

ASSOCIATION INTERNATIONALE DE GÉODÉSIE

---

BUREAU GRAVIMÉTRIQUE  
INTERNATIONAL

---

N° 9

---

Bulletin d'Information

Juillet 1965

39 ter, RUE GAY-LUSSAC  
— PARIS 5° —

BUREAU GRAVIMÉTRIQUE  
INTERNATIONAL  
Paris

=====

BULLETIN D'INFORMATION  
Juillet 1965  
N° 9

\_\_\_\_\_

T A B L E   d e s   M A T I E R E S

---

COMMISSION GRAVIMETRIQUE INTERNATIONALE

- Deuxième circulaire (texte français et anglais) .....	p. 1
- Papers to be presented at the Meeting (first list) .....	p. 5
- Other suggestions .....	p. 6

INFORMATION

I) Collaboration with the UPPERMANTLE COMMITTEE .....	p. 8
Carte .....	p. 9
II) Recent information on the Sea Gravity Measurements .....	p. 10
III) Special Study Group 5 (Prof. MORELLI) .....	p. 11
IV) Sur la variation séculaire de la pesanteur et de la direction de la verticale .....	p. 11
Carte .....	p. 12
 <u>TRANSLITTERATION (ISO) DES CARACTERES CYRILLIQUES</u> .....	 p. 13

BIBLIOGRAPHIE

I) <u>Mesures absolues de la pesanteur</u> .....	p. 14
II) <u>Problèmes d'étalonnage des gravimètres</u> .....	p. 19
A - GENERALITES : méthodes d'étalonnage (en laboratoire et sur le terrain) - méthodes de compensation	
B - Système d'étalonnage EUROPE-AFRIQUE .....	p. 22
- observations pendulaires .....	p. 22
- observations au gravimètre .....	p. 23
- rapports et compensation .....	p. 25
C - Chaînes d'étalonnage AMERIQUE .....	p. 30
D - Chaîne d'étalonnage OUEST-PACIFIQUE .....	p. 31
E - COMPARAISON de diverses échelles d'étalonnage .....	p. 31
(instruments, réseaux)	

<b>III) Réseau International de Premier Ordre</b>	
A - Rapports généraux - Renseignements sur les stations .....	p. 33
B - Liaisons entre les stations de premier ordre .....	p. 35
- Systèmes de Potsdam et de Bad Harzburg	
- Observations pendulaires .....	p. 36
- Observations au gravimètre .....	p. 37
<b>IV) Variation séculaire de la pesanteur .....</b>	<b>p. 39</b>
<b>V) Mesures de gradient vertical de la pesanteur .....</b>	<b>p. 43</b>

ETALONNAGE DES GRAVIMETRES A QUARTZ AVEC FIL DE TORSION  
HORIZONTAL

K.Ja. KOZ'JAKOVA - Trav. Inst. Ph. Gl., Acad. Sci. URSS, 1964, n° 31 (19D),	
- Traduction partielle (en français) .....	p. 46

Vth MEETING OF THE INTERNATIONAL GRAVITY  
COMMISSION

---

13-18th Sept., 1965

Second Circular

My dear Colleague,

Following the circular letter which was sent to you on the 3rd December, 1964, I wish to remind you that the meeting of the International Gravity Commission will be held in Paris :

from Monday 13th September to Saturday 18th September, 1965

1. Place of meeting :

As in 1962 the meeting will take place at the

Institut d'Astrophysique, 98 bis, Boulevard Arago, Paris XIVème

2. Registration forms :

Persons who have not yet returned the registration form enclosed with the first circular letter to the International Gravity Bureau will find a second copy attached hereto : they are earnestly requested to return this form to us as soon as possible.

Moreover, a room reservation form is also attached to this circular letter. If you want us to book a hotel room for you please forward this form to us properly filled in immediately because it will be very difficult to book a room only a few days before the meeting.

A registration fee of 50 Francs (\$ 10.00) per person will be collected (please pay the Secretary when registering).

3. Time schedule :

Persons taking part in the meeting are requested to report directly to l'Institut d'Astrophysique, 98 bis, Boulevard Arago, where all sessions will be held. Delegates' registrations will take place on Monday 13th September from 11 to 12 a.m. and 2 to 3 p.m.

Monday 13th September

11 to 12 a.m. )	Welcoming the delegates. Distribution of the documents.
2 to 3 p.m. )	Opening session
3 to 4 p.m.	Break
4 to 4.30 p.m. )	Work session. Establishment of the definitive agenda and of the time schedule, formation of working groups
4.30 to 6 p.m. )	

On the following days the work sessions will take place as follows :

Morning

9.30 to 10.45 a.m.	Work session
10.45 to 11.15 a.m.	Break
11.15 to 12.30 a.m.	Work session

Afternoon

2.30 to 4 p.m.	Work session
4 to 4.30 p.m.	Break
4.30 to 6 p.m.	Work session

A boat tour of a gloriously lit up Paris by night and a dinner will be organised on Thursday or Friday.

A small number of delegates who are specially interested in Absolute Measurements can go to see Dr. Sakuma's measurements (Pavillon de Breteuil, near Paris). Interested delegates will receive further information in due time.

4. Agenda :

This agenda includes problems which may be termed classical and which have already been discussed several times at previous meetings (of the Gravity Commission or Section IV) as well as more recent problems created by the evolution which occurred these last years in certain general ideas in connection with geodesy.

Both will be presented by a Chairman who is requested to furnish a short written report, to be sent to the International Gravity Bureau for advance duplication. The report will be distributed among the delegates and will serve as a basis for the discussion which shall be conducted by the Chairman. Delegates who wish to take part in the discussion are kindly requested to send all necessary information to each Chairman (if possible before the 15th June) with a copy to the International Gravity Bureau.

You will find hereunder a list of the questions under consideration as well as names suggested for the appointment of Chairmen. The latter are requested to send us their acceptation as soon as possible. Should they be unable to attend we ask them to suggest a possible replacement.

List of questions on the agenda and of suggested Chairmen

I - International Gravity Bureau's Report

- Recording of gravity data on punched cards
- Gravity anomaly maps (mean free air, Bouguer anomalies)
- Discussion

Prof. P. TARDI  
Dr. S. CORON

II - Absolute value of gravity

As Dr. Cook is unable to attend the General Report he had presented at former meetings will be divided as follows :

a) - Recent measurements, in progress or in project

Every interested gravimetrist will present a short report on his work (instruments, measurements, results) ; two copies of these reports should reach the International Gravity Bureau before the 15th July. The I.G.B. will duplicate them in the required number of copies if necessary.

b) - Connections between absolute stations Prof. C. MORELLI  
- Corrections to the Postdam system

c) - Discussion of the value of the equatorial gravity accepted in September 1964 by the International Astronomical Union (Hamburg General Assembly) after analysing the orbits of the satellites.

Prof. P. TARDI

III - First Order International Gravity Network and standardisation problems

a) - Measurements carried out on the international calibration lines

Europe-Africa	Prof. M. KNESSL
America	Dr. D. RICE
West Pacific	Prof. T. OKUDA

Comparison and adjustment of measurements carried out with pendulums and gravity meters.

b) - Present state of the First Order Network and discussion of a first overall adjustment.

c) - Definition and possible establishment of a first order gravity network for Europe.

These discussions will be organised by Prof. Morelli.

IV - <u>Measurement of gravity at sea</u>	Instruments, reductions, results	Prof. L. WORZEL
V - <u>Airborne gravity measurements</u>		Dr. O. WILLIAMS
VI - <u>Secular variations of gravity</u>		Dr. G. BARTA
VII - <u>Vertical gradient of gravity</u>		Prof. L. CONSTANTINESCU
VIII - <u>Use</u> of gravity anomalies of several types in geodesy. Test area in the West Alps.		Dr. E. TENGSTROM
IX - <u>Instrumental questions</u>		
X - <u>Miscellaneous</u> , definition of various anomalies, various topics (terminology, density, etc...)		

This agenda is not definitive. We are interested in all the suggestions you can make.

#### 5. National Report :

In accordance with the terms of the previous circular letter every Nation is requested to supply a National Report (in 100 copies) before the 15th July, dealing with the following points :

- a) - Ties between first order stations
- b) - Ties between the reference stations of each country and the first order stations or the neighbouring reference stations (or the boundary stations)
- c) - Present state of the national network : text, published maps.

The titles of all papers which are presented as well as at least one copy of same should have reached the I.G.B. before the 15th July in order to be entered on the detailed agenda. All delegates are requested to bring the 100 copies with them at the meeting for distribution in session or else to send their text in advance in order to have it printed by the I.G.B.

Hoping you will be able to attend this meeting .....

14th May, 1965.

PAPERS TO BE PRESENTED AT THE MEETING (13-18th Sept. 1965)

First List

I - Absolute Determination of Gravity :

E. FALLER - On the new falling interferometer-laser measurement that the author (and J. HAMMOND) are now working on. "The actual design of the apparatus is being greatly influenced by the work I had previously done at Princeton where I used a falling interferometer together with light fringes. With the new laser apparatus we expect an order of magnitude improvement over my previous work which achieved an accuracy of 7 parts in  $10^7$ ".

T. HONKASALO - Absolute gravity measurement with long wire pendulum.  
Report on first experiments.

II - First Order International Gravity Network and Standardization Problems :

T. HONKASALO - Joint adjustment of the national gravity nets of the North-European countries.

T. OKUDA - Preliminary report on the Western Calibration Line to be conducted by Japanese Pendulum Group.

Ch.T. WHALEN - On the Calibration Lines : "The 1381st Geodetic Survey Squadron, USAF, has completed observations on the American Calibration Line (ACL) with 7 small LaCoste and Romberg gravimeters, and on the Euro-African Calibration Line (EACL) and West Pacific Calibration Line (WPCL) with 4 small LaCoste and Romberg gravimeters".

III - Measurements of Gravity at Sea :

B.D. LONCAREVIC - Problem of intercalibration and testing of sea gravimeter : "Two years ago the Dominion Observatory and the Bedford Institute of Oceanography established Halifax gravity test range fifty miles southeast from here, using over 200 bottom gravimeter measurements. This range was used extensively in October 1963 when we made several thousand comparative measurements. The report on these measurements is now being published and will be available before the meetings in September.

In August of this year H. NOTH and M.S. SNELLIUS will be carrying out evaluations of the reliability of their gravimeter measurements and later on this year other groups are planning to use this range. We feel that it is extremely important at this stage of the development of techniques of gravity measurements at sea to agree and accept an international intercomparison standard for evaluation of these measurements. This is the only way in which we can reliably compare and tie together surveys at sea accomplished by different groups".

M. TALWANI - New developments in gravity measurements on surface ships.  
 T. TSUBOKAWA, M. TAZIMA & T. SETO - Three strings surface-ship gravimeter.  
 L. WORZEL - Errors in surface-ship gravity measurements.

**IV - Use of Gravity Anomalies in Geodesy :**

- E. TENGSTROM - 1) The present state of the Test Work in the West Alps (Sp. St. Gr. n° 5).  
                   2) What information is necessary to have in a gravity catalogue to enable the computation of all suitable gravity anomalies from the Free Air and simple Bouguer (2.67).

**V - Instrumental Questions :**

- K. REICHENEDER - Die Bezugshöhe beim Schwerependel. Der Einfluss der Höhe des Messsystems im Gravimeter.

**VI - Gravity Anomalies and Isostasy :**

- J. LAGRULA - Schéma d'une théorie de l'origine des continents (isostasie).  
 Chr. OELSNER - Kurzvorträge zur angewandten Gravimetrie.  
     1) Bessere Ausnutzung des Informationsgehaltes von Schweremessung durch Berechnung von Feldfortsetzungen.  
     2) Ergebnisse von Schweremessungen im Kingsbay-Gebiet (West Spitzbergen).

**VII - National Reports :**

- AUSTRIA : Bericht über die Schweremessungen in Österreich (1963-65).  
 JAPAN : National Report.  
 POLAND : Rapport National, by C. KAMELA.

**OTHER SUGGESTIONS FOR THE AGENDA (13-18th Sept. 1965)**

I - L. JONES (Belgique) - Cooperation éventuelle entre le B.G.I. et d'autres Commissions ou Groupes de Recherches.

II - L. JONES (Belgique) - Rédaction éventuelle d'un Traité de Gravimétrie de caractère international.

III - J. BODDIN (Leipzig) - Terminologie :

1. Emploi de l'abréviation "mGal" comme "mVolt" et "mAmp" au lieu de "mgal" ou "mgl".
2. Suppression en gravimétrie du mot "isogamme" qui se rapporte au magnétisme et emploi du mot "isogale".

IV - Distinction entre les anomalies "à l'air libre" et les anomalies "de FAYE"  
(à propos de l'article de N.P. MAKAROV, Izvestia, 1965, n° 1, p. 77).

V - T. WHALEN (Orlando AFB) - Discussion on the accuracy of dial factor tables determined by LaCoste-Romberg for their gravimeters, since a large part of the gravimeters measurements which will be incorporated in the calibration lines and First Order World Net will be made with these instruments.

VI - Carte d'anomalies à l'air libre par degré carré.

---

**I N F O R M A T I O N**  
=====

I - Collaboration with the UPPER MANTLE COMMITTEE (U.M.C.)

From US Naval Oceanographic Office (answer to Note published in Bull. Inf., Feb. 1965, n° 8).

"The US Naval Oceanographic Office has been cooperating with Study Group n° 5 of the Int. Ass. Geod. in a program of international gravity connections. These measurements have been made at various cities visited during Project MAGNET airborne geomagnetic surveys. Since October 1962, when gravity measurements were initiated, 8 gravity surveys have been completed including one now in progress. Project MAGNET is a continuing program of world-wide surveys and for this reason it could make substantial contributions to the gravity program as outlined by the Upper Mantle Committee.

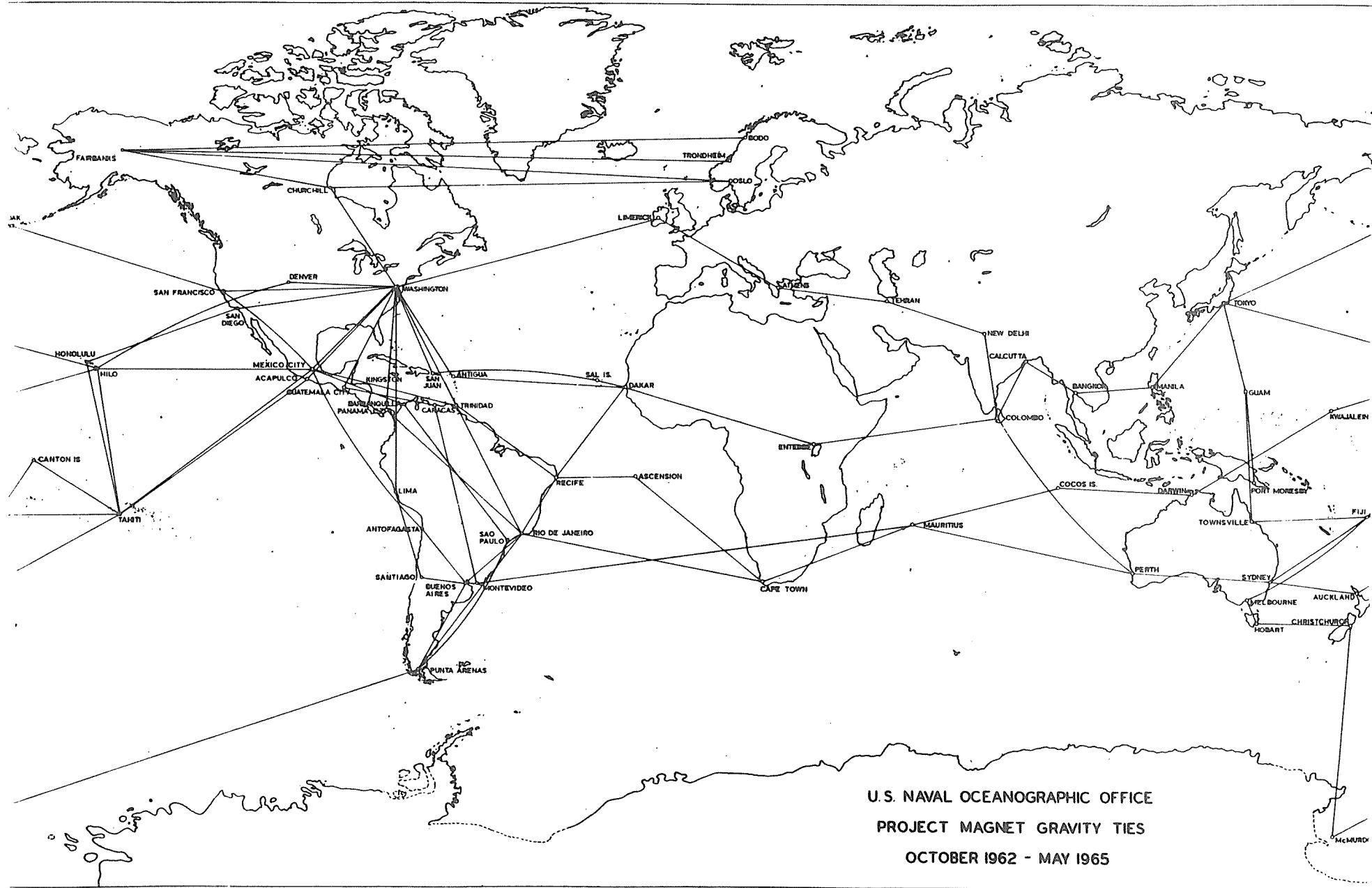
In the Bull. Inf. n° 8, reference was made to the Upper Mantle Committee's proposal to select special gravity sites in the Indian Ocean and New Guinea-Solomon Island areas. These permanent gravity bases would be established for the purpose of investigating the anomalous gravity field in the study areas as revealed from an analysis of satellite orbital perturbations. Regional deviations in gravity may be related to convection movement within the earth and a program of continuing precise gravity connections between key points in these anomalous areas and areas of normal gravity over a period of years might give significant information on convective transfer within the mantle.

The International Gravity Commission has stated its intention to cooperate more closely with the Upper Mantle Committee by informing them of areas where gravity ties are desirable based on work already done. As a contribution to this program, the Oceanographic Office is forwarding in enclosure (1) a chart showing Project MAGNET gravity connections accomplished to date. Enclosure (2) contains descriptions of gravity stations measured in the study areas to aid in the selection of permanent gravity bases. In addition to the sites already proposed by the Upper Mantle Committee, we would recommend the following for consideration : Capetown, Mauritius, Cocos Island, Bangkok and Fidji".

(by Ch.C. BATES, 19 May 1965)

(1) See chart page 9.

(2) Gravity stations : Mowbray, South Africa (FOWGN)  
 Perth, West Australia  
 Colombo, Ceylon  
 Manila International Airport, Philippines  
 Mauritius International Airport  
 Cocos Island Airport  
 Nadi A.P., Gate 5, Fidji Islands  
 Port Moresby Airport, New Ginea.



