = g_r^{\circ} - g_r^{\alpha} \quad (46)$$

Le coefficient d'échelle est fourni par le rapport :

$$\lambda = g \lambda / \Delta g_r \quad (4)$$

2. Description d'une installation pour étalonnage par inclinaison

Une installation pour l'étalonnage des gravimètres par inclinaison a été montée en 1955 au Laboratoire Aérogravimétrique de l'Institut de Physique du Globe de l'Académie des Sciences de l'URSS. Elle se compose d'une plaque principale que l'on peut incliner sur l'horizontale, d'une plaque de réglage complémentaire, et d'un instrument goniométrique et d'un miroir. (Fig. 10).

* Voir 1ère partie, Bulletin d'Information n° 9
Pour Fig. et Tab., se reporter au texte original.

La plaque principale est assez massive ; sa surface utile est renforcée par des nervures de rigidité éliminant toute déformation perceptible au cours du travail sur les gravimètres pendant l'étalonnage. La plaque présente un dispositif spécial pour y installer le gravimètre que l'on peut faire tourner en azimuth et bloquer dans la position voulue. Une vis de levage permet d'incliner la plaque par rapport à l'horizontale d'un angle allant de 0 à $\pm 5^\circ$, tout en sauvegardant l'axe horizontal de rotation de la plaque. Deux autres vis de la plaque servent à régler celle-ci au cours de l'étalonnage. Les trois vis de levage s'appuient sur des billes.

La petite plaque auxiliaire est nécessaire pour régler l'axe de rotation de la plaque principale. Les billes étalonées sur lesquelles s'appuient les vis de réglage se situent dans des rainures prismatiques ménagées dans la plaque auxiliaire. Le plan de la petite plaque est parallèle aux arêtes du prisme où se trouvent les billes.

L'axe de rotation de la plaque principale passant par le centre des billes peut donc être réglé à l'aide de la plaque auxiliaire.

Comme instrument goniométrique nous avons utilisé un théodolite optique "OT-02" et un cercle vertical de Hildebrand. Les oculaires des tubes de visée de ces instruments étaient équipés d'un dispositif complémentaire pour recourir au procédé de mesure par auto-collimation des angles verticaux (fig 6).

La pièce principale de l'installation est le miroir utilisé dans la mesure de l'angle d'inclinaison du gravimètre. Ce miroir est rigidement fixé au gravimètre à l'aide d'un dispositif spécial. Si la conception du gravimètre ne permet pas de fixer le miroir sur son corps, ce miroir est fixé sur la plaque principale (fig.10). La monture du miroir possède une vis micrométrique (fig.7) permettant, au cours du réglage, d'incliner le plan du miroir sous de faibles angles par rapport à l'axe de rotation de la plaque.

3. Calculs fondamentaux de la précision de mesure des angles et des tolérances sur l'obliquité des axes de l'installation

Au cours de plusieurs années de pratique de l'étalonnage de gravimètres, on a mis au point une méthode de mesure des angles d'inclinaison de la plaque par le cercle vertical de Hildebrand et le théodolite optique "OT-02" avec le procédé d'autocollimation.

Cherchons avec quelle précision il faut mesurer l'angle α pour déterminer la différence étalon avec une erreur relative de $\pm 1.10^{-4}$.

La pesanteur au point où s'effectue l'étalonnage n'a besoin d'être connue qu'approximativement, car il résulte de la formule (45) que : $m(g) = \pm 1.10^{-4}g$.

Différentiant (45) par rapport à α , nous avons :

$$d(\Delta g_\lambda) = g \sin \alpha d\alpha \quad (47)$$

Comme $\alpha \leq 5^\circ$, on peut prendre $\sin \alpha \approx \alpha$, d'où

$$d(\Delta g_\lambda) = g \alpha d\alpha \quad (48)$$

Remplaçant les différentielles par les erreurs quadratiques moyennes, nous obtenons l'expression suivante de l'erreur de mesure $m(\alpha)$:

$$m(\alpha) = \frac{m(\Delta g_\lambda)}{g \alpha} \quad (49)$$

Posant $m(\Delta g_\lambda) = 1.10^{-4} \Delta g_\lambda$ et $g = 981,6$ Gal, calculons les erreurs admissibles de mesure des angles pour différents intervalles Δg_λ .

