

BUREAU GRAVIMÉTRIQUE
INTERNATIONAL

Paris

BULLETIN d'INFORMATION
Janvier 1963

N° 4

INTRODUCTION

Ce Bulletin d'Information est consacré exclusivement au Compte Rendu de la Commission Gravimétrique Internationale qui s'est réunie à Paris du 10 au 15 septembre 1962. En raison de l'abondance des matières traitées au cours de cette réunion, il n'a pas été possible de faire place ici à d'autres rubriques.

Dans les pages suivantes, ont été donnés le compte rendu des discussions et interventions survenues au cours des séances de la Commission, puis, en Annexe, les Rapports d'ensemble de chaque Groupe et dans certains cas quelques communications qui n'avaient pas été diffusées:

- Organisation générale de la réunion	p. 5
- Compte Rendu général :	
Vue d'ensemble des travaux gravimétriques	p.II
Mesures absolues de la pesanteur	p.15
Réseau International de I ^o Ordre	p.18
Chaîne d'Etalonnage Européenne	p.21
Réseau Européen unifié de pesanteur	p.24
Chaîne d'Etalonnage Nord Américaine	p.26
Chaîne d'Etalonnage Ouest Pacifique	p.28
Chaîne d'Etalonnage Centre Asie	p.29
Mesures de pesanteur en mer	p.30
Mesures de pesanteur en avion	p.35
Emploi des anomalies de pesanteur en Géodésie	p.37
Gradient vertical de la pesanteur	p.47
Variation séculaire de la pesanteur	p.49
Archivage des données gravimétriques	p.52
Questions instrumentales	p.54
- Annexe :	
Annexe I - Mesures absolues de la pesanteur :	
- Report on absolute measurements of gravity by A.H.COOK	p.57
- Remarks on the absolute measurements of gravity by J.C.ROSE	p.68
Annexe II - Réseau International de I ^o Ordre :	
- Report of the Special Study Group 5 on the absolute and first order world net (extract) by C.MORELLI	p.70

Annexe III - Chafnes d'Etalonnage officielles :

- IIIa) The Adjustment 1962 of the European Calibration System (summary) by M.KNEISSL & K.MARZAHN p. 78
- Some considerations on the measurements and calculations relating to the European Calibration Line (extract) by L.SOLAINI & G.INGHILLERI p. 81
- Report about the establishment of a uniform European network of principal gravity points (summary) by M.KNEISSL p. 83
- IIIb) North American gravity calibration system by D.RICE p. 86
- IIIc) On the establishment of the Western Pacific calibration line by T.OKUDA p. 86

Annexe IV - Mesures de pesanteur en mer :

- IVa) Report on gravity measurements at sea by J.L.WORZEL p. 91
- IVb) List of gravity surveys at sea - Accuracy of gravity measurements at sea made by the Institute of Geophysics in the continental borderland area off Southern California - Note presented by L.B.SLICHTER p. 95
- IVc) Stabilized platform deviation influencing gravity measurements with the Graf Askania meter by H.KARNICK p. 97

Annexe V - Mesures de pesanteur en avion :

- Preliminary report on airborne gravity meter tests at Edwards AFB in April 1960 (extract) by L.G.D.THOMPSON p. 99

Annexe VI - Emploi des anomalies de pesanteur en Géodésie :

- Report on use of gravity anomalies for the solution of the fundamental problem of Geodesy by E.TENGSTRÖM p.I07
- Summary of reply to the paper of Dr.Tengström by W.A.HEISKANEN p.II0
- Remarks on the use of gravity anomalies for the solution of the fundamental problem of geodesy by K.ARNOLD p.II2
- Proposal for the determination of representative gravity anomalies for hilly or mountainous areas by K.RAMSAYER p.II4

Annexe VII - Gradient vertical de la pesanteur :

- Measurement and geodetic evaluation of vertical gradients of gravity (summary) by H.BODEMULLER p.II7

Annexe VIII - Variation séculaire de la pesanteur :

- The connection between the triaxiality of the Earth and the eccentricity of the geomagnetic field by G.BARTA p.II9
- The Potsdam "g" value and the displacement of the Earth's core by G.BARTA p.I21

- Resolutions

p.I24

-:-:-:-:-:-:-:-:-

REUNION

de la

COMMISSION GRAVIMETRIQUE INTERNATIONALE

PARIS - 10-15 septembre 1962

-:-:-:-:-

La Commission Gravimétrique Internationale a tenu sa quatrième réunion à Paris du 10 au 15 septembre 1962. Les séances ont eu lieu 98bis boulevard Arago, à l'Institut d'Astrophysique mis aimablement à la disposition des délégués par le Directeur de cet Etablissement.

De nombreux "observateurs" et techniciens de différents Services se sont joints aux délégués officiels : au total 93 participants représentant 27 nations étaient présents.

Les 9 nations ci-après ont regretté de ne pouvoir être représentées : Allemagne Démocratique, Canada, Egypte, Grèce, Israël, Nouvelle Zélande, Portugal, Rhodésie et Nyasaland, Union Sud Africaine. La plupart de ces pays ont néanmoins envoyé des Rapports Nationaux.

De plus, comme on le verra ci-après, des géodésiens particulièrement intéressés par les problèmes nouveaux, et qui ne pouvaient pas assister personnellement à la réunion, ont fait présenter leur contribution par les Présidents des Groupes d'Etude concernés.

Liste des participants :

Allemagne Fédérale

Prof. H.BODEMULLER
Prof. K.CERKE
Prof. A.GRAF
Prof. W.GROSSMANN
(Secrétaire Sect. Grav. A.I.G.)
Mr. A.KARNICK
Prof. G.KIRSCHMER
Dr. K.MARZAHN
Dr. E.RIECKMANN
Dr. R.SCHULZE

Argentine

Ing. E.E.BAGLIETTO
Col. Ing. M.D.GONZALO GOMEZ
Ing. D.C.RIGGI O'DWYER

Australie

Mr. R.F.THYER

Autriche

Prof. A.BARVIR
Dr. E.SENFTL

Belgique

Dr. L.BRAGARD
Ing. L.JONES

Chine

Mr. M.TSAO

Danemark

Prof. E.A.ANDERSEN

Espagne

Ing. L.LOZANO CALVO

Etats Unis

Mr. D.ANTHONY
Mr. W.C.CUDE
Mr. F.L.CULLEY
Mr. K.I.DAUGHERTY
Mr. C.H.FREY
Major C.S.HAWKINS
Prof. W.A.HEISKANEN
Mr. R.M.IVERSON
Dr. W.D.LAMBERT
Mr. D.A.RICE
(Président Sect. Grav. A.I.G.)
Mr. J.C.ROSE
Prof. L.G.SLICHTER
Mr. M.SMALET
Mr. B.SZABO
Dr. L.C.D.THOMPSON
Dr. U.A.UOTILA
Mr. C.T.WHALEN
Mr. O.W.WILLIAMS

Finlande

Dr. T.HONKASALO

France

M. W.BARANOV
M. R.BOLLO
M. L.CAHIERRE
M. A.COMOLET-TIRMAN
Mlle S.CORON
(Secrétaire Sect. Grav. A.I.G.)
Mlle Y.CRENN
M. J.CRUSSET
M. J.GOGUEL
M. A.GOUGENHEIM
M. J.LAGRULA
M. J.J.LEVALLOIS
(Secrétaire de l'A.I.G.)
M. J.RECHENMANN
M. G.ROUILLO
M. N.STOYKO
M. P.TARDI
(Directeur du B.G.I.)

Grande Bretagne

Mr. B.C.BROWNE
Dr. W.BULLERWELL
Dr. A.H.COOK
Brig. E.A.GLENNIE
Brig. M.HOTINE
Mr. P.H.KENNEY
Mr. B.D.LONCAREVIC

Hongrie

Dr. G.BARTA

Inde

Lt. Col. K.L.KHOSLA

Iran

Prof. H.K.AFSHAR

Irlande

Mr. T.MURPHY

Italie

Dr. G.INGHILLERI
Prof. C.MORELLI
Prof. L.SOLAINI

Japon

Prof. T.OKUDA

Norvège

Mr. G.JELSTRUP
Mr. O.TROVAAG

Pays-Bas

Prof. G.J.BRUINS
Dr. B.J.COLLETTE
Ing. G.L. STRANG VAN HEES
Prof. F.A.VENING MEINESZ

Pologne

Dr. J.BOKUN
Prof. J.WITKOWSKI

Suède

Mr. L.PETTERSSON
Dr. E.TENGSTRÖM

Suisse

Prof. F.GASSMANN
Mr. N.WUNDERLIN

Tchécoslovaquie

Ing. M.BURSA
Dr. J.PICHA

Thailande

Major Gén. B.BHAKDIKUL
Col. S.PACHIMKUL

U.R.S.S.

Prof. J.BOULANGER
Mr. SAGITOV
Mr. VESSELOV

Yugoslavie

Prof. D.PROSEN

Bureau International des Poids et Mesures : Mr. A.SAKUMA

Ordre du Jour :

Les questions à l'ordre du jour ont été réparties parmi les Groupes d'Etude suivants :

- | | |
|---|--|
| I - Mesures Absolues de la pesanteur | (Dr. A.H.COOK) |
| II - Réseau Gravimétrique International de I ^o Ordre | (Prof. C.MORELLI) |
| III - Chaînes internationales d'étalonnage pour gravimètres : | |
| - Europe | (Prof. M.KNEISL représ. par Prof. KIRSCHMER) |
| - Amérique | (Mr. D.A.RICE) |
| - Asie | (Prof. J.BOULANGER) |
| - Pacifique-Extrême Orient | (Prof. T.OKUDA) |
| IV - Mesures de pesanteur en mer
(instruments, résultats) | (Prof. J.L.WORZEL, en son absence dirigé
par Prof. C.MORELLI) |
| V - Mesures de pesanteur en avion | (Dr. L.G.D.THOMPSON) |
| VI - Emploi des anomalies de pesanteur en Géodésie | (Dr. E.TENGSTRÖM) |
| VII - Mesures du gradient vertical de la pesanteur | (Prof. H.BODEMULLER) |
| VIII - Variation Séculaire de la pesanteur | (Prof. C.MORELLI) |
| IX - Archivage des données gravimétriques | (Prof. P.TARDI) |
| X - Questions instrumentales | |

Séance d'Ouverture :

La séance d'ouverture a eu lieu le Lundi 10 septembre à 15 h.

Mr. D.A.RICE, Président de la Section de Gravimétrie de l'Association Internationale de Géodésie et Président de la Commission Gravimétrique a ouvert la réunion par l'allocution suivante :

"Professor TARDI asked me to say a few words of introduction... It is a privilege to welcome all of you on behalf of Section IV of the International Association of Geodesy. Quite a few of you here today have participated each time since the first meeting under Father LEJAY's leadership in 1953. Then there were 26 in attendance and we have nearly 100 here today. The increased attendance reflects a great widening of interest, the expansion of gravimetric activities, and the introduction of novel instrumentation.

"Father LEJAY set forth the essential aim of the Gravimetric Commission clearly in 1953. This is, to provide guide lines for the production of a world gravimetric map... homogeneous and with enough density to serve geodetic needs. We are primarily concerned with the measurement of gravity, its reduction to a useable form, and presentation of the data. International ties, calibration standards, an absolute reference, the gravity formula, and the development of new technology for measurement are all involved.

"Discussion of these questions will form the largest part of our meeting, as in the past. There is, however, another important topic on the agenda this week and that is the use of gravity data in geodesy. This was discussed at some length at the Symposium on Gravity Reduction at Cambridge in 1961. Speaking in a narrow sense, as gravimetrists we probably should not pretend to say just how the data should be interpreted or used. But, as geodesists we are all aware of the final objective of gravity measurements... and to this end are surely interested in seeing that the data are observed, processed and presented more effectively. And so we would like to receive from the experts in physical geodesy their ideas on this point, after realistic consideration of the work already done and prospects for the future... the potentialities and limitations of new measurement technology on the sea, in the air, and observation of satellites as they react to the earth's gravitational field.

"Prof. TARDI has much to tell you about the organisation of the meeting and the details of the agenda. In turning the meeting over to him I am sure you will join me in expressing appreciation for the facilities graciously provided by the Institute of Astrophysics, and for the excellent arrangements by Professor TARDI and his staff at the Gravimetric Bureau".

Le Professeur TARDI souhaite ensuite la bienvenue au nom du Comité National Français en l'absence de M. COULOMB, et donne toutes informations concernant l'organisation matérielle. A l'approbation générale, l'emploi du temps est fixé comme suit :

Emploi du temps :

LUNDI 10 Septembre

- | | |
|---------------|---|
| 16.30 - 17 h | : Vue d'ensemble des principaux travaux gravimétriques effectués depuis 1960. |
| 17 h - 18 h . | : Réseau international de 1er ordre (Exposé général) . |

MARDI 11 Septembre

- | | |
|----------------|---|
| 9 h - 10 h | : Réunion du groupe de travail concernant la base d'étalonnage européenne. |
| 10 h - 12 h | : Mesures absolues (Rapport général). Corrections à la valeur fondamentale de Potsdam et à la formule internationale de la pesanteur. |
| 14.30 h - 16 h | : Emploi des anomalies de la pesanteur en Géodésie (Exposé général). Premier échange de vues. |
| 16.30 h - 18 h | : Mesure du gradient vertical de la pesanteur. |

MERCREDI 12 Septembre

- 9.15 h - 10 h : Réunion du groupe de travail sur la base d'étalonnage européenne.
- 10 h - 12 h : Bases d'étalonnage pour gravimètres :
- Europe
- Amérique
- Asie
- Extrême Orient et Pacifique
- 14.30 h - 16 h : Réseau international de 1er ordre (2ème réunion).
- 16.30 h - 18 h : Répertoire des résultats gravimétriques mis sous forme de cartes perforées. (Exposé et échange de vues).

JEUDI 13 Septembre

- 9 h - 10 h : Emploi des anomalies de pesanteur en Géodésie (réunion du groupe de travail).
- 10 h - 11.30 h : Mesures de pesanteur en mer (Rapport général). Appareils.
- 11.30 h - 12 h : Mesures de pesanteur en avion (1er Exposé).
- 14 h : Départ pour l'aérodrome de Creil.
- 15 h - 16 h : Mesures de pesanteur en avion (2ème Exposé).
- 16 h - 17.30 h : Présentation des instruments de l'avion de l'AFCRL par Mr. WILLIAMS.

Dîner offert par le Comité Français d'organisation près de Chantilly.

VENDREDI 14 Septembre

- 9.15 h - 10.15 h : Emploi des anomalies de pesanteur en Géodésie (réunion du groupe de travail).
- 10.15 h - 10.45 h : Système européen unifié : lecture des propositions rédigées par le Prof. K'EISSL .
- 10.45 h - 12 h : Variation séculaire de la pesanteur.
- 14.15 h - 15 h : Emploi des anomalies de la pesanteur en Géodésie.
- 15 h - 16 h : Mesures de pesanteur en mer.
- 16.30 h - 18 h : Mesures de pesanteur en mer.

SAMEDI 15 Septembre

- 9 h - 10 h : Emploi des anomalies de la pesanteur en Géodésie.
- 10 h - 12 h : Adoption des voeux.
Séance de clôture.

COMPTE RENDU GENERAL

Le Compte-Rendu suivant donne un aperçu des discussions qui ont eu lieu à propos des différents points de l'ordre du jour, ainsi que des publications relatives à ces questions, présentées ou distribuées.

Les Rapports importants, en particulier ceux de chaque Président de Groupe, ont été regroupés en Annexe dans leur totalité ou partiellement.

L'ensemble des voeux est présenté en conclusion.

VUE d'ENSEMBLE des TRAVAUX GRAVIMÉTRIQUES

Au cours de la première réunion, le Dr.CORON remercie tous les délégués qui ont envoyé un Rapport National concernant l'activité gravimétrique de leur pays depuis 1960.

Elle résume les travaux importants effectués ou en projet, souligne quelques détails particuliers des Rapports Nationaux (dont la synthèse sera faite à l'occasion de l'Assemblée Générale de l'UGGI à Berkeley, 1963). Elle présente une première carte d'ensemble des grandes liaisons qui ont permis :

- soit de raccorder le réseau de 1er ordre directement à Potsdam ;
- soit de renforcer et de préciser le réseau international de 1er ordre et d'améliorer les chaînes d'étalonnage officielles ;
- soit de rattacher avec plus de précision les réseaux nationaux entre eux ou aux réseaux voisins.

Le Dr.CORON présente une deuxième carte où ont été reportées schématiquement les différentes croisières gravimétriques en mer communiquées au B.G.I. En particulier, les stations de base ont été mentionnées.

Rapports Nationaux :

Allemagne Démocratique (Prof.REICHENEDER)
Allemagne Fédérale (DEUT. GEOD. KOM.)
Argentine (COM. NAC.)
Australie (BUR. MIN. RES.)
Autriche (ÖST. GEOD. KOM.)
Etats Unis (Dr.RICE)
Finlande (Dr.HONKASALO)

France (M.GOGUEL & Mlle CORON)
Gde Bretagne (Dr.BULLERWELL)
Inde (Lt.Col.KHOSLA)
Iran (INST. GEOPH. TEHERAN)
Italie (Prof.SOLAINI)
Japon (Prof.OKUDA)
Nlle Zélande (Mr.REILLY)

Norvège (Mr.TROVAAG & Mr.JELSTRUP)	Suède (Mr.PETTERSSON)
Pays Bas (Prof.BRUIINS)	Suisse (Prof.GASSMANN)
Pologne (ACAD. POL. SCI.)	Tchécoslovaquie (ACAD. TCHEC. SCI.)
Portugal (Ing.MARTINS)	Thaïlande (R.THAI S. DEPT.)
Rhodésie & Nyasaland (FED. DEPT. TRIG. & TOP. SURVEY)	U.R.S.S. (SOV. ACAD. SCI.)

Publications complémentaires aux Rapports Nationaux (présentées ou distribuées au cours de la réunion) :

Argentine :

Ing.E.E.BAGLIETTO - "Rapport présenté à la réunion de Paris de la Commission Gravimétrique Internationale". Contr. Geod. App., Inst. Geod., Buenos Aires.
- "La Red Gravimetrica Mundial". Bol. Inf. Pet., n°345,
Buenos Aires.

Australie :

BUR. MIN. RES. GEOL. & GEOPH. - "Bouguer anomaly maps" I/500 000° (64 sheets).

Espagne :

Ing. L.LOZANO CALVO - "Mapas para el calculo de las reducciones topo-isostaticas" (Zones L...O₂). Inst. Geoph. Cat., Madrid.

Etats Unis :

Prof. G.P.WOOLLARD - "Bouguer Anomaly map" I/2 000 000° (4 sheets).

Finlande :

Dr. T.HONKASALO - "Gravity Survey of Finland in the years 1945-1960". Ver.
Finn. Geod. Inst., n°55, Helsinki.

France :

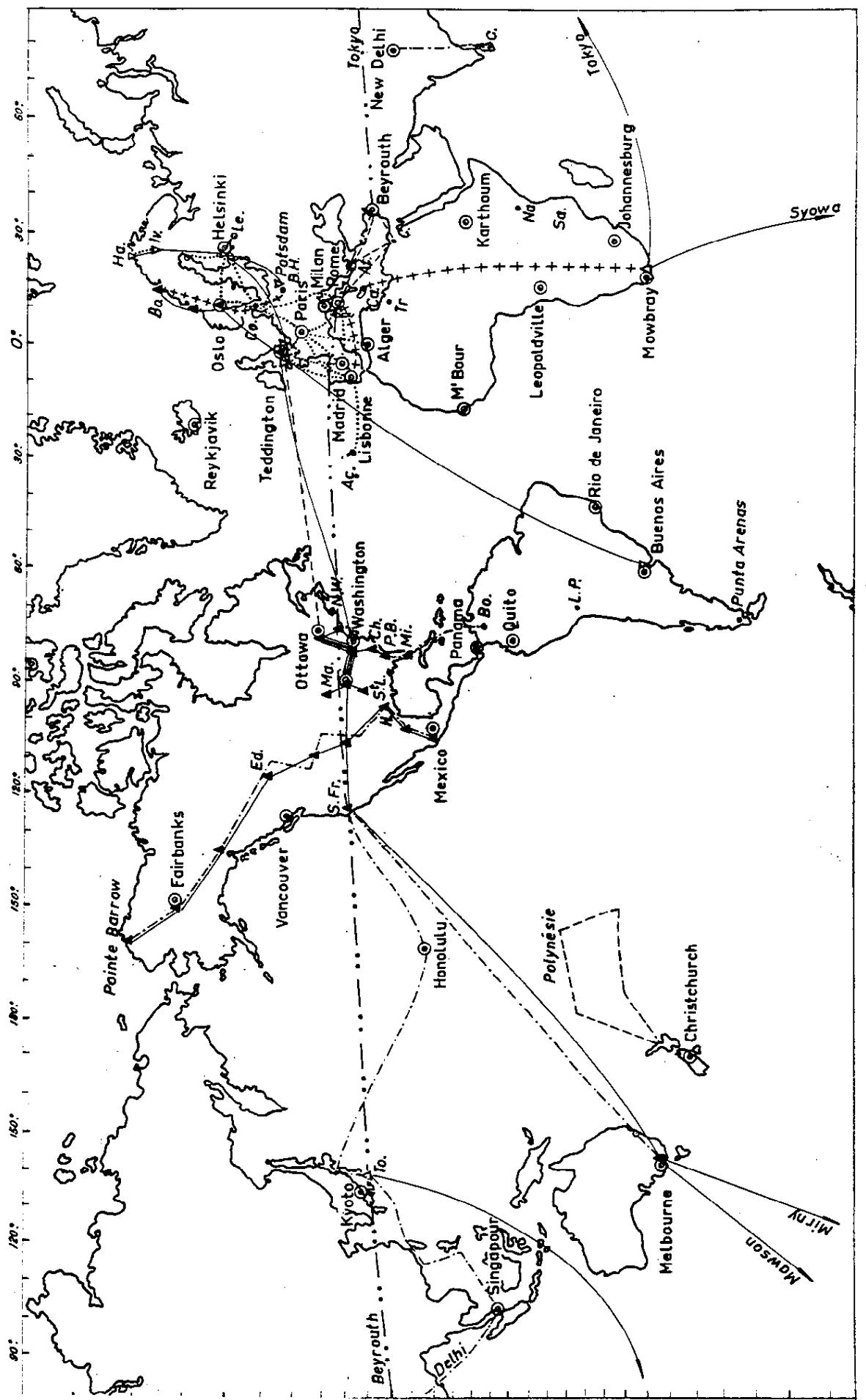
O.R.S.T.O.M. - "Cartes gravimétriques Nord Mauritanie - I/I 000 000°"
Anomalies de Bouguer et anomalies isostatiques Airy 30 km.
- "Cartes gravimétriques Mauritanie Occidentale - I/I 000 000°"
Anomalies de Bouguer et anomalies isostatiques Airy 30 km.
- "Carte d'anomalies isostatiques de l'Afrique Occidentale,
Airy 30 km, I/5 000 000°".

Italie :

COM. GEOD. ITAL. - "Carte des isanomales de Bouguer" (densités variables,
I/I 000 000°).
- "Carte des isanomales Airy-Heiskanen T = 30 km" (I/I 000 000°)
- "Carte des isanomales Airy-Vening Meinesz, H₀ = 30 km,
R = 174,3 km" (I/I 000 000°).

{ Prof. S.BALLARIN - "Renseignements sur la carte gravimétrique d'Italie".
Texte ronéotypé, Pise.

{ Dr. O.VECCCHIA - "La carte gravimétrique de la Péninsule Italienne - Considérations de tectonique générale". Texte ronéotypé, Milan.



PRINCIPALES LIASONS GRAVIMÉTRIQUES 1960-1962

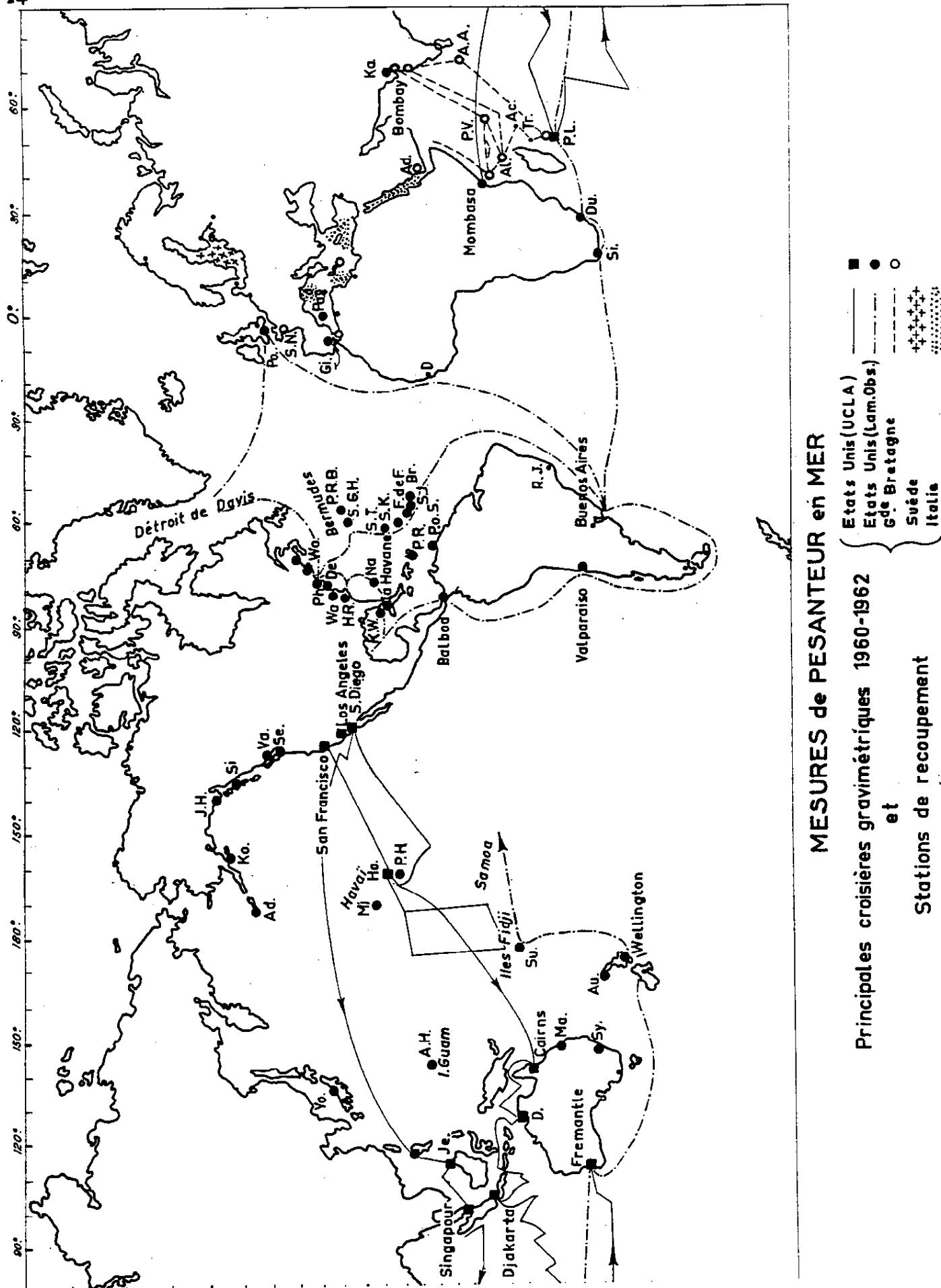
Stations du réseau de 1^{er} ordre international

Liaisons pendulaires

App. G. S.I.

Liaisons au Gravimètre

—	—	—	—	—	Circuit mondial
—	—	—	—	Worden (Un.Wisc.)	
+ + + + + + + +	+ + + + + + + +	+ + + + + + + +	+ + + + + + + +	Worden (O.C.S.)	
.....	Askania (Geod.In)	
—	—	—	—	Divers : Canada	



MESURES de PESANTEUR en MER

Principales croisières gravimétriques 1960-1962 et

Etats-Unis (UCLA)	—
Etats-Unis (Lam. Obs.)	—
Gde Bretagne	—
Suède	+
Italie	+

Stations de recouplement

Tchécoslovaquie :

Dr. M.BURSA - "Astronomisch Gravimetrisches Nivellement in der Tschechoslowakischen Republik". Trav. Inst. Geoph. Acad. Tchec. Sci., Prague, n°99, 1960, et n°I27, 1961.

B.G.I. :

- Carte des anomalies isostatiques, Airy 30 km, Europe-Afrique, I/I 10 000 000° env.
- Carte des anomalies de Bouguer, feuille d'Oslo, I/I 1 000 000°.
- Carte des anomalies de Bouguer, feuille de Berlin, I/I 1 000 000°.

-:-:-:-:-:-:-

MESURES ABSOLUES de la PESANTEUR

La séance de mardi matin, présidée par le Dr.COOK, a été consacrée à la question des mesures absolues de la pesanteur.

Le Président donne d'abord un rapide aperçu des déterminations actuellement en cours : dans 12 Instituts ou Observatoires, on améliore les techniques déjà connues et on met au point de nouvelles méthodes afin de déterminer avec le plus de précision possible la valeur absolue de g :

- méthode des pendules reversibles à Potsdam, Buenos Aires, Cambridge (Etats Unis) ;
- méthode de la chute libre d'un corps à Braunschweig, Washington, Tokyo, Madison, Princeton, Berlin ;
- méthode du lancement d'un corps, dite "des deux stations", à Teddington et à Sèvres ;
- oscillation d'un pendule de 200 m à Helsinki.