II - Recent information on the sea gravity measurements :

a) The Hydrographic Department of the Navy is "now undertaking sea gravity surveys. We have taken delivery of one Graf Askania Sea Gravimeter and two more are on order.

In an area off Gibraltar (between parallels 34° and 37°N. to the neighbourhood of meridian 11°W.), bathymetric, gravity and magnetic surveys have just been completed. The gravity surveys were commenced using the Cambridge meter and completed with our new meter. Results are now being processed and we expect to be able to forward gravity values at a density of 36 per degree square in the autumn.

We hope very shortly to commence a gravity survey off North West Spain, surveying a large area up to about 120 miles off-shore".

b) In addition to these relatively large scale surveys-HMS "VIDAL" and the Netherlands Navy Ship "SNELLIUS" have been running E.-W. lines across the North Atlantic Ocean at a 3 degree latitude spacing in a project entitled "Operation NAVADO". Bathymetric, gravity and magnetic results will be published in profile form... .

(HYDROGRAPHIC DEPARTMENT, London, 9th June '65

The revised schedule of ports of call of HNMS "SNELLIUS" until the end of the NAVADO III Program is the following :

Norf. lk	26 April - 11 May
Ponta Delgada	approx. 24 May
Lisbon	28 May - 1 June
Horta, Fayal	approx. 5 June
New York	17 June - 22 June
La Coruna	approx. 5 July
<u>Den Helder</u>	11 July - 19 July
Londonderry (Halifax)	2 August - 5 August 23 August - 1 Sept.
Calibration of grav. at the test range	26 August - 30 August
Portland	14 Sept. - 17 Sept.
<u>Den Helder</u>	19 Sept.

(The HYDROGRAPHER of the R. Netherlands Navy,  
20 April and 18th May 1965)

c) Measurements at sea were undertaken in the Skagerrak by the Institute of Geodesy in Copenhagen with a Graf gravimeter. Other measurements are in progress in Greenland in an area on the south western coast. Furthermore the gravimeter has been taking measurements during the crossing of the Atlantic Ocean from Copenhagen to Greenland.

(GEODAETISK INSTITUT, København, Jun. 1965)

III - Special Study Group n° 5 :

A Meeting was held in Turin (24-25th April 1965) by the members of this Group n° 5 connected with Standardization Problems in Gravity.

The principal topic discussed was the results obtained with pendulums : problems concerning the stability of Gulf pendulums (tares and creep), and the question of a new temperature calibration for Cambridge pendulums remained still open.

A detailed report on the observational results will be presented in September.

The adjustment will be considered later ; at present Professor MORELLI and Professor WOLF are planning the subdivision in blocks for partial adjustments.

Pendulum Results :

The provisional data of gravity pendulum observations made in 1963-64 on the EACL and NACL were given at this Meeting :

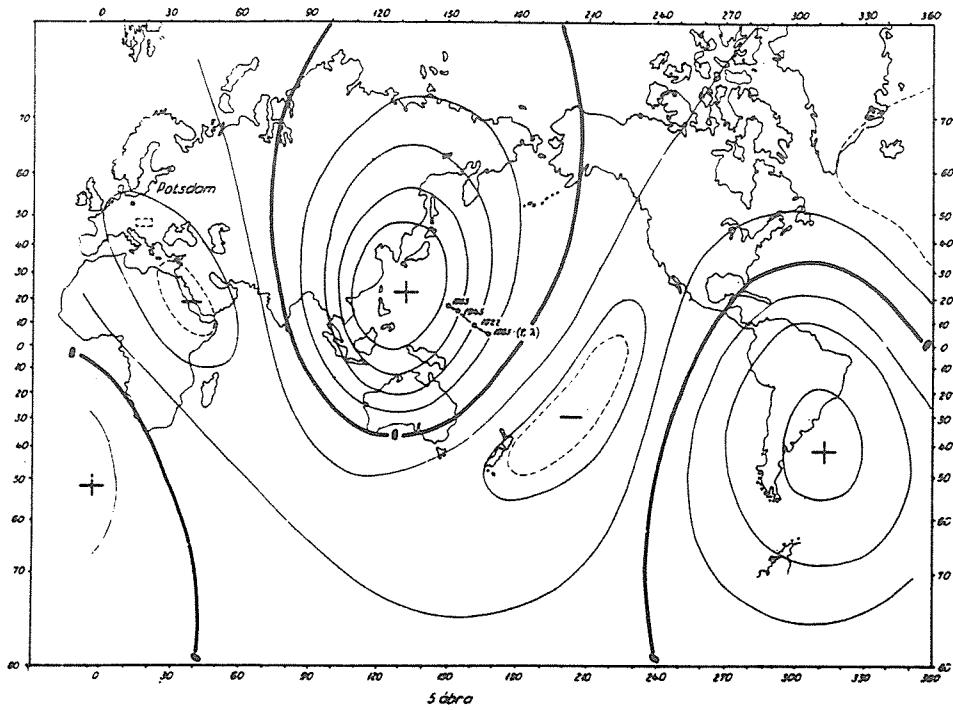
- (1963) Askania-4 pendulums (Pf. MATEO) : Madison, .... Washington, Teddington, Potsdam, Teddington, Rome, Nairobi.
- (1964) Cambridge pendulums (Dr. GOUGH) : Teddington-Washington-Denver-Great Falls-Edmonton-Fairbanks-Point Barrow (and back) .... Denver.
- (1964) Cambridge pendulums (Pf. BROWNE) : Denver-Monterrey-Mexico-La Paz-Denver-Washington-Teddington.
- (1964) Gulf pendulums (WOOLLARD Group) : Madison-Denver-Great Falls .... Point Barrow (and return) .... Denver-Monterrey-Mexico-La Paz .... Denver-Madison.
- (1965) C. Geod. Ital. pendulums : observations on the NACL.

IV - Variation séculaire de la pesanteur et de la direction de la verticale :

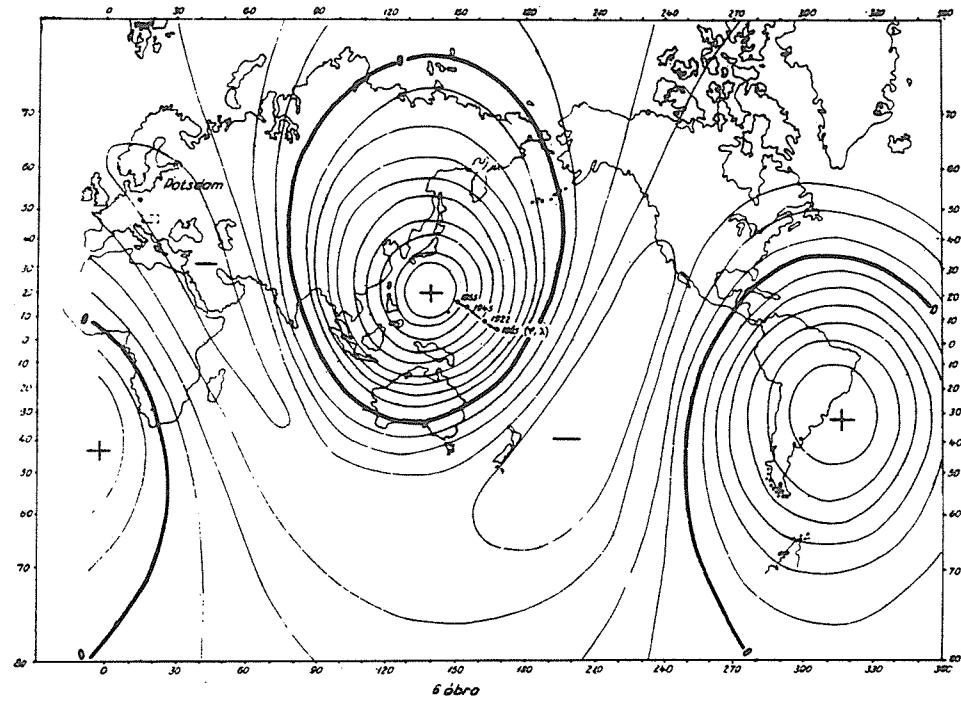
Parmi les travaux publiés récemment (v. Liste Bibliographique), on a extrait de l'article de A. PINTER "The Secular Variation of the Gravity Field", les deux figures indiquées page suivante.

L'auteur a utilisé le modèle de terre BULLEN-JEFFREYS, et les résultats probables sur l'excentricité du noyau terrestre (déduits des variations du champ magnétique terrestre) pour calculer la variation du champ de pesanteur.

Le Groupe Spécial d'Etudes n° 5 envisage un certain nombre de liaisons gravimétriques très précises, entre les zones de variations contraires afin de détecter des écarts systématiques. Le projet sera présenté en Septembre.



Annual variation of the gravity field in the period 1922 - 1945. Interval of izolines :  
0,1 mgal.



Annual variation of the gravity field in the period 1945 - 1955. Interval of izolines :  
0,1 mgal.

### TABLEAU DE TRANSLITTERATION (ISO)

Recommandation ISO-R9 de l'Organisation Internationale de Normalisation  
utilisée pour la Bibliographie du B.G.I., Paris.

	Bulgare	Russe
А, а	а	а
Б, б	б	б
В, в	в	в
Г, г	г	г
Д, д	д	д
Е, е (ë)	е	е (ë)
Ж, ж	ž	ž
З, з	з	з
И, и	и	и
І, і	і	
Ї, ї	ј	ј
К, к	к	к
Л, л	л	л
М, м	м	м
Н, н	н	н

	Bulgare	Russe
О, о	о	о
П, п	р	р
Р, р	г	г
С, с	с	с
Т, т	т	т
Ү, ү	у	у
Ф, ф	ф	ф
Х, х	х	х
Ц, ц	с	с
Ч, ч	č	č
Ш, ш	š	š
Ш, щ	šт	šč
(médial) Ђ, ђ (final)	њ	"
	Non translittéré	
Ы, ы	у	у
Ь, ь	'ou'	'ou'
Ѡ, ѡ	ě	
Ѳ, Ѩ		ě
Ю, ю	ju	ju
Я, я	ja	ja

Pour faciliter l'écriture dans les documents dactylographiés, suivant la proposition ISO, on remplacera le signe в par le signe ^ (ž, ѕ, њ, њт, є).

B I B L I O G R A P H I E  
=====

MESURES ABSOLUES DE LA PESANTEUR

Les articles relatifs aux liaisons entre les stations absolues de la pesanteur sont classés dans la rubrique "RESEAU INTERNATIONAL DE PREMIER ORDRE".

- \* 39 - COOK A.H. - Report on absolute measurements of gravity. National Physical Laboratory, Int. Assoc. Geod., Gen. Ass., Berkeley 1963.

Review of measurements which have recently been completed or are now in progress :

Since 1960 one new result of an absolute measurement has been announced, that of Mr. J.E. FALLER at Princeton, New Jersey. Experiments are still in progress at the following laboratories :

Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig  
Geodetic Institute, Potsdam  
University of Buenos Aires  
National Bureau of Standards, Washington  
National Physical Laboratory, Teddington  
International Bureau of Weights and Measures, Sèvres  
The Finnish Geodetic Institute, Helsinki  
National Research Laboratory of Metrology, Tokyo  
University of Wisconsin, Madison, Wisconsin  
Air Force Cambridge Geophysics Research Directorate  
Deutsches Amt für Messwesen, Berlin.

- 
- 40 - AGALECKIJ P.N., EGOROV K.N. & MARCINJAK A.I. - Déterminations absolues de l'accélération de la force de pesanteur à la station de "L'Institut Interunion de Recherche Scientifique en Métrologie" (VNIIM). Tr. VNIIM, Moscou-Léningrad, 1958, n° 32(92), 91 p. (texte russe).

Compte-rendu détaillé des déterminations absolues de g par 3 méthodes indépendantes, au point "VNIIM" (Léningrad), effectuées de 1947 à 1956 :

- 3 pendules réversibles en quartz, ayant des masses semblables mais de longueur différente,
- méthode combinée de chute libre et contrôlée des corps,
- méthode de chute d'une règle dans le vide.

Un résumé de cet article a paru dans Bul. Géod., 1959, n° 51, p. 82-90 (texte anglais).

A noter toutefois que dans le Bul. Géod. les corrections obtenues à appliquer au système de Potsdam sont respectivement :

$$\begin{array}{ll} - 12,1 \pm 0,07 & - 9,3 \pm 1,7 \\ - 7,5 \pm 2,3 \quad (\text{au lieu de} \quad - 8,4 \pm 2,1 \text{ publ. URSS}) \end{array}$$

\* Ces articles font suite à ceux indiqués dans le Bull. d'Information, Av 1962.

- 41 - BARTA G. - The Potsdam "g" value and the displacement of the Earth's core.  
Texte ronéotypé, Com. Grav. Int., Paris, Sept. 1962, 2 p.

It is well known that the Potsdam basic "g" value as determined by Kühnen-Furtwängler between 1898 and 1904 as an absolute value of  $981\ 274 \pm 3$  mGal, is by about 10-15 mGal higher than it should be as compared with the results of up-to-date measurements carried out with more modern equipments and methods. A Table gives a review of such confrontations.

- 42 - EGOROV K.N. - Methods of determining the Absolute Value of Gravity by interference measurements of a Free-Fall length. Izvestia, Sept. 1963.  
C.R. dans Geophysics, 1964, n° 3, p. 474.

"It is shown that the absolute value of the acceleration of gravity "g" cannot be determined with the required accuracy by the well-known methods used. In view of this, a description is given of two new methods proposed and theoretically justified by the author for determining this value with an error up to  $\pm 0,1$  mGal. The methods are based on the automatic calculation, during the free fall of a body (mirror), of equal path segments and time intervals, whose values are known with limited accuracy".

- 43 - FALLER James E. - An absolute interferometric determination of the acceleration of gravity, typewritten text, Princeton University, New Jersey, 2 p.

A free-fall determination of the acceleration of gravity has been made using one element of an optical interferometer as the falling object. A rotation insensitive mirror is dropped approximately ten centimeters and generates three sets of white light fringes as it falls. The times between the occurrence of these fringes are measured electronically. The spacing of the white light fringes is measured interferometrically and is continuously monitorable. The r.m.s. accuracy of the experiment is 7 parts in 10<sup>7</sup>. This work serves to point out again the necessity of adopting a new relative standard of "g" differing from the value on the Potsdam system by more than 10 parts per million. The value obtained for "g" at the surface of the pier in Room 130 Palmer Laboratory is  $980.1604 \pm .0007$  cm/sec<sup>2</sup>. This value transferred to the gravity site in Guyot Hall would be  $980.1626$  cm/sec<sup>2</sup>; and finally the Palmer value transferred to the Washington Geophysics Laboratory (using a Washington-Princeton difference of  $.0770$  cm/sec<sup>2</sup>) would be  $980.0856$  cm/sec<sup>2</sup>.

- 44 - HAMILTON Angus C. - World Standards for Gravity Measurements. J.R. Astr. Soc. Canada, 1963, vol. 57, n° 5, p. 199-209.  
Cont. Dom. Obs., Ottawa, 1963, Vol. 5, n° 21, 11 p.

This note gives a summary of absolute measurements completed and in progress in 1962. It is concluded that the weighted mean correction to the Potsdam system is  $-12.8 \pm 0.4$  mGal.

In Table II, the adopted and the most recent values for both Potsdam and Ottawa are summarized ; it is concluded : "Scientists in Canada, such as those involved in establishing standards for electrical units, who require the best possible absolute value of gravity, may apply a correction of  $-15.1$  mGal. to the value of "g" as given in the national reference system in Canada.

- 45 - JEFFREYS H. - On the Absolute measurement of gravity. Mont. Not. R. Astr. Soc., Geophys. Suppl., 1949, vol. 5, n° 9, p. 398-409,

"A simplified method is given for finding the corrections for bending and stretching of a pendulum used for making an absolute determination of gravity. It appears that the correction given by CLARK is incorrect and that the value of "g" for Teddington consequently needs an increase of about 1.7 mGal. Examination of several minor corrections mentioned by HEYL and COOK for the Washington determination shows that they mount up and that the value given by these authors also needs an increase of about 1.5 mGal. When taken in conjunction with the relative determination by BULLARD and BROWNE, the revised values give a discrepancy of  $4.7$  mGal  $\pm 1.6$  mGal, which is large enough to need attention".

The revised values are :

$$\begin{aligned} g \text{ (N.P.L.)} &= 981\ 183.2 \pm 0.6 \text{ mGal} \\ g \text{ (W.B.S.)} &= 980\ 081.6 \pm 1.2 \text{ mGal} \end{aligned}$$

- 46 - MORELLI C. - The First Order and Absolute World Gravity Nets. Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 195-216.

After the analysis of the situation of the F.O.W.G.N., the writer outlines the different corrections obtained for the Potsdam system, and suggests a program for tying the stations of absolute measurements.

- 47 - REICHENEDER K. - Zur Definition des Potsdamer Schweresystems. Mitt. Geod. Inst. Potsdam, 1959, n° 27, 4 S. à Cologne Verm. Techn., 1959, n° 8, 4 S.

Quelques détails concernant la position des différents emplacements utilisés à l'Institut de Géodésie (Potsdam), avec des appareils pendulaires et résultats des mesures de "g".

- 48 - REICHENEDER K. - Stellungnahme zu dem Manuskript von E. RIECKMANN & GERMAN Untersuchungen und Vorschläge zur Definition des Potsdamer Schweresystems und zu seiner Übertragung. Bull. Geod., 1959, n° 51, S. 104-106.

Le texte de RIECKMANN & GERMAN a déjà été indiqué (n° 21) dans "Liste des publications ....", B.G.I., Septembre 1959.

49 - REICHENEDER K. - The Potsdam Gravity System. One roneotyped page presented to the International Gravity Commission (Paris 1959).

50 - RIECKMANN E. - Absolute Schweremessungen. Munich Dtsch. Geod. K., Reihe B., 1960, n° 69, S. 23-25.

Bref aperçu sur :

- a) Stand der absoluten Schweremessung in Braunschweig,
- b) Der Vergleich verschiedener Absolutmessungen an verschiedenen Orten und die Gewinnung eines Endergebnisses für den neuen Schwerewert im Potsdamer System,
- c) Neue Methoden.

51 - SAKUMA A. - Etat actuel de la nouvelle détermination absolue de la pesanteur au Bureau International des Poids et Mesures. Sèvres, texte ronéotypé, Com. Grav. Int., Paris, Sept. 1962, Bull. Geod., 1963, n° 69, p. 249-260.

In this note, the present stage is outlined in the preparations for an absolute determination of gravity at B.I.P.M., based on the principle of "La méthode des deux stations" (or so called "The up and down motion method").

It is expected that a value of "g" of greater accuracy than previous measurements will be obtained, due to the use of the symmetrical measurements by this principle and the use of the interferometric observations of the passage of the projected body (a corner cube reflector) in free fall across fixed horizontal stations.

It seems probable that an accuracy of the order of 0.1 mGal will be obtained by this method.