Les résultats des calculs sont consignés au tableau 13 ; ils montrent que pour étalonner les gravimètres avec une précision $\pm 1.10^{-4}$, il faut mesurer les angles d'inclinaison du fil de torsion sur l'horizontale avec une précision de l'ordre de $\pm 0,30$ à $\pm 0,80''$ pour les intervalles d'étalonnage allant de 500 à 3000 mGal. Nous sommes parvenus à atteindre cette précision avec les instruments goniométriques que nous avons choisis moyennant quatre à six mesures.

Dans l'installation décrite, les principales sources d'erreurs, influant sur la précision de mesure de l'angle d'inclinaison du système à quartz sont :

- 1) La qualité du miroir,
- 2) Le non parallélisme du plan du miroir et de l'axe de rotation de la plaque,
- 3) Le non parallélisme de l'axe de rotation de la plaque et de l'axe horizontal de l'instrument goniométrique,
- 4) La non perpendicularité du système à quartz sur l'axe de rotation de la plaque,
- 5) L'obliquité des axes de l'instrument goniométrique.

Les impératifs à imposer au miroir sont les mêmes.

Considérant que l'obliquité de chacun des axes agit comme une erreur aléatoire, nous trouvons que la tolérance d'obliquité de chaque axe ne doit pas dépasser $\gamma / \sqrt{5} \approx 11,2'$ ($\gamma = 25'$).

4. Réglage de l'installation pour l'étalonnage des gravimètres par la méthode d'inclinaison.

On peut en principe opérer le réglage des axes de l'installation d'étalonnage des gravimètres par le procédé déjà décrit (Chap.II, § 4). A la base de ce procédé nous avons la mesure d'un angle constant, invariable pour les diverses positions du plan du miroir et de l'axe de rotation du corps tournant. Mais il est techniquement difficile de donner à la plaque principale une inclinaison constante par la vis de levage. Aussi le réglage a été accompli de la façon suivante :

1) A l'aide d'un niveau amovible, on rend horizontale la plaque auxiliaire et donc l'axe de rotation de la plaque principale. A cette fin on utilise un niveau gradué par 10".

2) A l'aide du même niveau, on rend horizontale la plaque principale.

Comme il faut connaître, dans les gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal, l'angle d'inclinaison α dans le plan vertical contenant le fil de quartz, le réglage ultérieur de l'installation s'est fait dans l'ordre suivant :

3) Tournant de 180° le gravimètre en azimuth dans deux directions perpendiculaires et mettant à profit le niveau longitudinal du gravimètre qui avait été réglé avant l'étalonnage, on rend vertical l'axe de rotation du système à quartz. L'axe de rotation vertical du système à quartz apparaît au cours du réglage. (Autrement dit, le plan où tourne le système à quartz est horizontal et parallèle au plan de la plaque principale).

4) Pour établir la perpendicularité du fil de torsion du gravimètre par rapport à l'axe de rotation de la plaque, on prend les indications du gravimètre en position inclinée pour divers angles d'inclinaison du système à quartz par rapport à l'axe de rotation. Ces différents angles d'inclinaison sont obtenus en faisant tourner en azimuth le pied du gravimètre fixé à la plaque principale (fig.10). Les angles de rotation du gravimètre sont lus sur une échelle portée par la plaque. On construit le graphique des indications du gravimètre en fonction de l'angle de rotation α en azimuth du système à quartz. Les graphiques sont tracés pour des angles d'inclinaison de la plaque égaux à $+\alpha$ et $-\alpha$.

La fig.11 montre le graphique afférent au gravimètre "GAE-3" n° 2513. L'angle α a été porté en ordonnées. Ce procédé de réglage du système à quartz est commode parce que lors des inclinaisons de la plaque sous divers angles, les déplacements possibles du pied par rapport à celle-ci peuvent être immédiatement décelés sur le graphique.

L'abscisse correspondant au minimum de la courbe révèle l'indication de l'échelle pour laquelle le fil de torsion du système à quartz est perpendiculaire à l'axe de rotation de la plaque. C'est dans cette position que l'on bloque le gravimètre sur cette dernière.