A la suite de cet exposé, plusieurs délégués donnent quelques détails sur les appareils en construction, soit à l'University of Wisconsin, Madison (J.C.ROSE), soit au Bureau International des Poids et Mesures (A.SAKUMA) (3), soit à l'"Air Force Cambridge Geophysics Research Directorate" (L.G.D.THOMPSON). Des informations complémentaires avaient été fournies antérieurement sur les travaux en cours à Potsdam (R.SCHULER) (2), à Berlin (M.DIETRICH & G.HARNISCH) (2) à Tokyo (M.TOMONAGA) (4).

Les points importants de ces informations ont été inclus dans le Rapport Général du Dr.COOK (1).

Le Président aborde la deuxième partie de son exposé : les liaisons entre les stations de mesures absolues de g . Il fait quelques remarques sur les différences de g entre les emplacements des mesures relatives utilisées dans les liaisons mondiales et les emplacements des mesures absolues (Sèvres, Teddington, Ottawa, Washington) ; à propos du rattachement à Potsdam, il rappelle que la valeur à Bad Harzburg (981 180,40 mgal) déduite des observations de Weiken et considérée comme conventionnelle, ne représente pas la valeur la

plus probable dans le système de Potsdam, comme il l'a montré en 1952. Il insiste enfin sur les observations pendulaires reliant Teddington-Ottawa-Washington, et en déduit que les valeurs américaines sont connues par rapport aux valeurs européennes à mieux que 0,5 mgal.

De ces considérations, il résulte que les corrections à apporter au système de Potsdam seraient d'après les mesures récentes :

- 12,7 mgal (Sèvres) - 13,1 mgal (Teddington) - 14,0 mgal (Ottawa)

Un échange de vues s'engage à propos des résultats des mesures pendulaires citées dans le Rapport précédent. En particulier, J.C.ROSE qui est en train de préparer une importante étude sur les liaisons pendulaires et leur précision a résumé quelques unes de ses remarques dans une Note distribuée aux délégués (5); ces remarques concernent principalement les observations pendulaires entre Washington d'une part et Ottawa, Teddington ou Madison d'autre part, ainsi que la différence de g entre les stations absolue et pendulaire à Washington.

Il souligne aussi que, d'après les rattachements récents au gravimètre entre Bad Harzburg et Potsdam, le résultat moyen calculé par le Dr.COOK pour Bad Harzburg devient 981 180,12 mgal \pm 0,22 mgal. Dans cette hypothèse, et en tenant compte des considérations précédentes, les corrections proposées ci-dessus au système de Potsdam seraient légèrement modifiées et deviendraient :

- 12,6 mgal (Sèvres) - 13,0 mgal (Teddington) - 14,7 mgal (Ottawa)

Pour éviter les incertitudes dues aux liaisons entre les différentes stations absolues, le Prof.HEISKANEN pense qu'il serait préférable de concentrer tous les efforts sur une seule station et d'utiliser à cette station de "départ" toutes les méthodes possibles de mesures. La valeur moyenne pondérée obtenue par différentes méthodes serait adoptée comme valeur absolue de la pesanteur à cette station.

Poursuivant son schéma sur l'établissement du réseau mondial de pesanteur, il rappelle que cette station devrait faire partie de la ligne d'étalonnage méridienne qui s'étendrait du Nord au Sud (par exemple d'Hammerfest à Johannesburg) et comprendrait des observations pendulaires tous les 1000 mgal environ. Les gravimètres serviraient pour les points intermédiaires ainsi que pour les rattachements entre les stations de cette chaîne et les points dont les différences de g sont faibles (100 mgal environ).

Le Dr.COOK suggère d'étudier les principes sur lesquels une nouvelle formule de pesanteur pourrait être établie.

Il pense que le terme constant devrait être basé sur la valeur absolue adoptée dans un seul site, tout en tenant compte des résultats comparatifs aux autres stations absolues. On pourrait aussi envisager une compensation avec des poids égaux entre les différentes stations absolues, mais cette solution serait plus compliquée.

Le terme exprimant la variation de la pesanteur en fonction de la latitude serait déduit seulement du potentiel obtenu d'après les trajectoires des satellites artificiels ; un ellipsoïde exact de révolution serait utilisé comme base théorique de comparaison pour calculer l'expression du potentiel et de la pesanteur.

M. GOGUEL souhaite que l'on avance en deux étapes différentes : dans un premier stade, on se bornerait à adopter une nouvelle valeur de la pesanteur ; dans un deuxième stade, on envisagerait une révision complète du système de référence de la géodésie, englobant les derniers résultats des triangulations, la couverture gravimétrique aussi bien que les données fournies par les satellites.

Le Dr. COOK insiste pour que la révision de la valeur absolue de g et celle du facteur de latitude ne soit pas considérées séparément. Ainsi les mesures par radar de la distance à la Lune donnent une relation entre la pesanteur absolue à la surface de la terre et les dimensions du géoïde "rayon équatorial".

Le Dr. UOTILA fournit quelques indications sur les corrections qui devraient être apportées à la formule internationale de pesanteur si l'on tenait compte des nouvelles données gravimétriques.

En utilisant d'une part, les anomalies à l'air libre, d'autre part les anomalies isostatiques, il obtint pour la valeur équatoriale respectivement 978 047,8 mgal et 978 045,1 mgal ; l'un ou l'autre calcul révèle une forte discordance (13 ou 10 mgal pour la valeur équatoriale) suivant que l'on considère les résultats de l'un ou l'autre hémisphère.

Après quelques remarques, les voeux n°1 et 2 sont adoptés. Les représentants des Institutions suivantes seront consultés pour discuter le processus de révision de la formule internationale de la pesanteur :

- le Comité International des Poids et Mesures ;
- l'Union Astronomique Internationale ;
- l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée ;
- le C.O.S.P.A.R.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - A.H.COOK - Report on absolute measurements of gravity - Nat. Phys. Lab., Stand. Div., Teddington, Meeting of the I.G.C., Paris, sept. 1962, 13 p.
summary p. 57
- (2) - R.SCHULER - M.DIETRICH & G.HARNISCH - Additions to the report on absolute measurements of gravity by A.H.Cook, presented to the meeting of the I.G.C. Paris, sept. 1962, 1 p.
summary p. 58
- (3) - A.SAKUMA - Etat actuel de la nouvelle détermination absolue de la pesanteur au Bureau International des Poids et Mesures - B.I.P.M., Sèvres, 1962, 8 p. + 4 fig.
summary p. 59
- (4) - M.TOMONAGA - A short note on the study of the absolute measurements of gravity by the falling body method - 1962, 2 p. + 2 fig. summary p. 61
- (5) - J.C.ROSE - Remarks on the absolute measurements of gravity presented to the meeting of the I.G.C., Paris, sept. 1962, 2 p.
p. 68
- (6) - U.UOTILA - Corrections to gravity formula from direct observations and anomalies expressed in lower degree spherical harmonics - Rep. Inst. Geod., Phot. & Cart., n°23, Columbus, 1962, 26 p.

RESEAU INTERNATIONAL de 1er ORDRE

Deux séances présidées par le Prof. MORELLI ont été consacrées au réseau international de 1er ordre.

Le lundi après-midi, le Président résume le Rapport du Groupe Spécial d'Etude n°5, sur "Absolute and First Order World net" distribué antérieurement à tous les délégués (1).

Ce Rapport fait suite aux cinq Rapports établis respectivement à l'occasion de chaque Assemblée Générale de l'UGGI et de la Commission Gravimétrique Internationale. Il donne un aperçu de la situation actuelle du Réseau International de 1er ordre, des systèmes d'étalonnage (Nord Américain et Européen) et fait le bilan des récentes liaisons aux pendules et aux gravimètres.

Au cours de la deuxième séance (mercredi après-midi), le Prof. MORELLI insiste sur la nécessité de bien coordonner et de concentrer tous les efforts pour réaliser au mieux et le plus rapidement possible le réseau gravimétrique international de 1er ordre. Il souligne trois des raisons qui retardent la solution de ce problème :

1) Les appareils pendulaires susceptibles de donner une grande précision sont peu nombreux.

Les résultats sont souvent publiés avec un grand retard et dans certains cas, ils sont remaniés à maintes reprises si bien que la publication des résultats définitifs est toujours remise.

2) Les gravimètres doivent être utilisés avec soin ; leur étalonnage doit être suffisamment étudié et leurs caractéristiques connues au mieux ; malheureusement, ces conditions ne sont pas toujours remplies et la précision des diverses mesures au gravimètre est très inégale.

3) Enfin, les conditions idéales requises pour compenser les observations par la méthode des moindres carrés (COOK, 1958), ne sont pas toujours remplies ; en effet, la plupart des différences de pesanteur mesurées entre les stations ne sont pas indépendantes : dans un circuit s'intercalent souvent de nombreuses stations qui ne sont réoccupées qu'au retour, après un temps plus ou moins long suivant les circonstances.

Après l'exposé et les remarques du Président, un échange de vues s'engage sur les mesures pendulaires.

Mr. ROSE fait part de l'étude du Prof. WOOLLARD (5). Pour déceler l'importance et la fréquence des changements dans les périodes des appareils pendulaires, les valeurs obtenues avec les pendules Gulf et Cambridge ont été comparées aux valeurs moyennes obtenues avec des gravimètres (Worden, LaCoste, North American, World Wide) depuis 14 ans, aux stations communes. Cette comparaison très possée pour les résultats de la chaîne d'étalonnage Nord américaine, a été étendue aussi à tous les résultats mondiaux ; les données individuelles de chaque série de pendules étant étudiées séparément.

D'après ces comparaisons qui révèlent des erreurs pendulaires de plusieurs milligals (au-delà de 7 mgal), les pendules peuvent être affectés de variations lentes, sans prédominance de sens (sorte de dérive) au moins aussi importantes que les sauts brusques ; ces effets ne peuvent être décelés par les écarts de fermeture. En conséquence, il est indispensable d'exploiter les résultats pendulaires en tenant compte des résultats au gravimètre.

Il donne de nombreux exemples : il signale en particulier qu'à l'Université de Fairbanks, les résultats obtenus en deux fois avec le Gulf (non avec le pendule de Cambridge) sont systématiquement supérieurs de 0,3 mgal.

En terminant son exposé Mr.ROSE rappelle les observations qu'il a effectuées depuis 1960 avec les appareils pendulaires "Gulf-Wisconsin" "M" :

- Washington-Ottawa (à plusieurs reprises) ;
- Madison-Washington D.C., Ottawa, Teddington, Oslo, Trondheim, Bodo et Hammerfest où un effet systématique important de "dérive" a été décelé dans les périodes pendulaires ;
- Madison-San Francisco-Melbourne, Mirny et Mawson (Antarctique).

Mr.BROWNE insiste pour que les observations pendulaires qui doivent être conduites avec soin, ne soient pas multipliées inconsidérément ; il souhaite que ces mesures soient effectuées aux deux extrémités des lignes d'étalonnage (ou près de ces extrémités) en des régions où l'on peut espérer les meilleures conditions d'observations.

Le Dr.COOK pense que les stations pendulaires ne doivent être ni trop rapprochées ni trop éloignées ; il préconise la méthode des trajets fragmentés A-B, B-C avec aller et retour afin de pouvoir détecter les changements produits sur les pendules au cours du transport et contrôler la linéarité des chaînes d'étalonnage.

Après avoir montré les points faibles du réseau mondial, le Prof.MORELLI communique les résultats des toutes dernières liaisons destinées à l'amélioration du réseau de 1er ordre ainsi qu'à l'extension et au raccordement des différents systèmes d'étalonnage :

- circuit mondial approximativement le long du parallèle 40°N : Rome-New York-Washington-San Francisco-Tokyo-Beyrouth-Athènes-Rome (en avril-mai 1962), avec au moins 3 Worden accompagnés sur certains trajets par 3 autres Worden ou 2 LaCoste-Romberg (2).
- Italie (Etna (6)-Sud Afrique (Mowbray) avec 3 Worden (juillet 1962) (3).
- Rome-Lisbonne avec 3 Worden (juin 1962) (4).

C'est grâce à l'enthousiasme rencontré et à la collaboration de plusieurs Institutions que ces travaux de large envergure ont pu être réalisés. Aussi, répondant à l'appel du Prof.MORELLI pour que cette collaboration se poursuive et s'amplifie afin de mener à bien les différents projets internationaux, MM.BROWNE, ROSE et SOLAINI pensent pouvoir disposer dans ce but des appareils pendulaires de leurs Services ou Instituts respectifs.

Mr.WILLIAMS, au nom de l'AFCRL, se déclare prêt à apporter son concours dans la question des transports, en particulier pour l'établissement de la chaîne Ouest Pacifique, comme il est relaté plus loin.

Quelques points de détail sur les résolutions proposées ont été discutés au cours de la dernière séance ; en particulier, après l'intervention du Prof.SOLAINI et la suggestion du Dr.HONKASALO, il a été décidé de ne mentionner que les stations terminales des lignes d'étalonnage et de laisser au Président du Groupe d'Etude et aux observateurs, le choix des trois stations

intermédiaires pour les mesures pendulaires.

Les résolutions adoptées ont fait l'objet des voeux n° 3 et 4.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - C.MORELLI - Report of the Special Study Group n°5 on the Absolute and First Order World Net - Texte ronéotypé, 20 p.
summary p.70
 - (2) - C.GANTAP & C.MORELLI - First order world gravity loop 1962 - Bol. Geof. Teor. App., vol.IV, n°15, 42 p.
 - (3) - K.W.T.GRAHAM & C.MORELLI - The Italy-South Africa gravity tie - Bol. Geof. Teor. App., vol.IV, n°15, 7 p.
 - (4) - J.M.MARTINS & C.MORELLI - Gravity tie Rome-Lisbon - Bol. Geof. Teor. App., vol.IV, n°15, 8 p.
 - (5) - G.P.WOOLLARD - An evaluation of tares and creep in pendulum observations on the basis of gravimeter comparisons - 40 p. (unpublished).
 - (6) - J.C.ROSE - Observations in 1960 with the Gulf Wisconsin M quartz pendulums in Norway, England, Canada and the United States (unpublished).
 - (7) - J.C.ROSE & O.S.STRICKHOLM - Observations in 1960 and 1961 with the Gulf-Wisconsin pendulums at Washington and Ottawa (unpublished).
 - (8) - J.C.ROSE & O.S.STRICKHOLM - Observations in 1960-61 with the Gulf Wisconsin M quartz pendulums at Mirny, Mawson, Melbourne, San Francisco and Madison (unpublished).
-

CHAINE d'ETALONNAGE EUROPEENNE

En l'absence du Prof.KNEISSL, Président du Groupe Spécial d'Etude n°6, le Prof.KIRSCHMER présente le Rapport d'ensemble sur la Compensation I962 du Système d'Etalonnage européen (2) ainsi que la brochure (I) donnant toutes les références bibliographiques (avec analyses) relatives à ce Système d'Etalonnage pour gravimètres.

Le Prof.GROSSMANN veut bien assurer la direction des débats. Une première réunion de travail eut lieu dès mardi matin pour préparer la réunion plénière du mercredi matin.

Le Rapport d'ensemble cité ci-dessus donne un rapide aperçu des démarches et travaux effectués depuis 1960, conformément au voeu pris à l'Assemblée d'Helsinki : à partir des documents envoyés par le Prof.KNEISSL et soumis antérieurement aux observateurs, une compensation d'ensemble a été calculée selon la méthode du Dr.COOK par les Services suivants :

Laboratorium voor Geodesie, Technische Hogeschool, Delft (Prof.ERUINS)
National Physical Laboratory, Teddington (Dr.COOK)
Geodätisches Institut der Technischen Hochschule, München (Dr.MARZAHN).

Les résultats des trois compensations sont donnés en Annexe III : ils s'écartent au maximum de 0,01 mgal dans les valeurs de g et les erreurs moyennes quadratiques, malgré le choix différent dans le poids attribué aux observations.

La représentation graphique des erreurs moyennes quadratiques en fonction des différences de g montre clairement leur interdépendance, fonction de la grandeur des différences Δg et non pas de la situation des stations.

Dans sa conclusion, le Prof.KNEISSL suggère d'adopter à l'avenir pour ces 27 points principaux les valeurs finales de g relatives à Bad Harzburg (981 180,40 mgal) qui sont inscrites dans la Table 2 de son Rapport (Annexe III).

Retenant les idées émises par le Prof.CASSINIS, au nom de la Commission Géodétique Italienne, les délégués italiens exposent leurs objections à cette Compensation I962.

Les principales remarques du Prof.SOLAINI peuvent se résumer ainsi (6) :

a) l'emploi d'un réseau ne semble pas souhaitable pour atteindre la précision et l'uniformité requises pour une chaîne d'étalonnage. La méthode la plus logique pour déterminer une chaîne d'étalonnage méridienne est d'appliquer une valeur constante Δg le long de cette ligne.

Ainsi, en utilisant un très grand nombre de gravimètres bien contrôlés et en considérant la moyenne des résultats individuels obtenus comme résultant d'un gravimètre unique, on peut éliminer les divers effets sur les gravimètres et définir ainsi le "gravimètre moyen" dont l'erreur moyenne est plus petite que celle d'un gravimètre individuel.

Tandis que seules les mesures au gravimètre effectuées sur la ligne proprement dite et dans d'excellentes conditions, devraient être considérées dans les calculs, les observations pendulaires, même indirectes seraient

utilisées pour fixer ensuite avec le plus de précision possible, la valeur de la différence standard Δg utilisée le long de cette ligne. Cette compensation séparée est possible puisque la précision des mesures au gravimètre est beaucoup plus grande que celle obtenue avec les appareils pendulaires.

On pourrait envisager une méthode de compensation plus simple que celle du Dr.COOK, par exemple celle proposée par le Prof.CUNIETTI (3).

b) Enfin l'objection principale du Prof.SOLAINI est la non homogénéité des mesures au gravimètre le long de la ligne d'étalonnage : les mesures sont rares sur certains tronçons (par exemple entre Buddinge et Oslo) ; certaines mesures considérées dans la Compensation, ne présentent pas les caractéristiques suffisantes de précision pour l'établissement d'une chaîne d'étalonnage internationale ; enfin, la technique des liaisons au gravimètre transporté par avion n'est pas la même que celle des liaisons par route. La partie Sud de la ligne entre Flensburg et Catania présente un degré de précision nettement supérieur à la partie Nord.

A son tour, le Prof.MORELLI étudie le peu d'homogénéité du réseau pendulaire dans le système d'étalonnage (4). En réponse au Dr.MARZAHN qui a déduit antérieurement d'une étude statistique qu'aucune différence systématique certaine n'existe entre les divers résultats et que le même poids doit être attribué à tous les résultats pendulaires dans la compensation finale, le Prof.MORELLI présente des graphiques qui mettent clairement en évidence des écarts systématiques non négligeables entre les différents types de pendules. Il fait une étude comparée des résultats des divers appareils sur la ligne d'étalonnage et propose lui aussi de concentrer les efforts sur cette ligne même, afin d'augmenter la précision de l'échelle d'étalonnage. De nouvelles mesures pendulaires sont envisagées par la Commission Géodétique Italienne.

Il souhaite de plus que cette ligne puisse être étendue à travers le Continent Africain jusqu'à Capetown et que des observations pendulaires puissent être faites sur cette ligne Euro-Africaine.

En terminant, il rappelle le peu d'observations gravimétriques faites dans la partie Nord de la ligne d'étalonnage entre Bad Harzburg et Bodo et présente les nouvelles observations exécutées tout récemment (mai-juin 1962) par l'Osservatorio Geofisico Sperimentale de Trieste, avec plusieurs Worden, pour combler ce vide. Il déduit de ces derniers résultats quelques remarques intéressantes sur les divers étalonnages (5).

Au sujet de la partie Nord de la chaîne d'étalonnage moins fournie en observations gravimétriques, le Dr.HONKASALO fait remarquer qu'il existe de nombreuses liaisons finlandaises passant par Helsinki. Toutes ces mesures ont bien été signalées dans la Bibliographie (1), mais seules les mesures pendulaires (appareil de Cambridge) entre Teddington et Hammerfest ont été considérées dans la Compensation. Il y a au moins 16 liaisons aller-retour entre Helsinki et Oslo avec 6 gravimètres différents ; ainsi la différence de l'ordre de 12 mgal a été mesurée avec un très haut degré de précision. Si l'on avait tenu compte de ces mesures dans la compensation, la partie Nord aurait été essentiellement renforcée bien qu'aucun changement important n'en serait résulté dans les différences de pesanteur finales.

En réponse aux objections présentées, le Dr.MARZAHN insiste sur le fait que le Prof.MORELLI, dans son étude sur les mesures pendulaires, a considéré les valeurs de g ; aussi a-t-il trouvé de fortes corrélations. En utilisant les différences observées de g entre des stations voisines dont les corrélations sont essentiellement plus faibles, aucune différence systématique, statistiquement certaine, ne pouvait être décelée entre les mesures des différents types d'appareils.

Il signale que, conformément au projet présenté par MM.CUNIETTI & INGHILLERI sur la compensation des mesures pendulaires et gravimétriques, il a compensé le réseau fondamental de pesanteur allemand et étudié déjà en 1958 les mesures du système d'étalonnage européen. Néanmoins, il lui semble préférable de donner un poids suivant la précision mutuelle des mesures plutôt que de considérer par principe les mesures gravimétriques comme exemptes d'erreur par rapport aux mesures pendulaires. Il rappelle que le choix de poids n'a pas une réelle importance pour le système d'étalonnage comme en témoigne la comparaison des résultats compensés avec des poids différents.

De plus, le choix des mesures à incorporer dans le système européen dépend de la précision des observations et non pas de la méthode d'observation : les mesures au gravimètre transporté par avion comme celles effectuées par le "Geod. Inst. of Tech. Univ., Hannover" avec un Askania GS I2 ont une précision équivalente à des liaisons faites par route.

Par ailleurs, des études statistiques sur les mesures effectuées avec trois instruments dans un même voyage (MORELLI & INGHILLERI) entre Munich et Catania ont montré une forte corrélation. Donc, le choix du poids dans la compensation du Dr.INGHILLERI entre Flensburg et Catania doit conduire à des conclusions inexactes sur la précision des mesures.

Le Prof.SOLAINI souligne qu'il ne considère pas les liaisons aériennes comme moins précises par définition, mais pense que leur incorporation dans la Compensation finale doit faire l'objet d'une étude particulière, étant donné la technique de travail. Il conclut sur la question complexe des poids des gravimètres, en insistant pour que cette question soit étudiée avec soin dans la Compensation qui sera effectuée lorsque la chaîne d'étalonnage aura été complétée par de nouvelles mesures.

Une nouvelle discussion s'engage à propos de la valeur adoptée à Bad Harzburg : le Dr.HONKASALO fait remarquer que les valeurs finales proposées par le Prof.KNEISSL pour être utilisées à l'avenir dans les applications pratiques, sont basées sur la station de Bad Harzburg où la valeur de g adoptée est l'ancienne valeur obtenue par WEIKEN (981 180,40 mgal) ; il rappelle que, d'après une publication de REICHENEDER la valeur de départ à Potsdam prise par WEIKEN est 0,15 mgal trop forte. Le calcul de la différence Potsdam-Bad Harzburg par le Dr.COOK (voir Rapport sur Mesures Absolues) ainsi que les mesures modernes finlandaises avec des gravimètres de Potsdam à Copenhague et avec un appareil pendulaire de Potsdam à Helsinki confirment indirectement que la valeur de g à Bad Harzburg doit être diminuée dans le système de Potsdam. Il propose donc, soit d'évaluer les valeurs finales de g dans le système de Potsdam,

après avoir recalculé avec le plus de précision possible la valeur de g à Bad Harzburg, soit de ne publier que les différences de g.

Le Prof. MORELLI a aussi signalé dans son Rapport (Annexe II) l'incertitude sur la valeur de g adoptée à Bad Harzburg. Pour lever cette imprécision, il avait envisagé d'effectuer une liaison avec 5 gravimètres entre Potsdam et Bad Harzburg (ou Berlin-Ouest), à l'occasion de son séjour à Leipzig au Symposium International sur les mouvements récents de l'Ecorce Terrestre ; malheureusement, l'autorisation n'a pu être obtenue.

Il montre enfin que les erreurs de fermeture des circuits sans tenir compte de Potsdam sont beaucoup plus faibles que si l'on considère Potsdam.

Le Dr. MARZAHN ainsi que Mr. ROSE sont d'avis qu'il n'existe pas de différence systématique entre les deux systèmes Potsdam et Bad Harzburg, comme le montrent les compensations individuelles qu'ils ont effectuées.

Le Dr. COOK et le Dr. COLLETTE pensent que des démarches collectives pourraient être entreprises et proposeront le voeu n°3.

Après ces discussions importantes, le Prof. GROSSMANN donne lecture d'un premier projet de résolutions. Le Dr. COOK appuyé par le Prof. GASSMANN demande que les résultats de la compensation de la base d'étalonnage européenne soient publiés avec une discussion statistique des résidus des observations et qu'en même temps, dans le même numéro si possible du Bulletin Géodésique, soit publiée une étude critique des observateurs italiens.

Les résolutions proposées, après quelques modifications, ont été consignées dans les voeux n°3, 4 et 6.

RESEAU EUROPEEN UNIFIE de PESANTEUR

Au cours de la séance de vendredi matin, le Prof. KIRSCHMER expose le Rapport du Prof. KNEISSL sur l'établissement en Europe d'un réseau uniforme des principales stations gravimétriques (7).

Ce travail d'unification des réseaux gravimétriques fondamentaux européens fait suite à celui de l'établissement du système d'étalonnage pour gravimètres. Il sera considéré en son temps, mais il est nécessaire d'en commencer la préparation : aussi, en 1962, un premier questionnaire a été envoyé aux Services Nationaux intéressés qui ont répondu favorablement à cette demande. En général, chaque pays possède un réseau fondamental de pesanteur dont les données sont publiées ou peuvent être facilement communiquées.

Pour mener au mieux cette entreprise, le Prof. KNEISSL propose un certain nombre de recommandations et remercie ceux qui lui ont apporté et lui apporteront leur concours et leurs suggestions (Annexe III).

Le Prof.TARDI propose de prendre en considération les recommandations indiquées mais pense qu'il serait préférable de reporter cette question à l'ordre du jour de la XIII^e Assemblée Générale de l'UGGI, laissant ainsi le temps aux délégués de préparer les documents nécessaires pour l'unification du réseau européen et de faire toutes suggestions, comme l'a demandé le Prof.KNEISSL.

Le Prof.MORELLI insiste pour que le travail de préparation soit poursuivi et demande l'inscription de la Grèce dans ce bloc. De plus, il répond affirmativement (voir Rapport Groupe d'Etude n°5, p.75) au Prof.GASSMANN qui demandait si l'on pouvait incorporer facilement le système d'étalonnage européen dans le réseau de 1er ordre, comme un bloc (changement de la valeur absolue de g au point fondamental du bloc et multiplication de toutes les différences de pesanteur par le même facteur numérique voisin de l'unité).

Les résolutions adoptées ont fait l'objet du voeu n°7.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - M.KNEISSL - Literatur über das Europäische Gravimeter-Eichsystem - Deut. Geod. Kom., 1962, München, 80 p.
 - (2) - M.KNEISSL & K.MARZAHN - The adjustment 1962 of the European Calibration System, Final Report - Die Ausgleichung 1962 des europäischen Gravimeter Eichsystem, Abschlussbericht - Abhandl. d. Bayer. Akad. d. Wiss., math-nat., 1962. summary p. 78
 - (3) - M.CUNIETTI - Les équations d'erreur dans les compensations des réseaux de mesures pendulaires de la pesanteur - 5 p. ronéotypées.
 - (4) - G.GANTAR & C.MORELLI - Some observations on the present situation of the European gravity calibration system - Boll. Geof. Teor. App., vol.IV, n°14, p.171-180.
 - (5) - C.GANTAR & C.MORELLI - Measurements with gravity meters along the northern part of the European Calibration line : Bad Harzburg-Bodø - Boll. Geof. Teor. App., vol.IV, n°15, 47 p.
 - (6) - G.SOLAINI & G.INGHILLERI - Some considerations on the measurements and calculations relating to the European calibration line - 12 p. ronéotypées. summary p. 81
 - (7) - M.KNEISSL - Establishment of a uniform European first order gravimeter network - Aufbau eines einheitlichen europäischen Gravimeter-fundamentallnetzes - 19 p. ronéotypées summary p. 83
-

CHAINE d'ETALONNAGE NORD-AMERICAINE

À la suite de l'exposé sur la ligne d'étalonnage européenne, Mr.RICE, Président du Groupe chargé de l'établissement de la ligne d'étalonnage en Amérique du Nord, résume l'état d'avancement de ce travail (I). Il estime que ce système d'étalonnage précis à quelques millièmes près doit être amélioré par des mesures très précises faites aux extrémités et dans ce but souhaite que des observations pendulaires avec différents jeux d'appareils soient effectuées à Mexico-City et dans l'Alaska (de préférence à Fairbanks).