52 - SZABO B. - World calibration standard, First Order Gravity Net and Absolute gravity system. Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 251-259. AFCRL, 1965, 65-14, Sp. Rep. 18, p. 19-28.

"...This paper will discuss the selected instruments, general observation plans and accuracy requirements, and planned observation schedules for the solution of the 3 major parts :

- a) World Calibration Standard,
- b) First Order World Gravity Net, and
- c) An International Absolute Reference System..."

53 - THOMPSON G.D. & MORAN T.F. - Status report on the US Air Force Cambridge Research Laboratories reversible pendulum apparatus. Three roneotyped pages (Berkeley, 1963).  
AFCRL, 1965, 65-14, Sp. Rep. 18, p. 63-73.

The intent of this report is to give a brief description of significant features of the AFCRL reversible pendulum apparatus, and to present a brief summary of progress to date.

The pendulums have a 3" simple length and are 2 1/4" wide by 4 3/4" high overall. They are constructed of optically contacted rectangular fused quartz blocks 3/8" x 5/8" in cross section. The planes which contact the knife edges form a Fabry-Perot etalon and are flat and parallel to each other to  $\lambda/20$ . Length accurate to better than one microinch is expected to be realised.

- 54 - TOMONAGA M. - Absolute measurement of gravity by the falling body method. Short Note, Int. Grav. Com., Paris, 1962, 2 p. Tokyo, Nat. Res. Lab. of Metrology.

"...From trial experiments at Itabashi, Tokyo in the last year, it is found that the absolute measurement of gravity by the falling body method is possible with the accuracy of one milligal. A plan of final measurement of gravity at Kakoka from 1963 is now going on..."

The outline of the method is described.

- 55 - WOOLLARD G.P. - An evaluation of the Potsdam Datum. Hawaii Inst. Geoph., 1963, Univ. of Hawaii, Sci. Rep. n° 1, 52 p.

A LaCoste Romberg and a Worden geodetic gravimeter were used to connect the Potsdam international gravity base to absolute gravity sites at Washington, D.C., Princeton, N.J., Teddington, England and Paris, France with an indirect connection to the Bad Harzburg base used in lieu of Potsdam since World War II. The Bad Harsburg value was found to be 0.89 mGal high, and the Potsdam datum relative to the more modern absolute gravity values was found to be  $+ 13.6 \pm 1.4$  mGal high. There is however an apparent systematic difference of 2.8 mGals between the new European and American absolute measurements, and if this is allowed for as a function of gravity field strength the Potsdam datum is  $\pm 0.6$  mGal high.

- 56 - WOOLLARD G.P. & ROSE J.C. - Future Requirements for the Global Standardization of International Gravity Data. "International Gravity Measurements" (Part VIII), p. 439-449, Univ. Wisconsin, 1963.

Comparison of absolute and Potsdam datum values determined by the University of Wisconsin. The discrepancies between the different corrections to the Potsdam system appear to be due to a systematic error (either in the type of absolute measurement or in the relative pendulum measurements).

PROBLEMES D'ETALONNAGE DES GRAVIMETRES

---

A) GENERALITES

{ Méthodes d'étalonnage en laboratoire et sur le terrain.  
 { Méthodes de compensation.

- \* 58 - MORELLI C. - The First Order and Absolute World Gravity Nets. Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 195-216.

Voir : RESEAU de 1er Ordre, n°53 p. 33.

- 59 - SZABO B. - World Calibration Standard, First Order Gravity Net and Absolute Gravity System. Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 251-259. AFCRL, 1965, 65-14, Spec. Rep. 18, p. 19-28.

"... The desired single world gravity system will be accomplished by the solution of the 3 major parts :

- World Calibration Standard
- First Order World Gravity Net, and
- An International Absolute Reference System.

The solution will be provided by the utilisation of existing observation material and by the accomplishment of the required new observations by selected instruments and operators. This paper discusses these questions and planned observation schedules..."

- 60 - WOOLLARD G.P. & ROSE J.C. - International Gravity Measurements. Univ. Wisconsin, Géoph. Pol. Res. Center, 1963, 518 p.

The authors have carried out an extensive program of international gravity measurements which involved setting up research bases in 85 countries with both pendulum and high-range geodetic gravimeters. Included in this book are extensive reports on gravity values and base descriptions throughout the world, evaluations of the various calibration standards that are in use in different parts of the world and estimates of the reliability of the international Potsdam base datum. Comparisons are made of the author's results with those obtained by all other investigators. Errors inherent in regional pendulums and the gravimeter work are evaluated.

The different parts are :

- |  |       |
|--|-------|
| I. The Development of the Woods Hole-University of Wisconsin Gravity Program. (W.G.P.-R.J.C.) .....  | p. 1  |
| II. The Woods Hole-University of Wisconsin International Network of Gravimeter Bases. (W.G.P.) ..... | p. 19 |

\* Ces numéros font suite à ceux indiqués dans le Bull. d'Information d'Avril 1962.

- III. An Evaluation Study of International Gravity Base Values.  
 (W.G.P.) ..... p. 125
- IV. The Woods Hole-University of Wisconsin Pendulum Gravity  
 Program. (R.J.C.-W.G.P.) ..... p. 171
- V. An Evaluation of Recent International Pendulum Gravity  
 Measurements. (R.J.C.) ..... p. 283
- VI. A Nodal Statistical Analysis of Contemporary Pendulum  
 Gravity Measurements. (R.J.C.) ..... p. 301
- VII. Results of Cooperative Gravity Studies with University  
 of Wisconsin. (W.G.P.) ..... p. 341
- VIII. Future Requirements for the Global Standardization  
 of International Gravity Data. (W.G.P. & R.J.C.) .... p. 437
- IX. An Evaluation of Tares and Creep in Pendulum Observ-  
 ations on the Basis of Gravimeter Comparisons. (W.G.P.) . p. 451

61 - KOZ'JAKOVA K.Ja. - Etalonnage des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal. Tr. Inst. Phys. Gl., Moscou, 1964, n° 31, (198), 48 p.

"...Les polygones d'étalement utilisés à l'étranger assurent une précision ne dépassant pas  $2 \cdot 10^{-4}$ . Sur le territoire de l'URSS, on a créé ces 15 dernières années, des polygones étalons et de contrôle dont la précision représente  $1,5 \cdot 10^{-4}$ .

Parallèlement, des méthodes d'étalement ont été étudiées au laboratoire gravimétrique de l'Inst. Phys. du Globe de l'URSS ; on a ainsi atteint une précision d'étalement des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal de  $\pm 1.10^{-4}$ .

Actuellement, on a mis au point 2 méthodes différent dans leur principe d'étalement : les méthodes géométrique et d'inclinaison. Ces 2 méthodes, se contrôlant réciproquement, permettent l'étalement en laboratoire sans avoir à recourir à l'étalement dispensieux sur le terrain.

Les méthodes décrites sont utilisées en URSS et à l'étranger ; des gravimètres SN-3 et Norgaard ont été étaillés ainsi en République Populaire Chinoise, Tchécoslovaquie et autres pays.

De plus, à la suite de l'étalement de ces gravimètres en quartz, on a créé un nouveau gravimètre "GAE". L'étalement 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 "g" 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 "g" importants à l'aide de gravimètres".

62 - WOOLLARD G.P., LONGFIELD R. & CARLSON B. - Gravity Standardization Studies, Final Report on 1961-62. W.H.O.I., 1962, Ref. 62-23, 114 p.

"That pendulum measurements also are beset by problems in the form of tares (jumps in period) and period creep. The only method of detecting these effects is through closure runs whereby an entire series of pendulum measurements is repeated in reverse order and through companion gravimeter measurements. Although gravity simulation by tilting a gravimeter and loading the beam are the common laboratory methods used to establish the overall calibration of gravimeters, these procedures are seldom accurate enough to provide a calibration reliable to better than 1 mGal for 2000 mGal change in gravity. These procedures, however, do provide a ready means for determining changes in calibration constant with time once a gravimeter has been calibrated against a series of good pendulum observations.

A new calibration method is described : Spin-table calibrator (p. 69-83).

- General remarks on Feasibility of Method : theory, description
- Problems observed with the Spin-Table Calibrator
- Example of Calibration Test Measurements with Worden gravimeter period of revolution  $T = 4.521$  sec.

63 - WOOLLARD G. - An analysis of the reliability of Gravimeter Measurements. AFCRL-64-771, Sci. Rep. n° 3, Hawaii Inst. Geoph., 1964, 18 p.

Factors affecting the reliability of gravimeter measurements are reviewed and results of laboratory tests to determine the effect of ambient and time variations in pressure and temperature on a LaCoste-Romberg large geodetic gravimeter presented. By comparing both laboratory calibration measurements and field observation results for two identical instruments (LR-G-1 and LR-G-7) it is possible to evaluate the absolute reliability of values obtained. It is found that in field operations there is a short term (5-10 hour) random variability in response that amounts to as much as 0-1 mGal and that multiple connections over small increments in gravity having an internal accuracy of  $\pm 0.02$  mGal may differ with instrument by 0.2 mGal. This difference is of the same order as magnitude noted for large increments in gravity. It also appears that the calibration is significantly influenced if the magnetic moment of an instrument changes.

64 - CUNIETTI M. - Les équations d'erreur dans les compensations des réseaux de mesures pendulaires de la pesanteur. Bull. Géod., 1963, n° 69, p. 231-34.

En écrivant les équations d'erreur d'un réseau de déterminations pendulaires, il faut tenir compte du schéma de la campagne exécutée par chaque observateur.

65 - MORELLI C., WOLF H. - On the adjustment of the pendulum and gravimeter measurements. Boll. Geof. teor. appl., 1964, vol. VI, n° 23, p. 226-237.

"In the solution of the problems connected with the First Order World Gravity Net (standardization, pendulum and gravity-meter measurements, adjustment, etc...) correlation plays a not negligible role. The related problems are discussed theoretically for pendulum measurements, for gravimeter measurements and for the common adjustment of pendulum and gravimeter measurements (adjustments by groups)".

B) SYSTEME D'ETALONNAGE EUROPE-AFRIQUE (observations et compensations)

Observations pendulaires.

- 66 - ROSE J.C. - Observations in 1960 with the Gulf-Wisconsin M quartz pendulums in Norway, England, Canada and the United States. Typewritten text. Meeting Int. Grav. Com., Sept. 1962, 5 p. + graph.

In the Summer of 1960 the Gulf-Wisconsin M quartz problems were used for gravity observations at Madison, Washington, D.C., Ottawa, Teddington, Oslo, Trondheim, Bodø and Hammerfest. The Hammerfest observations were not usable because of electronic failures. All stations were occupied twice. Reoccupation closures indicated that there were very systematic creep effects on the pendulum periods. After correction of gravity results for creep, the mean gravity intervals appear to be reliable to  $\pm 0.1$  mGal.

- \*67 - WOOLLARD G.P. - Report on Gulf pendulum measurements European-African Calibration Line, 1963. Typewritten text, 1964, 11 p. Complementary text, 1965, 8 p.

Observations were made at the following stations :  
 Madison-Washington-Teddington-Rome-Nairobi-Johannesburg-Capetown-Bad Harzburg-Helsinki-Hammarfest-Potsdam.  
 To facilitate the correct distribution of pendulum closure errors introduced by tares, companion measurements between all sites were made with LaCoste-Romberg large geodetic gravimeter n° 1.

- \*68 - MAZZON C., TOMELLERI V. - Temporary drawing up of the report about the pendular and gravimetric expedition in South Africa executed by the "Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria" of the Politecnico of Milan. Typewritten text, 1963, 14 p.

In December 1962, pendular corrections between Milan, Rome, Nairobi, Johannesburg, Capetown, carried out with the whole apparatus of the Italian Geod. Com.

At the same time, the same corrections and other shorter ones were carried out with a thermostatic LaCoste-Romberg gravimeter.

- 69 - HONKASALO T. - Gravity Measurements with Cambridge pendulums on the European Gravity Calibration Line in 1963. Preliminary Rep., Berkeley 1963, one typewritten page.

See below.

- \* 70 - HONKASALO T. - Report for Sp. St. Group n° 5 of IAG on gravity measurements in the First Order World Gravity Net Cambridge pendulum apparatus, carried out by the Finnish Geod. Inst. Typewritten text, 26 p., 1961.

Observations were carried out in 1963 (March-July) at Teddington-Helsinki-Bad Harzburg-Rome-Bad Harzburg-Helsinki-Hammerfest-Helsinki.

- \* 71 - JACKSON J.E. - Continuation of the Europe-Africa Calibration Line southward from Rome to Cape Town. Typewritten text, 6 p., 1964.

During August and September 1963, pendular observations (Cambridge pendulums) were made in Rome, Nairobi, Johannesburg and Cape Town. After returning to England, the pendulums were swung by Mr. B.C. BROWNE, at the N.P.L., Teddington.

#### Observations au gravimètre

- 72 - GANTAR C. & MORELLI C. - Measurements with gravity-meters along the Northern part of the European Calibration Line Bad Harzburg-Bodø. Boll. Geof. teor. appl., 1962, vol. IV, n° 15, p. 183-228.

"On the Northern part of the European Calibration Line, whose importance is fundamental for all the problems of operative gravimetry, measurements with gravity-meters were insufficient. New measurements were therefore executed by O.G.S. of Trieste from May 12 to July 10, 1962, with 2 Worden gravimeters running from Bad Harzburg to Bodø. Three other Worden meters measured separately from Bad Harzburg to Copenhagen, from Bad Harzburg to Oslo and from Oslo to Bodø.

Results show mislinearity with respect to E.C.L. pendulum measurements. Italian calibration appears to be 6 parts in 10 000 lower than Gulf and Italian Geodetic Commission pendulums but agrees with Cambridge pendulum results".

- 73 - GRAHAM K.W.T., MORELLI C. - The Italy-South Africa gravity tie. Boll. Geof. teor. appl., 1962, vol. IV, n° 15, p. 271-277.

Voir : RESEAU DE PREMIER ORDRE, n° 71p. 38.

- 74 - GROSSMANN W. - Ergebnisse einer Schweremessungen mittels zweier mit veränderlicher Masse arbeitenden Langstreckengravimetern vom Askania GS-12 in Europa und Afrika. Geod. Inst. T.H. Hannover, 1963, 18 S.

"In 1961 especially gravity ties in North-East and South-West Europe were measured with one gravimeter, connecting the First Order World Gravity Stations: Helsinki, Madrid, Lisbon, Azores and Alger with the European Calibration System. In 1962-1963 the measurements were extended to Africa with two gravimeters. Observations were made on the First Order Stations:Lisbon, Beirut, Khartoum, Johannesburg, Mowbray, Dakar, Leopoldville, and some other airport stations.

Generally the gravity differences were obtained by two flights from station A to station B and back according to the scheme A-B-A-B-A or A-B-A-C-A. The instruments were calibrated several times between stations of the European Calibration System.

In a first adjustment gravity differences obtained by linear drift curves were used ; the mean error of a gravity difference measured in one flight from A to B and back is  $\pm 0.11$  mGal (1961) resp.  $\pm 0.13$  mGal (for the mean value of the two instruments used in 1962/63). In a second adjustment gravity differences obtained by non-linear drift curves were used.

The gravity differences between European and African airports in the scale of the European Calibration System and the gravity values of all stations are given".

- \*75 - GANTAR C., MORELLI C. - Direct Gravity ties with 3 LaCoste-Romberg gravity-meters between the main stations of the European Calibration Line. Typewritten text, 1963, 13 p.

Results of the observations made from July 12 to 24, 1963, with the LaCoste-Romberg gravimeters n° 3 and G2 (AFCRL) and n° 7 (Woppard Group).

- \*76 - GANTAR C., MORELLI C. - Detail measurements made along the European Calibration Line with 3 LaCoste-Romberg gravimeters Large n° 3, and n° 7, small G 2. Typewritten text, 1963, tabl. and graph.

Details of observations made from May 10 to July 15, 1963, with 3 gravimeters running the E.C.L. starting from Catania (Etna) towards the North till Bodø and taking measurements in nearly all the detail gravity stations.

- \*77 - GANTAR C., MORELLI C. - Detail measurements made along the E.C.L. with 3 LaCoste-Romberg gravity-meters 2 large, G 5 small, G 15 small. Typewritten text, 1963, tabl. and graph.

From May 21 to July 16, 1963, observations as above with the 3 gravimeters : the 2 small models G 5 and G15 belonging to U.S. Naval Oceanog. Office, Washington.

- 78 - ERNBERG S.C., HOLLENSBE D.F. - Gravity measurements over the European Calibration Line with LaCoste and Romberg gravity meters G-2, G-5 and G-15. U.S. Naval Oceanographic Office, Washington, Tech. Rep. 169, 1964, 28 p.

"Gravity measurements were taken with 3 of our gravity meters at 147 gravity stations on the E.C.L., extending from Catania, Sicily to Bodø, Norway. Conversion factors, to correct the manufacturer's calibration tables for non-linearity were obtained by performing a least squares adjustment on a comparison of gravity meter values with adopted gravity values at 8 major stations on the E.C.L. The report also shows comparisons between the 3 gravity meters which indicate that the final results, after a correction for non-linearity, are affected by long period variations in meter response. No short period variations were detected.

Measurements with these gravity meters over the North American Calibration Line (NACL) are planned in the near future".

- 79 - WHALEN Ch.T. - The Euro-African Calibration Line (EACL), March 1965.  
APCS OPLAN 503, Orlando, Phase Rep. n° 2, 440 p. (195 Sketches).

"Gravimeter observations were made in ladder sequence at 130 gravity bases of the EACL in 1964 with small LaCoste-Romberg geodetic gravimeters 43, 44, 47 and 48. Measurements were corrected for the effects of non-linear dial response, earth tides, instrument drift and scale. Gravity values and standard errors relative to Bad Harzburg have been determined for all bases observed on the survey from least squares adjustments".

Gravity base descriptions and sketches are given.

- See also nr. 106 (Part I) .

#### Rapports et Compensation.

- 80 - KNEISSL M. - Aufbau eines einheitlichen europäischen Gravimeterfundamentalnetzes-Establishment of a uniform European First Order Gravimeter Network.  
Typewritten text, Int. Grav. Com., Paris, Sept. 1962, 18 p.  
Short Note, Gen. Ass. IUGG, Berkeley, 1963, 5 p. on the same subject.

Vue d'ensemble sur les différents réseaux nationaux européens.  
Suggestions relatives aux raccordements des différents blocs proposés et à des compensations partielles.

- 81 - KNEISSL M. - Litteratur über das Europäische Gravimeter-Eichsystem.  
D.G.K., 1962, 79 S.

Les articles avec analyse en allemand sont classés par rubriques.

- 82 - KNEISSL M. - Das Europäische Gravimetereichnetz. (The European Gravimetric Calibration Network). Typewritten text, Gen. Ass. Berkeley, 1963, 10 p. + Annexe (Resolutions).