5) On règle l'instrument goniométrique, ainsi que le réseau de l'oculaire.

6) On rend le plan du miroir parallèle à l'axe de rotation de la plaque. On y parvient à l'aide de la vis micrométrique du miroir. Lorsque ce parallélisme est assuré, l'image du croisement des fils dans le champ de vision ne se déplace pas en azimuth par rapport au bissepteur de visée pour toute inclinaison de la plaque.

Lors de l'étalonnage, le gravimètre a été incliné au-dessus et au-dessous de l'horizon sous un angle identique et l'on a pris dans ces positions les indications correspondantes du gravimètre et du cercle vertical de l'instrument goniométrique de l'installation d'étalonnage. Les observations ont été accomplies pour divers angles d'inclinaison de façon à étudier l'intervalle complet de fonctionnement du système à quartz.

5. Description des procédés de dépouillement des résultats de mesures, formules de calcul

La différence de pesanteur étalon a été calculée par la formule déjà mentionnée :

$$\Delta g_\lambda = g (1 - \cos \alpha) \quad (45)$$

La valeur de Δg_λ a été empruntée aux tables du travail [12]* d'après g et α donnés. La différence de pesanteur mesurée par le gravimètre, a été calculée par la formule :

$$\Delta g_r = g_r^o - g_r^\lambda \quad (46)$$

où g^o est la pesanteur relative, mesurée par le gravimètre en position horizontale, g^λ la même lorsque l'axe du fil de torsion est inclinée de l'angle α .

La grandeur Δg_r est calculée comme étant la moyenne des indications du gravimètre pour $+\alpha$ et $-\alpha$, c'est à dire :

$$\Delta g_r = \frac{1}{2} [(g_r^o - g_r^{+\alpha}) + (g_r^o - g_r^{-\alpha})] \quad (50)$$

- Pour les gravimètres Norgaard, g_r se calcule par la formule :

$$g_r = Cm^2 + Dm^3 + Em^4 \quad (20)$$

Il est commode d'emprunter g_r aux tables du travail [13]*

- Pour les gravimètres "SN-3", g_r se trouve par l'expression :

$$g_r = g_o (A'_0 + A'_1 q + A'_2 q^2)$$

Pour le calcul de g_r on peut utiliser les tables du travail [12]

- Dans le cas des gravimètres "SN-3" et Norgaard, on affecte le g_r mesuré d'une correction d'oscillation conjointe exprimée en milligals. Cette correction est toujours introduite avec le signe plus.

- Pour les gravimètres "GAE-2" et "GAE-3", g_r se trouve par l'expression

$$g_r = g_o \left(\frac{1}{\cos \gamma} - 1 \right)$$

où γ est l'angle d'écart du système à quartz, mesuré par le cercle vertical du dispositif de lecture du gravimètre ; g_r se calcule par les tables [12]

* 12 - BOULANGER Ju.D.KOZ'JAKOVA K.Ja. - Tables pour l'exploitation des observations sur gravimètres "GAE-3" et "SN-3", Pékin, 1958.

* 13 - BOULANGER Ju.D. - Tables pour le dépouillement des observations sur gravimètres à quartz. Moscou, Ed. de l'Ac. Sci. URSS, 1952.

La valeur du g_o de tous les gravimètres, étalonnés par la méthode de l'inclinaison se calcule par la méthode des approximations successives décrite dans les travaux [12, 13].

On rappelle que le coefficient d'échelle est donné par la relation :

$$\lambda = \Delta g_\lambda / \Delta g_r$$

6. Résultats d'étalonnage des différents types de gravimètres par la méthode d'inclinaison

A partir de 1955, on a étalonné au Laboratoire Aérogravimétrique de l'Institut de Physique du Globe de l'Acad. des Sc. de l'URSS des dizaines de gravimètres Norgaard, "SN-3", "GAE-2" et "GAE-3" par la méthode d'inclinaison. Trois buts ont été poursuivis : contrôle de la méthode d'étalonnage géométrique, démonstration de l'étalonnage possible par la méthode d'inclinaison des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal et étude des échelles de lecture des gravimètres de ce type.