Le Dr.THOMPSON, reprenant les remarques faites par Mr.BROWNE dans une séance précédente et par Mr.RICE, est d'avis que la meilleure méthode pour établir une ligne d'étalonnage est d'effectuer seulement aux extrémités de la ligne deux mesures pendulaires très précises et d'utiliser les gravimètres pour établir les stations intermédiaires. Il ajoute cependant que dans le cas de la ligne Nord Américaine, les points extrêmes sont en Alaska et à Mexico-City et sont pratiquement d'accès difficile, non seulement à cause de la situation géographique de la ligne et de la grande distance à parcourir, mais encore à cause de la traversée de trois nations différentes et des difficultés de douanes et des problèmes d'immigration qui en découlent. Lorsque des pays étendus tels que le Canada et les Etats Unis sont intéressés, il pense donc qu'il serait souhaitable que des stations pendulaires facilement accessibles soient situées à l'intérieur même des frontières. En conséquence, il suggère que dans les Etats-Unis et au Canada, des stations pendulaires supplémentaires soient ajoutées aux stations pendulaires des extrémités de la ligne d'étalonnage.

Mr.ROSE fournit quelques détails sur les récentes mesures faites avec l'appareil pendulaire Gulf-Wisconsin "M" :

- d'une part, le long de cette chaîne principale (I96I-62), de Madison jusqu'à Fairbanks et Point Barrow, puis à Mexico :
Madison-Huron-Denver-Great Falls-Edmonton-Whitehorse-Fairbanks-Point Barrow...
...Denver-Houston-Monterrey-San Luis Potosí-Mexico City...Denver-Madison.
- d'autre part, le long de la côte orientale : Madison-Washington-Charleston-Miami-Key West.....Madison (avec le jeu pendulaire supplémentaire "K").

De plus, le gravimètre géodétique LaCoste-Romberg (LR-G-1) a réoccupé tous les emplacements des stations pendulaires ainsi que la base d'étalonnage du Lamont Observatory entre Houses Point, New York et Overlook Mountain (Virginia). On notera aussi que deux petites lignes détaillées de contrôle (environ 500 mgal) ont été établies avec des stations tous les 30 à 40 mgal afin d'évaluer les irrégularités du pas de vis (screw effect).

Le Dr.THOMPSON signale que le nouveau réseau gravimétrique de haute précision couvrant le territoire des Etats Unis, établi par l'USAF aux aéroports, renforce le réseau principal déjà existant. Dans la mesure du possible des liaisons ont été faites avec les stations du Groupe Woppard et du C. & G.S. Les résultats de ce réseau ont pu être ainsi comparés avec 7 valeurs pendulaires (Woppard) ; la concordance est excellente (de l'ordre de 0,1 mgal),

à l'exception d'une seule station (Key West) où la valeur pendulaire est inférieure de 1,1 mgal.

Le Prof. MORELLI soucieux de la précision du réseau de 1er ordre souhaite qu'une plus grande homogénéité soit réalisée dans le système gravimétrique de l'Amérique du Nord et espère que la ligne d'étalonnage principale pourra être étendue par Quito jusqu'à l'extrémité de l'Amérique du Sud. L'interconnexion entre les différentes chaînes (Euro-africaine, américaine et Ouest-Pacifique) pourra être ainsi facilement réalisée avec des gravimètres.

L'Ing. BAGLIETTO insiste sur la nécessité d'avoir une telle chaîne en Amérique du Sud, particulièrement en Argentine. Il souligne à ce propos l'importance de la station fondamentale de Buenos Aires, décrit les nombreux travaux gravimétriques effectués ou en projet à l'intérieur de la République Argentine et sur la large plateforme continentale atlantique et montre l'extension des rattachements gravimétriques internationaux et même inter-continentaux :

- la première détermination absolue de la pesanteur de l'hémisphère Sud est en cours à Buenos Aires (Institut Géographique Militaire en collaboration avec l'Institut de Géodésie) ;

- le point fondamental a été relié indirectement à Potsdam (appareil pendulaire ou gravimètre) par l'Amérique du Nord, l'Italie, l'Espagne, la France, la Grande Bretagne ;

- des liaisons gravimétriques ont été réalisées avec les Républiques du Paraguay, du Chili et bientôt le seront avec celles de l'Uruguay et du Brésil.

L'Ing. BAGLIETTO décrit ensuite le projet récemment élaboré d'une base pendulaire d'étalonnage pour gravimètres : elle s'étendra entre les latitudes 22°S et 55°S (de Tartagal à Ushuaia) sur une distance d'environ 4000 km et présentera une différence de pesanteur de l'ordre de 2750 mgal (les altitudes des stations seront comprises entre 9 et 1210 m au dessus du niveau de la mer).

Cette chaîne comprendra 14 stations pendulaires, situées en des points stables, des caves, sur des routes définitives ou à proximité d'aéroports. Les mesures seront faites simultanément, en chaque station, avec des appareils pendulaires de type différent (invar avec pendule d'Helmoltz, bronze, quartz) en collaboration avec l'Argentine, le Canada et les Etats Unis.

Les résolutions adoptées ont fait l'objet des voeux n°4 et 9.

(I) Summary of Report on "North American Gravity Calibration System" by D.A.RICE (voir Annexe IIIb).

CHAINE d'ETALONNAGE OUEST PACIFIQUE

Au cours de la séance de mercredi matin, le Prof.OKUDA, Président du Groupe chargé d'étudier et d'établir une chaîne d'étalonnage pour gravimètres dans "l'Ouest Pacifique" rappelle que cette dernière dénomination a remplacé en 1960 la dénomination antérieure "Est Asie".

Il montre l'importance de cette ligne dans le réseau mondial, son caractère propre (peu de continents, nécessité de liaisons aériennes). Il pense qu'il faut d'abord établir avec beaucoup de précision un nombre restreint de stations et expose le projet détaillé inclus dans son Rapport (I).

Cette chaîne d'étalonnage s'étendrait du Japon à l'Australie en passant par Formose, Hong-Kong, la Thaïlande, la Malaisie (Singapour) et l'Indonésie. Cette ligne serait rattachée d'un côté à la ligne Nord Américaine par Fairbanks (Alaska) et de l'autre côté à la ligne de l'Asie Centrale.

Au cours d'un échange de vues entre les délégués intéressés, Mr.T.IYER pense que les géophysiciens australiens seront prêts à coopérer à l'établissement de la ligne proposée et que lorsque des projets précis seront avancés, cette collaboration sera alors précisée.

Il signale que l'"Australian Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics", service coordinateur des réseaux gravimétriques en Australie, a récemment acheté un jeu de pendules en quartz G.S.I. (Tokyo) et qu'une nouvelle mesure de la différence de pesanteur Tokyo-Melbourne (Tokyo-Melbourne-Tokyo-Melbourne) est en cours de réalisation. L'équipement pendulaire sera utilisé plus tard pour redéterminer la ligne d'étalonnage "Eastern Australian" Cairns-Melbourne qui sera étendue jusqu'à Darwin. On projette aussi de mesurer dans l'avenir la différence de pesanteur Melbourne-Mawson (Antarctique) avec probablement un prolongement jusqu'à Mirny.

A la suite de ces remarques, on décide de former un petit groupe de travail qui précisera les modalités d'établissement de cette ligne. Ce groupe se réunit dans l'après-midi du même jour.

La discussion porte principalement sur le choix des stations à occuper avec des appareils pendulaires et avec des gravimètres. Les stations suivantes sont retenues comme stations pendulaires de la ligne "WPCL" (West Pacific Calibration Line) :

Fairbanks (Alaska)	Tokyo ou Kyoto (Japon)	Hong-Kong (U.K.)
Singapour (Malaisie)	Melbourne (Australie)	Christchurch (Nile Zél.)

Les valeurs de la pesanteur des stations intermédiaires seront déterminées avec des gravimètres de haute précision :

Anchorage (Alaska)	Naha (Okinawa)	Taipei (Formose)
Manille (Philippines)	Bangkok (Thaïlande)	Songkala (Thaïlande)
Kuala-Lumpur (Malaisie)	Djakarta (Indonésie)	Darwin (Australie)
Sydney (Australie).		

(I) Report "On the establishment of the Western Pacific Calibration Line" by T.OKUDA (voir Annexe IIIc).

Afin d'obtenir une grande précision dans les résultats pendulaires, on envisage la possibilité d'employer simultanément les 4 appareils pendulaires (Cambridge, Guelf-Wisconsin, Com. Geod. Ital. et G.S.I.). Grâce à l'aimable proposition faite par les Membres de l'USAF ACIC concernant les possibilités de transport des équipes gravimétriques et des appareils sur des avions de l'USAF, la réalisation de ce projet peut être envisagée approximativement entre avril et août 1963. Le Prof. MORELLI se chargera de coordonner les relations entre les équipes gravimétriques et les différents organismes intéressés.

Les problèmes concernant le rattachement des lignes d'étalonnage Ouest-Pacifique et Nord Américaine sont aussi évoqués.

Enfin un projet de résolution est préparé pour être soumis à l'ensemble des délégués. L'objet de cette résolution a été inclus dans les voeux n°4 et 8.

CHAINE d'ETALONNAGE CENTRE-ASIE

Le Prof. BOULANGER signale que cette ligne d'étalonnage n'a pas encore été réalisée.

A ce propos, le Prof. WOOLLARD mentionne dans une de ses lettres que des liaisons au gravimètre ont été effectuées par l'University of Wisconsin en 1960 et 1961 entre les principaux aéroports de l'Inde, le long d'une ligne Nord-Sud du Kashmir à Ceylan. Des mesures pendulaires seront effectuées ultérieurement en vue d'établir une base de contrôle.

MESURES de PESANTEUR en MER

Les réunions ont eu lieu jeudi matin et vendredi après midi. Le Président du Groupe Spécial d'Etude n°20, le Prof.WORZEL, n'ayant pu se rendre à Paris, avait chargé le Prof.MORELLI de le remplacer.

Le Prof.MORELLI donne donc lecture du Rapport Général du Prof.WORZEL (I) et propose un ordre du jour, groupant dans la première séance toutes les informations relatives aux appareils, et réservant pour la fin les résultats des campagnes en mer.

A propos des appareils, il signale que l'Oss. Geof. Sper. (Trieste) a comparé au cours d'une même croisière près des côtes italiennes (1961), d'une part les deux appareils (Graf-Askania et LaCoste-Romberg) et d'autre part les résultats ainsi obtenus avec les résultats antérieurs très précis donnés par des mesures sur le fond (gravimètre télécommandé). La précision peut atteindre ± 3 mgal lorsque la mer est calme et la navigation suffisamment précise pour permettre de calculer la correction d'Eötvös à mieux que ± 2 mgal. Les enregistrements du gravimètre Askania sont meilleurs que ceux du gravimètre LaCoste-Romberg dans les cas de mers plus fortes.

Il rappelle qu'au Symposium sur les mesures en mer tenu à Washington (1962), on a montré que les différences systématiques entre les résultats des deux types d'appareils étaient dues à la réponse insuffisante des accéléromètres du LaCoste-Romberg aux composantes de longue période du mouvement du navire. Des améliorations ont été apportées et l'on peut dire que ces deux instruments mesurent maintenant la pesanteur avec une précision supérieure à ± 2 mgal. La question se pose de savoir comment évaluer et corriger les anciens résultats.

Pour terminer, le Prof.MORELLI fait part de quelques modifications apportées par l'Oss. Geof. Sper. au gravimètre Graf-Askania, en vue d'améliorer la réponse des parties électroniques.

Note : - Le Prof.WOOLLARD dans une de ses lettres signale les essais effectués avec un gravimètre marin LaCoste-Romberg acheté par l'O.N.R. pour l'usage de Texas A et M University et de l'University of Wisconsin, et placé sur le R.V.Eltanin au début de l'année 1962. Deux trajets d'essais ont été réalisés en vue de déterminer dans quelle mesure il est possible d'effectuer des opérations dans le Sud de l'Océan Pacifique ; les résultats sont satisfaisants pour une mer à l'état "4", mais pour des mers de degré plus haut, les résultats ne sont pas utilisables et l'on espère qu'une plateforme stabilisatrice permettra de meilleurs résultats dans n'importe quelles conditions de navigation.

Le Dr.LONCAREVIC attire l'attention sur quelques points de détail : En particulier, il précise que pour des essais comparatifs de différents gravimètres et pour des essais à bord de différents bateaux, il est important de spécifier le champ d'accélération ambiant. L'échelle de Beaufort n'est pas suffisante pour des mesures de très haute précision : dire que "certaines observations furent faites sur une mer à l'état "4" nous renseigne bien peu bien qu'il soit reconnu que les problèmes instrumentaux et d'analyse sont complexes. La distribution spectrale de l'énergie entre les différentes périodes doit être spécifiée et des précautions spéciales prises quand l'ouverture angulaire des vagues est grande ou quand plusieurs trains de vagues approchent sous des angles différents. Les accélérations effectives expérimentées à bord d'un bateau seront fonction des caractéristiques physiques du bateau (dimension, forme de la coque), de son trajet, de sa vitesse, du vent...

Enfin, il ajoute qu'une analyse spectrale statistique de puissance a été réalisée sur les enregistrements de la réponse du gravimètre et d'un accéléromètre vertical et que les rapports des énergies aux différentes périodes ont été comparés avec l'atténuation à laquelle on pouvait théoriquement s'attendre. Des écarts significatifs ont été observés pour des périodes plus courtes indiquant qu'à ces périodes une partie de l'énergie dans la réponse du gravimètre pourrait être due en partie aux accélérations horizontales.

Le Dr.GRAF présente une Note sur la "mesure de l'effet Browne avec des gyroscopes" ; il décrit l'équipement et l'illustre au moyen de projections. Deux gyroscopes différents ont été utilisés pour les mesures : l'un était un gyroscope avec roulement à billes actionné électriquement avec un système inductif pour enregistrer la verticale apparente dans deux directions ; l'autre était un gyroscope actionné par l'air (sans friction) avec un système photo-électrique pour mesurer les angles. L'effet Browne était produit par un mouvement sinusoïdal d'un wagon mis par un moteur sur lequel le gravimètre était installé avec les gyroscopes. Les résultats montrent que les enregistrements sont valables et utiles pour la mesure de la verticale apparente en vue de la détermination de l'effet Browne.

Le Dr.COLLETTE donne un bref résumé de son projet de gravimètres pour mesures en mer (force centrifuge d'un liquide en rotation).

Le Prof.OKUDA fournit quelques détails sur les deux gravimètres actuellement en construction au Japon (cordes vibrantes servant à détecter les variations de pesanteur).

Les détails de ces deux interventions ont été ajoutés en Note au Rapport général du Prof.WORZEL reproduit en Annexe IV.

Au cours de la séance du vendredi après-midi, le Prof.BOULANGER et M.SAGITOV donnent quelques renseignements sur les travaux de l'U.R.S.S. dans le domaine des mesures en mer (Rapport National). Les études théoriques sont

poursuivies : étant donné les résultats limités des équations différentielles aux coefficients variables d'après la méthode de Jeffreys, on a établi une nouvelle manière de résoudre ces équations qui s'applique aussi bien aux accélérations perturbatrices à variation rapide qu'à celles à variation lente. On a mis au point la théorie d'un gravimètre optico-mécanique à mains amortisseurs qui permet d'éliminer n'importe quelle grande accélération verticale.

De nombreux essais ont été faits pour étudier l'influence des accélérations verticales et horizontales sur les gravimètres, pour déterminer la précision qu'on peut attendre des gravimètres fortement amortis installés sur un socle mobile. En particulier, l'expérience a prouvé que les mesures faites avec un groupe de gravimètres marins GAL (3 à 5 appareils) sont les plus rationnelles. Les gravimètres GAL aux petites perturbations permettent de déterminer la pesanteur avec une précision instrumentale de 1 à 1,5 mgal sans contrôler le déplacement du zéro pendant 3 mois.

Enfin, on a réalisé et expérimenté des maquettes de gravimètre (GAL-C) et d'appareil pendulaire (pendule 1/4 seconde) montées sur plateforme gyro-stabilisée. Des accéléromètres inscrivent l'influence des accélérations horizontales perturbatrices. Pour un vent de force 4-5, la précision obtenue avec un gravimètre est de l'ordre de ± 5 à 7 mgal et avec un appareil pendulaire de ± 9 mgal.

Le Prof. BOULANGER attire l'attention sur l'influence des courants océaniques dans la détermination du champ de pesanteur externe de la terre ; l'analyse de la correction d'Eötvös due à ces courants, au moyen de fonctions sphériques jusqu'au 16ème ordre a montré que le fait de négliger ces courants dans la détermination de la forme de la Terre par les méthodes gravimétriques pouvait entraîner des erreurs.

Le Prof. BROWNE insiste sur le problème de la détermination des accélérations. Pour distinguer l'accélération horizontale de période relativement courte produite par les vagues des variations plus progressives dues aux changements de la pesanteur, on a été amené à créer des gravimètres à constantes de temps longues. De tels appareils introduisant dans les enregistrements de la pesanteur, atténuation et décalages de phase. Il serait possible d'obtenir la même discrimination de fréquence sans introduire un décalage de temps si le signal de sortie d'un appareil à courte période était moyenné grâce à un procédé de filtrage symétrique par rapport au temps auquel la lecture de pesanteur doit être calculée.

Il serait très difficile de réaliser pratiquement un tel système parce que l'amplitude des accélérations produites par les vagues se trouve être des milliers de fois supérieure aux variations de pesanteur qu'on doit mesurer. Néanmoins, les avantages offerts par un tel système mériteraient qu'on l'étudie attentivement en vue de l'établissement des appareillages futurs pour les mesures de pesanteur en mer ou en avion.

Après une information complémentaire du Dr. SCHULZE sur les récents perfectionnements apportés au gravimètre Graf GSS2 (Voir Annexe IV, Rapport général), l'Ing. KARNICK fait un exposé des différentes déviations de la plateforme stabilisatrice qui peuvent influencer les mesures de pesanteur

en mer avec le gravimètre Graf : déviations de la plateforme à long terme dues aux déviations du gyroscope ; déviations à court terme dues aux erreurs du servo système. Il décrit les procédés utilisés pour compenser ou calculer ces effets (3).

Au cours de la dernière séance, quelques délégués ont fourni des informations sur les campagnes en mer effectuées récemment.

Le Prof.WORZEL, dans son Rapport Général, a résumé les informations communiquées par Mr.BROWNE, concernant les mesures en mer faites par l'Université de Cambridge (Department of Geodesy & Geophysics), avec un gravimètre Graf Askania. Il est à noter en particulier qu'une ligne détaillée s'étendant de Eddystone Rock jusqu'à 17 miles à l'ouest de Ushant a été répétée cinq fois et demi et peut servir ainsi de ligne de contrôle pour les gravimètres marins.

Le Dr.LONCAREVIC complète ces informations par un exposé détaillé des mesures faites en 1961-62 dans la partie Occidentale de l'Océan Indian, en collaboration avec "Hydrographer of the Navy" (voir carte p.I4). Il rappelle qu'avec les campagnes antérieures faites en Atlantique, dans la Méditerranée et la Mer Rouge, la longueur totale des profils de pesanteur en mer est actuellement de l'ordre de 20 000 miles.

Il fournit de nombreux détails sur les techniques de réduction des mesures de pesanteur en mer. Il illustre par des projections une nouvelle méthode numérique pour corriger les résultats finaux pour la réponse instrumentale et expose le schéma du programme de calculs automatiques pour les réductions de données (calculateur électronique EDSAC II de l'Université de Cambridge).

Il souligne que les erreurs principales sur les mesures de pesanteur dans des conditions de mer moyennes proviennent de l'imprécision dans l'évaluation de la correction d' E_{B}^{tv} . Il donne deux exemples tirés de la ligne d'étalonnage britannique en mer où des stations DECCA fixes ont permis une détermination suffisamment précise de la correction d' E_{B}^{tv} . Si on avait tenu compte uniquement des déterminations faites aux deux extrémités de la ligne on aurait eu une erreur (e.m.q.) d'environ 5 mgal durant le trajet qui a duré de 8 à 9 heures.

Le Dr.SLICHTER décrit ensuite les nombreuses campagnes effectuées par l'University of California de Los Angeles (UCLA) avec un gravimètre LaCoste-Romberg et il illustre son exposé par de nombreuses projections : depuis 1959, plus de 15 000 observations ont été faites sur des profils atteignant une longueur totale de l'ordre de 30 000 miles. Le détail de ces croisières est donné en Annexe IV ; les différentes traverses ont été schématisées sur la carte p.I4. Toutes les réductions, anomalies à l'air libre et de Bouguer ont été calculées ; de nombreux résultats ont fait l'objet de publications préliminaires (5, 6, 7, 8 & 9). Une étude comparative des résultats gravimétriques obtenus au cours de différentes croisières a permis de se rendre compte de la précision (Annexe IV). En conclusion, il ne semble pas possible d'obtenir des données gravimétriques beaucoup plus précises sans améliorer le système de navigation.

Mr.RICE signale que le Coast & Geodetic Survey a commencé des mesures gravimétriques en mer en avril 1961 et a poursuivi ses essais en 1962 avec l'appareil LaCoste-Romberg S-II. Il donne quelques détails sur les améliorations apportées pour permettre une meilleure évaluation des accélérations horizontales à longue période (Annexe IV).

Le Prof.MORELLI rappelle les travaux gravimétriques effectués par l'Oss. Geof. Sper. (Trieste) avec des gravimètres Western télécommandés. Entre 1953 et 1961, 3453 stations ont été faites sur la plateforme continentale autour de la Péninsule Italienne et les îles de Sicile et de Sardaigne. Il cite les 4 campagnes récentes à bord d'un bateau de surface (Aragonese) en collaboration avec le Saclant ASW Research Center,dans la Méditerranée.

A la suite de ces discussions et interventions, montrant l'intérêt qu'il y aurait pour les différents observateurs de communiquer des détails pratiques sur la technique des observations et d'indiquer le plus rapidement possible les croisières effectuées, les points de recoupement, etc.., il est décidé de faire circuler une Lettre d'Information de caractère officieux, limitée aux personnes activement intéressées, dans un esprit d'échange réciproque . Il serait également souhaitable que la collaboration s'étende même à des prêts d'appareils spécialisés ou d'équipes.

Dans ces buts, les voeux n°II et I2 sont adoptés.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - J.L.WORZEL - Report on gravity measurements at sea - 7 p. p. 91
- (2) - A.GRAF - The measurement of the Browne-Effect by gyroscope - 3 p.
- (3) - H.KARNICK - Stabilized platform deviation influencing gravity measurements with the Graf-Askania meter - 1 p. ronéotypée p. 97
- (4) - U.C.L.A. - List of gravity surveys at sea - Accuracy of..... p. 95
- (5) - J.C.HARRISON & F.N.SPIESS - Gravity measurements in the Gulf of California - 1959 - Inter. Rep., UCLA, Inst. Geoph. & Plan. Physics.
- (6) - J.C.HARRISON - Gravity measurements in the Northern Continental Borderland area off Southern California - 1958-59 - Inter. Rep., UCLA, Inst. Geoph. & Plan. Physics.
- (7) - J.C.HARRISON - Gravity measurements in the Southern Continental Borderland West of Baja California - 1959 - Inter. Rep., UCLA, Inst. Geoph. & Plan. Physics.
- (8) - C.E.CORBATO & M.D.HELPFER - Gravity measurements on the cruise of the USS Gear, Oct.23-27 1961 - Inter. Rep., UCLA, Inst.Geoph. & Plan. Physics.
- (9) - M.D.HELPFER, R.VON HUENE & M.CAPUTO - Gravity Survey of the Santa Barbara Channel with the USS Rexburg - 1962 - Inter. Rep., UCLA, Inst. Geoph. & Plan. Physics.

MESURES en AVION

Le jeudi matin, le Dr.THOMPSON, Président du Groupe d'Etudes des mesures de pesanteur en avion, résume brièvement les progrès réalisés dans ce domaine depuis trois ans (I, 2 & 3).

Il rappelle que les premiers essais ont été effectués en novembre 1958 par l'Air Force Cambridge Research Laboratory (Geodesy and Gravity Branch, Geophysics Research Directorate) à l'aide d'un gravimètre marin LaCoste-Romberg installé sur le plancher d'un "KC-135 jet tanker" à partir de Edwards Air Force Base en Californie. Le profil mesuré à 30 000 feet d'altitude s'est trouvé concorder à mieux que 5 mgal près avec celui déduit par simple extrapolation des mesures de surface.

De nouveaux tests similaires ont été faits en mai 1959 par d'autres organisations, sur un B-17 ; en particulier la méthode de navigation (vol triangulaire) a permis de dresser une carte de résultats gravimétriques.

Après ces essais, l'AFCRL s'entendit avec LaCoste & Romberg pour expérimenter un nouveau gravimètre spécial pour mesures en avion. Cet appareil, le premier "airborne gravity meter" a été réalisé en 1960 et expérimenté sur différents avions (4). Les résultats sont satisfaisants.

Le Dr.THOMPSON précise que les vols ont été faits à différentes altitudes ; et que, d'après les travaux de TSUBOI sur la contribution réelle des anomalies de surface à l'anomalie de pesanteur en un point au-dessus de la surface de la terre, la contribution maximum provient d'une zone dont le rayon égale approximativement 0,7 fois la hauteur du point ; les zones dont les rayons dépassent 4 à 6 fois la hauteur de vol sont presque sans influence. Ainsi à 30 000 feet de hauteur, l'anomalie mesurée est presque entièrement déterminée par les anomalies de surface s'étendant sur un rayon de 60 miles de diamètre ou couvrant approximativement $1^\circ \times 1^\circ$ (valeur de pesanteur moyenne demandée dans les études géodésiques).

En terminant, le Président signale que, pour faciliter les essais d'appareils de mesures à bord d'un avion, il s'est révélé nécessaire d'avoir aux bases USAF des stations gravimétriques de référence ; aussi a-t-on réalisé systématiquement un réseau de pesanteur aux bases principales de l'USAF ; les observations ont été faites avec une grande précision à l'aide du gravimètre LaCoste-Romberg n°3, de 1959 à 1962 ; les écarts de fermeture de la plupart des circuits ne dépassent pas quelques 0,01 mgal (5).

A la suite de cet exposé, Mr.WILLIAMS, Chief Terrestrial Sciences Lab. of Geoph. Res. Dir. (AFCRL) présente l'équipe scientifique qui a collaboré à la mise au point sur l'avion américain C-130 des deux gravimètres LaCoste-Romberg et Graf-Askania. Cet avion qui est venu spécialement des Etats Unis à l'occasion de la réunion de la Commission Gravimétrique Internationale, est visible à l'aérodrome de l'Institut Géographique National à Creil.

Dans l'après midi, deux autocars conduisent les délégués à Creil, pour la visite des installations scientifiques réalisées dans cet avion. Avant la visite proprement dite qui sera faite sous la direction de Mr.WILLIAMS, le Dr.THOMPSON fait un exposé sur les techniques des mesures en avion (problèmes de navigation, détermination de l'altitude, mesures de g). De

nombreux détails concernant ces problèmes ont été extraits de la publication (4) et reproduits dans l'Annexe V.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - L.G.D.THOMPSON - An airborne gravity meter system - Geoph. Res. Dir., AFCRL, janv. 1960, 10 p.
 - (2) - L.G.D.THOMPSON - The status of the airborne gravity-meter - Geoph. Res. Dir., AFCRL, fév. 1960, II p.
 - (3) - L.G.D.THOMPSON & B.SZABO - The role of the airborne gravity meter in determining the Earth's Gravity Field - Geoph. Res. Dir., ARCRL, fév. 1961, 5 p.
 - (4) - L.G.D.THOMPSON - Preliminary report on airborne gravity meter tests at Edwards AFB in April 1960 - Geoph. Res. Dir., AFCRL, 1st draft copy April 1961 - revised April 1962. 13 p.
 - (5) - L.G.D.THOMPSON, C.S.HAWKINS & R.M.PERRY - A USAF Air Ease gravity network - Geoph. Res. Dir., AFCRL, 1st draft April 1962. 4 p.
-

EMPLOI des ANOMALIES de PESANTEUR en GEODESIE

Un Symposium spécial "on the Reduction of the gravity data" a été tenu à Cambridge (Gde Bretagne) en Juillet 1961. Devant l'importance du problème géodésique et la multiplicité des méthodes, il fut décidé de porter cette question à l'ordre du jour de la Commission Gravimétrique Internationale (v. Bull. Géod., 1962, n°3).

Ce Groupe de travail dont le Dr.TENGSTRÖM a bien voulu assurer la direction a tenu 5 séances au cours desquelles de nombreux points de vue ont été échangés. Un bref rappel en est fait dans les lignes suivantes. Quelques communications ont été reproduites en Annexe VI.

On Tuesday afternoon, Dr.TENGSTRÖM presented the problem "Use of gravity anomalies for the solution of the fundamental problem of Geodesy" i.e. for the determination of the figure of the Earth and of its external potential of gravitation.

He gave a short review of the actual situation, summarized in his Report which had been distributed to the delegates, and he stressed the necessity of calculation by successive approximations. He stated that consequently the use of true free air anomalies (Δg_F) is the most logical and also rather practical way of solving the fundamental problem of Geodesy ; however, he assured that he is convinced that the simplified Ruzicka-anomalies, suggested at Cambridge, are most convenient for this geodetic purpose and that they could be also used for geophysical interpretations.