Résumé des travaux du Groupe Sp. Et. n° 6 jusqu'à la compensation finale de 1962. Résolutions adoptées entre 1951 et 1962, relatives à l'établissement de la ligne d'étalonnage.

- 83 - DEKER H. - Report on the Session of the Sp. St. Group n° 6. Munich, Nov. 1963, 3 p. and Report..., Milan, April 1964, 6 p.  
Typewritten texts.

- 84 - KNEISSL M. - "Das europäische Gravimeter-Eichsystem, Unterlagen und Vorberichte zur einheitlichen internationalen Ausgleichung nach der Methode von Dr. A.H. COOK". Bayer. Akad. Wiss., neue Folge, 1963, n° III, 118 S.

"All observation results for the adjustment of the European gravity calibration net were systematically collected, subjected to a final inspection by the observers and the members of the Sp. St. Group and released for the adjustment.

This publication contains :

- 1) Results of pendulum measurements in the European gravity calibration net,
- 2) Results of gravity meter measurements in the European gravity system,
- 3) Summary of gravity measurements between junction points,
- 4) Transfer measurements for the secondary points and point sketches,
- 5) Description of the stations of junction points and point sketches".

85 - KNEISSL M., MARZHAN K. - Die Ausgleichung 1962 des europäischen Gravimetereichsystems. Abschlussbericht. (The 1962 adjustment of the European Calibration System. Final Report). Typewritten text, Int. Grav. Com., Paris, Sept. 1962.  
Bull. Geod., 1963, n° 69, p. 21-230 (only English text).

The adjusted gravity values are referred to the station Bad Harzburg : 981 180.40 mGal. The computations were made by BRUINS (Delft), COOK (Teddington) and MARZHAN (Munich).

86 - MARZHAN K. - Vorschläge für den Gewichtsansatz und sein Einfluss auf die Ausgleichung des europäischen Gravimeter Eichsystems. Texte ronéotypé, Com. Grav. Int., Paris, Sept. 1962, 15 p.

Forme générale des équations d'erreurs pour la compensation commune des mesures pendulaires et gravimétriques. Erreur moyenne et systématiques des mesures pendulaires ; erreur moyenne des mesures aux gravimètres. Influence des poids sur les résultats de la compensation.

Les textes précédents n° 85 et 86 sont réunis dans la publication suivante n° 87.

87 - KNEISSL M., MARZHAN K. - "Vorschläge und Schlussergebnisse für die Ausgleichung des europäischen Gravimeter-Eichsystems". Bay. Akad. Wiss., neue Folge, 1963, n° 112, 32 S.

88 - GANTAR & MORELLI C. - Some observations on the present situation of the European Gravity Calibration System. Bull. Geof. teor. appl., 1962, vol. IV, n° 14, p. 171-180.

"The consistence of the European Gravity Calibration System is discussed before its final compensation. Attention is claimed to systematicity in pendulum differences and on scarce homogeneity in the distribution of both pendulum and gravimeter measurements".

- 89 - SOLAINI L., INGHILLERI G. - Some considerations on the measurements and calculations relating to the European Calibration Line. Typewritten text, Int. Grav. Com., Paris, 1962.  
 Bull. Geod., 1963, n° 69, p. 235-238.
- 90 - SOLAINI L., INGHILLERI G. & TOGLIATTI G. - Results of some adjustments of pendulum and gravimeter data on the European Calibration Line.  
 Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 235-250.  
 Bull. Geod., 1964, n° 73, p. 231-252.
- "The paper refers to a comparative study of different adjustments of the E.C.L. The gravimetric data collected up to Summer 1962 have been used according to the following criterion : those relative to land transported gravimeters have been adjusted separately from pendulums and airborne gravimeters and have lead to the determination of provisional values of gravity in 13 E.C.L. stations and of the scale factors of 27 gravimeters that have worked on the line.  
 All these values are referred to a reference gravimeter (BREIN N.A.G. 140-1959) whose scale factor is determined in the adjustment of the pendular net. Thus, the gravimetric values previously adjusted do not vary, but for the correction of the scale factor of the reference gravimeter and consequently of the scale factors of all the other gravimeters.  
 The corrections executed with an airborne gravimeter have been included in the pendular adjustment.  
 The question of the weights to be given to the land transported gravimeter connections has also been considered.  
 Therefore, the results and comparisons relative to three different adjustments are given : each one of them corresponds to a different hypothesis on the behaviour of the weights".
- 91 - GANTAR C., MORELLI C. - Provisional Adjustment 1962 of the Southern Part of the E.C.I. in the Italian Standard for comparison purposes.  
 Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 260-281.
- "A provisional adjustment of the gravimeter measurements along the E.C.L. is here presented to forward a continuous sequence of gravity values from Bad Harzburg to Etna expressed in the "Italian conventional mGal". These values will presently allow direct comparisons of conventional gravity standards, until when the gravity projects now in act on the E.C.L. will be completed and a rigorous final adjustment carried out".
- 92 - MARZHAN K. - Schwerewerte im europäischen Gravimetereichsystem 1962 für die Linie Kopenhagen-Catania. Bay. Akad. Wiss., neue Folge, 1964, n° 115. (Gravity values in the European Gravimeter Calibration System 1962 for the Copenhagen-Catania Line). Typewritten text, Gen. Ass. IUGG, Berkeley, 1963, 15 p. + tabl.

"The gravimeter measurements in the calibration system along the Copenhagen-Catania line are reduced by the use of the scale factor for the 1962 calibration system adjustment to the calibration system and adjusted relative to each other section by section. The weighting of these adjustments is tested. The adjustments are re-weighted with an improved weight charge. On the basis of the differences between the gravimeter measurements adjusted relative to each other and the results of the 1962 calibration system adjustment it can be shown that, within the limits of the attained accuracy, there are non-linearities in the calibration system. Starting from the Bad Harzburg station, by summing up the gravity differences and balancing with the gravity values of the junction points in the 1962 calibration system, the gravity values "g" (ECL) in the 1962 European gravimeter calibration system, which are listed, are calculated for all intermediate points".

- 93 - BETTAC W. - Messungen grosser Schwereunterschiede mit einem nicht astatischen Federgravimeter mit veränderbarer Masse (Askania-Gravimeter GS 12). D.G.K., 1963, Reihe C, n° 55, 104 S. + Tab.
- Description et étude du gravimètre Askania GS-12. Méthode d'observations. Vue d'ensemble des liaisons gravimétriques effectuées en 1958, 1959 et 1960 avec cet appareil, pour l'établissement d'un système européen d'étalonnage (de Bodø à Catania). Méthode de compensation, comparaison avec le réseau pendulaire. Schémas des stations gravimétriques.
- 94 - MARZHAN K. - Die Ausgleichung der Pendel und Gravimettermessungen des europäischen Gravimetereichsystems. D.G.K., 1963, Reihe C, n° 59, 89 S.
- D'après la théorie des erreurs, la méthode la plus appropriée ici est celle préconisée par le Dr. COOK. L'erreur moyenne des différences de pesanteur mesurées avec 4 appareils pendulaires différents est toujours de  $\pm 0,4$  mGal : la statistique ne permet pas de mettre en évidence d'une façon certaine des différences systématiques entre les appareils. L'erreur moyenne d'une différence  $\Delta g$  entre 2 points nodaux du système d'étalonnage est de  $\pm 0,10$  mGal. La confrontation des 2 cas extrêmes dans la méthode de COOK et une comparaison avec la compensation BETTAC montrent que les poids n'ont pratiquement aucune influence sur les résultats de la compensation du système d'étalonnage...
- 95 - HONKASALO T. - On the adjustment of the European Gravity Calibration System. Boll. Geof. teor. appl., 1964, vol. VI, n° 24, p. 37-40.
- "The northern part of the European gravity calibration system is readjusted starting from the official values for the Central European stations. The choice of observations and the estimation of weights of the KNEISSL-MARZHAN adjustment is criticised. The necessity to investigate all systematic errors before a new adjustment is shown with some examples".

"As a result of these investigations of the  $\Delta g$  obtained from assuming linear drifts we have found that the observations have the same inner accuracy except the 1959/60 measurements in Europe, which are more accurate and except the long connections Rome-Kano and Rome-Johannesburg, for which a smaller weight should be given..."

The  $\Delta g$  obtained by drawing drift curves are free from systematic errors caused by the assumption of linear drifts, but as the method of obtaining them is a graphical adjustment they are correlated with each other...."

### C) CHAINES D'ETALONNAGE AMERIQUE

- \*100 - GOUGH D.I. - "Gravity measurements on the First Order World Gravity Net with the Cambridge pendulum apparatus", Carried out by the Southwest Center for Advanced Studies, Dallas. Rep. for Sp. Group n° 5 of the I.A.G., 1965, 11 p. + tab. (typewritten text).

Results of the measurements made during the Summer of 1964 at the following stations : Teddington-Washington-Denver-Great Falls-Edmonton-Whitehorse-College (Fairbanks)-Point Barrow.

- \*101 - BROWNE B.C. - Gravity measurements made with the Cambridge pendulums on the Southern Sector of the American Gravity Calibration Base. Type-written text, 1965, 5 p.

From September to December 1964, measurements were carried out at the following stations : Denver-Monterrey-Mexico City-La Paz-Washington-Teddington.

- 102 - WINTER P.J. - Gravimeter Calibration Line Ottawa (Ontario)-Binghamton (N.Y.). Gravity Division, Dom. Obs., Ottawa, 1962, 4 p.

"A standard for calibrating gravimeters in Eastern Canada and the United States was established between Ottawa and Washington in 1954 by M.J.S. INNES and colleagues of Dominion Observatory, Ottawa.

Due to construction, highway improvements, etc... several of the original stations of this line have been destroyed and some have become redundant.

Descriptions and adjusted gravity values for stations known to be occupiable in September 1962 are listed for the Ottawa-Binghamton section of the line".

- 103 - BEHRENDT J.C. - A statistical comparison of five Geodetic Gravimeters. Geophysics, 1962, vol. XXVII, n° 6, p. 889-891.

"A statistical comparison of 5 LaCoste and Romberg geodetic gravimeters over 5,129 mGal North American calibration range shows an estimated standard deviation of 0,17 mGal for the set with 90 per cent confidence limit of 0,28 mGal.

Values for each meter, means and estimated standard deviations are presented for each of the 24 stations included in the set".

Voir aussi : n° 62 WOOLLARD : Descriptions of pendulums and  
gravimeter bases,  
Measurements on North American Western  
Gravity Stand. Range,  
Measurements on East Coast ...

n° 106 HAMILTON (Part I).

#### D) CHAI<sup>N</sup>E D'ETALONNAGE OUEST PACIFIQUE

104 - OKUDA T. - On the establishment of the Western Pacific Calibration Line.  
Note, Int. Grav. Com., Paris, 1962. Bull. Inf. B.G.I., 1963, n° 4,  
p. 86-90.

Framework of the W.P.C.L. from Fairbanks, Anchorage, Tokyo... to  
Singapore... Melbourne.

---

#### E) COMPARAISON DE DIVERSES ECHELLES D'ETALONNAGE (instruments, réseaux)

Voir précédemment : n° 60 (particulièrement Parts 3, 5, 6, 7 et 9)  
n° 72 - 88 - 96.

105 - GANTAR C., MORELLI C. - Comparisons between the Italian and Canadian Calibrations by means of 2 LaCoste-Romberg Gravity Meters along the Southern Part of the European Calibration Line. Boll. Geof. teor.  
appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 187-194.

"From Ca'Brusa (Italian station n° 10) to Mount Etna (Italian station n° 67) the 2 LaCoste-Romberg small geodetic gravity meters n° G 7 and G 9 belonging to Dominion Observatory, Ottawa, have been compared with the detailed gravity values averaged in "Italian Standard" by the Authors along the E.C.L. No dial idiosyncrasies have been put in evidence for the 2 meters, which have been proved to be capable of very precise results. The small residual deviations ( $\pm 0.03$  mGal) confirm a good precision for the E.C.L. "Italian mGal" data, which are therefore sufficiently suitable for this comparison. The Canadian calibration is lower than the Italian one by 1.04 parts in 1000, throughout the examined range. Drift and tares detected during this work indicate that, when employing the LC-R meters closure checks should not be too infrequent".

106 - HAMILTON A.C. - A comparison of gravity standards in Europe and the Americas. II Parts ; Dominion Obs., Ottawa, 1963.

Part I : Two LaCoste and Romberg gravimeters have been used to determine gravity differences over the European gravity calibration Range from Catania to Bodø and over the North American Calibration Range from Fairbanks to Mexico City, and thence to First Order World stations at Quito and Buenos Aires.

A connection from Copenhagen to Potsdam has been made as well as a lateral connection between the two ranges via Ottawa. The original observations at all key points are listed and the gravity differences have been computed after non-linearity and tidal corrections have been applied.

Part II : It is concluded :

1. The two LaCoste-Romberg gravimeters are stable and consistent relative to each other to approximately one part in 8000,
  2. In terms of a combined European American Standard their calibration factors are 1.00027 and 1.00075 respectively,
  3. Gravity intervals measured in terms of American standards or pendulum values appear to be large relative to the European Calibration Range by a factor of the order of one part in 3000,
  4. The observed correction to Bad Harzburg relative to Potsdam is - 0.92 mGal,
  5. A preliminary adjustment using absolute values at Potsdam, Paris, London, Ottawa and Buenos Aires gives a correction of - 12.17 to Potsdam standard.
- 

\*Les articles cités n° 67, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 97, 98, 99, 100, 101 ont été fait.s à tirage restreint, et distribués seulement aux Membres des Groupes Sp. d'Et. n° 5 et 6.

RESEAU GRAVIMETRIQUE INTERNATIONAL DE PREMIER ORDRE

---

Comme plusieurs stations du réseau international de 1er Ordre font partie des chaines officielles d'étalonnage, de nombreux articles ont déjà été classés sous cette rubrique ; pour mémoire, nous mentionnerons les plus importants.

A) RAPPORTS GENERAUX - RENSEIGNEMENTS sur les STATIONS (Emplacements, excenters).

- 53 - MORELLI C. - The First Order and Absolute World Gravity Nets. Boll. Geof. teor. appl., 1963, vol. V, n° 19, p. 195-216.

An analysis of the present situation in the F.O.W.G.N. indicates that results are not as good as might be expected from the large amount of work done in the last decade. There have been sufficient improvements in pendulum apparatus and in gravimeters that the objective of a (homogenous) world network can now be achieved in 2 years, if proper apparatus techniques are used and a well coordinated plan is followed.

In accordance with the decisions at the September 1962 Meeting of the International Gravity Commission, a plan for cooperative international effort is proposed. The main features are :

- pendulum standardization on a few selected stations of the North American, Euro-African and Western Pacific Calibration Lines ;
  - control, if possible, with absolute measurements at the extremal points ;
  - complete calibration of geodetic gravity-meters ;
  - F.O.W.G.N. derived mainly through a proper use of groups of gravity-meters of this type, with some pendulum stations at key points ;
  - the same for the Absolute Net.
- Details are discussed.

- 54 - SZABO B. - World Calibration Standard, First Order Gravity Net and Absolute Gravity system. Boll. Geof., 1963, vol. V, n° 19, p. 251-259. AFCRL-65-14, 1965, Spec. Rep. 18, p. 19-28.

Voir : ETALONNAGE, n° 59, p. 19.

- 55 - WOOLLARD G.P., ROSE J.C. - International Gravity Measurements,  
Voir : ETALONNAGE, n° 60, p. 19.

- 56 - WOLF H. - Proposal for the adjustment of a uniform European Gravity Net.  
 Bull. Geod., 1964, n° 72, p. 175-182.  
 Bull. Geof. teor. appl., 1964, vol. VI, n° 22, p. 189-196.  
 The German text was published in D.G.K., 1963, Reihe B, n° 104.

"A procedure of adjustment in groups is proposed. The first step consists of the separate adjustment of the single groups. All results so obtained are to be compared and checked with respect to eventually existing systematic phenomena, and the m. sq. error, i.e. the weights for the single groups are to be computed within the second step. In the third step all the single adjustments shall be joined together rigourously to the whole European net. Finally it is shown how this may be used for the formation of the world gravity net".

Voir aussi p. 21 (ETALONNAGE n° 65) :

MORELLI C., WOLF H. - On the adjustment of the pendulum and gravimeter measurements.

- 57 - UOTILA U.A. - Adjustment of a world-wide gravity base station network.  
 Ann. Acad. Sci. Fenn., Helsinki, 1964, Ser. A III, n° 73, 8 p.

Using about 500 measured gravity differences and the method of variation of parameters, the least squares adjustment was performed and adjusted values were obtained for 88 gravity stations around the world. The adjusted values of gravity stations are given with the standard errors. The given standard errors came directly from the least squares solution of the network. Therefore, there might be some systematic scale errors which are not included in these errors.

The weights have been determined taking into account the accuracy of the apparatus, including calibration errors.

Standard errors of adjusted gravity values were all smaller than  $\pm 0.45$  mGal.

- 58 - JABLONSKI H.M. - Catalogue of Primary Gravity Stations and Excenter Stations. ACIF, St Louis, U.S. ; Sp. Pub., n° SP-12, 1964, 442 p.

For the most part, the Primary Stations are pendulum stations and the sites selected are stations in the F.O.W.G.N. and/or the World Calibration System. Excenters are stations located near primary stations.

Gravity differences between excenters and primary stations are tabulated below excenter descriptions.

- On trouvera des schémas et des descriptions détaillées relatives aux stations de Premier Ordre dans les publications suivantes déjà citées dans le chapitre "ETALONNAGE":

.../...

- E n° 62 - WOOLLARD, LONGFIELD & CARLSON - Gravity Standardization studies, Final Report on 1961-62.
- E n° 73 - GRAHAM, MORELLI - The Italy-South Africa gravity tie.
- E n° 74 - GROSSMANN - Ergebnisse einiger Schweremessungen.... in Europa und Afrika.
- E n° 79 - WHALLEN - The Euro-African Calibration Line, March 1965.
- E n° 84 - KNEISSL - Das europäische Gravimeter-Eichsystem, ....
- E n° 93 - BETTAC - Messungen grosser Schwereunterschiede ....
- E n° 106 - HAMILTON - A comparison of gravity standards in Europe and the Americas. (Part I).

B) LIAISONS ENTRE LES STATIONS DE PREMIER ORDRE.