Etalonnage des gravimètres Norgaard

Les premiers essais avec étalonnage par la méthode d'inclinaison ont été accomplis en 1949. Ces études ont montré que, malgré la bonne concordance interne des mesures dans l'étalonnage par inclinaison, se caractérisant par une erreur de $\pm 1.10^{-4}$, les erreurs systématiques ont atteint $+ 63.10^{-4}$. Par ailleurs, il n'existe pas d'autre méthode d'étalonnage qui soit comparable, par la précision des mesures, à la méthode d'inclinaison et c'est pourquoi l'on n'a pas trouvé la cause de l'erreur systématique.

Au Printemps 1955, lorsque l'on eût mis au point une méthode d'étalonnage des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal et que la méthode géométrique eût été vérifiée sur les gravimètres "GAE-3", dont le coefficient d'échelle est égal à l'unité, on a pu revenir à la méthode d'étalonnage par inclinaison.

Pour tirer au clair les raisons des erreurs systématiques, on a étalonné le gravimètre Norgaard n° 1416 par les méthodes d'inclinaison et géométrique, pour deux fixations différentes de l'appareil à la plaque. Dans la première fixation, le gravimètre était directement fixé par quatre serre-joints avec serrage de la base inférieure portant les billes ; dans la seconde on fixait le pied à la plaque et on y installait le gravimètre. Le miroir d'étalonnage du gravimètre Norgaard était fixé à la plaque.

Cette expérience a permis d'établir que la première fixation ne convient pas, car la base inférieure du gravimètre se déforme, ce qui altère la constante L. Il est apparu que l'erreur systématique des coefficients d'échelle $\lambda_1 - \lambda_2$ obtenus avec les différentes fixations atteint une valeur de l'ordre de 25.10^{-4} . (tab.14).

En fixant le gravimètre à la plaque, il faut donc créer des conditions similaires à celles du travail du gravimètre *in situ*, c'est à dire qu'il faut installer le gravimètre sur son pied, lui-même fixé à la plaque, en vue de l'étalonnage.

Le tableau 15 donne les résultats d'étalonnage de trois gravimètres Norgaard. (méthode géométrique et méthode d'inclinaison, voir page suivante).

Nous voyons que la méthode d'étalonnage par inclinaison se caractérise en moyenne par une précision de l'ordre de $\pm 0.6 \cdot 10^{-4}$.

La comparaison des coefficients d'échelle obtenus par les méthodes d'inclinaison et géométrique fait ressortir une bonne convergence. Le gravimètre n° 1473 fait exception. La différence systématique entre coefficients, déterminés par des méthodes différant dans leur principe, est apparue être en moyenne de $-1,3 \cdot 10^{-4}$, ce qui ne dépasse pas les erreurs de détermination.

Etalonnage des gravimètres "SN-3"

A partir de 1955 et jusqu'en 1957, on a étalonné par la méthode d'inclinaison six gravimètres "SN-3". Ces mêmes gravimètres ont été aussi étalonnés par la méthode géométrique. On a pris en considération toutes les causes possibles d'erreurs systématiques dans ces gravimètres dont nous avons déjà parlé. L'étalonnage a été exécuté avec le plus de soin possible.

Avant l'étalonnage les appuis et les coussinets ont été vérifiés, tous les mécanismes amovibles ont été ôtés et les corps mobiles équilibrés ; les systèmes à quartz ont été ajustés sur la gamme maximale de mesure de la pesanteur.

La correction de zéro de la vis micrométrique a été mesurée avant et après étalonnage par des observations multiples. Le dépouillement des résultats a eu lieu avec le moyen de toutes les mesures.

La stabilité du pied étant différente dans les méthodes géométrique et d'inclinaison, l'oscillation conjointe a été déterminée avant et après étalonnage pour chacune des méthodes séparément. Dans l'étalonnage des gravimètres "SN-3" par la méthode d'inclinaison, le miroir a été fixé à la plaque (fig.12).

Le tableau 16 donne les résultats. Nous voyons que les deux méthodes fournissent la même valeur du coefficient d'échelle et que la différence ne dépasse pas les erreurs de détermination de cette différence. En moyenne, si l'on excepte le gravimètre n° 10548, cette différence est $+ 0,5 \cdot 10^{-4} \pm 1,0 \cdot 10^{-4}$. Dans le gravimètre n° 10548, la correction de zéro du micromètre était notablement différente d'une méthode à l'autre. (Voir page suivante).