As a conclusion, he made the following inquiries :

- 1) What is the most logical and practically most convenient way of solving our problem, full gravity information assumed ?
- 2) What is the most practical way of making use of already existing data to obtain immediately the best available answer to our main questions ?

Prof.HEISKANEN summarized his Note (2) which had been distributed to the delegates.

He mentioned that the first item is a problem of the future and that the words "full gravity" should be precised. He reviewed the various methods of reduction and stressed that in fact, both the classic method and the new method, computation of the anomalies at the physical earth's surface, are, if used correctly, equally well suited.

For the item 2, he precised that the IGPC of OSU has during the last years paid much attention to the studies of these problems and reviewed the most important part of these studies - theoretical and practical - : HIRVONEN, JUNG, KIVIOJA, LAMBERT, MORITZ, RAPP, TENGSTROM, TSUBOI, UOTILA. He agreed with Prof.VENING MEINESZ that in the extension of the gravity anomaly to the unsurveyed areas and in the continuation of the gravity anomaly field, the isostatic anomalies yield most accurate results because they correspond closely the physical behaviour of the earth's crust and are most representative.

In a further Note, he expressed the following proposals :

I) Since large part of the Earth's surface is not yet gravimetrically surveyed, it is necessary to interpolate and extrapolate the gravity anomalies to the unsurveyed areas. In this extension of the anomalies, the isostatic anomalies have shown to be most representative. Mostly because of this fact large areas of the globe are already isostatically reduced (direct + indirect effect) using the Airy Heiskanen system $T = 30\text{km}$ to the geoid.

Because of these facts, the International Gravity Commission should recommend this Isostatic model earth to be used. It urges that the geodetic institutions and individual scientists would reduce or send the obtained gravity material to the geodetic centers to be reduced isostatically.

If the isostatic anomalies are not available the Bouguer anomalies can be used in the interpolation. From these anomalies the free air anomalies with elevation corrections can easily be computed.

2) It is immaterial whether the gravity anomalies will be computed at the geoid or at the physical earth surfaces, because both methods, right applied, bring to same end result.

3) The continuation of the gravity anomaly field upward from Earth's surface to different elevations and downward from the elevation of the airborne gravity observations to the Earth's surface is important and can be computed from the gravity anomalies Δg in the Earth's surface.

4) Different methods - at least 10 - are applied for the horizontal and vertical interpolation and extrapolations. By the comparison of them we can find the best methods for different purposes.

5) End goal is to determine at the Earth's surface and above it the components of the geocentric radius vector R , of the theoretical gravity γ , of gravity anomaly Δg and of undulation N or disturbance ζ . All these except R can be computed from the Δg at the sea level or physical Earth's surface.

Brig. HOTINE pointed out that it is not possible yet to be too definite about the probable geodetic uses of gravity measurements, as distinct from their geophysical uses :

The position of a point on the surface of the Earth is usually described by two sets of coordinates :

- the astronomical latitude + longitude and the potential ;
- the geodetic latitude + longitude and height.

All six are required for various purposes and can be measured or derived with only a few occasional measures of gravity. But it is not always easy or convenient to measure them all and it is of value to have means of transforming from one set of coordinates to the other. This does require measurements of gravity, even for first order transformations.

The geodetic coordinate system must necessarily be local at present, but it would be an advantage to have a single system for all surveys, which can be brought onto the same system through common points, and ultimately

onto a single world system by purely geometrical methods. The single world system can be centred on the physical centre of gravity of the earth by lunarphtography if necessary, but there is no metrical purpose in this, since the coordinate system is simply a mathematical convention. Gravity measurements can also lead to a single centred coordinate system but it is very doubtful if the results would be any better than from linear and angular measurements, including the use of satellites.

Finally, we do need to extend our knowledge of the external gravity field. This can be done by surface measurement of gravity or by observations to satellites. It is too early to say which would give the better results.

During the session on Thursday morning, Prof. HEISKANEN gave some results obtained through various methods, particularly from isostatic and free air anomalies.

Dr. TENGSTRÖM distributed a first questionary in which the questions to be solved are detailed.

Then he read a letter from Prof. LEDERSTEGER who was not able to attend the meeting.

Prof. LEDERSTEGER has been working for three years on the equilibrium figures of the external potential. According to him the use of the normal hydrostatic spheroid of the earth is the most important hypothesis because for a normal spheroid taken as reference surface the geoid undulations and the absolute deflections of the vertical derived from the gravity anomalies have a clear physical significance.

The fictitious equipotential-ellipsoid is to be eliminated as being physically impossible. It should be a big error to try and avoid the difficulties of the reduction by considering the problem from a geometrical point or even by giving up the geoid. The most clever mathematical developments may lead to a failure if the hypothesis are wrong.

In his recent studies, Prof. LEDERSTEGER substituted to the Clairaut differential equation, a simpler and more correct relation and he generalized the equilibrium condition of MacLaurin for figures with one parameter.

Then Dr. TENGSTRÖM read a Note from Dr. ARNOLD who was also unable to attend the meeting. This Note is a reply to the enquiries of Dr. TENGSTRÖM and a copy of it is given in Annex VI.

At the end of this session, Brig. HOTINE objected that it would be advisable to stop talking about "the figure of the earth" in the sense of deriving a new spheroid as the base of yet another coordinate system. There is no practical purpose in deriving yet another spheroid. The object should be to reduce the number of spheroids in use, but that is better described as a "datum problem" rather than the search for a "figure of the Earth" which has no physical existence.

According to him, for many purposes we do need to know both the potential and the geometric (or geodetic height) of points on the surface, but there is no longer any object in expressing the difference between the two as a separation between the "geoid" and the "spheroid", or between a "geop" and the corresponding "spherop". In this sense too the search for a "figure of the earth" is out-dated.

Two sessions took place on Friday.

Dr.TENGSTRÖM presented a paper by Prof.RAMSAYER who was not able to attend the meeting : This Note entitled "Proposal for the determination of representative gravity anomalies for hilly or mountainous areas" is given in Annex VI.

Then Dr.TENGSTRÖM proposed a complementary questionary (see p. 43), and he recalled the opinions expressed by Prof.WOLF in a personal letter. In this letter Prof.WOLF stressed that the various methods should be used with the same observation material for the same areas. The comparison of results would allow to select objectively the best method to be used for the determination of the figure of the earth.

Mr.BROWNE presented a Note by N.NEIDELL concerning the statistical analysis of the isostatic hypothesis :

It is well known that over areas of large extent the Bouguer gravity anomalies are correlated with the height of the topography. Various proposals have been made, based upon isostatic hypothesis, as to how the Bouguer anomalies should depend upon the mean heights of zones surrounding the point. Over regions whose linear dimensions are at least some hundreds of kilometers in extent and where sufficient gravity observations are available, the problem is capable of mathematical solution by the method of least squares.

Such an analysis has been carried out for regions of East Africa, the United States of America, the Eastern Alps and the Eastern North Atlantic Ocean. The mean heights in the Hayford zones A-K, J, L, M, N & O were used together with the Vening Meinesz regional isostatic anomalies. The coefficients by which the mean zone heights must be multiplied to give the least square residual anomaly were computed together with their probable errors. It was found that in many cases (particularly for the inner zones) the coefficients themselves were not significant. Certain linear combination of the coefficients, however, were found to be significant. From these it is possible to derive parameters which may be interpreted as the degree of compensation, the radius of regionality and the mean lateral displacement between topography and compensation. The first two parameters were usually significant and, in some cases, the third.

This method of analysis therefore gives numerical values for the magnitude for these three physical concepts together with an estimate of their significance.

Then Dr.SLICHTER pointed out that in the interpretation of gravity tide observations, a problem arises which resembles that of correcting for the gravitational effects of topography in geodetic gravity measurements. Namely, the correction due to the direct attraction of the ocean-tides is needed, as well as that due to the associated deformations of the crust under the changing tidal load. Clearly this problem is simpler in some respects than the analogous one in geodesy, in that the tidal periods are so short that the crustal deformations are purely elastic, whereas the topographic features in geodesy have a complicated geological history in which slow and irreversible processes occur. In contrast to the elastic tidal deformations, for example, the assumption of isostatic equilibrium is often appropriate. Despite these obvious differences, it seems to him

that the techniques involved in solving the tidal load problem may also be of interest in geodesy, so he desired to report for information that the tidal load gravitational problem has recently been studied by Dr. I.LONGMAN at UCLA and that a report with computed results will be published soon probably in the Journal of Geophysical Research.

Prof.BRUINS presented the development of the earth's topography in spherical harmonics up to the 31th order. This development was set up on the instigation of Prof.VENING MEINESZ in cooperation with the Mathematical Centre in Amsterdam and the Geodetic Institute at Delft. The results will be published in the course of 1963.

He showed by means of maps how far with the mathematical aid of spherical harmonics (in this case 1024 coefficients) the physical world map could be reconstructed.

Three reconstructions of the equator section were computed namely :

- a) for the lithosphere ;
- b) for the hydrosphere with the continents taken zero ;
- c) for the continents with the ocean-depths (hydrosphere) taken zero.

In conclusion, he said that the use of spherical harmonics, although the coefficients of the development were derived from a very great number of data (40 000) over the whole earth and although the development was up to the 31th order one should be careful in using the reconstruction. In the analogy of this development of the earth's topography one should be very careful in using a development in spherical harmonics of the gravity anomalies, because in this case the coefficients of the development are computed with data covering less than half the world.

Dr.TENGSTRÖM mentioned that he received a letter from Dr. de GRAAFF-HUNTER in which he recalled the conclusions of his paper about the Model Earth presented at Cambridge in 1961.

Then Brig.GLENNIE presented a paper bearing on the formation of the Model Earth anomaly. He studied which are the best sizes of the area for averaging heights. He gave an example of calculation carried out for the Paris sheet : In a table he gave the values and positions of the unweighted mean heights of the Great Squares and in another the AH correction to be applied to the Bouguer anomaly corrected for terrain, in view of getting the Model Earth anomaly (Δg_E) which is the sum of Bouguer anomaly and AH correction.

Charts of the Paris sheet with AH contours and Δg_E isanomals have been prepared.

Prof.SAGITOV presented the Molodenskli theory described in Bulletin Géodésique.

Dr.BURSA and Dr.TENGSTRÖM reported respectively about the combined use of gravity and astro-geodetic data in Czechoslovakia and Sweden for detailed studies of deflections and undulations of these countries.

On Saturday morning, Dr.TENGSTRÖM asked Dr.COOK about his opinion as regards the role of satellite observations for solving the principal problem of Geodesy. Dr.COOK agreed with Dr.TENGSTRÖM, that the expansion in spherical

harmonics of the external gravitational potential could be achieved by Physical and Geometrical Geodesy using numerically computed extrapolations of complete surface data up to the least sphere not cutting the Earth's surface. From the distribution along this sphere, potential in spherical harmonics at satellite-heights could be calculated. The present situation is however the opposite, owing to the lack of gravity data. Only satellites can now give the lower harmonics of the Earth's gravitational field to any reasonable accuracy. Dr.COOK also touched the question of the uniqueness of the solution of the Cauchy-problem of Physical Geodesy and suggested this question should be more carefully studied.

Dr.TENGSTRÖM then expressed his regrets for having no time to present the Note of Dr.MORITZ which had been however distributed to the delegates.

In conclusion, he mentioned as results of the discussions the answers to both questionaries which had been distributed. Since all questions had not yet been replied, he proposed that a Working Group should be formed after the Commission in view of preparing conclusions for the General Assembly in Berkeley (Resolution n°I3).

Both questionaries are given hereafter together with the results of the discussions.

Questionaries by Dr.TENGSTRÖM :

A - What is the problem we have to solve ? Proposals :

I) The shape and size of the Earth's surface and the plumb-line directions along it, referred to an Equatorial coordinate-system with origin at the GC.

2) The gravitational potential outside the Earth's surface (absolute gravitational force and its direction in space).

Both to the accuracy of Stokes.

To be discussed :

I - Are we geodesists concerned with both I and 2 or I only ?

Answer : Yes both I and 2 .

II - The problems, defined above, do not mention the continuous and discontinuous changes of I and 2. An Epoch and a Zero position for our solution must consequently be stated. What is the attainable accuracy of reducing to such an Epoch and such a Zero position.

Answer : Stokes' accuracy certainly sufficient.

III - Is there for these reasons and others any need to try to achieve higher accuracy than that of Stokes in I and 2 to meet our future requirements ?

Answer : Stokes' accuracy certainly sufficient.

IV - Will there ever be any need to convert fM obtained with the solution above to M (absolute density) for future geophysical interpretations of the Earth's interior ?

Answer : To be studied by the Working Group.

V - Other items to be discussed : shall we try to introduce as an intermediate solution a somewhat simplified Earth Model ? From which the detailed Earth may be correctly derived later on.

Answer : see GLENNIE's paper - to be studied by the Working Group.

B - How to solve the problems stated ? Proposals :

I) The following data are necessary and sufficient to solve the problems uniquely

- a) Those of α absolute gravity and its β direction in the Equatorial coordinate-system (astronomical latitude and longitude values along the Earth's surface ;
- b) Those of distances α between points at the surface and β along plumb-lines near the surface ;
- c) Angle measurements. Trigonometrical levelling can be used for the same purpose as a) α + b) β (to give potential differences along the Earth's surface)

Answer : To be studied by the Working Group together with the role of $\frac{\partial g}{\partial h}$

2) Full gravity information, which is presumed in I) should be obtained by studying a (at least) linear regression between Rudzki-anomalies (simplified type) and topography at the discrete measuring points. The accuracy of interpolation by this means should be about 0,5 mgal. Over land-areas the coefficient of regression changes faster than over sea-areas and it is also bigger. The last areas could be sufficiently surveyed in the following way : Airborne gravity measurements could probably in the near future give mean Rudzki (Free air) anomalies over squares of say 10 000 sqkm with an accuracy of $\sim 0,5$ mgal (reduction error included). Evenly distributed districts of 25 such squares (5° squares at the Equator) should be investigated to obtain the coefficients of linear regression between mean Rudzki-anomalies and mean depths for 10 000 sqkm-squares. Together with these results corresponding land results for the same squaresizes could give by interpolation a very good map of the changes of the regression coefficient both over land and - which was the aim - over the oceans. So with approximately 800 such districts, we should get reliable mean Rudzkianomalies for all ocean areas of the size of $\sim 10 000$ sqkm (1° squares at the Equator). Probably a more detailed survey of mentioned sea-squares could be achieved by analysing the correlation along 5° parallel - gravity (sea + land). In any case, I think even for the ultimate solution of our problem, some sort of interpolation technique must be used. If we like to have an intermediate Model Earth with smooth topography the amount of work

will be less, but we can never avoid the detailed survey later on to achieve the definite solution, and we must know, how the corrections should be applied.

Answer : To be studied by the Working Group and see RAMSAYER's paper.

3) The solution-shape and exterior potential could be correctly calculated by using the accepted Rudzkifield + potential effect of restoring the topography.

Answer : To be studied by the Working Group.

4) The solution should not - from scientific point of view - give different accuracy for ocean and land-areas.

Answer : Yes.

To be discussed :

I - Which is the best way to get the solution :

- a) by reducing formally to the Geoid in order to be able to integrate with Poisson's integral and then applying a correct restoration correction or
- b) solve the integral equation by successive approximation (which also includes Arnold's procedure).

Answer : To be studied by the Working Group and see SAGITOV's paper.

II - Can the trigonometrical levelling correctly enough contribute to ΔW ? This is a question of very great practical importance.

Answer : To be studied by the Working Group.

III - What is the role the observations of the changes of orbital elements of satellites play in our problem ?

Answer : To be studied by the Working Group with COOK's intervention.

IV - What is your meaning about the need for improving the Theoretical Earth before solving our problem, especially the needs for a better value of γ_a and a ? Is their from the point of view of the problem worthwhile to try to replace I/297 by the satellite-flattening I/298.3 ?

Answer : To be studied by the Working Group with COOK's intervention.

V - What will be the best way from practical point of view to calculate and map the exterior gravitational potential and its directional derivatives ?

Answer : To be studied by the Working Group.

VI - What is the role of the astrogravimetric levelling as a practical help by solving our world-wide problem ?

Answer : To be studied by the Working Group and see BURSA's paper and TENGSTRÖM's intervention during friday session.

VII - Other items : see BROWNE's intervention and MOKITZ's paper.

C) When can our problem be expected to be solved ? And what are we doing in the mean time to speed up the work ?

Proposals to be discussed :

I) All theoretical problems concerned should be carrefully studied

Answer : To be studied by the Working Group.

2) All practical problems as well.

A very important part of the practical work is to state the principle to be used to present measuring data of gravity at the collecting centres of the world. This should be done very soon and the result presented at IAG Berkeley.

Answer : To be studied by the Working Group and see TARDI's paper.

3) A closer international cooperation for determining

- a) ocean gravity (airborne + sea)
- b) ocean shelf gravity (under-water measurements)
- c) land gravity (airborne, helicopter transportation and of course road gravity).

Answer : Point b) should be stressed.

4) Testing different methods for covering more local areas (or countries) with rel. undulations and deflections. Every country can contribute and all methods should use the same material.

Answer : To be studied by the Working Group and see WOLF's paper.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

(1) - E.TENGSTRÖM - Use of gravity anomalies for the solution of the fundamental problem of Geodesy - 5 p. ronéotypées.

p.I07

(2) - W.A.HEISKANEN - How we can best benefit the Physical Geodesy - Ohio State Univ., 7 p. ronéotypées.

summary p.II0

(3) - K.ARNOLD - Remarks on the use of gravity anomalies for the solution of the fundamental problem of Geodesy - 3 p.

p.II2

- (4) - E.A.GLENNIE - Mapping the Model Earth - 8 p. ronéotypées.
- (5) - H.MORITZ - Some remarks on the questions of Dr.Tengström for the Paris Conference 1962 - 2 p. ronéotypées.
- (6) - K.RAMSAYER - Proposal for the determination of representative gravity anomalies for hilly or mountainous areas - 3 p.
p. II4
- (7) - K.MADER - Topographisch berechnete partielle Geoidhebungen - Sonderheft 2I der Ost. Zeits. fur Vermessungswesen, p.I4-32.
- (8) - S.CORON - Anomalies moyennes à l'air libre et anomalies moyennes de Bouguer - 3 p. ronéotypées.
- (9) - R.A.HIRVONEN - Statistical analysis of gravity anomalies - Rep. N°19 Inst. Geod., Phot. & Cart., Columbus, I962. 26 p.
- (10) - R.RAPP - Correlation coefficients and their use in the prediction of mean anomalies - Rep. N°20, Inst. Geod., Phot. & Cart., Columbus, I962, 39 p.
- (II) - H.MORITZ - Studies on the accuracy of the computation of gravity in high elevations - Rep. N°2I, Inst. Geod., Phot. & Cart., Columbus, I962, 47 p.
- (I2) - L.KIVIOJA - Development of gravity Bouguer anomalies of State of Ohio and the isostatic anomalies in North Atlantic in Fourier Series - Rep. N°22, Inst. Geod., Phot. & Cart., Columbus, I962, 13 p.
- (I3) - U.A.UOTILA - Correction to gravity formula from direct observations and anomalies expressed in lower degree spherical harmonics - Rep. N°23, Inst. Geod., Phot. & Cart., Columbus, I962, 24 p.

GRADIENT VERTICAL de la PESANTEUR

Le mardi après-midi, le Prof.BODEMULLER présente son Rapport "Measurement and Geodetic Evaluation of vertical gradients of gravity" (1) déjà distribué aux délégués et il résume les travaux récents sur ce sujet (2) et (3).

L'importance des gradients verticaux de la pesanteur en géophysique et géodésie est bien connue, néanmoins on peut se demander si les gradients verticaux peuvent être mesurés directement avec une précision suffisante ou s'ils doivent être calculés à partir de la distribution de la pesanteur à la surface.

Ces gradients peuvent être mesurés d'après les différences de pesanteur le long de la verticale avec une précision de l'ordre de 0,0010 mgal/mètre (suffisante pour les recherches géodétiques). Les considérations théoriques et pratiques montrent que les formes topographiques caractéristiques ont une influence importante sur le gradient vertical ; par conséquent, le géodésien doit utiliser soit les gradients corrigés topographiquement, soit choisir des stations d'observation où le relief du terrain est faible. A titre d'exemple, les gradients observés dans le Harz s'échelonnent entre 0,21 et 0,42 mgal/m, dans la Forêt Noire entre 0,17 et 0,44 mgal/m. Dans la note (2), les auteurs japonais montrent que les écarts au gradient normal 0,3086 mgal/m (correction faite du gradient provenant des irrégularités topographiques) peuvent entraîner de sérieuses erreurs dans le calcul de la correction "à l'air libre" (dépassant 15 mgal pour les hautes altitudes) ; les auteurs pensent que la distribution de ces anomalies pourrait permettre de déceler des structures géologiques profondes.

Le Prof.BODEMULLER signale de plus la possibilité de déduire les courbures principales des surfaces équipotentielle et les azimuts des lignes de courbure, des mesures de pesanteur et de gradient vertical ; ces quantités pourraient être déterminées seulement à l'aide d'un gravimètre. Le Prof.KUMAGAI (3) par contre a l'intention de déterminer complètement la surface de niveau dans le voisinage d'un point à l'aide d'un gradiomètre vertical de pesanteur et d'une balance de torsion.

Le Prof.GASSMANN rappelle que, en un point P de la surface de la terre, les gradients de pesanteur (aussi bien vertical qu'horizontaux) peuvent être calculés à partir des mesures de pesanteur en surface autour du point P pourvu que la topographie autour de P présente des différences d'altitudes suffisamment grandes ($\geq 50m$) et que le sous-sol en dessous de P soit bien homogène. Le champ de pesanteur, réduit de la topographie, peut être représenté dans le voisinage de P, comme un polynôme harmonique de faible degré : les coefficients du polynôme aussi bien que la densité des masses topographiques sont les inconnues d'une compensation par moindre carré. Un essai pour une station suisse s'est montré très satisfaisant.

Le Dr.LONCAREVIC mentionne quelques recherches non publiées concernant la construction d'un gradiomètre vertical qu'il fit en 1957-58 à Toronto. Le système considéré consistait en une double suspension bifilaire, chaque élément étant suspendu à partir du même axe. Le second ressort (le plus bas) était

suspendu au fléau du système le plus haut et le sens de son enroulement était inverse de celui du ressort supérieur. On a montré théoriquement qu'on pouvait concevoir un système qui serait indépendant des variations de pesanteur dans la direction de l'axe de l'instrument, mais qui serait sensible au gradient de pesanteur le long de cet axe. Aucune tentative de construction de cet appareil n'a été faite, mais des instruments semblables ont été probablement étudiés depuis en U.R.S.S., aux Etats Unis et au Japon.

A propos des gradiomètres de pesanteur, le Dr.THOMPSON mentionne que l'AFCRL a travaillé à la mise au point d'un gradiomètre pendant ces deux dernières années. Ce travail a été fait par Mr.WORDEN, l'inventeur du gravimètre Worden. Le premier modèle prototype est achevé. Il consiste essentiellement en deux éléments de gravimètre Worden en quartz séparés d'environ 2 feet et reliés par un procédé spécial de façon à donner un mouvement différentiel entre les deux éléments. L'étude de cet appareil a montré qu'une grande sensibilité d'environ 1 Eotvös n'était ni possible ni désirable ; aussi la sensibilité a été ramenée à environ 10 Eotvös. En effet lorsque l'instrument est posé directement sur le sol, la lecture est affectée par les accidents proches de la surface tels que grandes roches sous-jacentes, et lorsqu'il est sur un trépied, elle est alors affectée par les creux ou les bâtiments voisins. Étant donné que le gradient, près de la surface, change très rapidement d'un point à l'autre, il serait donc nécessaire d'effectuer de nombreuses mesures à la surface pour obtenir une valeur moyenne convenant aux besoins de la géodésie.

Avant de poursuivre l'étude de ce gradiomètre, le Dr.THOMPSON demande à la Commission d'étudier quels sont les besoins réels des mesures de gradient en Géodésie.

Le Dr.TENGSTRÖM insiste sur le fait que pour la solution du problème principal de la Géodésie, les fortes anomalies du gradient vertical liées à la topographie ne doivent pas être considérées. Pour des travaux locaux de Géophysique au contraire, ces mesures sont très importantes parce qu'elles indiquent clairement les variations locales de la densité : Il cite, à titre d'exemple, l'étude faite sur une formation syénite-alcaline en Uppland et il fait remarquer qu'en Géophysique les valeurs des densités devraient toujours être déduites principalement des informations données par les gradients verticaux. L'emploi, dans le futur, du gradient vertical en tant que valeurs limites des courbures moyennes devrait faire l'objet d'un Groupe d'Etude ; une attention particulière devrait être apportée au travail théorique du Dr.BRAGARD.

M. LEVALLOIS signale qu'il a étudié les mesures de gradient pour voir dans quelle mesure la connaissance du relief permettait d'expliquer les gradients observés. La connaissance exacte des densités permet d'expliquer des valeurs de 2000 à 4000 E ; mais des valeurs plus grandes sont probablement dues à des anomalies régionales. Il souligne que seule la valeur normale

théorique pour la réduction à l'air libre (0,3086) intéresse la Géodésie.

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - H.BODEMULLER - Measurement and geodetic evaluation of vertical gradients of gravity - Inst. Techn. Univ., Darmstadt, 1962, 21 p.
summary p. II7
- (2) - N.KUMAGAI & E.ABE - Free air reduction of gravity based upon the observed values of $\frac{\partial g}{\partial z}$ on central Honshu of Japan - 1962, 6 p. ronéotypées.
- (3) - N.KUMAGAI - $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$ and $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$ from a joint measurement with a vertical gravity gradiometer and a torsion balance - 1962, 6p. ronéotypées.

VARIATION SEULAIRE de la PESANTEUR

Cette question, inscrite pour la première fois à l'ordre du jour de la Commission Gravimétrique Internationale, a été exposée au cours de la matinée du vendredi.

Le Prof. MORELLI introduit le problème. Il définit g comme une fonction de ($X, Y, Z ; t$). En un point donné P , la variation séculaire de $g_p(t)$ est définie comme le résidu après l'élimination des effets de courte période. Deux effets sont à distinguer dans cette variation :

- les effets régionaux ou locaux, dus aux déformations de la croûte terrestre, aux mouvements tectoniques...

Les amplitudes peuvent atteindre 0,1 mgal par an ; cette variation peut être facilement détectée en couvrant la surface intéressée de profils (ou mieux de réseaux) suffisamment étendus pour que les stations de référence marginales soient hors du phénomène étudié.

- les effets terrestres dus au déplacement des masses internes (noyau) et à leur modification ; les variations dans la composante centrifuge ou newtonienne de g pourraient être détectées par des liaisons convenablement répétées le long de l'équateur (ou à défaut de parallèles) ou par des liaisons très précises le long de méridien.

Le Prof.GASSMANN fait remarquer que dans l'état actuel des choses, il serait préférable de définir la variation séculaire de g , non pas pour des coordonnées constantes (X , Y , Z), mais pour des points d'observation liés à la croûte terrestre, c'est à dire par rapport à des piliers construits sur un roc solide.

Ensuite, le Dr.BARTA aborde le sujet important de la Triaxialité de la Terre (I & 2) ; il énumère différents aspects sous lesquels le problème pourrait être envisagé et montre la corrélation entre l'excentricité du champ magnétique terrestre et la triaxialité de la Terre :

I) En admettant que l'excentricité connue du champ magnétique terrestre soit due 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 de pesanteur ; on a calculé ainsi que pour un noyau interne de 2500 km de diamètre, de 17 g/cm^3 de densité et présentant une excentricité de 300 km, la différence de longueur entre les deux axes équatoriaux du géoïde est de 175 m (résultat tout à fait concordant avec les informations géodétiques récentes, en particulier provenant des satellites) et la différence de pesanteur, aux extrémités des deux axes, de l'ordre de 28 mgal.

2) On sait aussi que les observations magnétiques montrent le déplacement continu du centre magnétique ; durant ce dernier siècle, ce centre s'est déplacé dans une direction WNW, à une vitesse annuelle de $0^{\circ}2$, et son excentricité a passé de 300 à 400 km. Enfin, on a décelé l'existence d'une variation périodique de 50 ans dans les composantes magnétiques des observatoires de l'hémisphère Nord ; période comparable probablement à celle d'autres phénomènes (vitesse de rotation de la Terre, fluctuations du niveau des mers,.....).

On peut donc admettre, d'après les considérations précédentes que la forme du géoïde subit des changements significatifs avec le temps et que les variations du champ de pesanteur produites par les déplacements du noyau interne (amplitude probable de $\pm 0,1 \text{ mgal}$ par an) pourraient être décelées avec les gravimètres modernes.

Le Dr.BARTA propose alors l'établissement de postes d'observations gravimétriques autour de l'équateur pour déceler plus facilement cet effet ; à défaut ces stations pourraient être remplacées (ou mieux doublées) par des stations situées sur des parallèles de part et d'autre de l'équateur.

Le Prof.MORELLI signale alors qu'un premier circuit gravimétrique mondial a été réalisé en mai-juin 1962, au moyen de trois gravimètres Worden. Ces liaisons ont été effectuées entre les parallèles 35° et 40° (Rome, New York, San Francisco, Tokyo, Beyrouth, Athènes, Rome) à cause des facilités rencontrées dans ces régions, grâce à la collaboration de différentes Institutions des lieux d'observations (Voir p.20, pub. N°2).