Systèmes de Potsdam et de Bad Harzburg

- 59 - MORELLI C. - The Bad Harzburg gravity value in the present Potsdam System. Décembre 1963, vol. V, n° 20, p. 297-307. (Boll. Geof. teor. app.)  
A direct connection Potsdam-Bad Harzburg with a group of properly calibrated gravity-meters revealed that the presently accepted gravity value for Bad Harzburg in the Potsdam system is about one mGal too high.
- 60 - GROSSMANN W., PESCHEL H. - Bestimmung der Schweredifferenz Zwischen Potsdam und Bad Harzburg mit Askania-Gravimetern. Bull. Geod., 1964, n° 74, p. 335-340.  
En Février 1964, l'Inst. Geod. de Potsdam et l'Inst. Geod. Tech. H. Hannovre ont mesuré avec plusieurs gravimètres Askania (type GS II et GS 12), la différence  $\Delta g$  entre la station  $S_2$  à Potsdam et la station de Bad Harzburg (st. pend. HPS).  
Le résultat final obtenu est :  
$$g_{BH} - g_P = - 95,15 \pm 0,02 \text{ mGal}$$
  
On notera que les résultats publiés antérieurement dans "A new direct connection between Potsdam and Bad Harzburg" (GROSSMANN), Prel. Rep., April 1964, diffèrent légèrement des résultats définitifs ci-dessus.
- 61 - HAMILTON A.C. - A comparison of gravity standards in Europe and the Americas.  
Voir : ETALONNAGE, n° 106, p. 32.
- 62 - WOOLLARD G.P. - An evaluation of the Potsdam Datum.  
Voir : MESURES ABSOLUES, n° 55, p. 18.

Observations pendulaires

- 63 - PETKOFF I., ELSTNER C. - Bestimmung der Schweredifferenz zwischen Potsdam und Sofia mit Pendelapparaten. Ver. Geod. Inst. Potsdam, 1962, n° 21, 139 p.

Mesures effectuées d'Octobre 1958 à Janvier 1959 avec deux appareils pendulaires (à 4 pendules) l'un appartenant à l'Institut Géodésique de Potsdam, l'autre à la Bulgarie.  
Détail des résultats.

- 64 - ROSE J.C. - Observations in 1960 with the Gulf-Wisconsin M quartz pendulums in Norway, England, Canada and the United States.

Voir : ETALONNAGE, n° 66, p. 22.

- 65 - ROSE J.C., STRICKHOLM O.S. - Observations in 1960 and 1961 with the Gulf-Wisconsin Pendulums at Washington and Ottawa. Typewritten text, September 1962, 7 p.

"Multiple gravity connections were made in 1960 and 1961 with the Gulf-Wisconsin pendulums between Washington, D.C. and Ottawa. In combination with previous Gulf-Wisconsin results the gravity interval can be established to  $\pm 0.1$  mGal or better. In 1961 a continuously operating transistorized frequency standard (Sulzer-Knights FS 1100 was employed, permitting operation independent of radio time signals. The rate of the new time standard was predictable to  $10^{-9}$  sec."

- 66 - ROSE J.C., STRICKHOLM O.S. - Observations in 1960-1961 with the Gulf-Wisconsin M quartz pendulums at Mirnyi, Mawson, Melbourne, San Francisco and Madison. Typewritten text, Sept. 1962, 2 p.

In the Winter of 1960-1961 the Gulf-Wisconsin M quartz pendulums were used for gravity observations at Madison, San Francisco, Melbourne, Mirnyi and Mawson. All stations except Mirnyi were occupied twice, reoccupation closures indicated no apparent creep of the pendulum periods ; however, there was one step-like offset of the results. After correcting for the offset, the mean gravity intervals appear to be liable to  $\pm 0.1$  mGal. The instrumentation was the same as that used for the 1960 European observations.

- 67 - DOOLEY J.C. - Australian gravity network adjustment, 1962. Record n° 1962/141 Bur. Min. Res., Geol. Geoph., 22 p.+pl.

Values of gravity have been revised for 59 pendulum stations established with Cambridge pendulums during 1950-51. The revision has been made using all available pendulum and gravity-meter ties between these stations.

- Voir aussi : ETALONNAGE (p. 22, 23 et 30) :  
E n° 67 - WOOLLARD - Report on Gulf pendulum measurements European  
...

- E n° 67 - WOOLLARD - Report on Gulf pendulum measurements European-African Calibration Line, 1963.
- E n° 68 - MAZZON, TOMELLERI - Temporary drawing up of the report about the pendular and gravimetric expedition in South Africa.
- E n° 70 - HONKASALO - Report ... on gravity measurements ... Cambridge pendulum apparatus.
- E n° 71 - JACKSON - Continuation of the Europe-Africa Calibration Line southward from Rome to Cape Town.
- E n° 100 - GOUGH - Gravity measurements ... with the Cambridge pendulum apparatus.
- E n° 101 - BROWNE - Gravity measurements ... on the Southern Sector of the American Gravity Calibration Base.

#### Observations au gravimètre

- 68 - HARADA Y., SUZUKI H., OHASHI S., KAKINUMA S. - Determination of the differences in gravity between Chiba, Singapore, Cape Town and Syowa station in Antarctica. Bul. Geogr. S. Inst., 1960, vol. VI, parts 2-3.
- 69 - THOMPSON L.G.D., HOWKINS C.S. - A USAF Air Base gravity network. Bedford, 1962, Geoph. Res. Dir., A.F.C.R.L., 4p. + tab.  
Although most of the stations were new ones established at USAF bases, many were at sites at Civilian Air Terminals previously established by Woppard's group and the USC&GS. Where possible, ties were also made between AFCRL sites and nearby gravity meter and pendulum sites previously established by these two groups.  
The reference datum is the 14th Street Gravity Bench Mark at the Commerce Building, Washington, D.C. All measurements originated from this benchmark. The base value used for this site is 980 118.2 mGal as determined by Woppard.
- 70 - GANTAR C., MORELLI C. - First Order World Gravity Loop, 1962. Boll. Geof. teor. appl., vol. IV, n° 15, p. 229-270.  
As a fundamental contribution to the First Order gravity net, some stations of this net have been chosen all around the Earth with about the same gravity values, so that calibration effects could be small, and well connected by commercial flights : Rome-New York, San Francisco, Tokyo, Beirut, Athens, Rome.  
These stations have been tied with at least 3 Worden gravity meters, each leg being measured several times as repeated round-trips. Closure error of the whole loop is 0.32 mGal.  
The loop will be useful also for the study of the secular variation of gravity.

- 71 - GRAHAM K.W.T., MORELLI C. - The Italy-South Africa gravity tie. Boll. Geof. teor. appl., 1962, vol. IV, n° 15, p. 271-277.

As a further contribution to the First Order world gravity net, the gravity tie Italy-South Africa has been realised with 3 Worden gravity meters of the O.G.S.-Trieste from July 3 to July 9, 1962. To find a point on the European Calibration Line where the gravity value is nearest to that of Cape Town, it has been necessary to ascend Mount Etna.

The tie, repeated four times, has given :

$$\text{Etna,66} - \text{Mowbray} = + 78.31 \pm 0.09 \text{ (m.s.e.) mGal .}$$

- 72 - MARTINS J.M., MORELLI C. - Gravity tie Rome-Lisbon. Boll. Geof. teor. appl., 1962, vol. IV, n° 15, p. 278-285.

The gravimetric tie Rome-Lisbon has been carried out with the "phantom multiple flights" technique in June 1962 with 3 Worden gravity-meters of the Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste. Near Rome a point has been chosen (Mount Cavo, outside "g" = 980.144) to reach a difference in gravity from Lisbon sufficiently reduced to utilize only the small dials of the Wordens and to minimize calibration effect. Three complete (five computed) round trips have been realised with the following result :

$$\text{Lisbon, Airport, Terminal} = \text{Mount Cavo, out} - 64.04 + 0.08 \text{ (e.q.m.) mGal .}$$

- 73 - GROSSMANN W. - Ergebnisse einiger Schweremessungen mittels zwei mit veränderlicher Masse arbeitenden Langstreckengravimetern vom Askania GS 12 in Europa und Afrika. Geod. Inst. Tech. H. Hannover, 1963, 18 S.

Voir : ETALONNAGE, n° 74, p. 23.

- 74 - HAMILTON A.C. - A comparison of gravity standards in Europe and the Americas. II Parts, Dom. Obs. Ottawa 1963,

Voir : ETALONNAGE, n° 106, p. 32.

- 75 - WHALEN Ch.T. - The Euro-African Calibration Line, March 1965.

Voir : ETALONNAGE, n° 79, p. 25.

VARIATION SECULAIRE DE LA PESANTEUR

---

- 1 - ICHINOE T. - Study on change of Gravity with time - Part II : Repeated Gravity Surveys in the Kinki District. Mem. College Sci., Univ. Kyoto, Ser. A, 1955, vol. XXVII, n° 3, p. 318-334.

"Gravity surveys with a portable gravimeter of the North American type were made repeatedly four times during 1950-1953 at about 160 points in the Kinki District as a preliminary study on the problem of probable secular variation in gravity. In this article some important conditions, which are considered to be noteworthy for the future development of the investigation of secular variation of gravity, comprise the main discussion as deduced from the data of the present surveys. It should be mentioned that, in the present surveys, some remarkable secular variations in gravity, though not without some uncertainty, were observed in the Western shore region of Lake Biwa and the City of Osaka."

- 2 - BARTA G. - The connection between the excentricity of the Geomagnetic Field and the Triaxiality of the Earth. Acta Tech. Acad. Sci. Hung., 1961, t. XXXVII, n° 1-2, p. 211-227.

Texte anglais, résumés anglais, allemand, français et russe.

"L'auteur constate qu'en prenant l'excentricité connue du centre magnétique égale à celle du noyau interne, on peut conclure que cette asymétrie des masses est responsable de l'asymétrie équatoriale de la forme de la Terre et du champ gravimétrique bien connu de la géodésie.

Les observations magnétiques montrant que le champ magnétique du Globe se déplace continuellement, on peut supposer, que le champ de gravitation, la forme et la vitesse de rotation de la Terre présentent aussi des variations séculaires.

Les calculs de l'auteur mettent en évidence que l'ordre de grandeur des variations de gravitation produites par les déplacements du noyau interne (amplitude probable de  $\pm 1 \text{mGal}$  en 10 ans sur le plan équatorial), surpassé la limite de précision des gravimètres modernes. En raison de cette circonstance, l'auteur propose l'établissement d'un réseau de postes d'observations gravimétriques autour de l'équateur, servant à démontrer les déplacements des masses terrestres".

- 3 - BARTA G. - Some new data concerning the connection between the triaxiality of the Earth and the excentricity of the Magnetic Field. Geomagn., Serv. Meteor. Nac., Lisboa, 1962, p. 89-96. See also : Bul. Inf., B.G.I., 1963, n° 4, p. 119-121.

"Es wird darauf hingewiesen, dass die Richtung der grossen Achse der aus den Orbitaldaten der künstlichen Satelliten bestimmten Äquatoriellen Ellipse mit jener der Excentrität des erdmagnetischen Feldes zusammenfällt ; daraus wird gefolgert, dass die Ellipsenform des Äquatores durch eine exzentrische Lage des inneren Erdkernes hervorgerufen wird. Die langperiodische Änderung des erdmagnetischen Feldes wird vermutlicherweise von der Gravitationswirkung verursacht welche die bewegten Massen auf den exzentrischen Kern ausüben. Die Excentrität des inneren Erdkernes selbst kann durch eine recht geringe Inhomogenität der Erdmassen bedingt sein.

Die in der säkularen Änderung des erdmagnetischen Feldes sich zeigende 50-jährige Periode wird mit anderen - in der Rotationsgeschwindigkeit der Erde, in den Schwankungen der Niveauflächen und der Polhöhe erscheinenden - Oszillationen verglichen".

- 4 - BARTA G. - The Potsdam "g" value and the displacement of the Earth's core.  
 Typewritten text presented to the Int. Grav. Com., Paris (Sept. 1962), 2p.  
 See also : Bul. Inf., B.G.I., 1963, n° 4, p. 121-122.

It is well known that the Potsdam basic "g" value as determined by KUHNEN-FURTWÄNGLER between 1898 and 1904 as an absolute value of 981 274 mGal  $\pm$  3 mGal, is by about 10-15 mGal higher than it should be as compared with the results of up-to-date measurements carried out with more modern equipments and methods. A Table gives a review of such confrontations. It is indicated that the total change in 55 years is about - 11 mGal.

- 5 - BOULANGER J. - On secular gravity changes. D. Akad. Wiss., Berlin, 1962, (Int. Symposium über rezente Erdkrustenbewegungen, Mai 1962, Leipzig), p. 203-208.

Summary of the observations carried out in the USSR to detect the secular changes in gravity :  

- in 1935-36, a special expedition in the Caucasus,
- by 1945, connections of Tbilisi with stations in the European part of the USSR and directly with Potsdam,
- in 1950-54, a network of gravimetric reference points was established with 7 Norgaard instruments, along the 56th parallel ; in 1961, these measurements were repeated at the same points, in 5 stations from Moscow to Novosibirsk, with 9 GAE-3 gravimeters.

"Thus, the above data show that at present we do not possess trustworthy evidence on secular changes of gravity. If they really exist they are too small to be detected by the measurements methods used for the purpose".

- 6 - GANTAR C., MORELLI C. - First Order World Gravity Loop, 1962. Boll. Geof. teor. appl., 1962, vol. IV, n° 15, p. 1-42.

As a fundamental contribution to the First Order World Gravity Net, some stations of this Net have been chosen all around the Earth with about the same gravity values, so that calibration effects could be small, and well connected by commercial flights :

Rome-New York-San Francisco-Tokyo-Beirut-Athens-Rome.  
These stations have been tied with at least 3 (Worden) gravity-meters, each leg being measured several times as repeated round-trips. Closure error of the whole loop is 0.32 mGal.  
The loop will be useful also for the study of the secular variation of gravity.

- 7 - WARD M.A. - On detecting changes in the Earth's radius. Geophys. J., 1963, vol. 8, n° 2, p. 217-225.

"Estimates of the Earth's radius in the geological past can be made from paleomagnetic evidence. A method appropriate to the spherical environment of the data for dealing with this problem is given, which is applied to Devonian, Permian and Triassic data from Europe and Siberia, yielding estimated radii for these periods of 1.12, 0.94 and 0.99 times the present radius respectively. These estimates are not considered to be significantly different from the present radius".

- 8 - PINTER A. - The Secular Variation of the Gravity Field. Geofiz. Kuzl., Budapest, 1964, vol. XIII, n° 1, p. 1-20, texte hongrois, résumés russe et anglais.

"As assumed by G. BARTA, the eccentricity of Earth's magnetic field is due to the eccentricity of the Earth's inner core. The supposed eccentricity of the mass (and its variation in time) must consequently manifest itself in the Earth's gravity field too. Calculations concerning the problem were made by the author using the BULLEN-JEFFREYS Earth-model and the spherical harmonic representations for certain epochs. The results obtained show the secular variation of gravity field deduced from the supposed shift of the inner core has an acceptable order of magnitude".

The annual variation could be about 0.9 mGal in some regions.  
(See above map, p. 12).

- 9 - ACZEL E. - Secular Variation of Deviation of the Vertical. Geofiz. Kuzl., Budapest, 1964, vol. XIII, n° 1, p. 21-32, texte hongrois, résumés russe et anglais.

"The shift of the Earth's core as indicated by the secular variations of the magnetic field, postulates the secular variations of the gravity field too. On the evidence of the coefficients of the magnetic spherical harmonics for 1885, 1922, 1945 and 1955, the magnetic centre, i.e. the position of the Earth's core is also known for the mentioned periods. Utilising these data the theoretical secular variation of the direction of the gravity field was calculated and represented on a map.

The results obtained permit to explain the differences in  $\varphi$  and  $\lambda$  (coming from measurements) no more by continental drift as usual, but by the variation of the direction of the gravity field".

- 10 - BARTA G. - Correspondence between the Shape of the Earth and some Geophysical Phenomena. Studia geoph. et geod., 1965, vol. 9, n° 2, p. 214-216.

The author summarises the former publications on this subject (see above) : the investigations proved that an 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, i.e. it produces a correct measure for the triaxiality of the Earth".

It indicates that "recently some new data were found, which are suitable for throwing light on this group of phenomena".

---

MESURES DU GRADIENT VERTICAL DE LA PESANTEUR

Les articles géodésiques, purement théoriques, sont laissé  
rubrique "Détermination de la Figure de la Terre".

1

- 13<sup>\*</sup> - COMMISSION GRAVIMETRIQUE INTERNATIONALE - Gradient vertical pesanteur. Bull. Inf., 1963, n° 4, p. 47-49.  
C.R. des discussions relatives à ce sujet au cours de tenue à Paris, en Septembre 1962.

17

- 14 - BODEMULLER H. - Measurement and Geodetic Evaluation of vertical gravity. Typewritten text, Int. Grav. Com., Paris, 19 Geod., 1963, n° 69, p. 261-280.

"Vertical and horizontal gradients of gravity can be measured with very precise gravity meters if all precautions and factors are regarded. On these suppositions the accuracy is better than  $\pm 10 \text{ E}$  or  $0.0010 \text{ mGal/m}$ . Considering the fact that above characteristic topographical forms the vertical gradient is not representative, it would be better to construct a vertical meter. Horizontal gradients allow us to compute the angle between the plumb-line going through the station, whilst vertical gradients give the mean curvature of the equipotential surface at the station point. Horizontal and vertical gradients together give the angle  $E$  between the surfaces  $W = \text{const.}$  and  $g = \text{const.}$  at the station.

18

If in the shorter environs of the station, several points which form a regular or irregular net, are fixed and their coordinates and altitudes of the points as well as the orientation of the net with respect to North have been determined, a vertical gradient meter, gravity in all fixed points and in points lying vertically above the netpoints can be observed. With the help of the principal curvatures and the azimuths of the lines in the equipotential surface going through the station point can be determined. For this purpose, the above observed values of gravity have to be reduced to horizontal planes running outside the earth and through the station point as well as the chosen upper point. The reduction is made place with the observed mean gradient  $\Delta g/\Delta h$ .

19 -

Visible and invisible disturbing masses have influence on the vertical gradient ... When using a vertical gradient meter it is, therefore, always advisable to measure the vertical gradient at least 3 points of a plumb-line in order to find out whether the changes of the vertical gradient change rather linearly with the altitude..."

\* Ces articles font suite à ceux indiqués dans le Bulletin d'Information de l'International Gravity Service (Avril 1962, p. 81).

A borehole gravimeter of 0.3 to 0.5 mGal accuracy and vertical observation intervals ranging from 100 to 200 feet possibly could furnish average vertical gradients capable of discriminating density changes of 0.1 cgs unit..."

- 20 - THYSSEN-BORNEMISZA S. - Gravitational Exploration and the Principle of Equivalence. Geophysics, 1964, vol. XXIX, n° 2, p. 301-303.

"...The Equivalence Principle has an important bearing on the study of gravitational exploration on the sea, in the air or even in space.

A special instrument setup could be useful where 2 gravimeter units provided with electrical signal output are compensated by a common bridge circuit permitting the direct reading of gravity difference values.

A table shows the changes of the vertical gradient  $U_{zz}$  or  $\bar{U}_{zz}$  which could be observed inside a freely falling vehicle subjected to gravitational acceleration "g". The gravitational effect of regional or isostatic anomalies could also be registered..."

- 21 - THYSSEN-BORNEMISZA S., STACKLER W.F. - Average Gravity Gradients in Geophysical Exploration. Note, Meeting of the E.A.E.G., Liège, June 1964 C.R. : Geophysics, 1964, vol. XXIX, n° 5, p. 898-899.