Comparaison des résultats obtenus sur 2 types de gravimètres
par les 2 méthodes Géométrique et d'Inclinaison

Tableau 15 - Gravimètres Norgaard

n° du Grav.	Gamme mgal	λ méthode Géométrique	λ méthode d'Inclinaison	$\Delta\lambda$	$m(\Delta\lambda)$
1416	1200	$0,99542 \pm 9.10^{-5}$	$0,99548 \pm 6.10^{-5}$	-6.10^{-5}	$\pm 11.10^{-5}$
1473	1400	$0,99336 \pm 8$ "	$0,99366 \pm 5$ "	-30 "	± 9 "
1602	1400	$0,99559 \pm 5$ "	$0,99561 \pm 8$ "	-2 "	± 9 "
:	:	:	:	:	:

Tableau 16 - Gravimètres "SN-3"

8836	2000	$1,00136 \pm 2.10^{-5}$	$1,00125 \pm 6.10^{-5}$	$+10.10^{-5}$	$\pm 6.10^{-5}$
11091	2000	$1,00219 \pm 4$ "	$1,00205 \pm 10$ "	$+14$ "	± 11 "
12905	2000	$1,00009 \pm 3$ "	$1,00018 \pm 15$ "	-9 "	± 15 "
18660	1200	$0,99928 \pm 4$ "	$0,99941 \pm 10$ "	-13 "	± 11 "
19040	1500	$1,00279 \pm 3$ "	$1,00258 \pm 8$ "	$+21$ "	± 9 "
10548	2000	$1,00094 \pm 3$ "	$1,00144 \pm 7$ "	-50 "	± 8 "
:	:	:	:	:	:

Comparaison des résultats obtenus sur les gravimètres "GAE-3"
par les 2 méthodes Géométrique et d'Inclinaison

Tableau 21

n° du Grav.	Méthode Géométrique	$M(\lambda)$	Méthode de l'Inclinaison	$M(\lambda)$	$\Delta\lambda$	$M(\Delta\lambda)$
2511	1,00004	$\pm 2.10^{-5}$	0,99991	$\pm 9.10^{-5}$	$\pm 13.10^{-5}$	$\pm 9.10^{-5}$
2513	1,00006	± 3 "	1,00001	± 6 "	± 5 "	± 7 "
2743	0,99992	± 4 "	0,99988	± 7 "	± 5 "	± 8 "
Moyenne	1,00000	:	0,99993	:	$+ 7.10^{-5}$	$\pm 8.10^{-5}$

La bonne convergence des coefficients d'échelle déterminés par des méthodes différent dans leur principe montre que dans une gamme de 2000 mgal, les deux méthodes sont équivalentes par la précision et ne sont point affectées d'erreurs systématiques.

Les données de ce tableau confirment une fois de plus que les gravimètres "SN-3" requièrent un étalonage. A cause de l'inexactitude des mentions du certificat, les erreurs systématiques atteignent 1 à 3 mgal sur 1000 mgal.

Etalonnage des gravimètres "GAE-2" et "GAE-3"

Comme on l'a vu précédemment, le coefficient d'échelle des gravimètres "GAE-3" est voisin de l'unité : $1,00001 \pm 2.10^{-5}$. On a donc chercher à vérifier la méthode d'étalonnage par inclinaison sur ces appareils dont le coefficient d'échelle est connu.

Les premiers essais de détermination des coefficients d'échelle du gravimètre "GAE-3" par la méthode d'inclinaison ont été accomplis en mars 1955. Ces essais ont fourni des résultats encourageants. En Juillet 1955 on a étalonné le gravimètre "GAE-3" n° 2513. Le problème s'est alors posé d'étudier la méthode d'étalonnage par inclinaison pour les différences de pesanteur importantes, c'est à dire, pour de fortes inclinaisons. Comme les gravimètres Norgaard et "SN-3" possèdent une gamme seulement de 1500 à 2000 mgal, on n'a pas pu les utiliser.