Après la remarque de M.STOYKO sur la grande précision obtenue dans la mesure de la vitesse moyenne de rotation de la Terre, le Dr.BARTA complète son exposé par l'exemple suivant : la valeur de g du système de Potsdam et le déplacement du noyau terrestre (3).

Il a calculé que le déplacement des masses internes, avec certaines hypothèses sur les densités, aurait pu entraîner une variation de la pesanteur à Potsdam de l'ordre de - II mgal en 55 ans (1900-1955). Cette variation serait de l'ordre de grandeur et dans le sens de la correction à apporter au système actuel de Potsdam, d'après les mesures absolues récentes de g. La "Correction au système de Potsdam" pourrait donc être attribuée - au moins partiellement - à la variation séculaire de la pesanteur.

Le Dr.TENGSTRÖM félicite le Dr.BARTA pour son travail, pour cette coopération entre la Géophysique et la Géodésie, et espère que dans l'avenir la corrélation entre le champ magnétique et le champ de pesanteur pourra être détectée dans les harmoniques de rang supérieur à celui de l'excentricité de l'Equateur.

Puis il relate le travail de VOGEL sur les ondulations du noyau et leur corrélation avec le champ magnétique non dipole et le "Columbus Geoid". Il suggère qu'à l'avenir les différences de pesanteur le long des parallèles soient mesurées à des intervalles réguliers et entre des stations placées près des inflexions du Géoïde connu. Il pense qu'on devrait tenir compte aussi des longitudes et des changements relatifs de déviation de la verticale (pendules horizontaux).

Il demande au Prof.RIECKMANN si la correction appliquée au résultat de FURTWÄNGLER pour la détermination de g à Potsdam, peut être considérée comme définitive et s'informe des changements dans les résultats obtenus à Washington ainsi que de la comparaison entre les systèmes de Vienne et de Potsdam.

Le Prof.RIECKMANN rappelle que l'évaluation faite par KÜHNEN & FURTWÄNGLER est inexacte, comme l'ont montré DRYDEN & BERROTH et qu'une correction d'environ -I2 mgal doit être appliquée à ces résultats. Les mesures de Potsdam sont donc en accord avec les mesures modernes ; aucune variation significative ne peut être mise en évidence. Toutefois, on pourrait admettre, étant donné les limites actuelles de la précision, une variation séculaire de quelques milligals.

Le Prof.ROULANGER signale que d'après les mesures pendulaires faites en 1956 à Léningrad, la correction à la valeur de Potsdam est de l'ordre de - I2 à - I3 mgal \pm 0,6 mgal. On obtient d'ailleurs un résultat analogue pour Washington comme le précise le Dr.COOK. On peut rappeler aussi que la correction qui a été appliquée au système de Vienne pour le transformer en celui de Potsdam a été de -I6 mgal.

En terminant le Prof.ROULANGER indique les recherches faites en URSS pour mettre en évidence les variations séculaires de la pesanteur :

- d'une part, les observations faites en 14 points en 1903-04 dans le Caucase ont été répétées en 1935-36 ; la comparaison de ces résultats a montré que les variations sont dans les limites de la précision des mesures : à Tbilissi par exemple la variation a été évaluée à 0,4 mgal \pm 2,0 mgal ; en deux points toutefois de la Crête Caucasienne, on a cru déceler une augmentation de pesanteur de I2 et I3 mgal ;

- d'autre part, en 1950-52, des mesures ont été effectuées par un groupe de gravimètres Norgaard, en une série de points le long du parallèle 56°N

entre Riga et Kamchatka ; les résultats des mesures effectuées 10 ans plus tard ont été semblables aux résultats initiaux, à 0,1 mgal (par rapport au même point de départ : Moscou).

Publications distribuées ou présentées durant la réunion :

- (1) - G.BARTA - The connection between the excentricity of the geomagnetic field and the triaxiality of the Earth - Sep. Acta Techn. Acad. Sci. Hung., XXXVII, Fasc. I-2, Budapest, 1961, p.2II-227. p. II9
- (2) - G.BARTA - Some new data concerning the connection between the triaxiality of the Earth and the excentricity of the Magnetic field - Serv. Met. Nac., Sep. "Geomagnetica", p.89-95. Lisboa, 1962.
- (3) - G.BARTA - The Potsdam g value and the displacement of the Earth's core - 2 p. ronéotypées. p. I2I
-

ARCHIVAGE des DONNEES GRAVIMETRIQUES

Mardi après-midi, le Prof.TARDI présente un projet concernant "l'archivage des données gravimétriques sur cartes perforées", répondant ainsi au voeu pris à la réunion de Cambridge (juillet 1961).

Ce projet distribué antérieurement aux délégués (1) a été établi en tenant compte des modèles de fiches déjà existants et en les adaptant à des fins plus générales. Le modèle envisagé se rapproche beaucoup de celui proposé par le Dr.UOTILA dans sa publication "Investigations on the gravity field and shape of the Earth" : système décimal et type de carte IBM comportant 80 colonnes.

Au cours de cet exposé, quelques remarques ont été faites sur le système utilisé (Dr.COOK, Mr.KENNEY, Prof.RIECKMANN), sur les données à inscrire (Mr.BROWNE, Dr.UOTILA, Prof.GERKE) et sur les problèmes géodésiques et géophysiques à résoudre (Prof.GASSMANN, Prof.HEISKANEN, Prof.VENING MEINESZ). En

-
- (1) - P.TARDI & S.CORON - Archivage des données gravimétriques sur cartes perforées - B.G.I., Paris, 1962, 7 p. ronéotypées

particulier, pour satisfaire les diverses exigences et inscrire un nombre maximum d'informations, selon la suggestion de Mr.KENNEY, les délégués sont unanimes pour décider que l'on utilisera deux cartes pour chaque station gravimétrique.

Après une intervention de Mr.BROWNE qui pense plus intéressant de noter les différences de g entre les stations plutôt que les valeurs mêmes de g (surtout pour les observations en mer), le Prof.GERKE insiste sur cette idée et propose même d'inscrire deux valeurs de référence. Le Dr.UOTILA préfère que l'on mentionne les valeurs de g parce que jusqu'à ce jour, ce sont ces quantités qui sont mentionnées dans les publications plutôt que les différences de pesanteur par rapport à une valeur de référence.

Cette diversité d'opinions entraîne la création d'un Groupe de travail formé de personnes expérimentées et chargé de mettre au point, sous la direction du Prof.TARDI, le format international à adopter ; ce Groupe de travail comprend : MM. J.BOKUN, Y.BOULANGER, B.C.BROWNE, G.J.BRUIINS, W.BULLERWELL, A.H.COOK, K.I.DAUGHERTY, A.C.HAMILTON, T.HONKASALO, A.KARNICK, P.H.KENNEY, J.LAGRULA, L.PETTERSSON, J.PIGHA, U.A.UOTILA, J.WITKOWSKI et deux scientifiques délégués de Francfort et de Munich.

En terminant, on signalera que, conformément au voeu n°I4 adopté par la Commission Gravimétrique Internationale, de nouvelles suggestions et remarques ont été envoyées au B.G.I. par MM. A.C.HAMILTON, P.H.KENNEY, M.SMALET, A.H.COOK, L.PETTERSSON, U.A.UOTILA, D.A.RICE and J.TANNER.

Sans entrer dans le détail des informations à inscrire et de la présentation à choisir, nous relevons dans ces Notes et Lettres, les remarques générales suivantes :

I) Les cartes perforées sont plus pratiques que les bandes magnétiques (P.H.KENNEY & L.PETTERSSON).

2) Pour la même raison, le système décimal est préféré au système binaire (A.H.COOK, P.H.KENNEY, L.PETTERSSON, D.A.RICE, U.A.UOTILA).

3) L'emploi de deux cartes par station est demandé par tous afin de permettre de grouper toutes les données utiles. Toutefois, la différenciation entre ces deux cartes n'est pas aussi distincte et quelques détails restent encore à préciser.

Pour le Dr.RICE, la première carte comprendra les données essentielles (basic data) qui sont approximativement celles du projet présenté par le Prof.TARDI.

Pour le Dr.COOK et Mr.KENNEY, la première carte (index ou reference card) comprendra les informations durables, définitives qui ne seront pas l'objet de modifications appréciables, par exemple : latitude, longitude, altitude, genre de station (principale ou de détail), valeur approchée de g avec un numéro de référence pour la station.

La deuxième carte de détail donnerait toutes informations sur les mesures (appareil...), sur l'altitude du point d'observation, la région voisine, etc...

Une différentiation pourrait même être faite dans le format ou la couleur des cartes suivant le genre d'observations (sur terre, sur mer ou en avion).

4) On pourrait envisager d'autres jeux de cartes pour des stations spéciales telles que stations fondamentales, stations d'étalonnage, etc...

5) Il est nécessaire de laisser des colonnes vides pour permettre des informations particulières et ultérieures.

QUESTIONS INSTRUMENTALES

En plus des études instrumentales déjà signalées à propos des Mesures Absolues et des Mesures en mer, en plus des études du Prof. WOOLLARD sur les variations dans les changements de période des appareils pendulaires (v. p.I8), on a groupé ci-après quelques informations sur les appareils en construction.

I - Gravimètres :

L'AFCRL a plusieurs projets de gravimètres à l'étude (I). L'un d'eux concerne la construction d'un "Ice Island Gravity Meter" ; cet appareil destiné à mesurer la pesanteur sur des îles glaciaires aura une précision de lecture de 0,02 mgal bien qu'étant soumis aux mouvements de la glace ; on le fera fonctionner à distance par une boîte électronique peu volumineuse (45cm x 30cm x 15cm) ; son nivellation sera automatique. Cet appareil pourrait être utilisé en ballon ou sur des plateformes légèrement instables.

Un autre projet concerne un "Helicopter Gravity Meter". Ce gravimètre sera descendu sur le sol, à partir d'un hélicoptère "en vol fixe" au-dessus du point d'observation ; les lectures seront faites de l'hélicoptère. Ce gravimètre enfermé dans un cylindre de forme aérodynamique pourra être facilement descendu et remonté au milieu des arbres et buissons ; on pourrait ainsi mesurer la pesanteur dans des régions inaccessibles ou instables (jungles, montagnes, marais, surfaces enneigées, etc...).

Une nouvelle méthode d'étalonnage "spin table calibration" a été mise au point par les Laboratoires Worden de Houston, Texas. Les premiers essais avec un gravimètre Worden ont été faits en faisant varier l'inclinaison de la table et le rayon de rotation, mais en maintenant constante la vitesse

de rotation. L'étalonnage mesuré s'est révélé remarquablement constant et ne différait pas d'une façon significative de l'étalonnage provenant des mesures sur une "table inclinée".

Un caisson à pression a été construit pour étudier les changements de pesanteur correspondant à des altitudes allant jusqu'à 50 000 ft ; des essais ont été effectués avec des gravimètres Worden et LaCoste-Romberg : les premiers ont tous montré une dépendance directe avec les pressions extérieures ; les seconds n'ont pas - ou peu - été influencés (retard d'une demi-heure avant d'atteindre la stabilité).

2 - Appareils pendulaires :

L'AFCRL poursuit la réalisation d'un nouvel appareil miniature qui sera plus facilement transportable, spécialement par air. Dans cet appareil six pendules sont scellés sous vide dans une enceinte d'environ 25cm de diamètre et de 30cm de haut où la température est contrôlée. Sans ouvrir l'enceinte, deux des pendules peuvent être choisis et osciller en opposition de phase. Un système d'enregistrement du temps, optique et électronique permettra d'obtenir la période pendulaire immédiatement à la fin de chaque observation, sans calcul de réduction ultérieur. Des essais ont été faits en 1960 avec des pendules différents (bronze, invar, quartz, molybdène).

En U.R.S.S., on poursuit la construction et la réalisation de l'appareil à 2 pendules de quartz fait par HEIFETZ ; on met au point l'appareil à 2 pendules quartz-métalliques avec suspension en forme de spirale construit par ROMANUK : une construction spéciale permet l'oscillation illimitée des pendules sans amortissement de l'amplitude.

- (I) - L.G.D.THOMPSON - Pendulum and Gravity Meter Developments - Paper presented at the 11th Annual AFCTC Mil. Geod. Sem., Orlando Air Force Base, Florida, on 14 Jan. 1960, 5p.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-



ANNEXE I - Mesures absolues de la pesanteur

Summary of

"Report on absolute measurements of gravity"
by A.H.COOK

and

Additional Notes dealing with the
technics of absolute measurements

Since my report on this subject to Section IV of the IAG at the Helsinki General Assembly, 1960, no new results of absolute measurements have been announced. This report is therefore concerned with progress in determinations still under way but I also reproduce the table of results from the earlier report. Experiments are in progress at the following laboratories :

Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig.
(free fall of emulsion coated rod)

Geodetic Institute Potsdam.
(2 reversible pendulums in opposite phase)

University of Buenos Aires.
(reversible pendulum)

National Physical Laboratory, Teddington.
(photoelectric timing of free rise and fall of body)

National Bureau of Standards, Washington.
(photoelectric timing of free fall)

The Finnish Geodetic Institute, Helsinki.
(200 m pendulum)

National Research Laboratory of Metrology (formerly named
Central Inspection Institute of Weights and Measures), Tokyo.
(photoelectric timing of freely falling scale)

University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
(timing of freely falling mirror relative to velocity of light)

University of Princeton, N.J.
(free fall of interferometer mirror)

International Bureau of Weights and Measures, Sèvres.
(free rise and fall of interferometer mirror)

Air Force Cambridge Geophysics Research Directorate.
(reversible pendulum)

Deutsches Amt für Messwesen, Berlin.
(free fall of small slit body)

Further details of the type of experiment are given in Table 2 of the original text.

A) Notes on progress of experiments

(1) Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

This is a free-fall experiment in which images of a pulsed light source are photographed on a falling bar coated with photographic emulsion. Images from a large number of drops can be obtained on one bar.

At the end of 1961 all the apparatus had been set up, but since then an accident with the bar release mechanism has caused serious damage and delay.

(2) Geodetic Institute, Potsdam.

This is a reversible pendulum experiment in which two pendulums are swung together in anti-phase to eliminate flexure of the support and the effects of microseisms.

Additional Note by R. SCHULER :

"Adjustment work at the 25 cm pendulum apparatus is being carried through, "the VEB Zeiss having finished the optical parts of the length measurement. The "device for raising and lowering the pendulums and some parts of the comparator "had to be improved. The arrangement for the electronic determination of the "period of oscillations has been finished and tested.

"Quartz reversible pendulums of different lengths (37.5 cm, 50 cm, 75 cm) "have been calculated and ordered. For these a new pendulum apparatus is going "to be constructed".

(3) University of Buenos Aires.

Further measurements have been taken with the Heyl pendulums of the National Bureau of Standards and the results have suggested that the correction for the flexure of the pendulums should be re-examined. Preparations are being made for such a study.

(4) National Bureau of Standards, Washington.

This experiment is similar in principle to that of Agaletskii and Egorov (1956). A rod falls in a vacuum chamber which is itself falling with approximately the acceleration of gravity so that during the timed passage the rod floats freely in the chamber and not in contact with it. This arrangement has the advantage

that it is unnecessary to maintain a very high vacuum in the falling chamber.

The rod has three reference marks, the two intervals being 30 and 100 cm, and when the rod falls these marks pass a photoelectric system and generate pulses that start and stop counters.

All the apparatus is complete and although there has been some difficulty in launching the chamber and bar correctly, work on measurements of gravity is about to be started. It is expected that an accuracy of between 1 and 2 mgal will be achieved with 25 drops.

(5) National Physical Laboratory, Teddington.

In this experiment a glass ball is projected upwards and timed over both its upward and downward flight. The timing signals are obtained when the ball, acting as a lens, passes between two horizontal slits, focusing one on the other. Two such slit pairs are provided, one near the top of the trajectory and the other one metre lower, and the distance between them is measured interferometrically. The timing and interferometric systems have been working satisfactorily for over a year but the device for projecting the ball does not give reproducible results at air pressures of less than 10⁴ mHg whereas it is desirable to work at pressures of 1⁵ mHg or less.

(6) Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.

This is a symmetrical free-fall experiment in which a corner reflector component of a Michelson interferometer is to be projected upwards and the white light pulses obtained on the upward and downward parts of the trajectory are to be timed.

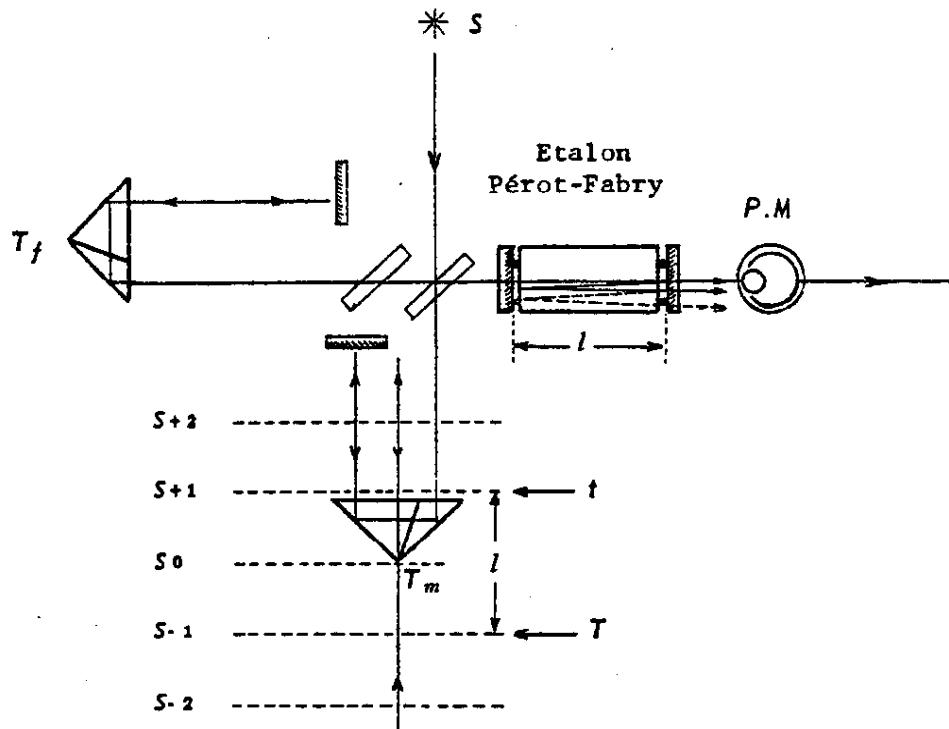
Summary of a Note by A.SAKUMA :

"Le schéma optique de la mesure proposé par J.TERRIEN est montré dans la page suivante.

"Dans un interféromètre de Michelson dont l'un des bras est horizontal et l'autre vertical, les faisceaux sont coudés par des trièdres avant de se réfléchir sur les miroirs terminaux. L'un de ces trièdres Tf est fixe (faisceau horizontal) et l'autre Tm est lancé verticalement de bas en haut dans le vide. À la sortie de l'interféromètre, un étalon Perot-Fabry de longueur l permet, par franges de superposition en lumière blanche, de définir des stations distantes de 1/2 dans le faisceau vertical. À chaque passage du trièdre mobile aux stations, un photomultiplicateur PM détecte des variations de luminosité dues aux franges interférentielles obtenues avec la source de lumière blanche S.

"La mesure des deux temps t, T (t temps séparant deux passages à la station haute (S + 1) du trièdre, T temps défini comme t, mais à la station basse (S - 1)), conduit à la valeur de g par une relation bien connue.

"Le sommet de la frange achromatique étant très étroit, on peut définir les moments des passages du trièdre avec une haute précision. La distance entre les deux miroirs de l'étalon peut être mesurée directement en fonction de la radiation étalon définissant l'unité de longueur. Par principe, les déplacements horizontaux du trièdre ne produisent pas de variations de la longueur du chemin optique.



"D'autre part, l'observation dans les deux sens (vers le haut et vers "le bas) du mouvement du trièdre est avantageuse : plus haute précision des "mesures que par la méthode de chute libre, diminution de l'effet de l'air "résiduel, etc....

"La précision (théorique) sur la détermination de g , qui dépend de la "précision des mesures de longeur et de temps, est $\Delta g/g < \pm 7,3 \times 10^{-8}$ dans "les conditions suivantes qui semblent réalisables : distance verticale entre "les deux stations 50 cm déterminée avec une précision de 0,02 m ; résolution "des figures des franges achromatiques présentées sur l'écran d'un tube catho- "dique, au dixième de la largeur à mi-hauteur d'une frange ; rapport des temps "t/T égal à 0,3 ; précision de 5×10^{-9} s sur $T = 0,67$ s".

(7) Palmer Physics Laboratory, Princeton University, N.J.

This is another Michelson interferometer experiment with white light fringes but the interferometer component is just dropped and white light pulses are obtained at three points of the fall. The white light fringes are displayed on a cathode ray tube and photographed with superposed time marks and the time intervals between the marks are measured on a $0.1 \mu\text{s}$ counter.

The timed flight is quite short, less than 0,2 s, and in consequence ground vibrations with periods of 1 s or more do not have a serious effect on the results.

The vacuum vessel is smaller than in other experiments so that it is easier

to obtain a good vacuum.

The construction of the apparatus is well advanced and the arrangements for releasing the falling body seem satisfactory (after initial difficulties with electrostatic charging).

(8) University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.

Whereas in all other experiments discussed, the accelerations due to gravity is found in terms of length and time, in this experiment it is found in terms of time and the speed of light. A pulse of light is reflected from a falling mirror on to a photomultiplier tube, the resulting pulse from which triggers a further light pulse to initiate another cycle. The interval between pulses may be written :

$$\tau = \tau_0 - at - gt^2/C$$

τ_0 and a being constants and C being the speed of light. The recycling system has worked satisfactorily.

(9) Deutsches Amt fur Messwesen (German Democratic Republic), Berlin.

Additional Note by M.DIETRICH & G.HARNISCH :

"Preparations for an absolute determination of acceleration are being made "following the method of free fall. A small body provided with a slit breaks, "when falling, through 3 light barriers. From the distance of the light barriers "and the differences between the time of transit of the falling body acceleration is calculated. The length of the fall is 1 m.

"The construction of the mechanical parts of the trial contrivance is "finished. Care has been taken that the apparatus should be to a certain extent "transportable".

(10) National Research Laboratory of Metrology, Tokyo.

Additional Note by M.TOMONAGA :

"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 (Ibaraki pref., Japan) from 1963 is now going on .

"Outline of method :

"As a falling body a straight scale is used, and it is made of invar about "1 m long with line-marks at every 1 cm on its neutral plane. The scale is "calibrated with the accuracy of 0.1 micron. This scale is made to fall in a "highly evacuated space of 1.10^{-5} mmHg inside of the brass cylinder about 3.5 m "in height and 30 cm in inner diameter. Before a fall, the scale is hung by "a nylon string at the predetermined top position of the brass cylinder. To "trigger the fall, the nylon string is melted by a small electric heater, and "the scale begins to fall freely parallel to its neutral plane. In the course "of the falling motion of the scale, their line-marks enter the range of illumination one after another, scatter the light and decrease the intensity of "reflected beam. These variations of light intensity are observed by an optical "system ; i.e. the images of the line-marks are focussed on a narrow slit behind "which is set a photo-multiplier. Electric pulses generated through the photo- "multiplier are called "scale mark signals" which correspond to every line mark.

"The transmitting system of this "scale mark signal" from the photomultiplier to the Y-axis of the CRT (vertical deflector of the cathode ray tube) "is so designed as to have a wide frequency band-width and, therefore, every "summit of the "scale mark signal" can be regarded as the time of transit of "the center of line mark across the horizontal axis of optical system though "there is left a designed constant time delay.

"At the end of the fall, the scale is retarded and stopped by a braking "mechanism which has braking path of about 1 m and is so designed as keep the "maximum retardation within 5 g.

"From the result of some trial experiments, the standard deviation of "acceleration for a single fall is within ± 2 milligals!"

The method of chronometry is given in full details with sketches in the original Note.

"Another straight scale as a falling body made of fused quartz has been "also prepared for future use.

"Both the effects of the earth's magnetic field on the invar scale and of "the gas-pressure of the evacuated space on the falling motion remain as "problems to be investigated experimentally".

(II) Air Force Cambridge Geophysics Research Directorate.

Information given by L.G.D.THOMPSON :

"The AFCRL reversible pendulum apparatus employs two small four inch "pendulums swung in anti-phase to eliminate the sway of the support. The pendulums are made of optically flat rectangular pieces of clear quartz wrung "together by molecular cohesion in the shape of a ladder. The inner surfaces "of the horizontal pieces are coated with a thin aluminium film and the distance "between the optically flat surfaces is measured by an interferometric technique. "This can be done with the pendulum in situ on the knife edge. A mechanism is "provided to raise and lower the pendulum and to rotate it through 180°. The "knife edges are made of sapphire. The entire assembly is enclosed in a cylindrical high vacuum chamber and all manipulations of the pendulums can be "performed without opening the chamber by means of controls passing into the "chamber. The chamber is temperature controlled by proportional control. An "optical tube stands on top of the vacuum chamber and provides the necessary "light sources and optics to measure the period of the pendulum and for the "interferometer system. A camera for photographing the interference pattern is "also mounted on the vacuum chamber. The pendulum period is measured by an "electronic counter technique used in the AFCRL relative pendulum apparatus. "The apparatus is about 20 inches in diameter and about 24 inches high without "the optical tube which is about one foot long. It is portable in the manner "of a relative pendulum apparatus.

"The apparatus has been completely fabricated and the first experiment with "the first pair of pendulums is in progress. In measuring the thickness of the "thin film of aluminium on the optical flats of the pendulums, it has been "found that the thickness has varied since the first of the year. A study of "this problem has delayed the experiment about 3 months, but it is still "hoped that the first measurements will be completed by the end of the year".

D) Results of absolute determinations of gravity

Table I

Laboratory	Author & date	Method	Result mgal	Value in Potsdam sys mgal	Differences observed -Potsdam
National Bureau of Standards, Washington	Heyl & Cook 1936	Reversible Pendulum	980 081,6 ± 1,2	980 098,8	-17,2
National Physical Laboratory, Teddington	Clark 1939	Reversible Pendulum	981 183,2 ± 0,6	981 196,3	-13,1*
Mendeleev Institute of Metrology, Leningrad	Agalekskii & Egorov 1956	Reversible Pendulum	981 918,6 ± 0,4		-12,1
	Martsinyak 1956	Free and constrained fall	981 921,5 ± 1,6	981 930,8	- 9,3
		Free fall	981 922,4 ± 2,0		- 8,4
International Bureau of Weights & Measures Sèvres	I958 Thulin 1960	Free fall	980 928,0 ± 1	980 940,73	-12,7
National Research Council, Ottawa	Preston-Thomas & others 1960	Free fall	980 613,2 ± 1,5	980 627,2	-14,0*

* Revised value as mentioned in p. 67

C) Connexions between sites of absolute determinations

Almost all the sites lie either in Europe or in N. America and the question of the connexions between them divides into that of connexions within Europe and N. America and that of connexions between Europe and N. America.

It is to be noted that relative observations were seldom carried out at the absolute sites. The differences Δg between points (First order network) used for relative measurements and absolute sites are given hereunder :

Table 3

<u>First Order network stations</u>	<u>Δg</u>
Sèvres, B.I.P.M., point A	absolute value reduced to A
Teddington, N.P.L., Brit. Fund. st. (Clark)	+ 0,14 mgal
Ottawa, Dominion Obs., Geoph. Lab. (pend.pier Room8)	- 6,34 mgal
Washington D.C., Geoph. Lab. (floor, compressor room)	+ 1,3 mgal \oplus

Note : Garland & Cook (1955), followed by Winter, Valliant & Hamilton (1961) give the difference between Clark's (1939) absolute site and the fundamental station at NPL as 0,29 mgal. This is wrong. The relevant height is not that of the centre of mass of pendulum, as Garland & Cook state, but that of the lower bearing plane of the pendulum, which was 45cm above the floor, the corresponding difference of gravity being 0,14 mgal as given by Thulin (1961).

I) Connexions between Germany, France and Great Britain are no longer a problem since the completion of the adjustment of the European primary gravity meter network. The relevant adjusted differences from Bad Harzburg and their uncertainties (NPL calculations) are shown hereafter (Table 4) :

Differences of gravity from Bad Harzburg (European Network Adj.)

Sèvres, B.I.P.M., A	- 239,54 mgal	s.d. = 0,07 mgal
Teddington, N.P.L., Fund. st.	+ 16,17 mgal	s.d. = 0,06 mgal
The standard deviation of the corresponding difference between Sèvres, A, and Teddington, NPL, is 0,06 mgal.		

\oplus See Note J.C.ROSE

The problem outstanding is the value of the difference of Bad Harzburg from Potsdam. This is based on a series of German pendulum observations between 1937 and 1942, and depending on the way in which the various observations are combined, the value may be :

Bad Harzburg = 981 180,4 mgal (Weiken, 1950)

or = 981 180,27 mgal (Cook, 1952) s.d. = 0,22 mgal

The Potsdam site reference value is Potsdam, Pendelsaal = 981 274,0 mgal.*

Helsinki is not included in the European network but there is a direct pendulum connexion with Teddington.