"...From the more technological viewpoint, the average gradient may help in creating a new kind of gravitational instrument for observing gravitational effects inside accelerated vehicles like boats or aircraft, and also in free flight or the so-called weightless state of an orbiting artificial satellite...."

---

\* 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)

---

INTRODUCTION

.....

Il existe plusieurs méthodes d'étalement des gravimètres. Les plus répandues sont les suivantes :

1) étalement sur des points où la pesanteur est bien connue, par exemple, à partir de mesures pendulaires,

2) étalement par la méthode d'inclinaison,

3) étalement par méthode géométrique (méthode utilisée pour la première fois en URSS).

Toutes les méthodes énumérées sont en théorie parfaitement correctes et pourraient, semble-t-il, être utilisées avec un succès identique pour étalement les gravimètres. En fait, du moins avant 1953, les écarts entre coefficients d'échelle déterminés par les différentes méthodes ont souvent atteint des valeurs notables dépassant  $1 \pm 2 \cdot 10^{-3}$ , ce qui prouvait l'existence d'erreurs notoires, probablement inhérentes à chacune des méthodes connues.

.....

Les géodésistes prêtent beaucoup d'attention aux questions d'étalement des gravimètres. Ce problème est toujours inscrit à l'ordre du jour des Assemblées Générales de l'Union Internationale de Géodésie et de Géophysique depuis 1951. C'est précisément à cette époque que P. LEJAY a indiqué la nécessité de créer une base gravimétrique étalon unique pour comparer les gravimètres.

En Union Soviétique l'élaboration de méthodes d'étalement des gravimètres a débuté en 1947 en liaison avec une première tentative pour appliquer les gravimètres à la détermination des points gravimétriques de Premier Ordre (2). Mais déjà alors la difficulté de résoudre ce problème a immédiatement

\* Traduction partielle du texte et pour Fig. et Tab. se reporter au texte original

surgi. C'est précisément depuis ce temps là qu'à la Section de Gravimétrie de l'ancien Institut Géophysique de l'Académie des Sciences de l'URSS, on a commencé à élaborer des méthodes d'étalonnage des gravimètres et en particulier des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal (gravimètres de Norgaard). Par ailleurs, il s'agissait des uniques appareils pouvant servir à dresser des réseaux de rattachement sur l'immense territoire de l'Union Soviétique où les variations de "g" s'étendent sur plus de 4 gals.

Jusqu'en 1951, on n'a étudié que deux méthodes : la méthode d'inclinaison et la méthode de l'étalonnage par points. Et la convergence des résultats de ces deux méthodes prouva les erreurs systématiques énormes apparaissant dans la détermination des coefficients d'échelle. C'est ainsi que dans l'étalonnage par inclinaison apparaissaient des erreurs systématiques dépassant plusieurs fois les erreurs obtenues par la convergence interne. La difficulté de résoudre ce problème est apparue insurmontable. Cela a suggéré à Ju. D. BOULANGER l'hypothèse que les gravimètres à fil de torsion horizontal ne peuvent par leur principe être étalonnés avec une précision dépassant  $3 \text{ à } 5.10^{-3}$  avec la méthode d'inclinaison. On n'a réussi à élucider les raisons de cet échec que bien plus tard, seulement au printemps 1955 lorsque l'on eut réitéré ces essais sur une installation plus perfectionnée.

En 1950, M.S. MOLODENSKIJ a proposé un nouveau procédé d'étalonnage des gravimètres avec fil de torsion horizontal appelé par la suite méthode géométrique. Ce procédé assure la détermination des coefficients d'échelle avec une précision de  $\pm 1.10^{-4}$  et davantage chez ce type de gravimètre. Cette méthode est fondée sur la mesure directe de l'angle de rotation du système à quartz. Mais pour mettre au point cette méthode, on s'est heurté là aussi à des difficultés liées au réglage de l'installation. C'est seulement au printemps 1954 que l'on a réussi à résoudre complètement ce problème lorsque l'auteur du présent travail eut proposé une nouvelle méthode de réglage des axes de l'installation. Ce procédé est apparu parfaitement rationnel ; la plupart des erreurs systématiques s'éliminent à cette occasion. Après plus de trois ans de travail on a pu se convaincre de l'étalonnage parfaitement possible des gravimètres par méthode géométrique avec une erreur ne dépassant pas  $\pm 1.10^{-4}$ .

Au cours de l'étalonnage des gravimètres Norgaard et "SN-3" on a eu l'idée de construire un gravimètre où l'angle de rotation du système à quartz serait directement mesuré par un dispositif goniométrique précis et non par le procédé tangentiel comme cela se fait chez les gravimètres Norgaard et "SN-3". La nécessité même d'étalonner un tel gravimètre disparaîtrait, si on réalisait cette idée.

Ce gravimètre a été mis au point par un groupe de travailleurs scientifiques du Laboratoire Aérogravimétrique de l'Institut de Physique du Globe de l'Académie des Sciences de l'URSS et monté à l'atelier expérimental de construction d'appareils du même Institut. Ce gravimètre a été nommé "GAE-2" (c'est-à-dire gravimètre de l'Expédition Aérogravimétrique, deuxième modèle) (3).

Afin de le vérifier expérimentalement, le nouveau gravimètre a été étalonné par la méthode géométrique, celle de l'inclinaison et sur des points à force de pesanteur connue. En moyenne, pour un groupe d'appareils, le coefficient d'échelle est apparu égal à  $1,00003 \pm 0,10^{-4}$ .

La création du gravimètre "GAE-2" a donc résolu en grande partie le problème des déterminations relatives de la pesanteur à l'aide des gravimètres. Alors qu'auparavant les gravimètres ne pouvaient être employés que comme appareils d'interpolation de l'accélération de la pesanteur mesurée pendulairement, maintenant, avec la construction des gravimètres "GAE-2" il est possible de se libérer de cette limitation. Les nouveaux gravimètres ont permis d'accomplir des déterminations relatives de l'accélération de la pesanteur directement en système CGS, ainsi qu'on le fait avec les appareils pendulaires, mais de façon plus précise et avec un rendement plusieurs fois supérieur.

Utilisant les gravimètres "GAE-2" et "GAE-3" (troisième modèle) l'auteur a poursuivi en 1955 l'étude de la méthode d'étalonnage par inclinaison. Il a pu trouver ainsi la raison des erreurs systématiques de cette méthode. Il s'agissait de la rigidité insuffisante de la fixation du gravimètre à la plaque inclinée et des déformations de la plaque même. Il est apparu très important de recourir à un procédé de fixation du gravimètre où son corps serait rigidelement lié à la plaque inclinée sans subir lui-même de déformations. Lors de l'étalonnage, le gravimètre doit être installé sur un pied comme dans les travaux *in situ*.

A la suite d'un long travail expérimental ardu, on a pu, par la méthode d'inclinaison, atteindre une précision d'étalonnage des gravimètres de  $\pm 1 \text{ à } 1,5 \cdot 10^{-4}$ . On a donc actuellement réussi à élaborer deux méthodes différant par le principe : la méthode géométrique et celle d'inclinaison permettant de déterminer les coefficients d'échelle des appareils avec une erreur moyenne de l'ordre de  $1 \cdot 10^{-4}$ . Ces deux méthodes se contrôlant réciproquement, permettent l'étalonnage au laboratoire sans recourir à l'étalonnage sur points assez dispendieux. Par ailleurs, les méthodes élaborées se sont révélées plus précises que les méthodes *in situ* et, fait d'une grande importance pratique, les nouvelles méthodes permettent d'étudier aussi en détail que l'on veut, les échelles de lecture, ce que les autres méthodes n'assurent point (4).

A la suite de l'étalonnage (par les nouvelles méthodes) d'un vaste parc de gravimètres, accompli les quatre dernières années, on a pu se convaincre que les coefficients d'échelle des gravimètres à fil de torsion horizontal du type Norgaard, "SN-3", "GAE-2", "GAE-3" peuvent être obtenus sans difficultés techniques particulières avec une erreur de  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  seulement.

Les méthodes élaborées par l'auteur ont été employées tant en Union Soviétique qu'à l'étranger. Elles ont été utilisées pour étalonner les gravimètres servant à la Direction Principale de Géodésie et de Cartographie du Ministère de la Géologie et des Mines de l'URSS. Par ces méthodes furent étalonnés les gravimètres Norgaard et "SN-3" utilisés pour des levés en République Populaire Chinoise, Tchécoslovaquie et autres pays (20).

Le présent travail est consacré à la description des méthodes mises au point (d'étalonnage des gravimètres) et à la discussion des résultats obtenus.

## I. TOUR D'HORIZON DES REALISATIONS SUR LE PLAN DE L'ETALONNAGE DES GRAVIMETRES.

.....

### 1. Etalonnage par points

.....

En Union Soviétique l'étalonnage des gravimètres a été fait sur points (méthode *in situ*) et par des méthodes de laboratoire. On a prêté une attention particulière à la sûreté des coefficients d'échelle obtenus par différentes méthodes.

.....

Le premier étalonnage expérimental de ces instruments, sur des points où la pesanteur est connue, accompli en Août 1949, s'est révélé insatisfaisant.

En 1950, un groupe de gravimètres Norgaard a été étalonné, d'après la différence Moscou-Obi-Garm. Les mesures avec gravimètres ont été effectuées sur le polygone fermé Moscou-Tiflis-Tachkent-Omsk-Moscou.

La différence étalon a été mesurée pendulairement en 1945-1946 par l'Expédition de Garm de l'Institut Géophysique de l'Académie des Sciences de l'URSS. L'erreur relative n'a été que de  $\pm 2.10^{-4}$  (1).

Pour mesurer cette différence on a employé trois types d'appareils pendulaires : appareil de la Société de Cambridge avec trois pendules en invar, appareil Askania-Werke avec ensemble de pendules de bronze et appareil de l'Institut Géodésique de Potsdam avec ensemble de pendules en invar.

Comme il est souvent délicat de se servir d'une telle différence étalon on a déterminé la différence étalon Moscou-Poltava avec les coefficients d'échelle ainsi obtenus, par un groupe de gravimètres Norgaard. Cette différence a été prise comme différence fondamentale et c'est dans son système que l'on a mené à bien toutes les déterminations ultérieures. On peut juger de la sûreté de l'étalon soviétique ainsi établi d'après les résultats d'étalonnage des gravimètres "GAE-2" (tableau 1).

Il résulte du tableau 1 que les coefficients d'échelle des gravimètres "GAE-2" sont proches de l'unité ; leurs écarts ne dépassent pas  $5,6 \cdot 10^{-4}$  et présentent un caractère aléatoire. La moyenne du coefficient d'échelle pour l'ensemble du groupe d'appareils est apparue égale à  $1,00015 \pm 1,3 \cdot 10^{-4}$  c'est-à-dire pratiquement égal à l'unité. Cela permet de penser que la différence étalon obtenue en 1950 est assez proche de la vraie valeur et ne comporte pas, en tout cas, d'erreur systématique notable.

Au cours des travaux *in situ* on a pu redéterminer les coefficients d'échelle de tous les gravimètres étalonnés sur Moscou-Poltava, mais cette fois sur la différence Novossibirsk-Garm. La pesanteur à Novossibirsk a été mesurée par l'Expédition Aérogravimétrique de l'Institut de Physique du Globe de l'Académie des Sciences de l'URSS en 1951 et à Garm en 1950. Cette différence a été mesurée par des gravimètres Norgaard étalonnés sur l'étalon soviétique. L'erreur sur la différence Novossibirsk-Garm a été calculée avec la somme des carrés des erreurs de toutes les liaisons le long des éléments déterminés en 1950 et 1951.

L'erreur sur la différence Novossibirsk-Garm est apparue égale à  $\pm 0,32$  mGal dans le système de l'étalon soviétique.

.....

Le tableau 2 donne les résultats de détermination des coefficients d'échelle d'après la différence étalon Novossibirsk-Garm. Le coefficient d'échelle pour les sept gravimètres est apparu égal à  $1,00000 \pm 2 \cdot 10^{-4}$ , l'écart par rapport à l'unité n'a pas dépassé  $5,6 \cdot 10^{-4}$ .

Le tableau 3 compare les résultats d'étalonnage des gravimètres "GAE-2" d'après les différences étalon Moscou-Poltava et Novossibirsk-Garm.

L'attention est suscitée par la bonne convergence des coefficients d'échelle obtenus par les deux déterminations. En moyenne, l'erreur systématique est apparue n'être que de  $+ 1,9 \pm 2,4 \cdot 10^{-4}$  c'est-à-dire inférieure à ses erreurs de détermination. Une fois achevés les travaux *in situ* au début de 1954, les mêmes gravimètres ont été étalonnés au laboratoire par méthode géométrique. La comparaison des coefficients d'échelle obtenus par méthode géométrique et par observations sur le polygone d'étalonnage soviétique surprend par sa bonne concordance.

L'erreur systématique entre coefficients déterminés par des méthodes différentes dans leur principe est apparue inférieure à l'erreur fortuite des déterminations. En effet, la différence entre les coefficients moyens provenant de l'étalonnage au laboratoire et des déterminations par l'étalon Moscou-Poltava n'a représenté au total que  $+ 1 \cdot 10^{-4} \pm 1,3 \cdot 10^{-4}$  et par l'étalon Novosibirsk-Garm -  $0,9 \cdot 10^{-4} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$ .

.....

2. Etalonnage par inclinaison

.....

3. Etalonnage par méthode géométrique

.....

## II. L'ETALONNAGE DES GRAVIMETRES PAR METHODE GEOMETRIQUE.

La relation suivante régit les gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal.

$$g = g_0 / \cos \nu \quad (9)$$

où "g" est l'accélération de la pesanteur au point considéré, "g<sub>0</sub>" une constante de l'appareil correspondant à l'accélération de la pesanteur correspondant à  $\nu = 0$ ,  $\nu$  est l'angle d'inclinaison du pendule sur l'horizontale.

La pesanteur relative est définie par l'expression :

$$g_r = g_0 \left( \frac{1}{\cos \nu} - 1 \right) \quad (6)$$

De l'équation (6) il résulte clairement que pour une seule et même valeur de l'angle  $\nu$  deux positions d'équilibre du système sont possibles : inférieure correspondant à la valeur positive de l'angle  $+\nu$  et supérieure, correspondant à l'angle négatif  $-\nu$ .

Cette propriété du système est à la base du dispositif de mesure du gravimètre car elle exclut la nécessité d'une détermination de l'angle d'inclinaison du pendule sur l'horizontale. Mettant à profit cette propriété dans les gravimètres à fil de torsion horizontal, on a conçu un dispositif permettant de mesurer l'angle  $2\nu$  (fig. 4). Chez les gravimètres Norgaard et "SN-3" on emploie pour mesurer l'angle  $2\nu$  le procédé tangentiel. Celui-ci consiste à mesurer  $2\nu$  indirectement par l'intermédiaire des grandeurs  $k$ ,  $L$  et  $m_b$  (fig. 4) définissant les dimensions géométriques de l'appareil. Supposant  $k$  et  $L$  invariables au cours des mesures, la détermination de l'angle  $2\nu$  se ramène à la mesure de la grandeur linéaire  $m_b$  à l'aide de deux vis micrométriques chez le gravimètre Norgaard, d'une vis micrométrique et d'un coussinet amovible dans le gravimètre "SN-3".

Après quelques transformations, la formule (6) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$g_r = g_0 (A_0 + A_1 m_b + A_2 m_b^2 + A_3 m_b^3) \quad (10)$$

L'idée de la méthode d'étalonnage proposée par M.S. MOLODENSKIY consiste à mesurer directement l'angle  $2\psi$  en unités angulaires. Dans cette méthode, on mesure assez précisément l'angle  $2\psi$  et l'on calcule  $g_r$  par la formule (6), indépendamment du dispositif de lecture du gravimètre. On calcule en même temps  $g_r$  par la formule (10) pour les mêmes positions du corps mobile du gravimètre pour lesquelles on avait mesuré les angles  $2\psi$ , en mettant à profit le dispositif de lecture du gravimètre. Le résultat de la comparaison de ces deux grandeurs est le coefficient d'échelle tiré de l'expression :

$$\lambda = \frac{g_0 \left( \frac{1}{\cos \psi} - 1 \right)}{g_0 (A_0 + A_1 m_b + A_2 m_b^2 + A_3 m_b^3 + A_4 m_b^4)} \quad (11)$$

Il s'ensuit que dans cette méthode la grandeur étalon  $g_0$  est calculée par la formule (6) en mettant à profit l'angle  $2\psi$  mesuré en unités angulaires. La valeur de  $g_r$  déterminée par le dispositif de lecture du gravimètre, est calculée par la formule (10) avec mise à profit des mentions du certificat délivré par l'usine. La méthode décrite peut être appliquée à l'étalonnage de tous les types de gravimètres à fil de torsion horizontal où l'angle d'écartement est mesuré par la méthode du zéro.

Nous remarquons que cette méthode est purement géométrique. Dans l'étalonnage par ce procédé le système à quartz du gravimètre ne participe pas aux mesures. En pratique la méthode géométrique ne peut être utilisée que lorsque l'angle entre le fil de quartz et l'axe de rotation du gravimètre est petit et peut être négligé. (On admet cette hypothèse dans la conception des gravimètres).

## 2. Description de l'installation d'étalonnage.

Pour étalonner les gravimètres par la méthode géométrique, il faut disposer d'une installation qui permette de mesurer les angles de rotation de la partie mobile du gravimètre par le dispositif de lecture de ce dernier et en même temps par le cercle vertical de l'instrument goniométrique.

L'installation nécessaire à l'étalonnage par cette méthode a été montée en 1952 au Laboratoire Aérogravimétrique de l'Institut de Physique du Globe de l'Académie des Sciences de l'URSS.

Cette installation se compose d'un instrument de mesure des angles, du miroir du gravimètre avec son pied et d'un niveau de haute sensibilité. La fig. 5 montre la disposition du système théodolite-miroir-gravimètre.

Comme instrument de mesure des angles nous avons employé dans nos études un cercle vertical gradué en deux secondes de Hildebrand et le théodolite soviétique "GT-02" (9). L'oculaire du tube de visée de l'instrument de mesure des angles était équipé d'un dispositif complémentaire pour mesurer les angles verticaux par autocolimation (fig. 6).

La partie principale de l'installation est le miroir servant à mesurer l'angle de rotation de la partie tournante du gravimètre. Ce miroir est rigidelement fixé au cylindre rotatif du gravimètre à l'aide d'un dispositif spécial (fig. 6). Dans ce procédé de mesure le miroir doit être plan. C'est pourquoi il faut en assurer la fixation dans une monture qui ne compromette pratiquement pas sa planéité. La fig. 7 montre le miroir dans sa monture. Celle-ci possède une vis de réglage permettant d'incliner le plan du miroir par rapport à l'axe de rotation du corps mobile du gravimètre. Si le plan du miroir est parallèle à l'axe de rotation du gravimètre, une rotation de  $2\psi$  de la partie mobile du gravimètre fait tourner d'autant dans l'espace chaque normale au plan du miroir. Si en plus l'axe horizontal du tube de l'instrument goniométrique est parallèle à l'axe de rotation du gravimètre et que l'axe optique coïncide avec la normale du miroir en tout point de son plan, on peut mesurer l'angle  $2\psi$  par le cercle vertical. Le pied du gravimètre comporte des vis de réglage à l'aide desquelles l'axe de rotation du gravimètre est mis en position horizontale. L'axe du tube de l'instrument goniométrique est réglé par le procédé décrit dans le travail (9).