Le gravimètre "GAE-3" n° 2513 a été ajusté sur une gamme d'environ 4000 mgal et étalonné pour des Δg de l'ordre de 3500 à 1800 mgal. Ces mesures ont révélé que le coefficient d'échelle est de $0,99976 \pm 0,9.10^{-4}$ (pour $\Delta g = 3500$ mgal) et de $1,00015 \pm 1,8.10^{-4}$ (pour $\Delta g = 1800$ mgal). La différence systématique entre coefficients d'échelle déterminés pour des Δg différents s'est trouvée égale à $3,9.10^{-4} \pm 2.10^{-4}$.

En Septembre, on a étalonné par inclinaison le gravimètre "GAE-2" n° 2296 afin d'étudier surtout les erreurs systématiques de cette méthode pour les Δg importants. Ce gravimètre avait été étalonné en 1953 sur des points à pesanteur connue et en 1954 au laboratoire par méthode géométrique...

Pour mettre à jour les erreurs dues à la rigidité différente de la fixation du gravimètre à la plaque, l'appareil a été étalonné pour deux procédés de fixation. Dans le premier cas, le gravimètre était fixé avec son pied par la vis centrale de ce dernier à la plaque ; dans le second, à l'aide de serre-joints spéciaux directement à la plaque. Dans les deux variantes, le miroir était fixé à la plaque et son réglage restait inchangé. Dans le premier cas, pour une gamme $\Delta g = 3300$ mgal le coefficient d'échelle s'est trouvé égal à : $0,99437 \pm 2,3.10^{-4}$ et dans le second, sur la même gamme, à : $-0,99976 \pm 0,8.10^{-4}$.

Comparons ces coefficients aux coefficients d'échelle tirés de la méthode géométrique. Dans le premier cas la différence systématique s'est trouvée égale à $= 1,00013 - 0,99437 = + 57,6 \cdot 10^{-4} \pm 2,5 \cdot 10^{-4}$ et dans le second à : $= 1,00013 - 0,99976 = +3,7 \pm 0,9 \cdot 10^{-4}$. La première fixation est donc apparue insuffisamment rigide. Cet essai a montré de façon convaincante que dans l'étalonnage par inclinaison, il faut fixer le miroir au gravimètre (fig.13). Avec ce procédé de fixation, on mesure directement l'angle d'inclinaison du gravimètre et on élimine l'influence de la déformation de la plaque et des vis. On peut supposer, sur le fondement de ces données, que l'erreur systématique importante commise dans les travaux de 1949-1950 était due à la fixation insuffisamment rigide du gravimètre à la plaque de levage et à la déformation de la base inférieure du gravimètre (pour les appareils "SN-3" et Norgaard) dont nous avions déjà parlé.

La petite différence systématique $3,7 \cdot 10^{-4}$ (second procédé de fixation) semble avoir une autre raison, car elle dépend de la gamme d'étalonnage et reste constante d'un procédé de fixation à l'autre du gravimètre à la plaque (tab.17)

On a suggéré que la raison de cette erreur systématique réside dans le fait qu'aux angles d'inclinaison importants (angle de l'ordre de 5°) les conditions d'équilibre du système à quartz sont autres qu'en position horizontale. En d'autres termes, on observe, pour des angles d'inclinaison importants, une relation entre le coefficient d'échelle et l'angle d'inclinaison. On pouvait supposer que cette petite différence systématique est due à l'obliquité du système à quartz par rapport à l'axe de rotation du gravimètre.

En 1958 et début 1959, on a étalonné trois gravimètres "GAE-3" par les deux méthodes de laboratoire. Grâce à la haute précision des mesures des angles, on a réussi à déceler cette erreur systématique due à la déformation du miroir monté.

Le miroir est fixé dans sa monture par des vis de serrage sous les quelles est interposé du liège ou du caoutchouc. Cette fixation déforme la surface utile du miroir, d'où erreurs systématiques de mesure des angles.

Le tableau 18 donne les résultats d'étalonnage par inclinaison de trois gravimètres "GAE-3". Les mesures ont eu lieu avec un miroir unique, et une seule et même fixation dans la monture, mais sans vérification préalable. Malgré la bonne convergence des coefficients d'échelle aussi bien pour les différentes gammes que d'un appareil à l'autre, ces résultats sont affectés d'une erreur systématique de l'ordre de $3,5 \cdot 10^{-4}$. Cette erreur systématique est due à la déformation du plan du miroir due à sa fixation dans la monture, ce qui a bien été confirmé par la suite par des études spéciales.