II) Within N.America, Madison has been compared many times with Washington :

Univ. Wisconsin (Sci. Hall) - Washington NBS (absolute room)= 268,9 mgal^④

Prof. Woollard and his collaborators have made two observations, differing by 11 mgal at Guyot Hall, Princeton University :

Princeton - Washington NBS = 85,2 mgal

Further measurements should be made at Princeton.

III) The connexion between Ottawa and Washington is involved with those between Europe and N.America. The latest work on these connexions has been done by Winter, Valliant & Hamilton (1961) who have also combined their own measurements with those of other observers. The pendulum observations between Teddington, Ottawa and Washington are listed in Table 5 and the least squares adjusted values (in which each result is given the same weight) are given in Table 6. Two solutions have been made, one with Browne & Bullard's published value for the Teddington-Washington difference and one with the addition of a correction of 0,4 mgal to take account of a residual magnetic effect (Garland & Cook, 1955). The uncertainties of the results according to the two solutions are not significantly different. Solution 2 is preferred because it seems quite definite that the magnetic correction should be applied. The largest residual is then that of Garland and Cook's 1955 observation at Teddington-Ottawa, namely 0,60 mgal but this is still less than twice their estimated standard of 0,32 mgal. For Ottawa-Washington, their residual is 0,08 mgal compared with their estimated standard deviation of 0,42 mgal. No other residuals seem unexpected.

It seems that American values are known relative to European values to within 0,5 mgal.

* There is some uncertainty in the sites at which relative measurements were made at Potsdam and it has been suggested that Bad Harzburg should have the conventional value of 981 180,4 mgal.

④ See Note J.C.ROSE

Table 5

<u>Pendulum observations, Teddington-Ottawa-Washington</u>				
Connection	Author & Date (1)	Apparatus (2)	Difference mgal (1)	Mean mgal
Teddington-Ottawa	Garland & Cook 1955	C	576,15	
	Rose & Woppard 1956	G	575,40	
	Winter et al 1961	D.O.	575,80	575,78
Teddington- ^④ Washington	Browne & Bullard 1940	C (3)	1095,40	
	Rose & Woppard 1956	G	1096,10	1095,75
Ottawa-Washington ^⑤	Garland & Cook 1955	C	520,67	
	Rose & Woppard	G	521,05	
	Rose	G	521,25	520,93
	Thompson 1959	D.O.	520,75	

closure error I,04

Notes :

- I) The reference is to the pendulum observation, which is not necessarily between the terminals given here. For details of supplementary gravity meter links, see Winter, Valiant & Hamilton, 1961.
- 2) C = Cambridge pendulums (invar) - G = Gulf pendulums (fused silica)
D.O. = Dominion Observatory pendulums (bronze).
- 3) Magnetic compensation was not applied in the same way as in post-war work and it is probable that the difference should be increased to 1095,80 mgal on this account (Garland & Cook, 1955).

Table 6

<u>Teddington, Ottawa & Washington adjusted values</u>		
	<u>Solution_1</u>	<u>Solution_2</u>
Teddington-Ottawa	575,19	575,55
s.d.	0,22	0,20
Teddington-Washington	1096,19	1096,30
s.d.	0,24	0,22
Ottawa-Washington	521,00	520,75
s.d.	0,20	0,19
s.d. of single observations	0,46	0,43

^④ See Note J.C.ROSE

Buenos Aires has been connected to Teddington (Fundamental station) by pendulum observations over the line : Teddington-Madison-Mexico-Panama, Balboa-Quito-Lima-La Paz-Santiago-Buenos Aires.

The two concordant results are :

Teddington - Buenos Aires = I491,6 mgal (Jackson, 1959, Cambridge invar pend.)
= I491,0 mgal (Woppard, unpub., Gulf quartz pend.)

Most of the individual links agree to within 0,5 mgal.

D) Conclusion .

Combining these results with the European adjustment, we obtain the following values, assuming Bad Harzburg to have the value :

98I 180,27 mgal (Potsdam system)

Table 7

	Network Point	Absolute Site
Sèvres, B.I.P.M., A	980 940,73	980 940,73 mgal
Teddington, NPL, Brit. Fund. st. NPL, absolute station	98I 196,44	98I 196,30
Ottawa, Dom. Obs., Geoph. Lab. (pend. pier, r.8) Nat. Res. Council	980 620,89	980 627,23
Washington, Geoph. Lab. (floor compres, room) Nat. Bur. St.	980 100,14	980 098,8
Buenos Aires, Inst. Geog. Mil. absolute station	979 704,6	

We then have the following differences of absolute determinations from the Potsdam system :

	Absolute measurement	Difference from Potsdam system
BIPM	980 928,0 mgal	- 12,7 mgal
NPL	98I 183,2	- 13,I
NRC	980 613,2	- 14,0

⊕ See Note J.C.ROSE

-:-:-:-:-:-:-

Remarks

on the

Absolute measurements of Gravity

by. J.C.ROSE

The absolute gravity measurement at the University of Wisconsin measures g/c rather than g directly, where c is the velocity of light. A corner reflector will be given an initial velocity of approximately 250 cm per second and will then fall free in a vacuum for two meters. At least 400 data samples per drop will be obtained. The apparatus will be portable.

Regarding the connection from Potsdam to Bad Harzburg, COOK (1952) used the pendulum data reported by WEIKEN (1950) to obtain a Bad Harzburg value of 98I 180,27 \pm 0,22 mgal relative to a Potsdam Pendelsaal reference value of 98I 274,00. WEIKEN's site at Potsdam was on the floor of the room beneath the Pendelsaal and he assumed a value 98I 275,5 mgal based on an assumed gravity gradient of 0,3086 mgal/meter for the 5 meter lower elevation. REICHENEDER (1959) pointed out that WEIKEN's base value should be 98I 275,35 mgal on the basis of multiple gravimeter connections. Accordingly, COOK's mean result for Bad Harzburg becomes 98I 180,12 \pm 0,22 mgal.

Connexion Washington-Madison : For the interval from NDS, Washington, floor of the absolute room to the Madison Pendulum Site in Science Hall, a weighted mean of 13 independent pendulum connections as well as multiple precision local gravimeter ties in Washington gives the result 269,54 \pm 0,06 mgal.

If 98I 180,12 \pm 0,22 mgal is assumed for Bad Harzburg and the European Network Adjustment intervals in Table 4 are adopted, and if the pendulum network point weighted means computed by ROSE (1962) for Teddington-Washington, Teddington-Ottawa and Washington-Buenos Aires are adopted, i.e. 1095,79 \pm 0,09 mgal 574,71 \pm 0,10 mgal and 413,74 \pm 0,26 mgal respectively, the information given by COOK is modified as follows :

Sèvres, B.I.P.M., A	980 940,58 \pm 0,23	980 940,58 \pm 0,23
Teddington, NPL, Brit. Fund. st. NPL, absolute station	98I 196,29 \pm 0,29	98I 196,15 \pm 0,23
Ottawa, Dom. Obs., Geoph. Lab. (pend.pier r.8) Nat. Res. Council	980 621,58 \pm 0,25	980 627,92 \pm 0,25
Washington, Geoph. Lab. Nat. Bur. St.	980 100,50 \pm 0,25	980 098,96 \pm 0,25
Buenos Aires, Inst. Geog. Mil. Inst. Geog. Mil. absolute st.	979 705,13 \pm 0,36	979 705,20 \pm 0,36

We then have the following differences of absolute determinations from the Potsdam system :

	Absolute measurement	Difference from Potsdam system
B.I.P.M.	980 928,0	- 12,6 mgal
NPL	981 183,2	- 13,0
NRC	980 613,2	- 14,7
IGM	979 688,5 692,3	- 16,7 Jeffrey's ben- ding corr. - 12,9
NBS	980 082,6	- 16,4 Jeffrey's revi- sion.

It is to be noted that the Geophysical Laboratory site is 1,54 mgal greater than the NBS absolute site (Washington) instead of 1,3 mgal as mentioned in Table 3 of COOK's Report.

In Table 5 of COOK's Report, the University of Wisconsin pendulum connections from Washington to Teddington should be :

I954	ROSE & KOENEN	1096,65 ± 0,55
I960	ROSE & STRICKHOLM	1095,77 ± 0,10

where the Washington site is on the Geophysical Laboratory floor and the Teddington site is the NPL Fundamental station.

The University of Wisconsin pendulum connections from Washington, Geoph. Lab. (floor of compressor room) to Ottawa, Dom. Obs. Geoph. Lab. (floor room 8) are :

I953	K & M	ROSE & CARLSON	520,47 ± 0,39
I954	M	ROSE & CARLSON	521,57 ± 0,47
I959	K & M	ROSE & STRICKHOLM	521,26 ± 0,19
I960	M	ROSE & STRICKHOLM	520,97 ± 0,35
I960	M	STRICKHOLM & UNGER	521,09 ± 0,04
I960	K	STRICKHOLM & UNGER	520,89 ± 0,20
I961	M	STRICKHOLM & ROSE	520,98 ± 0,17
Weighted Mean			521,08 ± 0,04

-:-:-:-:-:-:-

ANNEXE II - Réseau International de I^o ordre

Summary of

Report of the Special
Study Group 5
on the

Absolute and First Order World Net

by

C. MORELLI

The Special Study Group n°5 has presented Reports to following meetings :

I.U.G.G. Xth Meeting	(Rome, 1954)
International Gravity Commission	(Paris, 1956)
I.U.G.G.XIth Meeting	(Toronto, 1957)
International Gravity Commission	(Paris, 1959)
I.U.G.G.XIIth Meeting	(Helsinki, 1960)

It would seem that with so many Reports, and discussion of them at the corresponding Meetings, the problem should be solved from years : but the real situation is quite different.

I. - ACTUAL SITUATION

Although much better than in the past years, the actual situation is far away to be ideal for following reasons :

I.1 Pendulum measurements.

There are only a very few pendulum apparatus with which measurements with the needed accuracy are possible.

They should therefore have been concentrated for the solution of the two main problems to which they can bring a fundamental contribution :

- I^o - the establishment of the Calibration Lines for gravity-meters ;
- II^o - the ties between very distant, or very different in gravity, stations of the First Order World Gravity Net (F.O.W.G.N.)

Unfortunately, they have been very often chaotically executed or dispersed : for most of them for instance, executed in very long loops with no logical repetition of the stations, it is very difficult to consider each leg as an independent tie.

So, for most of them we have no final values published, or no publication at all, or if published very often changed : it is therefore very hard to give them the necessary confidence.

A typical example was that of the Wisconsin results : as it is well known, most of the connections in the FCWGN, both with pendulums and gravity-meters, are due to the indefatigable initiative and activity of Prof.WOOLLARD. From many years partial results were published, and often changed : in June 1960 a final report was issued (WOOLLARD, ROSE, 1960). This is really a fundamental work ; but in the "Bulletin d'Information" n°3 (Avril 1962) of the International Gravity Bureau we read (p.9) :

"2) Prof.WOOLLARD informs us that some gravimeter values published in "Final Report on Gravity Program" (W.H.O.I. Ref. n°60-26) have been modified in order to take into account further corrections due to irregularities of the gravimeter screw. All mean pendulum values have been revised".

I have also been informed that the really "final" Report is being published under the title :

WOOLLARD G.P., ROSE J.C., 1962 : International Gravity Standardization values
(Series of 8 collected papers)
as a Special Monography of the "Society of Exploration Geophysicists".

But all the efforts for obtaining a copy of it or from the Author or from the S.E.G. remained fruitless.

In this situation, I think that it would be meaningless to utilize for our purposes data that should be modified again in a very short time : that is, we are again compelled to wait.

I.2 Gravity Meter measurements.

Here the situation is also worse : gravity-meters indeed must be properly operated and sufficiently well calibrated.

Both points seem to be obvious ; but there are too many examples of measurements with gravity-meters that were guaranteed within few tenths of a mgal, and are known to be surely wrong by many mgal !

Proper operations include temperature, pressure and drift effects, which must be perfectly known for each instrument.

Also for instruments practically without drift, tares are always possible ; so that long loops are very dangerous.

I.3 Operative techniques.

This is also a very weak point in the actual situation : for operating compensations in a geodetic sense, in particular accordingly to the least squares method (see for instance COOK, 1958), we should have at our disposal independent differences in gravity, both from pendulums and from gravity-meters.

On the contrary, the great majority of the actual measurements are made in quite a different manner, and are not independent.

For clearness :

- each individual Δg should be measured accordingly to the scheme :

A - B - A

and possibly :

A - B - A - B

or if with gravity-meters affected by drift over long distances :

A - B - A - B - A - B - ;

- but unfortunately most of the Δg have been measured in loops of many stations, very often closed after very long times or realized in complicated sequences : this explains at least partially the reason of the so frequent changes in the published values (I.1), and compromise the possibility of a rational compensation.

2. CALIBRATION SYSTEMS

This problem which is closely connected with the homogeneity of the FOWGN has been dealt with in pub. n°4 & 5 mentioned on p.25.

The Reporter concluded :

... 2.4 Accuracy needed.

In the present stage of the measuring technique we can tend to reach reasonably in the very near future an accuracy of 0,3 mgal in the relative observed values of gravity in selected points all over the World.

We need therefore an accuracy on the Calibration Lines of the order of $0,6 \cdot 10^{-4}$.

3. PENDULUM TIES *

From 1960, following pendulum ties have been realized and published :

Helsinki - 640,71 (BROWNE, HONKASALO, 1960, unp.)
Potsdam

Chiba
Singapore U.M. - 1709,3 \pm 0,45 (HARADA, SUSUKI, OHASHI,
Capetown + 1566,5 \pm 0,45 KAKINUMA, 1960)

Tokyo, G.S.I. + 201,1 \pm 0,2 (INOUE, SETO, 1961)
Melbourne

Tokyo, G.S.I. - 130,7 \pm 0,3 (OKUDA, 1962, unp.)
Mowbray + 2631,7 \pm 0,4
Syowa

* Additional measurements : In 1960-61, observations with the Gulf Wisconsin M quartz pendulums were made in Norway, England, Canada, United State, Australia, and Antarctica (see p.19 & 20).

4. GRAVITY-METER TIES

From 1960, following gravity-meter ties have been realized and published :

Helsinki	-	641,08	
Potsdam			(HONKASALO, 1959)
Teddington	+	719,7	
Helsinki			(ASPLUND, 1960 through Stockholm)
Helsinki	+	12,09	
Oslo			(GROSSMANN, 1961, unp.)
Kopenhagen	-	1193,95	
Roma, I.N.G.	+	577,20	
Paris, Sèvres	+	616,76	
Kopenhagen			(GROSSMANN, 1961, unp.)
Paris, Sèvres	+	255,76	
Teddington	-	1215,51	
Madrid, Obs.	+	959,75	
Paris, Sèvres	-	1036,37	
Alger, Airp. tour de contr.			(GROSSMANN, 1961, unp.)
Teddington	-	1106,29	
Lisboa	-	109,22	
Madrid, Obs.	+	382,55	
Roma, I.N.G.			(GROSSMANN, 1961, unp.)
Paris, Sèvres	-	850,5	
Lisboa	+	85,74	
Terceira, Azores			(GROSSMANN, 1961, unp.)
Sydney			
Hakone	+	37,29	(WILLIAMS, GOODSPEED, FLAVELLE, 1959)
Cairns			
Johannesburg	+	49,08	(WILLIAMS, GOODSPEED, FLAVELLE, 1959)
Melbourne			
Auckland	-	30,99	(WILLIAMS, GOODSPEED, FLAVELLE, 1959)
Roma I.N.G.			
Beirut, airp.	-	671,63	(TENGSTRÖM, 1961)

Roma, I.N.G.	-	244,56	
Washington	-	130,51	
S.Francisco, airp. n.I	-	266,49	
Kyoto	-	31,27	(GANTAR, MORELLI, 1962c)
Beirut	+	368,07	
Athens, airp. pil.	+	304,76	
Roma, I.N.G.			
		compens.	
Roma, I.N.G.	-	638,37	
(Etna 66)	-	78,31	(GRAHAM, MORELLI, 1962)
Mowbray			
Roma, I.N.G.	-	273,47	
Lisboa			(MARTINS, MORELLI, 1962)

5. PRESENT STATUS OF THE F.O.W.G.N.

As a specimen of what said above in I. and 2., and of the great difficulty of detecting the systematic errors in gravity measurements, we choose the values given recently for Rome I.N.G., a station not too far away from Bad Harzburg, and moreover on the E.C.L. :

MORELLI, 1959 Report	:	980 364,4
MORELLI, 1960 Report		364,I
WOOLLARD, ROSE, 1960	{	363,4 pendul.
WINTER, VALLIANT, HAMILTON, 1961		361,19 gravim.
KNEISSL, MARZAHN, 1962 Adj.		362,67
Bureau Gravim. Intern.		364,36
		361,7

It is quite clear that if such an important station, and so near to Bad Harzburg, can present such a high dispersion of attributed values in the quite recent year s, a similar or greater possibility can exist for the more distant stations of the FOWGN.

In the present situation :

- with all the values of the principal contributor (Wisconsin Group) to the FOWGN "fluid", both in pendulum new announced results and in gravity-meter values consequently adjusted on them ;
- an moreover with about all of the best modern pendulum ties by other observers with their values revised by WOOLLARD & ROSE (1960), and waiting for appreciation from the original Authors ;
- with the feeling that "pendulums alone can't solve the problem"

the actual status of the FOWGN is such that we can't reasonably accept as final any compensation (and there are many already done).

But the experience of the past allows following rules for the future :

a) for the problems of the FOWGN only the modern pendulum apparatus should be employed, which - following the best techniques (BROWNE, 1962) - can guarantee an accuracy of 0,3 mgal;

b) pendulums should be always controlled through gravity-meters measurements, obviously also of the greatest accuracy ;

c) as a consequence of a) and b), and for an economy of efforts and of money (the dispersion of both in the last years has been colossal), pendulum measurements should be concentrated on the Calibration Lines, or for very distant ties in the FOWGN and/or for great differences in gravity ;

d) with the modern geodetic gravity-meters, accurately calibrated on the above mentioned Calibration Lines, employed in groups of four or more, with air transports, all the rest of the FOWGN can be very rapidly solved ;

e) in the meantime, the skeleton of the FOWGN has been realized with an accuracy of the order of $\pm 0,1$ mgal by tying conveniently with gravity-meters the stations of the FOWGN which have (in the Northern and Southern Hemisphere) about the same gravity values (so that calibration problems be ineffective).

With the following skeleton and the problems of the Calibration Lines solved, could immediately be solved also :

I° - the European block of stations in the FOWGN, since they are for the most part (with the only exceptions of Madrid and Lisbon) included in the ECS (KNEISSL, MARZAHN, 1962) ;

II° - the North American block of stations in the FOWGN.

Minor problems, like those of the harbour base stations for sea gravity measurements, will find easily a consequent solution.

The above mentioned solution is not a dream, and can be realized within a very short time. This "must" be done, since too many arguments urge for a rapid solution.

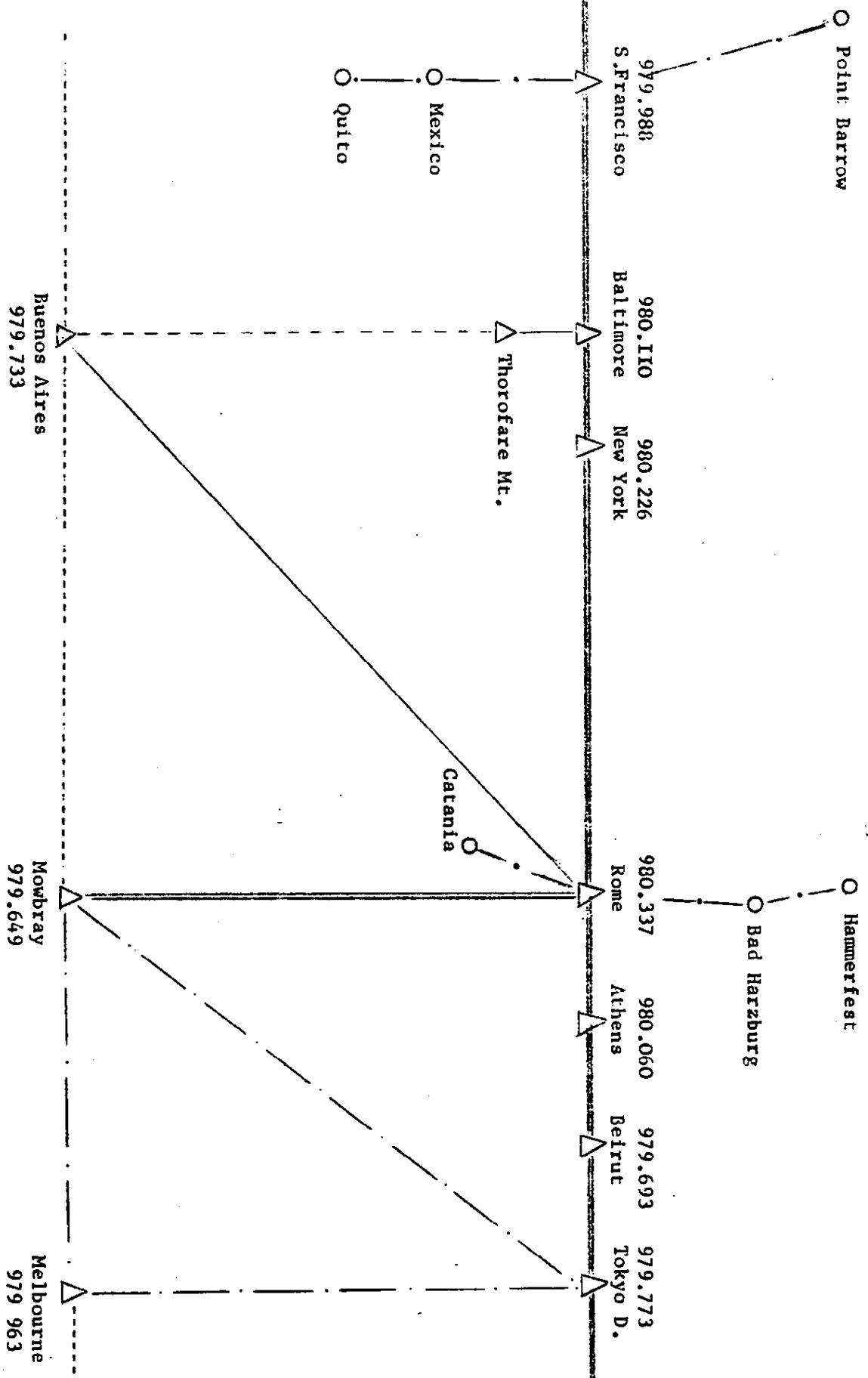
6. POTSDAM

Although all the gravity values in the World are based on the, for the time being "conventional", Potsdam value 981 274,00, the political situation has rendered very difficult new ties to Potsdam.

Only HONKASALO succeeded to make gravity ties to Potsdam after the Second World War, with following results (from Helsinki) :

1956 ($h = 86,69$, $g = 981 274,08$), with gravity-meters
measured $\Delta g = - 641,00$; reduced to $h = 87,00$ (absolute meas.) :
 $\Delta g = - 641,08$

1960 ($h = 82,71$, $g = 981 275,18$) with Cambridge pendul.
measured $\Delta g = - 639,53$; reduced to $h = 87,00$:
 $\Delta g = - 640,71$.



Basic loops in the 1st Order World Net with gravity-meters (gravity values at the airport).

Taking into account the recent measurements and the results of the KNEISSL's adjustment, the Reporter concludes :

.... While the closure errors of the loops without Potsdam is very good :

Teddington-Oslo-Bad Harzburg-Teddington : + 0,17 mgal
Teddington-Oslo-Helsinki-Teddington : + 0,57 mgal

The incertitude in the actual Bad Harzburg (conventional) value 98I 180,4 relatively to the actual Potsdam (conventional) value 98I 274,0 seems to be therefore of the order of 0,5 mgal.

We know indeed that a more probable value of the difference Potsdam - Bad Harzburg is (COOK, 1952, REICHENEDER, 1957) - 93,9 mgal : this value would reduce the last two closure errors to + 0,48 and + 0,27 mgal.

To solve this problem, I have tried to take occasion of the May-June 1962 tour of 5 gravity meters of the O.G.S. -Trieste from Bad Harzburg to Oslo, and of the contemporary my presence in Leipzig for the International Symposium on Recent Movements of the Earth's Crust, to make a direct, very accurate, connection Potsdam-Bad Harzburg (or West Berlin) ; but, I didn't succeeded in getting the permit.

We know also that some incertitudes to exist in the definition of the Potsdam absolute site and height itself (RIECKMANN GERMAN, 1957). But, I would say, this point is not so important : in a manner similar to Potsdam, also the conventional value 980 180,4 for Bad Harzburg can be maintained until when (I hope : next year) we'll be able to decide the final correction to the actual (conventional) reference value.

-:-:-:-:-:-

ANNEXE III - Chaines d'Etalonnage Officielles

IIIa

The Adjustment I962 of
the European Calibration System

Summary of the Final Report
by M.KNEISSL & K.MARZAHN

1. The measurement documents, the computation stations.

According to the resolution adopted by the International Association of Geodesy at Helsinki in August 1960, all pendulum and gravimeter measurements to be included in the adjustment of the European Gravimeter Calibration System were compiled. Before the final compilation, the observers received an opportunity to review the measuring results in detail. Suggestions for the weight charge were made by Dr.MARZAHN and there was proved also that the proper weight charge would influence but very lowly the results of the adjustments. The adjustment according to the method by Dr.COOK was performed in time until April 1962 by the following computation stations :

1. Prof. G.J.BRUIINS, Laboratorium voor Geodesie,
Technische Hogeschool, Delft (2nd April, 1962)
2. Dr.A.H.COOK, National Physical Laboratory,
Teddington (13th April, 1962)
3. Dr.K.MARZAHN, Geodätisches Institut der
Technischen Hochschule München (11th March, 1962)

Moreover our Italian colleagues occupied themselves thoroughly with the adjustment, under the direction of Prof.MORELLI and Prof.SOLAINI. Based on this Italian investigation, the Italian Geodetic Commission came to an attitude which will certainly be delivered during this meeting.

2. The adjustment of the European Gravimeter Calibration System.

The weight charge for the adjustment was made uniformly by the computation stations (Dr.COOK and Dr.MARZAHN) according to the proposal by MARZAHN. Moreover Prof.BRUIINS gave an interpretation of the accuracy of the three gravimeter measurements of the Expéditions Polaires Françaises between Paris and Edinburgh different from that of Dr.MARZAHN and correspondingly he charged the error equations.

Mean square error of unit weight :

The error square sums computed by the individual computation stations from the corrections, and the mean unit weight errors m_w are listed in table I which may be seen on page 3 of the English issue or on page 4 of the German issue distributed during the meeting. Thus the mean unit weight errors agree completely within 0,001 mgal for all three adjustments. The difference between the computed

value \pm 0,109 mgal, and the value \pm 0,100 mgal to be expected theoretically based on the weight charge is statistically not assured. A necessary condition for the correctness of the weight charge is hereby fulfilled.

Results of the adjustment :

The adjusted gravity values referred to the station Bad Harzburg with the corresponding mean errors are confronted with one another for the three computation stations rounded off to hundredth milligals in table 2 of our reports.

The differences in the gravity values and in their mean errors are, in spite of the different weight charges, in maximum 0,01 mgal. Thus they don't exceed even the rounding off inaccuracies of the results. The values listed in the two last columns of table 2 are proposed as the final gravity values referred to the station Bad Harzburg.

Table 3 of our report contains the adjusted calibration factors with their mean square errors. Also here the agreement between the individual measuring sets is very good.

In table 4 of our report the weight coefficients are stated. Also they differ mutually very little.

3. Discussion of the results.

The differences in the weight charges did not really influence the results. Thus there is no necessity to discuss which charge is most advantageous. Moreover MARZAHN proved that also essentially higher weight charges cannot influence the gravity values of the gravimeter calibration system in proportion to the corresponding mean square errors.

The mean square errors of the gravity values are a measure for the external accuracy of the gravity differences as against the station Bad Harzburg. In Fig.1, missing just as Fig.2 unfortunately by error in some of the distributed reports, the mean square errors are plotted in dependency on the amount of the gravity differences. This graph shows clearly that the mean square errors are composed in the mean of a constant part (approximately 0,04 mgal) and of a part of approximately $1,4 \cdot 10^{-4} |\Delta g|$ linearly ascending with the measured gravity difference.

Because the station Bad Harzburg is situated relatively centrally, the mean square errors, calculated of the weight coefficients, of the gravity differences as against the most northerly station Hammerfest were plotted in the same way (Fig.2 of the report). The mean errors for the gravity differences as against the extremely situated station Hammerfest own the same qualities like the mean errors of the gravity differences as against the station Bad Harzburg.

Though the distribution of the gravimeter measurements over the calibration system is not homogeneous, the mean square errors are actually dependent only on size of the adjusted gravity values, but not on the situation of the corresponding station within the calibration system. This implies however that the adjusted gravity values are rather homogeneous in contrast to many presumptions and apprehensions. The mean scale error conditioned nearby exclusively by the pendulum measurements is minor $2 \cdot 10^{-4}$ for the European Gravimeter Calibration System in its present form. Hereby the limit for the mean square calibration error of $3 \cdot 10^{-4}$ stated in the recommendation N°I9 is significantly not yet reached.