On fixe sur le gravimètre dans une monture spéciale un niveau de haute sensibilité avec graduations de l'ordre de 1 à  $2''$ . Ce niveau tient compte de l'influence de l'oscillation du pied. Pour mesurer l'angle  $2\psi$  on est amené à faire tourner d'autant le corps avec le système à quartz et en même temps la partie mobile du corps du gravimètre. De cette façon lorsqu'on actionne le levier du microscope, il se produit un déplacement du centre de gravité de l'instrument causant une oscillation du pied accompagnant la mesure de l'angle  $\psi$  (10).

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

Cherchons avec quelle précision il faut mesurer l'angle  $\psi$  pour assurer une précision d'étalonnage de  $1.10^{-4}$ . Pour la commodité des calculs, rappelons que l'accélération relative de la pesanteur mesurée par le gravimètre à quartz avec fil de torsion horizontal se calcule par la formule :

$$g_\psi = g_0 \left( \frac{1}{\cos \psi} - 1 \right) \quad (6)$$

En différentiant par rapport à  $\psi$ , et en posant :

$$\sin \psi \approx \psi, \cos \psi \approx 1 \quad (\psi \leq 5^\circ)$$

On a :  $dg_\psi = g_0 d\psi$

En remplaçant les différentielles par les erreurs quadratiques moyennes, nous obtenons comme erreur de mesure de l'angle  $m(\psi)$  l'expression :

$$m(\psi) = \frac{m(g_\psi)}{\sqrt{g_0}} \quad (14)$$

Posant  $m(\nu) = g_0 \cdot 1.10^{-4}$  et  $g_0 = 980$  gal, calculons les erreurs admissibles de mesure pour différents angles d'écart du système à quartz. Les résultats des calculs (tableau 5) montrent que pour obtenir un étalonnage à  $\pm 1.10^{-4}$ , les angles  $\nu$  doivent être mesurés avec une précision de  $\pm 0,2''$  à  $\pm 0,9''$ .

Dans l'installation décrite les sources principales d'erreur influant sur la précision de la détermination du coefficient d'échelle sont : 1) la qualité du miroir, 2) le non-parallélisme du plan du miroir et de l'axe de rotation du gravimètre, 3) le non-parallélisme de l'axe de rotation du gravimètre et de l'axe horizontal de rotation de l'instrument goniométrique, 4) l'obliquité du fil de quartz par rapport à l'axe de rotation de la partie mobile du gravimètre. Les erreurs de pointage et les erreurs de lecture sur les microscopes-micromètres sont fortuites et peuvent être réduites par des mesures multiples. En l'occurrence les angles ont été mesurés 3 à 6 fois. Dans cette méthode, l'influence des erreurs du dispositif de lecture du gravimètre est négligée car on n'opère pas de lecture sur le système à quartz.

Le miroir est une partie très importante du système de mesure gravimètre-théodolite. Pour le construire, on a imposé la condition que l'écart à la planéité de ses différentes parties ne dépasse pas le dixième de la longueur d'onde de la lumière.

L'erreur de mesure de l'angle due à la courbure du miroir, exprimée en secondes d'arc, égale :

$$m(\nu)_3 = \frac{\lambda}{10l} \rho''$$

Avec  $\lambda = 0,45\text{m}$ , et une longueur utile de miroir de 90 mm, nous trouvons :

$$m(\nu)_3 \approx 0,10''$$

Calculons les tolérances d'obliquité sur les angles principaux. Si dans la mesure de l'angle  $\nu$ , une obliquité angulaire  $\gamma$  afflige les axes de l'installation, on mesure en pratique l'angle  $\nu \cos \gamma$ . Pour que l'obliquité des axes n'influe pas sur la valeur de l'angle mesuré  $\nu$ , il suffit de remplir la condition :

$$\nu - \nu \cos \gamma \leq \frac{1}{2} m(\nu) \quad (15)$$

$m(\nu)$  étant l'erreur de mesure de l'angle  $\nu$ , ou

$$\cos \gamma = 1 - \frac{1}{2} \frac{m(\nu)}{\nu}$$

Développant  $\cos \gamma$  en série, nous trouvons l'expression de l'angle en minutes d'arc :

$$\gamma' = \pm \rho' \sqrt{m(\nu)/\nu} \quad (16)$$

A l'aide du tableau 5 et de la formule (16), on calcule que  $\gamma$  ne doit pas dépasser  $25'$ . En considérant que l'obliquité de chacun des axes agit comme une erreur aléatoire, la tolérance sur l'obliquité d'un axe ne doit pas dépasser  $\frac{\gamma}{\sqrt{L}} \approx 12'$ .

L'obliquité du fil de quartz par rapport à l'axe de rotation du gravimètre n'influe pas sur la précision de mesure de l'angle, car on ne considère pas les lectures sur le système à quartz. Mais pour estimer la précision réelle des coefficients d'échelle obtenus avec cette méthode d'étalonnage, il faut connaître l'angle d'inclinaison entre fil de quartz et axe de rotation du gravimètre. Dans les autres méthodes d'étalonnage, il ne faut pas oublier que le fil de quartz est en position horizontale, tandis que l'axe de rotation du gravimètre fait un certain angle avec l'horizontale.

Monsieur BURSA a proposé deux procédés de déterminations de cet angle (20).

Le premier procédé consiste à fixer le niveau sur le corps du gravimètre de façon que son axe soit parallèle à celui de rotation du gravimètre. On prend l'indication  $l_1$  de ce niveau lorsque l'axe de rotation est horizontal. Puis on met le fil de quartz en position horizontale et on lit la deuxième indication  $l_2$  du niveau. L'angle à déterminer se calcule par l'expression :

$$\omega = (l_2 - l_1) n$$

où  $n$  est la graduation du niveau en unités angulaires.

Dans le second procédé, l'angle  $\omega$  est déterminé à partir de la différence des indications du gravimètre lorsque le fil de quartz est horizontal  $g_r'$  et lorsque c'est l'axe de rotation qui est horizontal  $g_r''$ . On peut alors écrire :

$$g_r'' + g_o = (g_r' + g_o) \cos \omega$$

ou, en développant  $\cos \omega$  en série :

$$\omega = \rho' \left| \sqrt{\frac{2(g_r' - g_r'')}{g_r' + g_o}} \right|$$

Les essais ont montré (20) que l'angle  $\omega$  ne dépasse pas usuellement les tolérances calculées dans (16) et que l'on peut donc le négliger.

#### 4. Réglage de l'installation.

La partie la plus difficile de l'étalonnage par méthode géométrique est le réglage du système gravimètre-miroir-théodolite. L'obliquité des axes de l'installation étant une source d'erreurs, il faut en premier lieu régler les axes.

Pour régler le miroir, on a mesuré l'angle de rotation maximal du système à quartz  $2\nu$  pour différentes inclinaisons du plan du miroir par rapport à l'axe de rotation du gravimètre. On a construit un graphique où l'on a porté, en abscisses, les indications de la vis de réglage du miroir et, en ordonnées, les angles d'écart mesurés par le théodolite du système à quartz  $2\nu$ , correspondant à diverses inclinaisons du plan du miroir par rapport à l'axe de rotation du gravimètre. On a construit la courbe passant par ces points, branche de sinusoïde, puis on a recherché l'axe de symétrie de cette courbe. L'intersection de cet axe de symétrie et de l'axe des abscisses fournit l'indication de la vis de réglage du miroir pour laquelle on obtient la valeur maximale de l'angle  $2\nu$ . En l'occurrence  $\cos \gamma = 1$ , donc l'angle entre le plan du miroir et l'axe de rotation du gravimètre est nul, c'est-à-dire que le plan du miroir est parallèle à l'axe de rotation du gravimètre. On suppose que l'instrument goniométrique et le gravimètre sont réglés.

Pour établir le parallélisme de l'axe de rotation du gravimètre et de l'axe horizontal de l'instrument goniométrique, on a mesuré l'angle maximal d'écart du système à quartz pour différentes inclinaisons sur l'horizontale de l'axe de rotation du gravimètre. Cette inclinaison était donnée à l'aide de la vis de calage du pied du gravimètre. D'après les valeurs mesurées, on a construit le graphique de l'angle  $2\nu$  en fonction de l'inclinaison de l'axe de rotation du gravimètre sur l'horizontale. L'abscisse correspondant au maximum de la courbe fournit l'indication de la vis de calage du pied pour laquelle l'axe de rotation du gravimètre est parallèle à l'axe horizontal de rotation de l'instrument goniométrique. A titre de contrôle du réglage correct du système théodolite-miroir-gravimètre, le fil vertical du réseau doit rester en coïncidence avec son image dans le miroir pour toutes les positions de ce dernier.

Pour réduire l'influence de l'obliquité du fil de quartz, on est amené, à l'aide de dispositifs purement mécaniques, à installer le boîtier avec le système à quartz à l'intérieur du cylindre de telle manière que les arêtes soient parallèles aux génératrices du cylindre. Les résultats des mesures accomplies dans le travail (20) ainsi que les résultats de comparaison des différentes méthodes d'étalonnage obtenues au Laboratoire Aérogravimétrique montrent que cette disposition du système à quartz assure la précision voulue de l'étalonnage.

## 5. Dépouillement des résultats des mesures.

Le coefficient d'échelle se calcule par la formule :

$$\lambda = \Delta g_{ct} / \Delta g_r \quad (4)$$

et le correctif au coefficient d'échelle :

$$\delta g_\lambda = g_v - g_r \quad (17)$$

Dans la méthode géométrique, la valeur étalon se trouve par l'expression :

$$\Delta g_{ct} = g'_v - g''_v \quad (18)$$

où  $g_v$ , grandeur calculée par la formule (6), est empruntée aux tables du travail (12) pour diverses valeurs de l'angle  $\nu$ .

La différence  $\Delta g$  entre deux points, déterminée par le gravimètre, sera :

$$\Delta g_r = g'_r - g''_r \quad (19)$$

où  $g_r$ , accélération relative de la pesanteur mesurée par le gravimètre, est empruntée aux tables des travaux (12, 13). Les grandeurs  $g_v$  et  $g_r$ , sont calculées pour les mêmes valeurs de  $g_o$ . Pour le gravimètre Norgaard,  $g_r$  se calcule par la formule :

$$g_r = Cm_b^2 + Dm_b^3 + Em_b^4 \quad (20)$$

(voir valeurs de C, D, E,  $m_b$  dans l'original).

.....

Pour le gravimètre "SN-3",  $g_r$  se calcule par la formule :

$$g_r = g_o A'_o + g_o A'_1 q + g_o A'_2 q^e \quad (7)$$

où  $A'_o$ ,  $A'_1$ , et  $A'_2$  sont les constantes du gravimètre figurant au certificat délivré par l'usine fabricante pour chacun des huit coussinets amovibles,  $q = q' - S$  ( $q'$  étant l'indication de la vis micrométrique,  $S$  la correction de zéro du micromètre).

Pour les gravimètres "GAE-2" et "GAE-3"  $g_r$  se calcule par la formule :

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

où l'angle  $\nu$  est mesuré par le dispositif de lecture du gravimètre. La valeur de  $g_r$  est empruntée aux tables du travail (12).

Dans les gravimètres Norgaard et "SN-3" l'oscillation du pied atteint une valeur notable. L'erreur due à ce phénomène est systématique. Son importance dépend de la stabilité du pied et de l'angle d'écart. Pour éliminer totalement cette erreur il faut mesurer, en même temps que les angles  $2\psi$ , la correction sur les oscillations  $d\psi$ . Cette correction se mesure à l'aide d'un niveau spécial rigidement fixé au corps du gravimètre. Cette fixation est faite de telle façon que son axe soit parallèle à l'axe des vis micrométriques.

D'après l'angle  $\psi - d\psi/2$  on tire des tables de travail (12)  $g_y$ . Pour les gravimètres "GAE-2" et "GAE-3"  $d\psi$  est petit et c'est pourquoi l'on n'a pas déterminé les oscillations conjointes du pied de ces appareils.

#### 6. Résultats de l'étalonnage des gravimètres des différents types.

##### Etalonnage des gravimètres Norgaard.

Les gravimètres, fabriqués par la firme suédoise "Aktiebolaget Elektrisk Malmletning" sont conçus de telle façon que l'on mesure lors des observations non pas l'angle  $\psi$  mais sa tangente. On suppose que les constantes de l'appareil sont définies avec une précision suffisante.

La firme indique que les gravimètres Norgaard permettent de mesurer des accroissements de l'accélération de la pesanteur dans un éventail dépassant 2000 mGal avec une erreur moyenne inférieure à 0,1 mGal. La firme n'indique pas la nécessité de tenir compte de correctifs complémentaires quelconques ni d'un étalonnage des appareils. Les études ont montré que les gravimètres Norgaard sont affectés d'erreurs systématiques sortant largement des limites de la précision formelle des mesures.

Voyons avec quelle précision il faut connaître les paramètres de l'appareil pour mesurer un accroissement  $\Delta g$  de la pesanteur avec une erreur donnée  $m(\Delta g)$ . Pour calculer les erreurs d'après les formules (19), (20) et (21), l'expression de  $\Delta g$  peut être écrite de la façon suivante :

$$\Delta g = \frac{1}{2} g_0 \frac{L^2}{(k^2 + L^2)^2} \left[ (m'_2 - S)^2 - (m'_1 - S)^2 \right]. \quad (22)$$

$k$  = moitié de la distance séparant les zéros des micromètres.  $L$  = écartement des axes du gravimètre et des vis micrométriques.  $S$  = correctif d'emplacement des zéros des vis micrométriques.

Différentiant cette expression successivement par rapport à  $g_0$ ,  $k$ ,  $L$  et  $S$ , puis remplaçant les différentielles par les erreurs quadratiques moyennes, nous trouvons les rapports des erreurs :

$$m(g_0) = \frac{g_0}{\Delta g} m(\Delta g) \quad (23)$$

$$m(k) = \frac{1}{\Delta g} \cdot \frac{k^2 + L^2}{4k} m (\Delta g) \quad (24)$$

$$m(L) = \frac{L}{2 \Delta g} \cdot \frac{k^2 + L^2}{k^2 - L^2} m (\Delta g) \quad (25)$$

$$m(S) = \frac{1}{2 \Delta g} (m_2 + m_1) m (\Delta g) \quad (26)$$

Posons  $m (\Delta g) = \pm 0,1 \text{ mGal}$ ;  $\Delta g = 1000 \text{ mGal}$ , nous obtenons  $m (g_0) \approx 70 \text{ mGal}$ ,  $m(k) \approx 0,065 \text{ mm}$ ,  $m(L) \approx 0,010 \text{ mm}$ ,  $m(S) \approx 0,0007 \text{ mm}$ .

Dans le calcul nous avons pris  $g_0 = 980 \text{ gal}$ ,  $k = 19,22 \text{ mm}$ ,  $L = 266,14 \text{ mm}$ . A partir des données citées, on peut conclure que dans la mesure des accroissements de la gravité allant jusqu'à 1000 mGal, la détermination des constantes  $g_0$  et  $k$  ne présente aucune difficulté. La détermination des constantes  $L$  et  $S$  est plus complexe.

Les formules (25) et (26) montrent que plus  $\Delta g$  mesuré est grand, plus il faut connaître avec précision les grandeurs  $L$  et  $S$ . Pour accomplir les liaisons avec une précision élevée, il faut connaître  $L$  à mieux que  $10\mu$  près, ce qui exige une vérification et une mise au point des données de la firme. L'erreur sur  $L$  est une des sources d'erreurs systématiques dans la détermination de  $\Delta g$ .

Il est difficile de mesurer directement  $L$  avec une précision dépassant  $10\mu$ , aussi, on calcule cette grandeur indirectement, en étalonnant l'appareil par différentes méthodes.

Les calculs montrent que la constante  $S$  doit être connue à  $0,7 \mu$  près, et il n'est pas possible d'atteindre une telle précision par les moyens qu'indique la firme. L'erreur de détermination de  $S$  dépend de l'observateur; c'est pourquoi l'erreur réelle de détermination de  $S$  est très supérieure à l'erreur calculée. Pour augmenter la précision de la détermination, il faut déduire  $S$  de mesures multiples, fréquentes, et si possible effectuées par des observateurs différents.

Les formules (20), (21) et (22) ont été obtenues dans l'hypothèse où la vis micrométrique touche le plan du verre d'appui en un point situé sur son axe de rotation. Il est clair que cette condition n'est remplie que lorsque le rayon de courbure de la tête de vis est nul. En fait, la tête de vis est une sphère à rayon de courbure de l'ordre de 1 mm. Cela se traduit par des erreurs de détermination de  $g_r$ , donc de l'accroissement de l'accélération de la pesanteur.

D'après les calculs de Ju.D. BOULANGER (14) l'expression définitive de la correction due au rayon de courbure de la tête de la vis micrométrique s'écrit :

$$\Delta g_r = 2g_r \rho \frac{m_b + 2k}{L^2} \quad (27)$$

où  $\rho$  est le rayon de courbure de la tête de vis micrométrique.

Négliger le correctif  $\Delta g_r$  dans le calcul de  $g_r$  introduit une erreur de l'ordre de  $14.10^{-4} g_r$ . Cette erreur devient sensible dans la détermination des grands accroissements de l'accélération de la pesanteur, et, par suite du caractère normalisé de la fabrication des vis micrométriques, elle est systématique, inhérente à la conception de l'appareil.

Ensuite, pour déduire la formule (20) on a supposé que le plan de la surface utile de la plaque de verre contient l'axe de rotation du cylindre. Cette condition est assurée par une position correcte du plan sur le levier-microscope qui supporte la plaque de verre et par le parallélisme des plans des surfaces de cette plaque.

L'erreur provenant de ce facteur sera, d'après (14) :

$$m(g_r)\gamma = g_r \frac{m_b + 2k}{L} \operatorname{tg}\gamma \quad (28)$$

où  $\gamma$  est l'angle formé par le plan utile de la plaque de verre et le plan passant par l'axe de rotation du cylindre.

Les prescriptions s'appliquant au parallélisme des plans des surfaces utiles des plaques de verre, s'appliquent aussi entièrement à la surface du levier-microscope supportant ces plaques. Il est difficile de vérifier qu'il en est ainsi.