Les ateliers confectionnant ces miroirs n'ont pas de procédés de vérification des miroirs montés. G.S. Markov a proposé d'utiliser une installation d'étalonnage par méthode géométrique pour vérifier le miroir monté.

Le miroir monté est rigidement fixé à l'axe d'un cercle vertical de haute précision. Dans notre cas, on a employé un cercle de Hildebrand. Puis le plan du miroir et l'axe de rotation du cercle vertical ont été réglés par le procédé déjà décrit à propos de la méthode géométrique. Pour mesurer les angles d'inclinaison du miroir par procédé d'auto-collimation, on a recouru à un théodolite "OT-02".

On s'est donné et on a mesuré les angles sur le cercle vertical de Hildebrand ; les mêmes angles ont été mesurés au théodolite "OT-02" par auto-collimation. En conférant des angles d'inclinaison variés au miroir, on a pu étudier différentes portions de ce dernier. Cette vérification des miroirs a confirmé une fois de plus l'exactitude du réglage des axes de l'installation lors de l'étalonnage par méthode géométrique. Dans l'étalonnage consécutif des gravimètres, tous les miroirs ont été vérifiés soigneusement une fois montés, avant étalonnage.

Le tableau 19 donne un exemple de dépouillement complet des observations lors de l'étalonnage par inclinaison du gravimètre n° 2513 sur une gamme $\Delta g = 3200 \text{ mgal}$; α est l'angle d'inclinaison du système à quartz sur l'horizontale, calculé comme étant la moyenne de $+\alpha$ et $-\alpha$, γ l'indication du gravimètre, λ le coefficient d'échelle, les grandeurs Δg_λ , g_r ont été calculées d'après les tables de travail [12]. Il résulte de ce tableau que la méthode d'inclinaison donne, pour les gravimètres à fil de torsion horizontal du type "GAE-3", un coefficient d'échelle égal à l'unité ($1,00004 \pm 6,10^{-5}$) même lorsque l'inclinaison du système à quartz sur l'horizontale atteint 5° . Il s'ensuit que la méthode d'inclinaison peut être appliquée à l'étalonnage des gravimètres à fil de torsion horizontal dans une large gamme et assure une précision élevée de la définition des coefficients d'échelle.

Le tableau 20 donne les résultats d'étalonnage des trois gravimètres "GAE-3" (n° 2511, 2513 et 2743). Les erreurs ont été calculées par les formules :

$$\text{m } \lambda = \pm \sqrt{\frac{[v \cdot v]}{n(n-1)}}$$

où n est le nombre de mesures accomplies pour déterminer le coefficient d'échelle d'une gamme unique et

$$M(\bar{\lambda}) = \pm \sqrt{\frac{[p \cdot v \cdot v]}{[p] \cdot (k-1)}}$$

où k est le nombre de gammes, p le poids, pris proportionnel à Δg^2 , $\bar{\lambda}$ la moyenne pondérée.

Nous voyons que le coefficient d'échelle, obtenu dans l'étalonnage par inclinaison, du groupe de gravimètres "GAE-3" est apparu égal à : $0,99993 \pm 4.10^{-5}$. Ces données confirment une fois de plus la linéarité rigoureuse de l'échelle.

Le Tableau 21 (voir p.67) compare les coefficients d'échelle obtenus par méthode d'inclinaison et géométrique.

La différence des coefficients et les erreurs sur ces différences figurent aux deux dernières colonnes. La concordance des λ obtenus par les deux méthodes différant dans leur principe est apparue pleinement satisfaisante. Sur deux appareils, les écarts ont été inférieurs à 1.10^{-4} et sur le troisième de l'ordre de $1,3.10^{-4}$. En moyenne sur le groupe d'appareils, l'écart systématique a été de $0,7.10^{-4} \pm 0,8.10^{-4}$, c'est à dire qu'il se situe dans les limites des erreurs de mesure.

En 1955, 1956 et 1957, les gravimètres "GAE-3" ont été étalonnés sur la base étalon soviétique.