Table 2
Adjusted gravity values referred to the station Bad Harzburg

Station N°	Station	Computation Station 1 (BRUINS)		Comp. Station 2 (COOK)		Comp. Station 3 (MARZAHN)		Final Gravity values	
		\bar{g}_1 mgal	$\pm \frac{m}{mgal}$	\bar{g}_2 mgal	$\pm \frac{m}{mgal}$	\bar{g}_3 mgal	$\pm \frac{m}{mgal}$	\bar{g} mgal	$\pm \frac{m}{mgal}$
1	Hamerfest	982	632.36	0.26				982	632.36
2	Bodø	2	387.29	0.21				2	387.29
3	Oslo	1	927.29	0.14				1	927.29
4	Edinburgh	1	583.79	0.09				1	583.80
5	Copenhagen	1	557.91	0.08				1	557.91
6	Teddington	1	196.57	0.06				1	196.57
7	Bad Harzburg	1	180.40	-				1	180.40
8	Paris	0	940.86	0.07				0	940.86
9	München	0	744.57	0.09				0	744.57
10	Milano	0	565.35	0.12	...5.36			0	565.36
11	Ragnères	0	287.38	0.19				0	287.38
12	Roma	0	364.36	0.15	...4.37			0	364.36
13	Catania	0	47.08	0.21				0	47.08
14	Stockholm	1	845.69	0.14	...5.68			1	845.68
15	Hamburg	1	389.81	0.06				1	389.81
16	Bremen	1	335.20	0.08				1	335.20
17	Amsterdam	1	288.24	0.07				1	288.24
18	Hannover	1	287.32	0.04				1	287.32
19	Berlin	1	281.57	0.07				1	281.57
20	Düsseldorf	1	199.34	0.06				1	199.34
21	Brussels	1	156.31	0.06				1	156.31
22	Frankfurt	1	57.32	0.05				1	57.32
23	Zurich	0	687.09	0.11				0	687.09
24	Geneva	0	381.17	0.14				0	381.17
25	Toulouse	0	442.79	0.15				0	442.79
26	Marseille	0	488.61	0.14				0	488.61
27	Piastra	0	521.26	0.13	...1.27	± 0.12	...1.27	0	521.26

* Only, the results different from those of computation station 1 have been mentioned.

Based on our investigations Prof. KNEISL suggests to adopt as preliminary obligatory the gravity values referred to the station Bad Harzburg and given in our report (Table 2) last but one column. The right, and the eventual necessity of a later improvement of this system, by new measurement of our Italian colleagues, remains untouched. However such an improvement should be considered but based on statistically assured corrections, that means, when these corrections are significant.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

Some considerations on the measurements and calculations
relating to the European Calibration
Line

(extract)

by L.SOLAINI & G.INGHILLERI

Scheme for the determination of an international calibration line :

....
It follows from what we have said above that :

a) All measurements carried out with land connections outside the E.C.L. give rise to reduced precision. It is evident that when determining the difference in gravity between two points, the shortest connection gives the greatest precision.

For pendulum measurements it is, in our view, quite acceptable and sound to take into consideration indirect connections between the stations of the base. This permits a considerable increase in the number of available measurements and, above all, the employment of determinations made by different operators using different apparatus, which is of great importance for the elimination of any systematic error.

Furthermore pendulum measurement is, by its very nature, indirect, i.e. it does not consist in the application of a standard of measurement, so that the considerations mentioned above do not apply.

b) All measurements taken along the E.C.L. using gravity meters, the behaviour of which has not previously been thoroughly studied, and in particular, all measurements made before gravity meters began to be studied systematically, lead to reduced precision.

c) Measurements with instruments transported in aircraft cannot be considered homogeneous with those taken on the ground ; airborne gravity meters are used over long stretches where there may be a great difference in gravity, using the large dial and with a measurement technique which is different from that used with land transported gravity meters.

Adjustment calculations :

....

A partial adjustment has been carried out at the Milan Politecnico (Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria), taking into account only gravimetric measurements in the Flensburg-Catania section of the E.C.L. and taking as unknowns the gravimetric scale factors relative to a reference one and the gravity at the following stations : Flensburg, Bad Harzburg (reference station), Bamberg, Munich, Niederaudorf, Milan (Mantova), Rome and Catania.

... The gravity meters which made observations together have been grouped, but a weight of 1 is given to the mean of 2 or 3 gravity meters and one of 0.5 to individual gravity meters. As reference gravity meter, the one used by Brein in 1959 is taken because its measurements cover the whole section to be adjusted.

The data and results of this adjustment are set forth in the attached table of the complete Report.

... The gravity meters were intrinsically adjusted and pendulum observations on the E.C.L. were used only in order to determine the scale factor of the reference gravity meter, as it was thought that the two adjustment could be kept separate.

The simultaneous adjustment of the pendulum and gravity meter measurements does in fact present the difficulty of the choice of weights to assign to the observations performed with the two types of instrument. It is true that, if the weight of the pendulum measurements is very small, even quite large changes in it do not lead to troublesome variations in the results of the adjustment, and therefore the application of Cook's method used on the adjustment of the E.C.L., is undoubtedly correct.

On the other hand, for the same reason it is possible to separate the two adjustments when, as in our case, the accuracy of the gravity meter measurements is still greater in respect to the pendulums one. Cook correctly observes that the independent adjustment of the gravimetric system and of the pendulum system is not theoretically correct because of the correlation existing between the results as a consequence of the adjustment itself. But this is not of practical importance as we shall show shortly.

In our view therefore, where measurements are taken with gravity meters distributed along the calibration line only, an intrinsic adjustment of the measurements themselves can first be performed as stated above ; after this the pendulum measurements, distributed over a system which includes the calibration line, can be adjusted and the scale factor of the reference gravity meter determined.

It is convenient to adopt the following procedure indicated by Cunietti.

We start from the system of equations

a) $g_B - g_A - \Delta g_{AB}^P = v$

b) $g_b - g_a - (I + y) \Delta g_{AB}^S = 0$

where the equations at the pendulum have the usual residual v , whilst in the equations containing the adjusted gravity meter data, the quantities Δg_{AB}^S , are taken to be without error. This causes the objection based on the non-independence of the equations to fall because equations (a) contain only independent measurements, whilst equations (b) constitute analytic relations which the unknowns must rigorously satisfy.

Conclusions and proposals :

From what we have said, the following conclusions can be drawn and related proposals made.

- a) The Flensburg-Hammerfest section must be homogenized by taking measurements in this section with gravity meters and methods having the same characteristics as those used in the southern section.
- b) Having performed the measurements referred to in (a), the adjustment of the gravimetric measurements made on the E.C.L. should be carried out independently, i.e. without considering connections with gravity meters extraneous to the line.
- c) Adjustment could also be carried out on the E.C.L. by keeping the gravimetric measurements separate from the pendulum ones and by determining the gravity at the E.C.L. points and the scale factor of the gravity meters according to the method suggested above. Comparison with the results of the overall compensation may be instructive.
- d) In adjusting "average" gravity meters must be given a greater weight than single gravity meters.
- e) The determination of the gravity meter scale factors must be reviewed, as the criterion of assigning a scale factor to each Institute is not a reasonable one. It would be acceptable only if the following conditions, which are not verified for the measurements taken along the E.C.L. were satisfied :
 - 1) Each Institute has always used the same gravity meters.
 - 2) The gravity meters have been used in the same connections.
 - 3) The relative variations which have occurred for the gravity meters used have always been checked and taken note of.

-:-:-:-:-:-:-:-:-

Summary of the Report by Prof.KNEISSL

about the

Establishment of a Uniform European network of principal gravity points

Geophysical and geodetic research institutes, and a great number of Land Surveying Authorities in Europe are working for years for the establishment of national fundamental gravity networks, besides their collaborations within far extended international enterprises serving to the establishment of an international first order world gravity network, and to the establishment of international gravimeter calibration lines. Such national gravity networks have their own scales mostly based on a national calibration line. The accuracies of the national gravity networks are very different depending largely on the epoch of

the works and observations. Recently established nets or net parts are generally more accurate than former ones. Marking and description of the observation points differ between the countries. The computations of the absolute gravity values for the individual points of these nets are mostly based on national principal points which are partially belonging to the Potsdam Gravity System, or on national calibration lines for which more or less equivalent initial values are available. Certain countries that have observed their nets but during the last years joined them, at least preliminarily, to the European calibration system, thus they are enabled to transform, after the fixation of the definitive gravity datas for the calibration system by means of a uniform factor, all observed or adjusted gravity differences to a definitive European Milligal.

In international view these conditions imply the following problems:

1. The fundamental networks of the European countries must be principally, in respect to their arrangements, observation accuracies, markings of the individual points, and corresponding point descriptions, checked, completed, and brought to a state as uniform as possible, the point density being equal on an average. On the one side the modern observation accuracy is far higher than the geodetic claims as far as uncertainty and problematics of gravity reductions are concerned. On the other side, a network as uniform as possible, with equal accuracies, equal point densities, and arrangements of points and nets as systematical as possible is wanting for geodesy.
2. Special attention is due to the connection of the national nets to the points of the first order gravity net in Europe, and to the principal points of the European gravimeter calibration system.
3. The national calibration bases are to be joined to the European gravimeter calibration system, thus former gravimeter measurements can be joined to the definitive European Milligal.
4. All new gravimeter measurements are from the first to be joined to the European calibration system.
5. The fundamental national gravimeter nets must be joined to the nets of the adjacent countries over the boundaries.

The Special Study Group N°6 has completed largely the main part of its work, that is the computation of uniform gravity values for the principal points of the European gravimeter calibration network. As second step there will follow the computation of the gravity values for intermediate points of the main line Hammerfest - Bodø - Oslo - Copenhagen - Harzburg - Munich - Rome - Catania. Preparations are largely done.

Hence our Special Study Group can start with its third problem charged with during the Symposium of the International Gravity Commission in Paris in 1959, that is to elaborate proposals for the unification of the European fundamental gravimeter nets.

In order to prepare this work there were requested from the members of the Commission, and from the Geodetic Commission of the European countries a series of documents and information. The delegates of the following countries have replied to this circular and sent, more or less complete, the requested information : Austria, Czechoslovakia, Denmark, England, Federal Republic of

Germany, Finland, France, Holland, Ireland, Italy, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey. Only Belgium has not yet sent information.

For further preparation of the enterprise, the International Gravity Commission is requested to propose the following recommendations :

I. Based on the available publications, and on the documents presented by Study Group N°6, an international atlas of the existing European gravimeter fundamental networks should be established. The gravimeter nets are designed on grey-prints of the international world map I/I 000 000 serving also as base for the description of the uniform European triangulation network. For the establishment of the atlas, decisions on the specifications for uniform symbolizations must be taken.

The German Geodetic Commission is ready to undertake the elaboration of this atlas in tight collaboration with the Geodetic Commissions of the European countries.

2. As supplement to the atlas, all European countries should give short descriptions of their fundamental networks according to a uniform sample. Mostly these descriptions will be brief excerpts from available publications.

3. After the establishment of the atlas, missing and desirable connexions to the gravimeter nets of the adjacent countries should be found out, and their executions should be suggested.

4. For the valuation of the accuracies of the gravimeter nets, international error formulae should be elaborated and recommended for adoption during one of the next meetings of the International Gravity Commission.

5. For the connexion of the principal points to those of the world gravity network, and to the European gravimeter calibration system, international conventions should be taken, and suggestions should be elaborated.

6. Decisions about a total adjustment of the European fundamental nets joined to the European points of the world gravity network, and to the European gravimeter calibration system should not be taken earlier than after completion of all national fundamental nets, and after determination of their accuracies. However, relevant suggestions for the adjustment methods should be made from now on.

Prof.KNEISSL would like to thank cordially to all reporters and to all institutions that have supported the work, and to beg them to assist above resolutions, to make further suggestions, and to support furthermore the works.

-:-:-:-:-:-:-

IIIb

North American Gravity Calibration System

by D.A.RICE

The North American system is based on a series of pendulum stations extending from Mexico City to Point Barrow, Alaska, with a range of 4 800 mgal. The present control values depend on observations with the Gulf quartz pendulums by the Woollard group in various years, the Cambridge invar pendulums by G.D.Garland, and the USC&GS invar pendulums. The latest series of pendulum observations by the Woollard group was accomplished in 1961. Although the existing data, taken as a whole, provide a calibration basis which appears reliable to a few parts in 10^4 , the system cannot be fully stabilized until the extreme gravity values are more accurately determined. The greatest need at present is more pendulum observations at Mexico City and in Alaska, preferably at Fairbanks, made with as many different sets of modern apparatus as possible. The usefulness of intermediate pendulum observations is less today than in the past, since low-drift geodetic gravity meters can now provide the necessary accuracy at intervening points when adequate precautions are taken to balance out non-linearity of the individual meters.

Supplementary calibration bases are located in the central U.S., along the east coast, and between the national gravity reference stations in Washington and Ottawa. These base lines are referred to the North American base at the present time with sufficient accuracy to provide control for current field survey operations, and can be more firmly related to the basic continental line by east-west gravity meter connections when definite calibration data are adopted.

-:-:-:-:-:-:-

IIIc

On the Establishment of the Western Pacific Calibration Line

by T.OKUDA

Establishment of the East Asian Calibration Line was discussed at the third meeting of the International Gravimetric Commission in 1959 and a special study group, T.OKUDA being Chairman, was organized in order to investigate this problem. At the general conference of I.U.G.G. in Helsinki, 1960, this subject was discussed again and it was decided that this calibration line should be extended to the southern hemisphere along the western

fringe of the Pacific ocean. Therefore the name of the line was changed to the Western Pacific Calibration line.

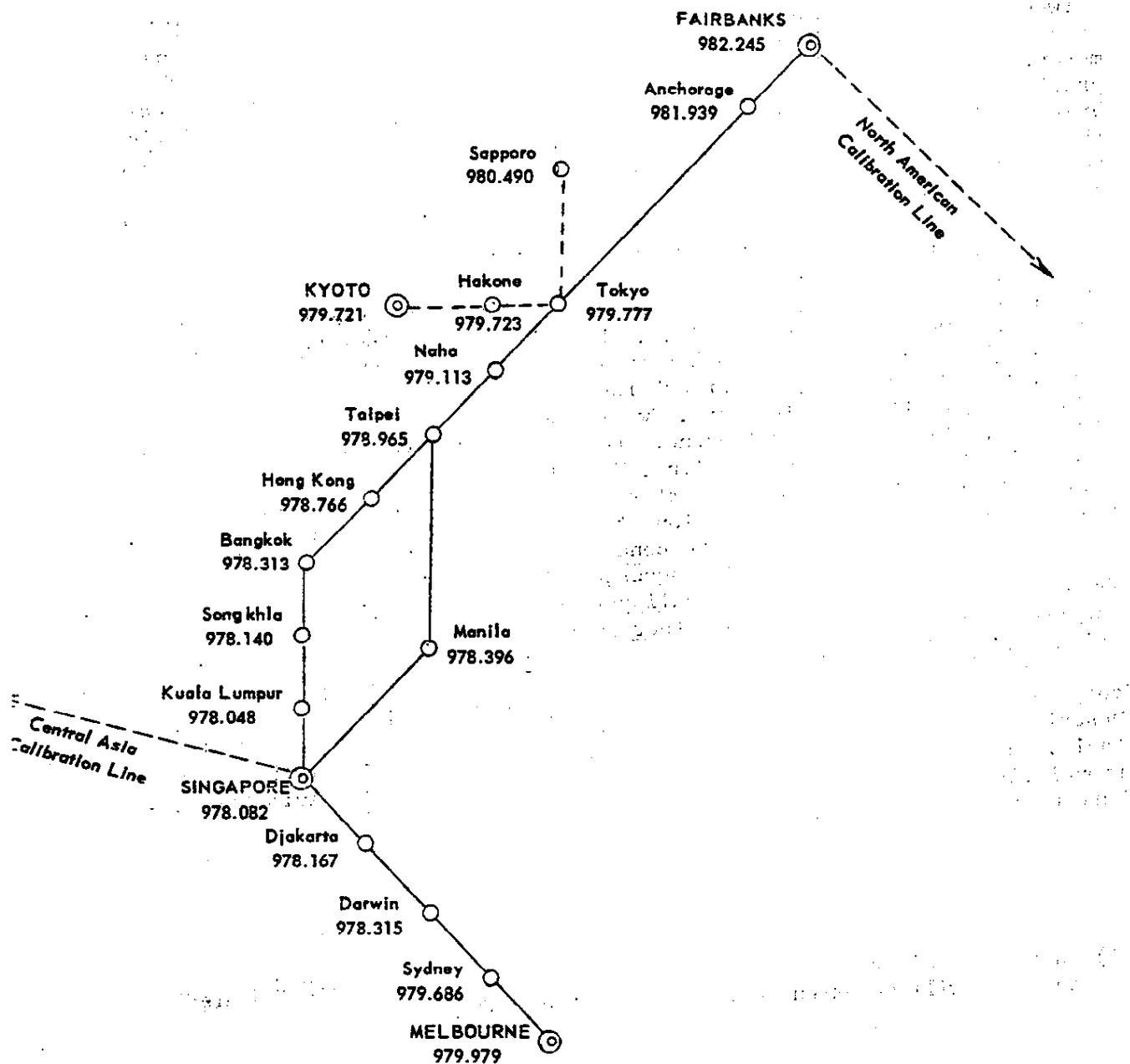
In order to establish a calibration line in this area, two conditions must be considered. One is that this zone is not a part of a continent but consists of many countries separated by sea. Accordingly, transportation between them must depend on air lines in most cases, and the gravity difference is not always so small as to be measured directly with a non geodetic gravimeter. The other condition is that there exists no sufficient number of gravity stations which have been established already. However, the new calibration line in this region is believed to be quite important in completing the world gravimetric network. In this point of view, precise gravity measurement at as many stations on the line as possible must be our first aim rather than gravimeter's calibration with this line. Since only a few instruments for accurate gravity observations are available at present, the number of stations on the line will be limited to minimum.

Considering the state of transportation over this area and other conditions, we have planned the framework of the Western Pacific calibration line tentatively which is shown in Fig.I. This line starts from Japan and ends in Australia (I) passing through Formosa, HongKong, Thailand, Malaya, Singapore and Indonesia. One branch runs from Formosa to Phillipines and joins the main line at Singapore. Two international first order stations in this area, Singapore and Melbourne, are on this line and another one, Kyoto, can easily be connected to the line. This line passed several national fundamental stations in this region. After the completion of the line, each station will serve as the reference station of the gravimetric net in that country. Considering the importance of the connection of the line to other international calibration lines, it is suggested that one line extended northward from Japan to the North America calibration line via Fairbanks, Alaska, and the other from Singapore or any other suitable station towards the central Asian calibration line.

For the completion of the planned line, it is most desirable to get cooperation of geodesists not only in this region but also in the world. Descriptions of the station, gravity values are summarized in the following table. Those for the stations which are listed in the table of the international first order stations published by the International Gravimetric Bureau are not included.

(I) In the definitive text adopted by the International Gravity Commission, the line will be extended to Christchurch (N.Z.)

Western Pacific Calibration Line



© International First Order Station

Naha, Ryukyu

1882	Tanakadate a.o.	Pend.	979 II4 979 803	Tokyo (old) 979 803	26 12I ¹ N 127 43' E 6 m
1958	Wisconsin	Gulf Pend.	979 I266 980 II9	Washington	Kadena AFB 26 22' N 127 41' E
1958	"	Worden gravimeter	979 I224	"	Naha AFB 26 12.0' N 127 39.1' E I4'
1960	J.A.R.E.	Worden gravimeter	979 II34 979 801	Tokyo (N) 979 801	Meteorological Obs. 26 13.6' N 127 41.2' E 34.3 m

Taipei, Formosa

1937	Kumagai a.o.	Pend.	978 945	Kyoto 979 721	25 02.3' N 12I 30.4' E 8 m
1958	Wisconsin	Gravimeter	978 9735	Washington 980 II9	Taipei Internat. Airport 25 04.5' N 12I 32.8' E 2I'

Hong Kong

1903	Shinjo a.o.	Pend.	978 771	Tokyo 979 801	22 18.2' N II4 10.5' E 33 m
1911	Borrass	(adjusted)			
1951	Wisconsin	Worden gravimeter	978 7730	Washington 980 II9	Kawloon, Kai Tak airp. 22 20.5' N II4 12.5' E I5'
1958	"	Gulf Pend.	978 7668	"	U.S.Consulate Bldg. 22 16' N II4 II' E

Bangkok

1938-9	?	Cambridge	978 3I30 Pend.	Survey Dept. I3 45'06" N I00 29'40" E 3.4m
I951	Wisconsin	Gravimeter	978 3297	Don Muang Airp. I3 54.7' N I00 36.5' E I2'
I958				
I959				

Songkhla

1939	?	Cambridge	978 I400 Pend.	Wat Saket 7 I2'17" I00 35'43" 4.6m
------	---	-----------	-------------------	---

Kuala Lumpur

J.A.R.E.	Worden gravimeter	978 0478	Singapore 978 0820	Air port 3 07' I01 42' II0'
----------	----------------------	----------	-----------------------	--------------------------------------

Manila

I954	Wisconsin	Gulf Pend.	978 3965	Washington 980 II9	Uark AFB I5 II.0' N I20 32.9' E I70.4m
"		Gravimeter	978 3767	"	Manila Int. Airp. I4 3I.5' N I2I 00.5' E 67'

Djakarta

Wisconsin	Gravimeter	978 I644	Washington 980 II9	Kemajoran Airp. 06 09.3'S I06 50.9'E I6'
-----------	------------	----------	-----------------------	---

Darwin

I956-7	Wisconsin	Gulf Pend.	978 3I45	I2 20' S
I958	"	"		I30 50' E
I958	Cambridge	Camb. Pend.		22.7 m

Sydney

I947-8	Cambridge	Camb. Pend.	979 6860	33 53.4' S
I956-7	Wisconsin	Gulf Pend.		I5I II.4' E
I958	"	"		29.6 m

ANNEXE IV - Mesures de pesanteur en mer

IVa

Summary of

"Report on gravity measurements at sea"

by J.L. WORZEL

and

Additional Information

This report covers the gravity measurements at sea since the IUGG meeting in Helsinki in 1960, which have come to the attention of the writer either by publication or by personal correspondence. Persons believed to have pertinent information for this report were contacted by mail to enquire for additional information. In most cases helpful answers were obtained and the writer wishes to thank all contributors for their help. In a few cases no answers were received and it is hoped that these will represent the only omissions, if any, in this report.

Dr.BAGLIETTO reports that BAGLIETTO, CERRATO and MASCIOTRA has started a program of sea bottom gravimeter measurements in the Golfo Nuevo. Four stations were observed, before a breakdown of the ship caused the program to be interrupted. It is planned to compare the bottom gravimeter values with those obtained by M.EWING on Vema cruise I8.

Dr.BOULANGER reports that he intends to present a report personally at Paris of the sea gravimetry work of the Soviet Union.

Dr.BROWNE reports that BOTT has made 9 observations off the North-East coast of England, 119 observations in the northern part of the Irish Sea, 9 observations in the southern Irish Sea and 20 observations off the coast of Southwest England with an underwater gravimeter.

Late in 1960 tests were made with the Askania sea gravimeter GSS2-II on HMS Discovery II from Plymouth, England to the central valley of the Mid-Atlantic Ridge at $28^{\circ}20'W$, $45^{\circ}30'W$ and to St.Nazaire, France. Between October 1961 and May 1962 this meter was used on HMS Owen and observations were made from Davenport to Gibraltar, Malta, Cyprus, Port Said, Suez, Aden, and Mombasa and return to England. Some data were missed due to gyroscope failure, checking and calibration of the meter, stable platform amplifier failure, and gravimeter lamp failure. A detailed line from Eddystone Rock to 17 miles west of Ushant has been repeated 5 and 1/2 times so that this line can be used as a check on seagoing gravimeters. Port observations were made at Plymouth, St.Nazaire, Gibraltar, Malta, Aden, Mombasa, Port Victoria (Seychelles),

Bombay, Karachi, and these are all connected to the international network. Single observations have been made on Haycock Island (Southern Red Sea), and Bird, Denis, Tromelin and Agalegas islands in the Indian Ocean. Local surveys were made on Aldabra, Addu Atoll, Mahe, Praslin and Mauritius. British future plans include observations on H.M.S. Owen September 1962 to May 1963 in the Arabian Sea and in transit, and on H.M.S. Vidal in the 1963 crossings of the North Atlantic Ocean.

Dr. CAPUTO reports from the University of California that the interims reports on U.S.S. Gear along the West Coast of the United States, on U.S.S. Rexburg in the Santa Barbara Channel, the 37,000 mile cruise across the Pacific Ocean and the Indian Ocean on the Monsoon Expedition and the 12,000 mile cruise over the Pacific and Indian Ocean in 1962 have been issued or are in preparations. Port connections have been made to San Diego, Honolulu, Cairns and Darwin (Australia), Jakarta, Port Louis (Mauritius), Fremantle, Hobart, Papeete, San Diego, Manila, Jesselton (Borneo) Singapore and Mombasa.

Dr. COLLETTE reports that his towed gravimeter measuring the parabola of the surface of a rotating liquid has so far met with failure. He is now considering other types of meters towed in a fish.

Additional Information by Dr. E.J. COLLETTE

"My experiments were made with a paravane, towed behind a mine sweeper in the Gulf of Biscay, fall 1959. The acceleration of the paravane were of the same order of magnitude as those of a submerged submarine. With the gravity meter (rotating liquid principle) designed for use in the "fish" I experienced considerable technical difficulties. But with a new device involving the use of an elastic spring and again using the centrifugal force counterbalancing gravity, I have much better results (sensitivity 1,5 micron displacement for 1 mgal). If however, in the further developments of this gravity meter again unsurmountable difficulties might arise, the experiments at sea will be continued with an Askania sea gravity meter adapted for use in the "fish"."

Dr. MORELLI will make his report verbally at the Paris meeting.

Dr. SCHULZE has reported on a new servo control for the Askania sea gravimeter :

Additional Information by Dr. R. SCHULZE

"The Askania Sea gravimeter GSS 2 after GRAF has been improved constantly during the past years so that it provides good results even when the state of the sea is bad. The most important improvements of recent times, the automatic resetting device, were briefly summarized (for a detailed report, see the Journal of Geophysical Research, august 1962). Some technical improvements which are

* see following Additional Note by L.B. SLICHTER

provided in future models were mentioned".

Dr.TSUBOI reports that in 1961 the Japanese have made observations across the Island Margin south of Honshu and in 1962 a detailed survey south of Tokyo Bay. This work will be elaborated by Dr.T.OKUDA, at the Paris meeting.

Additional Information by Prof. T.OKUDA

"Two types of sea gravity meters were designed and constructed for the purpose of gravity measurements on surface ships. One is called "Tokyo surface ship gravity meter" which was designed by C.TSUBOI's group of Tokyo University. An essential part of the meter is like that of dynamic gravity meter designed by Gilbert which has a vibrating string as a detector for gravity change. This dynamic gravity meter is mounted directly on the gimbal which is stabilized by a vertical gyroscope and is kept vertical. Vibrations in the vertical acceleration are converted to frequency variations through the meter and are digitally recorded on punched tape. This record is applied to a digital computer and all kind of disturbing accelerations caused by ocean waves will be diminished and differences in gravity can be detected.

"Experiment measurements in the sea near Japan show that this meter is usable for gravity survey on surface ships.

"A new series of observations in the vicinity of the country was made in June 1962.

"The other type is designed by I.TSUBOKAWA and others of G.S.I. This is a gravimeter which uses three strings suspending one weight, intersecting at right angle to one another.

"Figures of essential parts and photographic view of entire body of both gravimeters were shown."

The Texas A & M Group under Dr.DEHLINGER* have made extensive tests of the LaCoste Romberg sea gravimeter which are published or are in the process of being published. They have also made extensive measurements in the Gulf of Mexico and these are also in press.

*References :

- T.D.ALLAN, P.DEHLINGER, C.GANTAR, J.C.HARRISON, C.MORELLI & M.PISANI - Comparisons of Graf-Askania and LaCoste Romberg Surface-ship gravity Meters on the R.V.Aragonese - Journ. Geoph. Res., (in press).
- P.DEHLINGER & S.H.YUNGUL - Experimental determination of the reliability of LaCoste-Romberg surface ship gravity meter S-9 - Journ. Geoph. Res., vol.67, p.000-000, 1962.
- J.L.WORZEL & P.DEHLINGER - Comparison of Graf and LaCoste Romber sea gravimeters, m (in press), 1962.

Dr.WORZEL reports that in 1960-61 observations were made on Vema cruise I7 from New York to Puerto Rico, Key West, Galveston, Panama, Cape Horn, Buenos Aires, Dakar, Halifax, Davis Straits, to New York with an Askania GSS2 gravimeter. A Number of zero shifts occurred with this meter which may make some of this data difficult or impossible to use. Observations were made about 80% of the time on this 40,000 mile cruise. In 1961 and still in progress in 1962 observations are being made on Vema cruise I8 from New York to San Juan, Recife, Buenos Aires, Capetown, Port Louis (Mauritius), Fremantle (Australia), Wellington and Samoa. It is planned to continue observations from Samoa to Papeete (Tahiti) Callao (Peru) Canal Zone, Nassau, Bermuda to New York. Observations have been made about 90% of the time thus far on the cruise. The new Askania Servo system has been tried on this cruise. Electronic failures have prevented any success thus far. No zero shifts have been observed so far with this meter. Acceleration measurements have been made on both R.V.Vema and the Compass Island. So far, no correlation has been observed between the heave and the surge which suggests that the theoretical analysis of LaCoste and Harrison is not directly applicable to actual sea observation. The Lamont group has started a computing and testing program to determine the effects that accelerations actually occurring at sea can be expected to have on gravimeters on stable platforms.