On peut éliminer l'effet de l'erreur  $m(g_r)\gamma$  sur l'indication du gravimètre, soit en introduisant dans  $g_r$  un correctif calculé par la formule (28), soit par un étalonnage des gravimètres. Dans le premier cas, il faut connaître l'angle  $\gamma$ , ce qui est assez difficile pour un plan sur le levier-microscope. Il est plus simple en pratique, d'étalonner le gravimètre. Pour cela, il convient d'avoir ceci à l'esprit. Considérant la relation :

$$\frac{m(g_r)\gamma}{g_r} = \frac{m + 2k}{L} \operatorname{tg}\gamma, \quad (29)$$

on voit que la correction due à  $\gamma$  ne sera pas constante pour toutes les indications de vis micrométrique, car elle est fonction de la lecture  $m$ . On n'éliminera totalement cette erreur que si l'appareil est étalonné par une méthode permettant d'étudier chaque millimètre de la vis micrométrique, (méthode d'inclinaison et méthode géométrique). Comme la correction de spécificité de la vis micrométrique est aussi fonction de la lecture  $m$ , cette correction est également éliminée dans l'étalonnage des gravimètres par les méthodes indiquées plus haut. Une seconde condition d'élimination totale de la correction  $m(g_r)\gamma$  est la nécessité d'accomplir les mesures *in situ* avec les mêmes verres d'appui que l'étalonnage.

La difficulté de détermination de  $L$  et de l'angle  $\gamma$  rend indispensable l'étalonnage des gravimètres Norgaard s'il faut assurer une précision des mesures supérieure à  $1.10^{-3}$  fois le  $\Delta g$  mesuré.

A partir de 1955 jusqu'en 1957, on a étalonné par la méthode géométrique plusieurs gravimètres Norgaard. Le tableau 6 donne le dépouillement complet des résultats d'étalonnage du gravimètre n° 1602. Dans ce tableau  $g_r$  est calculé d'après les données de la firme,  $M(\gamma)$  est l'erreur quadratique moyenne de l'angle  $\gamma$  sur six déterminations;  $d\gamma$  la correction d'oscillation conjointe du corps du gravimètre.

En moyenne l'erreur de mesure de l'angle dans l'étalonnage du gravimètre n° 1602 est apparue égale à  $\pm 0,09''$ , pour 6 mesures, ce qui satisfait aux impératifs du tableau 5.

Le tableau 7 donne les résultats d'étalonnage de trois gravimètres Norgaard. Il résulte des données de ce tableau que chez ces gravimètres, les erreurs systématiques liées à la mauvaise connaissance du coefficient d'échelle peuvent dépasser 6 % mGal. Ces déterminations montrent que l'erreur de détermination des coefficients d'échelle n'a pas dépassé  $\pm 1.10^{-4}$ . Ainsi donc, dans les mesures avec une erreur inférieure à  $\pm 1.10^{-3} \Delta g$ , la précision des paramètres des gravimètres Norgaard, tels que donnés par la firme, est insuffisante.

#### Etalonnage des gravimètres "SN-3"

Les organismes de levés gravimétriques ont utilisé les gravimètres "SN-3" (gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal, fabriqués par l'usine "Geologorazvedka" de Léningrad).

Par le principe de sa construction, le gravimètre "SN-3" diffère peu du gravimètre Norgaard. Les deux appareils sont semblables par leurs systèmes sensibles, mais diffèrent totalement par le mécanisme de mesure, le système optique et le procédé de changement de l'éventail des mesures.

Dans le gravimètre "SN-3", comme dans le gravimètre Norgaard, on utilise pour mesurer l'angle d'écart la méthode tangentielle. Cet angle est défini par la position du micromètre par rapport à sa position zéro et par la longueur du coussinet amovible installé sur le moyeu du mécanisme de choix de la gamme ; le corps intérieur du gravimètre s'y appuie au moment des deux coincidences.

D'après le dispositif de mesure du gravimètre, la formule (6) devient :

$$g_r = g_0 (A'_0 + A'_1 q + A'_2 q^2)$$

où  $A'_0$ ,  $A'_1$  et  $A'_2$  sont des facteurs constants calculés pour chacun des coussinets amovibles du dispositif de mesure, d'après les rapports géométriques entre grandeurs  $\gamma$ ,  $p$ ,  $r$ ,  $R$  et  $P$ .

Lorsque leurs constantes sont connues avec la précision voulue, les gravimètres "SN-3" n'exigent donc pas la détermination du coefficient d'échelle pour convertir  $g_r$  en système CGS. Mais les études des gravimètres "SN-3" ont montré que leurs constantes figurant au certificat délivré par l'usine "Geologorazvedka" sont déterminées avec une précision manifestement insuffisante. Il est donc nécessaire de graduer l'échelle de lecture en système CGS aussi chez les gravimètres "SN-3". On a ainsi étalonné par la méthode géométrique près de 50 gravimètres "SN-3".

Rappelons que c'est l'accélération relative de la pesanteur qui est mesurée par le gravimètre et que, d'après la formule (7) ce sera :

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

La même grandeur  $g_r$  peut être tirée de mesures de l'angle à l'aide de l'instrument goniométrique de l'installation d'étalonnage (fig. 5).

On sait que la correction de coefficient d'échelle :

$$\delta g_r = g_v - g_r \quad (17)$$

Exécutant les mesures pour différents angles d'écart du système à quartz, on peut obtenir par cette méthode les corrections de coefficient d'échelle pour toutes indications du gravimètre et ainsi tenir compte des erreurs des constantes de l'appareil.

Le tableau 8 donne les résultats d'étalonnage de 4 gravimètres "SN-3" ;  $g_r$  a été calculé par la formule (7) à partir des données du certificat et  $g_v$  par la formule (6). Dans tous les calculs, on a pris  $g = 980$  gal. Il résulte de ce tableau que les corrections de coefficient d'échelle peuvent atteindre de très grandes valeurs. C'est ainsi que dans le gravimètre n° 11815 et avec le coussinet  $p = 40$ , la correction s'est trouvée égale à  $\pm 17,86$  mgal et le remplacement d'un coussinet par un autre se traduit par des erreurs de l'ordre de 2,5 à 3,0 mGal (gravimètre n° 11815,  $p = 35$ ,  $q = 0$  mm et  $p = 30$ ,  $q = 5$  mm). Tout cela révèle la précision insuffisante des constantes  $A'_o$ ,  $A'_2$  qui sont mentionnées par l'usine sur les certificats des appareils et donc la nécessité d'un étalonnage des gravimètres "SN-3".

L'étalonnage de ces gravimètres sur l'installation décrite, outre la rapidité et le faible coût, présente encore l'avantage de pouvoir fournir, pour n'importe quel coussinet, la correction de coefficient d'échelle. Dans l'étalonnage par points où la gravité est connue, les coefficients d'échelle ne s'obtiennent que pour certains coussinets ayant été utilisés pour mesurer la différence étalon. Dans les gravimètres "SN-3" l'échelle de lecture est discontinue. Pour mesurer les différences de gravité, on possède neuf coussinets séparés et des erreurs tout à fait notables peuvent survenir lorsqu'on remplace un coussinet par un autre. C'est pourquoi le coefficient d'échelle provenant de certains coussinets ne peut être généralisé aux autres qui interviendraient ultérieurement dans les mesures *in situ*.

En 1954, l'auteur du présent travail a proposé d'utiliser l'installation décrite, pour les études thermiques des coussinets. Ces études ont pu être réalisées à l'automne 1955.

On sait que dans le gravimètre "SN-3", le corps de l'appareil est fabriqué en duralumin, et le coussinet ainsi que la vis micrométrique fixés dans ce corps, en acier. Lors des fortes variations de température de l'air extérieur, par suite de l'écart des coefficients de dilatation de l'aluminium et de l'acier les constantes de l'appareil  $R$ ,  $q$ ,  $p$  varieront différemment.

.....

Dans la grandeur  $P + Q$ , outre la longueur utile du coussinet et de la vis micrométrique figurent aussi les parties non actives ( $p'$ ,  $q'$ ) du mécanisme de la vis micrométrique et des coussinets, tandis que  $p + q$  est le jeu entre la vis micrométrique et le coussinet considéré avec lequel on détermine l'angle de rotation  $2\psi$  du système à quartz (fig. 8). Examinons les calculs théoriques des influences thermiques sur le dispositif de mesure du gravimètre "SN-3", faits par N. SAMSONOV.

Pour ce faire, il suffit de partir de la formule :

$$g_r = \frac{g_0}{8} \left( \frac{p+q}{R} \right)^2 \quad (30)$$

En dérivant par rapport à la température, en tenant compte des relations définies fig. 8, .... nous obtenons :

$$\frac{dg_r}{dt} = \frac{g_0}{4} \frac{(p+q)}{R^2} \frac{[P+Q - (p+q)]}{(R - \alpha_{p'q'})} \quad (38)$$

où  $\alpha_R$  est le coefficient linéaire de dilatation thermique du duralumin,  $\alpha_{p'q'}$  celui de l'acier. Le maximum de  $dg_r/dt$  sera atteint pour :

$$p + q = \frac{P + Q}{2} \quad (39)$$

Substituant (39) dans la formule (38) nous aurons :

$$\left( \frac{dg_r}{dt} \right)_{\max} = \frac{g_0}{16} \left( \frac{P+Q}{R} \right)^2 (\alpha_R - \alpha_{p'q'}) \quad (40)$$

Pour le gravimètre "SN-3",  $P+Q = 88$  mm,  $\alpha_R = 25 \cdot 10^{-6}$ ,  $\alpha_{p'q'} = 12 \cdot 10^{-6}$ ,  $R = 308$  mm.

$$(dg_r/dt)_{\max} = 0,067 \text{ mGal}/1^\circ\text{C} \quad (\text{avec } g_0 = 981 \text{ gal}) \quad (41)$$

L'influence d'une variation de température de 20°C peut introduire une erreur de 1,34 mGal dans les indications du gravimètre.

Au Laboratoire Aérogravimétrique de l'I.P.G., les coefficients thermiques ont été obtenus expérimentalement. Dans ce but l'installation d'étalonnage des gravimètres "SN-3" a été placée, avec les gravimètres et les coussinets dans une chambre-étuve. On a étalonné le gravimètre pour diverses températures, et ainsi établi la relation entre l'angle  $\nabla$  et la température ambiante pour les différents coussinets. L'appareil de mesure était maintenu à la température donnée pendant deux jours, avant la mesure des angles. La température de l'air ambiant dans l'étuve était enregistrée par un thermographe. Les gravimètres ont été étalonnés à + 40, + 30 et +20°C.

Le tableau 9 donne les résultats des déterminations au laboratoire des coefficients thermiques et les compare aux coefficients théoriquement calculés. Ce tableau donne les  $\Delta\nabla$ , pour une variation de la température ambiante de 10°C. Il résulte que les coefficients thermiques expérimentaux s'accordent bien avec les coefficients calculés par la formule (38). L'écart systématique des coefficients  $\Delta_1 - \Delta_3$ , égal à 0,14 mGal/10°C, semble pouvoir s'expliquer par le choix, dans la formule (38) de paramètres différent de ceux du gravimètre "SN-3" étudié dans l'étuve. Les résultats des études thermiques indiquent une fois de plus la haute précision atteinte dans l'étalement des gravimètres sur l'installation décrite.

L'installation d'étalement des gravimètres par méthode géométrique peut être utilisée en pratique à l'usine fabriquant les gravimètres des types Norgaard et "SN-3".

Pour le gravimètre "SN-3" il suffit de mesurer pour chaque coussinet plusieurs angles  $\nabla_i$  et d'établir le système d'équations de la forme :

$$g_{\nabla}^{(i)} = g_0 (A'_0 + A'_1 q_i + A'_2 q_i^2) \quad (42)$$

$g_{\nabla}$  : valeurs étalon de  $g_{\nabla}^{(i)}$  calculées par (6),  
 $q_i$  : indications de la vis micrométrique choisies arbitrairement par l'observateur lui-même, pouvant aller de - 1,5 mm à + 5,5 mm,  
 $A'_0$ ,  $A'_1$  et  $A'_2$  : constantes définies pour chaque coussinet.

En résolvant le système des équations (42) par les moindres carrés, on tire les constantes  $A'_0$ ,  $A'_1$  et  $A'_2$  avec une estimation de leur précision.

#### Etalonnage\_des\_gravimètres\_"GAE-3"

.....

Au cours du travail d'étalement des gravimètres "SN-3" et Norgaard, on a eu l'idée de construire un nouvel appareil où l'angle d'écart du système à quartz 2  $\nabla$  serait directement mesuré par l'instrument goniométrique. Ce nouveau gravimètre a été construit à partir d'organes et de pièces déjà fabriqués,

en tenant compte de tous les défauts des gravimètres "SN-3" et Norgaard. On n'a plus besoin, dans ce nouveau gravimètre, de mesurer les grandeurs L, S et  $\gamma$ ; les oscillations conjointes du corps du nouveau gravimètre sont faibles, c'est pourquoi l'axe de rotation du gravimètre coïncide avec le centre de gravité des masses. On a éliminé les coussinets et mécanismes amovibles, sources d'erreurs notables dans la détermination de  $g_r$ .

Le nouveau gravimètre à quartz, qui a reçu le nom de "GAE-2", présente des paramètres beaucoup plus constants, ce qui est particulièrement précieux pour la mesure aux points gravimétriques de rattachement; il ne requiert pas la détermination des coefficients d'échelle.

Tous les gravimètres "GAE-2" et "GAE-3" (ce dernier est un modèle allégé du "GAE-2") ont été soigneusement étalonnés au laboratoire et sur des points à pesanteur connue. Trois buts ont été poursuivis :

- 1) vérification expérimentale de la validité des considérations théoriques sur lesquelles est basé l'appareil
- 2) étude de la méthode d'étalonnage au laboratoire
- 3) étude de la linéarité des échelles de lecture.

Au printemps 1959, on a étalonné au laboratoire trois gravimètres "GAE-3" par méthode géométrique.

.....

Le tableau 10 donne les résultats des mesures des angles opérées lors de l'étalonnage de trois gravimètres "GAE". L'instrument gravimétrique de l'installation était un théodolite "QT-02" (fig. 9). Les angles ont été mesurés cinq ou six fois, en règle générale. En moyenne, sur l'ensemble des appareils, l'erreur de mesure des angles a été de + 0,39".

Le tableau 11 rassemble les résultats des mesures des angles  $\gamma$  par le dispositif goniométrique des gravimètres simultanés avec les mesures des angles  $\gamma$ . L'erreur de la moyenne arithmétique sur l'ensemble des gravimètres a été en moyenne de  $\pm 0,25''$ . Les dispositifs goniométriques, des installations d'étalonnage comme des gravimètres, assurent l'étalonnage dans un éventail de 500 à 3000 mGal avec une précision de  $\pm 1.10^{-4}$  (tableau 5).

Pour étalonner les gravimètres par méthode géométrique on a mesuré les angles d'écart du système à quartz 2 $\gamma$  tels qu'ils étaient lus sur le gravimètre dans l'étalonnage par la méthode d'inclinaison. Ce choix des angles 2 $\gamma$ , a été fait dans le but d'éliminer les erreurs de graduation de l'échelle de lecture du gravimètre lors de la comparaison des deux méthodes.

Les coefficients d'échelle ont été calculés par la formule :

$$\lambda = \Delta g\gamma / \Delta g_r$$

où :

$$\Delta g_\theta = g_0 \left( \frac{1}{\cos \vartheta^\circ} - 1 \right) - g_0 \left( \frac{1}{\cos \vartheta^\alpha} - 1 \right) \quad (43)$$

$$\Delta g_r = g_0 \left( \frac{1}{\cos \vartheta_r^\circ} - 1 \right) - g_0 \left( \frac{1}{\cos \vartheta_r^\alpha} - 1 \right) \quad (44)$$

Les angles avec l'exposant ° correspondent aux indications du gravimètre pour  $\alpha = 0$  et l'exposant  $\alpha$  à une inclinaison de  $\alpha$  (angle d'inclinaison du système à quartz sur l'horizontale dans la méthode d'inclinaison).

Le tableau 12 rassemble les résultats d'étalonnage de trois gravimètres "GAE-3" par méthode géométrique.

Nous voyons que les coefficients d'échelle sont apparus très proches de l'unité. L'attention est attirée par la haute précision des mesures accomplies. Les erreurs des coefficients d'échelle obtenues par convergence interne pour les gammes dépassant 1500 mGal, sont apparus dans tous les cas être  $\leq 0,4 \cdot 10^{-4}$ . En moyenne sur le groupe d'appareils, le coefficient d'échelle s'est révélé égal à  $1,00001 \pm 2 \cdot 10^{-5}$ . Cela signifie que les différences de pesanteur, mesurées par les gravimètres "GAE-3", s'obtiennent directement en système CGS et que ces gravimètres ne requièrent pas d'étalonnage. Ces données permettent une conclusion importante, à savoir que les coefficients d'échelle des gravimètres à fil de torsion horizontal ne dépendent pas de la gamme d'étalonnage, c'est-à-dire que le coefficient d'échelle reste constant pour toute la gamme des mesures.

### III. ETALONNAGE DES GRAVIMETRES PAR LA METHODE D'INCLINAISON.

(Traduction dans le prochain Bulletin d'Information).

.../..

---

BIBLIOGRAPHIE citée dans les pages précédentes

- 1 - BOULANGER Ju.D. - Résultats préliminaires de la mesure du point gravimétrique de premier Ordre dans la localité de Obi-Garm. AN SSSR. Tr. Inst. Géoph., Aca. Sci. URSS, 1949, n° 5 (132).
- 2 - GRUŠINSKIJ N.P., GOVOROVA L.N. - Sur l'utilisation des gravimètres à la mesure des points de rattachement du levé gravimétrique général de l'URSS. "Tr. CNIIAGAI K", 1950, fasc 75.
- 3 - BOULANGER Ju.D., POPOV E.I. - Gravimètre à quartz pour la mesure des points gravimétriques de rattachement. Tr. Inst. Géoph. Acad. Sci. URSS, 1955, n° 30.
- 4 - KOZ'JAKOVA K. Ja. - Résultats d'étalonnage des gravimètres "GAE-3". Izv. Acad. Sci., URSS, 1962, n° 3.  
.....
- 9 - KRASOVSKIY F.N., DANILOV V.V. - Manuel de géodésie supérieure. 1ère partie, fasc 1, Moscou 1938.
- 10 - BOULANGER Ju.D. - Oscillations conjointes du pied des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal. Tr. Inst. Phys. Globe, Acad. Sci., URSS, 1959, n° 8 (175).  
.....
- 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.
- 14 - BOULANGER Ju.D. - Sur quelques erreurs systématiques des gravimètres à quartz avec fil de torsion horizontal. Izv. (Nouvelles) Acad. Sci. URSS, série géoph. 1952, n° 2.  
.....
- 20 - BURŠA M. - Etalonicierung des Nörgaaüschen Gravimeters TNK 310 und Massstabskorrektion des Tschechoslowakischen gravimetrischen Netzes. Tr. Inst. Geoph., Acad. Sci. Tchécoslovaque, 1958, n° 72.