En moyenne, d'après les mesures sur le groupe des trois gravimètres "GAE-3" (n°2511, 2513 et 2517), le coefficient d'échelle est apparu égal à $1,00012 \pm 1.6.10^{-4}$.

Le coefficient d'échelle moyen des gravimètres "GAE-3" pour les trois méthodes d'étalonnage :

- (- Géométrique $\lambda = 1.00001 + 2.10^{-5}$)
- Inclinaison $\lambda = 0, 99993 \pm 4.10^{-5}$
- In situ $\lambda = 1,00012 \pm 16.10^{-5}$)

est apparu être de $1,00002 \pm 5.10^{-5}$, c'est à dire pratiquement égal à l'unité.

Ces résultats prouvent, d'une part, la haute précision de la détermination des coefficients d'échelle atteinte dans les travaux de 1955 à 1959 et d'autre part, que les différences des accélérations de la pesanteur mesurées par les gravimètres "GAE-3" s'obtiennent directement dans le système GGS ; ces gravimètres ne requièrent donc pas d'étalonnage. La vérification expérimentale des gravimètres "GAE-2" et "GAE-3" a montré que l'on avait réussi à créer un gravimètre pour mesures relatives de l'accélération de la pesanteur analogue à un appareil pendulaire mais plus précis et d'un rendement des dizaines de fois supérieur.

x

x

x

CONCLUSIONS

Les polygones d'étalonnage utilisés à l'étranger assurent une précision ne dépassant pas $2 \text{ à } 4.10^{-4}$. Sur le territoire de l'URSS, on a créé les 15 dernières années, des polygones étalons et de contrôle dont la précision représente $1,5 \text{ à } 2,0.10^{-4}$.

Parallèlement à l'accomplissement de travaux de haute précision sur le terrain, on a étudié au Laboratoire Aérogravimétrique de l'Institut Physique du Globe de l'URSS, les méthodes d'étalonnage au laboratoire. A la suite d'un travail expérimental ardu et de longue haleine, on a réussi à atteindre par les méthodes de laboratoire, une précision d'étalonnage des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal de $\pm 1.10^{-4}$.

On a mis au point de nos jours deux méthodes différant dans leur principe d'étalonnage des gravimètres des types indiqués : les méthodes géométrique et d'inclinaison. Ces deux méthodes, se contrôlant réciproquement, permettent l'étalonnage au laboratoire sans avoir à recourir à l'étalonnage dispendieux sur points. Par ailleurs, les méthodes élaborées sont apparues plus précises que les méthodes *in situ* en usage, ce qui est d'un grand intérêt pratique. Les nouvelles méthodes permettent d'étudier avec autant de détails que l'on veut les échelles de lecture des gravimètres.

Les méthodes d'étalonnage décrites ont été utilisées en URSS et à l'étranger. En 1959, l'auteur a étalonné expérimentalement, par la méthode d'inclinaison, des gravimètres marins "GAL". Elle a obtenu des résultats encourageants. Actuellement, ces gravimètres sont étalonnés avec succès par la méthode d'inclinaison au Laboratoire Aérogravimétrique déjà cité. Ces mêmes méthodes ont été appliquées à l'étalonnage des gravimètres utilisés par la Direction Principale de Géodésie et de Cartographie du Ministère de la Géologie et des Mines de l'URSS.

Par les méthodes mises au point on a étalonné des gravimètres Norgaard et "SN-3" en République Populaire Chinoise, Tchécoslovaquie et autres pays.

A la suite de l'étalonnage des gravimètres à quartz Norgaard et "SN-3" on a créé un nouveau gravimètre qui a reçu le sigle "GAE". L'étalonnage soigneux des gravimètres "GAE-3" a montré que les nouveaux gravimètres présentent des coefficients d'échelle égaux à l'unité avec une précision de 1.10^{-4} , au moins dans une gamme atteignant 3500 mgal, c'est à dire que les différences d'accélération de la pesanteur mesurées par ces gravimètres s'obtiennent avec la même précision relative, directement en système CGS.

La création des gravimètres "GAE-3" a donc résolu pour une bonne part le problème des déterminations relatives des Δg importants à l'aide de gravimètres....

=====