Additional Information by Mr.D.A.RICE

"Sea gravity measurements were begun by the C&GS in April 1961, when LaCoste-Romberg meter S 11 was installed on the C&GS oceanographic ship Pioneer. Until October, 1961, observations were taken along oceanographic tracks in the northern Pacific and across the Aleutian Trench. After the first two months of operations a study of the results indicated that long-period horizontal accelerations were not being fully compensated under some sea conditions. Supplementary filters, with a cutoff period of 10 seconds, and recorders were then added, to permit a better evaluation of the magnitudes and periods of these accelerations. At the end of the season the response characteristics of the horizontal accelerometers were determined by laboratory tests. Although it was not possible to analyse the data fully, due to the complex nature of the vibration spectrum, it was concluded that a bias of as much as ± 10 milligals could exist as a result of uncorrected Browne accelerations.

"A second LaCoste-Romberg sea meter (S-I2) was installed on the C&GS ship Surveyor at the beginning of the 1962 season. Whereas the S-11 meter was equipped in 1961 with accelerometers having a period of 78 seconds, both meters now have accelerometers with 2-minute periods to provide better correction for the long period horizontal vibrations.

"To evaluate performance of surface ship gravity meters under actual sea conditions, a gravity test area was surveyed in May 1962 out to the 60-fathom curve off Sans Francisco, California. A total of 118 gravity stations were established at a spacing of 3 miles. Observations were made from the C&GS ship Bowie with a LaCoste-Romber underwater meter furnished by the U.S. Navy Hydrographic Office".

Charts and data for the U.S. gravity base stations in harbours have been sent to the I.G.B. by Prof.WORZEL and they are at the disposal of interested people.

-:-:-:-

IVb

Note presented by L.B.SLICHTER, UCLA

I - List of gravity surveys at sea

- 1) Gravity measurements in the Gulf of California, 1959 - Interim report by J.C.HARRISON and F.N.SPIESS.
32 crossings of Gulf - 2078 gravity stations at 2 mile intervals in Gulf and near mouth of Gulf. Port connections : San Diego (California) and Mazatlan, La Paz, Guaymas, San Felipe (Mexico).
Free air and Bouguer anomalies.
- 2) Gravity measurements in the Northern Continental Borderland Area off Southern California, 1958-59 - Interim report by J.C.HARRISON.
Area lies between 32° and 34° N and 117° and 120° W ; 977 gravity values at 2 mile intervals relatively evenly spaced east of 119° W ; few measurements SW of 119° W, 33° N. Port connections : Long Beach (California).
Free air and Bouguer anomalies.
- 3) Gravity measurements in the Southern Continental Borderland West of Baja California, 1959 - Interim report by J.C.HARRISON.
Area lies between 28° and $32^{\circ}30'$ N and $114^{\circ}30'$ and $119^{\circ}30'$ W ; 1609 gravity values at 2 mile intervals, about 2/3 rds. of them north of $30^{\circ}30'$ N.
Port connections : San Diego (California).
Free air anomalies.
- 4) Gravity measurements on the Cruise of the USS Gear, 1961 - Interim report by C.E.CORBATO and M.D.HELPFER.
Additional measurements in Northern Borderland area $32^{\circ}30'$, $34^{\circ}30'$ N, $121^{\circ}30'$, 118° W but with two extensions beyond the continental slope ; 495 measurements at 2 mile intervals. Port connections : San Pedro (Calif.).
Free air and Bouguer anomalies.
- 5) Gravity Survey of the Santa Barbara Channel (California) with the USS Rexburg, 1962 - Interim report by M.D.HELPFER, R.Von HUENE and M.CAPUTO.
458 gravity measurements : 118 on the way to the Channel from San Diego at 2 mile intervals and 340 in the Santa Barbara Channel 13 N-S lines, 4 EW. Port connections : San Diego (California).
Free air and Bouguer anomalies.
- 6) Gravity measurements across the Pacific and Indian Oceans (Monsoon Expedition) 1960 - Interim report by M.D.HELPFER, M.CAPUTO and J.C.HARRISON (in preparation).
37,000 mile cruise with 6300 gravity measurements in portions at 2 mile intervals across the Pacific Ocean and the Indian Ocean. Port connections:

San Diego (California), Honolulu (Hawaii), Cairns and Darwin (Australia), Jakarta (Indonesia), Port Louis (Mauritius), Fremantle and Hobart (Australia), Papeete (Tahiti), San Diego (California).
Free air anomalies.

- 7) Gravity measurements over the Pacific Ocean and the Indian Ocean during 1962 - Interim report by M.D.HELPER, C.L.HAGER and M.CAPUTO (in preparation).

12,000 mile cruise with 3500 measurements at 2 mile intervals. Port connections : San Diego (California), Manila (Philippines), Jesselton (Borneo), Singapore, and Mombasa (Kenya).

Free air anomalies.

The instrument used in these surveys is the LaCoste and Romberg.

II - Accuracy of gravity measurements at Sea
made by the Institute of Geophysics in
the Continental Borderland Area off Southern California.

Gravity measurements from different cruises in the continental borderland area off southern California have been compared to determine if the measurements have been consistent. The Butternut, Gear and Rexburg cruises provide a number of crossings of their own tracks plus a number of crossings of each of the other tracks where gravity values may be compared. A two and one half year span of meter development is covered in these cruises. The U.S.S.Butternut, a 700 ton U.S.Navy net tender was used for a survey in November 1959, the U.S.S.Gear (1897 tons, 207 feet long) was used for a gravity survey in October 1961 and the U.S.S.Rexburg (850 tons, 181 feet long) was used for a survey in March 1962.

On each of these surveys gravity measurements were computed at twelve minute intervals with the gravity value assigned to the midpoint of the distance traversed in the twelve minute interval. Usually these values did not lie on track crossings so that it was necessary to interpolate between two values to determine the value of gravity on each track at the crossing point. Where gravity gradients are steep this may introduce some error but probably not enough to effect the overall results.

The internal accuracy of each cruise was found to be consistently good. About 80% of the crossings on each cruise had differences of 5 milligals or less, or about of the order of accuracy that might be expected from errors in navigation. The mean difference at crossings was 4.1 milligals for the Gear and Butternut cruises and 3.0 milligals for the Rexburg cruise. Navigation errors are known to be present and one showed the amount of improvement that could be expected in internal accuracy if a one quarter mile adjustment of track is allowed. In this case 90% of all crossings would differ by 5 milligals or less. Navigation errors will also effect the computed Eötvös correction so that it would probably not be possible to expect better results than those

found without a more accurate system of navigation.

It is shown that when one cruise is compared with another cruise the results were not as good. The mean of the absolute differences between the Butternut and the Gear was 6.0 milligals, between Butternut and Rexburg 6.2 milligals and between Rexburg and Gear 5.0 milligals. Taking signs into consideration the Gear averaged 2.8 milligals higher than the Butternut and 1.7 milligals higher than the Rexburg, Rexburg values were 0.8 milligals higher than Butternut values. The difference between the Gear and the Butternut is very nearly equal to the sum of the differences between the Gear and the Rexburg and the Rexburg and the Butternut. It appears then, that there is a small consistent error between surveys and that they are caused by the instrument. These small differences are attributed to modifications of the instrument intended to improve its accuracy and to allow it to be operated in rougher sea conditions. The larger differences between surveys are mainly due to naviagion errors, in fact a comparison of depths at track crossings showed a smaller average discrepancy within surveys than between surveys, which indicates that navigation errors are larger between surveys than within surveys.

-:-:-:-:-

IVc

Stabilized Platform deviation influencing gravity measurements with the Graf-Askania meter

by H.KARNICK

The Askania Sea Gravimeter Gss 2 after GRAF is at sea commonly operated in horizontally levelled position which is achieved by the Anschuetz Stabilized Platform. The quality of the levelling should be sufficient to keep the gravity errors due to levelling errors small compared with the unavoidable gravity errors due to other influences.

The platform of the stabilizing equipment being slaved by a vertical gyro via servo system, there are, independent on each other, long term platform deviations due to gyro deviations, and short term platform deviations due to servo errors.

Gyro deviations occur

- as steady inclination of $6' \cdot \cos\varphi \pm 2,5'$ (φ = altitude) to West arising from Earth rotation,
- as transients of few minutes' duration with alteration of course and speed, and
- as nearly constant deviations with heavy sea motions - especially long oceanic swell.

The gyro attitude can be observed by viscous liquid levels mounted on the gravimeter, and deviations can be compensated by manually actuating an electrical adjusting unit. As gravimetric measurements arecarried out at constant course and speed, in practice manual adjustment is to be done only a few minutes after

every course alteration in order to compensate for the earth rotation and in certain intervals with especially rough sea conditions.

The servo deviations are exactly correlated to the angular roll respective pitch motions. In each axis they consist of one component due to angular acceleration of motor plus gear in antiphase to the heeling motion and of one component in quadrature to the heeling motion due to gear friction. The maximum gravity error caused by this servo deviation with horizontal acceleration amplitudes of 50,000 mgal is less than 4 mgal. Corrections for this error can be gained by measuring simultaneously horizontal acceleration and servo deviation, the latter being possible through a special measuring output of the servo amplifier.

Current simultaneous compensation for both cross coupling and platform deviation error is suggested to be carried out by continuously automatically solving the correction equation using the instant values of horizontal acceleration, vertical speed (gained by integration of vertical accelerations) and platform servo error.

-:-:-:-:-:-

ANNEXE V - Mesures de pesanteur en avion

Summary of

Preliminary report on airborne gravity
meter tests at Edwards AFB in April 1960

by L.G.D.THOMPSON

From January 1960 to May 1960, tests of the GRD prototype Airborne Gravity Meter were made in an RC-130 in a joint effort of AFCRL and the 1370th PMW. Although many other flights were made during this time period, this preliminary report deals only with the results of thirty-two successful flights made at Edwards AFB in April 1960....

Gravity Meter :

The gravity meter used was the LaCoste and Romberg Prototype Airborne Gravity Meter developed for AFCRL. This meter was first flown successfully in an RC-130 in January 1960 in preliminary tests. Additional work on the meter was performed by the contractor in February 1960 and also some structural modifications were made by the Airborne Research Engineering Branch at Hanscom Field. In March 1960, the gravity meter was put on the RC-130 and the tests at Edwards AFB followed. The gravity meter itself was placed on the center line of the deck of the aircraft under the wing, below the center of gravity. The electronic rack was mounted behind the gravity meter on a shock-mounted plate.

Navigation :

Aerial photography was used to determine the aircraft ground speed and heading. An Air Profile Recorder was used to determine the aircraft height above mean sea level. All flights were made over the Askania Photo-Theodolite Tracking Range at Edwards AFB to provide an accurate check on this navigation data.

Flight test program :

The test program consisted of making repeated flights over the tracking range over the same E-W flight line at the same speed, at different speeds, and at different elevations (7,000 ft., 14,000 ft., 23,000 ft. and 30,000 ft.) In addition, flights were made on eight different headings of a compass rose (N-S, E-W, diagonals) at 23,000 ft. The mean E-W flight line was north of Edwards AFB. Except for the compass rose flights, all flights at different

altitudes and speeds were made very close to this line. All flights did not necessarily complete the entire length of this line but covered different portions of it. The prime objective was to get measurements between 117°W and 118°W longitude where the Askania Range could track the aircraft. It was very difficult to intersect these compass rose flights at one point so the general center of intersection is poorly defined and is south of the E-W line.

Reduction of data :

The reduction of ground speed and heading from aerial photography, the reduction of mean sea level elevations from the APR data, and the computation of the Eötvös corrections were performed by ACIC. The ground speed, heading, and Eötvös corrections were computed between consecutive photographs. Since the time interval between photos was only about thirty-six seconds, considerable scatter existed in the data points (as illustrated in the ground speed curve of hereafter Figure) therefore, they were averaged over two minute intervals. These two minute averages were then plotted and smooth curves drawn for ground speed, heading and Eötvös correction. Sample curves are shown in the Figure. From these smooth curves the average values for two minute intervals were determined and used for the further reduction of the gravity data.

The mean sea level elevation of the aircraft was determined using APR records and vertical photographs. The APR was modified so that one pen gave the deviation of the aircraft from a reference pressure altitude*. Using identifiable ground reference elevations from the photographs and the radar height of the aircraft, the mean sea level elevation was determined almost continuously along the flight lines.

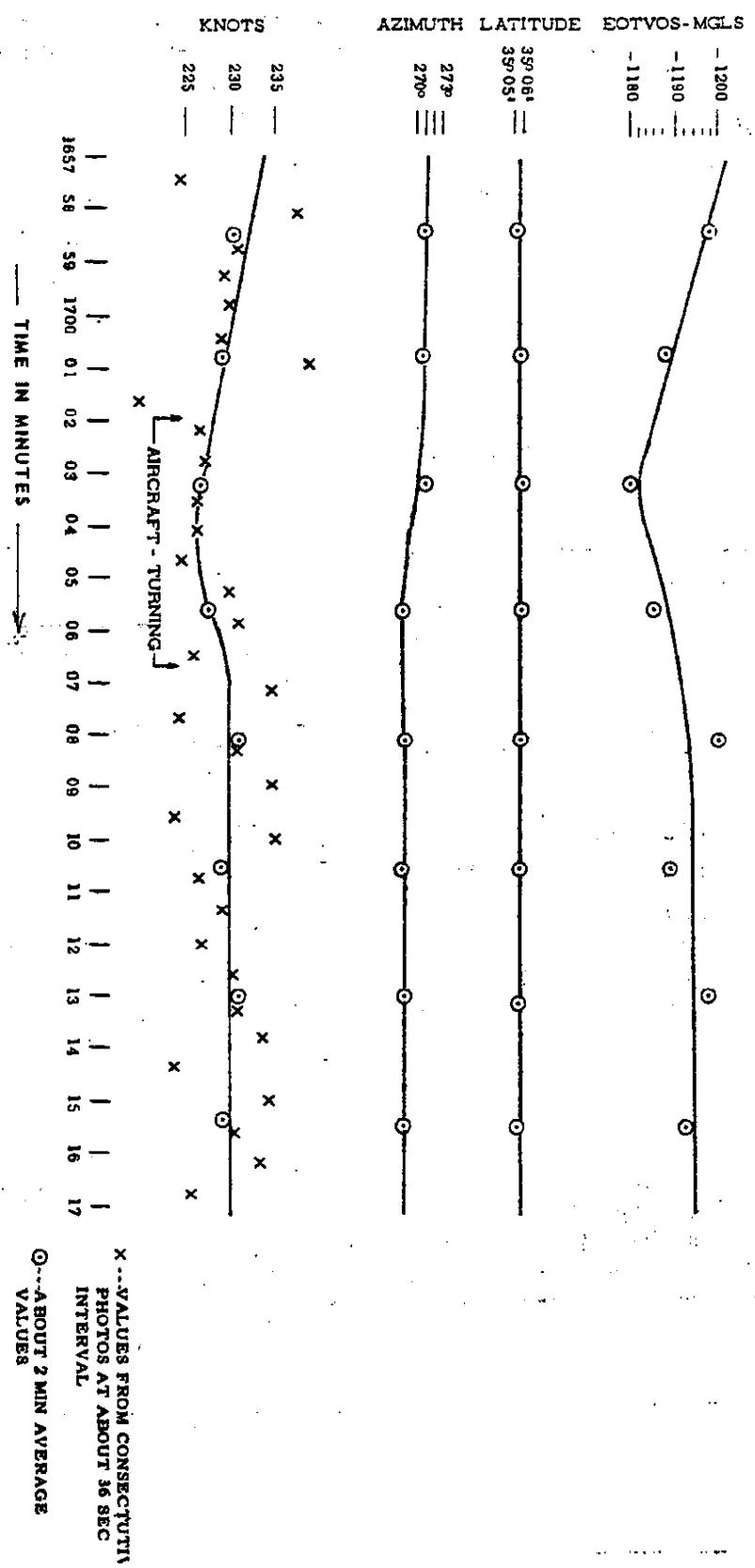
Ground speeds and aircraft elevations were also obtained from the Askania Tracking Range. These data were reduced by the Data Reduction Center at Edwards AFB. Askania data were available for only a short portion of each flight line, but in most cases provided a good check on the elevation and ground speed determined by aerial photography.

... Since the recorded gravity measuring trace still had noticeable oscillations in it caused by large aircraft accelerations, the record was processed in reverse direction through an averager which was the same as the one in the gravity meter itself. This further smoothed the record and eliminated the time delay created by the first averaging circuit. No correction for vertical accelerations was made since the APR showed that the aircraft altitude was maintained very constant, usually within plus or minus 5 ft., and changed only very slowly. By simply taking ordinates at each minute from the doubly smoothed gravity trace, average gravity meter readings for two minute intervals were computed. Applying Eötvös and elevation corrections and relating the resultant values to the known reference gravity value on the ground gave the true observed gravity values along the flight line for two minute intervals. Since these values showed considerable variation due to disturbing aircraft accelerations, five were averaged together to give six minute average values. These were considered to be more representative values since the aircraft accelerations were of very long period (6-8 minutes)...

*The other pen gave the radar height of the aircraft above the ground.

NAVIGATION DATA AND EOTVOS CORRECTION

RUN 1 WEST 18 APRIL 1960 EDWARDS AFB CALIFORNIA



Air Profile recorder results :

The success of the method of using the Air Profile Recorder to determine the aircraft elevation above mean sea level is illustrated in the following Table. Since the elevation of the ground control points was seldom more accurate than ± 10 ft., and the measuring accuracy of the APR was about ± 5 ft., the possible error of the APR results is considered to be about ± 15 ft. Comparisons with the Askania elevations are usually within this accuracy. It is also seen in the Table that the ground speeds by aerial photography compare very favorably with those determined by the Askania Tracking Range.

Table

A comparison of aircraft elevations determined by the Air Profile Recorder method and ground speeds determined by aerial photography with those of the Askania Tracking Range

Date	Line	Track	Average MSL Elevation over Tracking Range (feet)		Average Ground Speed over Tracking Range (knots)	
			APR	Askania	Photography	Askania
11 April 1960	I	West	23425 (+5)	23415 (+15)	256 (+6)	256 (+1)
	3	West	23360 (-5)	23360 (-10)	250 (+3)	251 (-1)
13 April 1960	3	North-East	23820 (+5)	23825 (-5)	276 (+5)	276 (+1)
	4	South-West	23795 (+5)	23780 (-15)	292 (+8)	292 (-1)
18 April 1960	I	West	23855 (+5)	23850 (-10)	231 (+6)	231 (-1)
	2	East	23855 (-5)	23855 (-10)	286 (+10)	286 (+1)
	3	West	23825 (+5)	23830 (+5)	231 (+5)	230 (+1)
	4	East	23855 (+5)	23855 (+5)	287 (+3)	287 (+1)
	5	West	23815 (-5)	23820 (-10)	286 (+9)	286 (+1)

Note : The elevations are taken to the nearest 5 feet only since the elevation of the ground control points is seldom more accurate than ± 10 feet, and a possible error of ± 15 feet is considered realistic for the elevation determination. The figures in parentheses indicate the variation in the individual data points used in determining the average values, and not the possible error.

Gravity results :

Plots of the two minute average gravity values for all flights gave profiles which usually had undulations with periods of about 6 to 8 minutes. The amplitude in some cases was almost zero, in most cases was less than ± 25 mgal, and in a few cases was nearly ± 50 mgal. This indicated that the aircraft had a very long period motion that produced long period accelerations that varied from flight to flight. The gravity values would, therefore, be in error since the vertical component of acceleration would be included in the gravity value and the horizontal correction would be in error since the long period accelerations (say greater than one minute) are not detected and corrected for by the horizontal acceleration sensors. Therefore, an averaging time of at least six minutes is needed, as was used in the reduction of the observed gravity values.

The main portion of the base line was from 117°W to 118°W and required about ten minutes to fly over it. For a preliminary analysis it was therefore appropriate to take an average gravity value over this portion of the flight line, which represents the case of finding an average value for a $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ square...

The average values of observed gravity along this portion of the E-W base line for all flights at 30,000 ft., 23,000 ft., 14,000 ft., and 7,000 ft. are tabulated. For any one elevation the average values from flight to flight may about ± 20 mgal from the mean. This scatter in the results is what could be expected from errors in the simple analogue data reduction procedure that was used, the calibration factor of the gravity meter, the base reading, the Eotvos and elevation corrections, etc... No analysis for an additional correction for long period horizontal accelerations has been made and no attempt has been made to correlate or correct for the differences in average latitude of the flights.

... Some comparisons of the gravity values obtained in the approximate points of intersection have been made. It may be seen in one case that large differences appear to be between flights on different headings such as NE-NW and N-S, which indicates a likely error in the Eotvos correction due to an error in azimuth.

.....

Error analysis :

An estimate of the possible error in the gravity measurements is outlined in the following Table. This covers the major sources only since errors from other sources would be considerably smaller. The errors quoted, particularly for the gravity meter, are for a two minute averaging interval. For a six minute interval or the average of an entire flight line, the error would be reduced (say about one half). The total error in the gravity values is hard to assess. In the gravity meter, the error in the calibration factor and the base reading would give a complete shift in the measured gravity from line to line or day to day, whereas the other errors would be random, and would possibly average out. The long period vertical accelerations may or may not exist from line to line; and may or may not

average out over the 60 mile flight line. If present, they would give a large shift in the overall average gravity value. The variation of \pm 20 mgal in the average gravity values is a good indication of the capability of the overall gravity measuring system as it existed during these tests.

Table

Possible errors in observed gravity values from major sources

Gravity Meter

Calibration Factor (\pm 5% at 100 mgal/div./min.) \pm 5 mgal
 Slope Measurement of gravity trace (\pm 0.2 div.) \pm 10 mgal
 Base Reading \pm 5 mgal
 Horizontal Acceleration correction \pm 10 mgal
Total \pm 30 mgal
(based on 2 minute average value)

Navigation Data

Aircraft Stability

Long period Vertical accelerations (2 minutes).....+20 mgal
Very long period vertical accelerations (over 2 min.).....+100 mgal

Comparison of observed aerial gravity values and computed values :

The following table gives the comparison of applicable mean observed gravity values and computed profile values. The mean value at 23,000' for 10 E-W flights agrees with the computed value to 1 mgal. Including the mean of 4 intersecting flights still gives agreement to 2 mgal. At 30,000' only 6 flights were made and at the lower altitudes, only 3 flights each were made and these only covered the last quarter of the flight line, therefore, the results would be correspondingly less reliable. The mean observed gravity values for 7,000', 14,000' and 30,000' agree with the computed values to about 10 mgal.

Table
Comparison of mean observed gravity values along
the E-W flight line with the computed values

	Weighted Mean observed gravity mgal	Computed profile gravity mgal	Difference mgal
E-W flights at 7,000'	979 078	979 085	- 7
E-W flights at 14,000'	978 428	978 420	+ 8
E-W flights at 23,000'	977 581	977 580	+ 1
E-W flights at 30,000'	976 914	976 925	-II
Intersecting flights 23000'	977 585	977 580	+ 5
E-W flights plus intersecting flights 23,000'	977 582	977 580	+ 2

Conclusions :

1 - Adequate flight stability can be achieved in an RC-130 to permit aerial gravity measurements. The aircraft appears to have a motion which causes undesirable long-period accelerations, but this and other undesirable features can either be accommodated or eliminated in the future.

2 - The technique of using the Air Profile Recorder for determining the mean sea level elevation of the aircraft proved successful and adequate. An accuracy of $\pm 15'$ was achieved, of which $\pm 5'$ is attributed to the APR and $\pm 10'$ is attributed to the ground reference elevation.

3 - Aerial photography was adequate on these tests for determining the aircraft ground speed and heading, however, the reduction process is quite laborious and under less ideal conditions the ground speeds would have a much larger error. The chief difficulty with aerial photography is the lack of an accurate time reference for the photographs. This could be remedied in future work.

4 - The gravity meter proved to operate satisfactorily although it was deficient in many respects for operation under the conditions on the RC-130. The overall precision of the gravity meter on these tests was about \pm 30 mgal for a 2-minute interval, which is not as accurate as desired. The results of these tests have indicated certain modifications which can be made to achieve a much higher precision and reliability.

5 - In view of the large errors introduced by the gravity meter, the navigation data and the flight stability of the aircraft, and since this was only a preliminary analysis of the data, only the average gravity values over a 60 mile flight line have been considered. For the most part, these values appear to be accurate to about \pm 20 mgal based on the variation from the mean and the average of several flights is accurate to \pm 10 mgal or better. These results show that measuring values over $1^\circ \times 1^\circ$ squares is a logical first approach for the application of gravity measurements rather than profiles.

6 - The mean observed gravity along the E-W base line at 23,000 ft. agreed with the computed value to \pm 1 mgal. At 7,000 ft., 14,000 ft., and 30,000 ft. the agreement was of the order of \pm 10 mgal. The close agreement at 23,000 ft. was achieved by averaging the values from many flights since the value from any one flight could be in error by \pm 20 mgal. The larger differences at the other elevations can be attributed to larger errors arising from long-period accelerations and the fact that fewer flight lines were flown.

7 - In as much as gravity is essentially constant over the E-W flight line from 117°W to 118°W at 23,000' (as indicated by the computed gravity profile), the results of 15 flights along this line are available, and there is excellent agreement between the observed and computed values, a good aerial gravity reference flight or base line has been established. Based on existing data, the mean gravity value along this line may be considered to be 977 580 \pm 10 mgal.

-:-:-:-:-:-:-

ANNEXE VI - Emploi des Anomalies de pesanteur en Géodésie

Report on Use of Gravity anomalies for
the solution of the fundamental problem of Geodesy

by E.TENGSTRÖM

The fundamental problem of Geodesy is to determine the figure of the Earth and its external potential of gravitation. This problem may be uniquely solved if the following measurements are available :

- I) Those of a) absolute gravity and b) its direction in the equatorial coordinatsystem (astronomical latitude- and longitude values) along the Earth's surface.
- II) Those of distances a) between points at the surface b) along plumblines near the surface.
- III) Angle measurements.

I a) Together with II b) give gravity-potential differences ΔW between points at the surface (Nivellement). The problem of finding the shape of the surface and its exterior gravitational potential from the distribution of ΔW with respect to the Geoid and its derivatives along the plumblines together with a scalefactor is an implicit Cauchy-problem, and has consequently to be solved numerically by successive approximations.

If we consider the facts, that our Earth is subject to small variations in shape at any time, I mean such variations, which cannot be eliminated by referring to a certain Epoch, the ultimate degree of numerical approximation in the theoretical solution above need probably never be higher than that defined by the accuracy of Stokes. This means, that the geocentric coordinates r and coordinate-differences Δr along the Earth's surface must not be calculated more exactly than, say, to within $5 \cdot 10^{-7}$ of $|r|$ and $|\Delta r|$ respectively. The corresponding accuracy in absolute spacial gravitation would be of the order $\pm 0,5$ mgal.

Bearing this in mind, and, remembering that our colleagues during the elapsed centuries through hard and good work have already provided a model of our Earth and its gravity field which represents the real Earth to within $\sim 10^{-5}$, it is easy to understand that the acceptable definitive numerical solution is not very far away. In fact the present internationally accepted model consists of an Ellipsoid of revolution with the flattening value $1/297$, an Equator radius of 6378388 m (International Ellipsoid), describing the Geoid and a "normal" gravity distribution γ in space, which corresponds to the International gravity formula γ_0 . Equator gravity γ_a corrected for a possible

error in the Potsdam value.

The topography is then defined by the normal heights

$$H = - \frac{\Delta w}{\gamma_m}$$

and the gravity in space by $\gamma_0 + \int \frac{\partial \gamma}{\partial H} dH$. The angular positions of the surface-points are given as ellipsoidal latitudes φ_e and longitudes λ_e , calculated from adjustments of astronomical observations and triangulations in the conventional manner. Local gravity values near the Earth's surface may of course differ more than 10 mgal from the normal values above, but as a whole the gravitational field outside the Earth will certainly be correct to within the aforesaid accuracy.

Thus, in order to take advantage of results, already achieved, we may proceed in solving our numerical problem to the accuracy of Stokes, in the following way : We take the s.c. Theoretical Earth $\alpha = 1/297$ as a comparative Model of the Geoid (same volume), containing the same mass as does the real Earth and with the same rotational properties. Using the Equatorial radius of the International Ellipsoid as an approximation of the Equatorial radius of the Theoretical Earth the error committed by calculating from completely covering gravity measurements along the Earth surface the normal gravity γ at any spherop should certainly be negligible. The value of γ at the Equator can be computed from the necessary condition

$$\int_{\omega} \Delta g d\omega = \int_{\omega} (g - \gamma) d\omega = 0 \quad (I)$$

ω : unit sphere,

where g is measured gravity, γ the normal value at spherop with the same potential. $\Delta g_F = g - \gamma$ is denoted true free air anomaly. It can always be calculated by means of γ_0 at the surface of the Theoretical Earth and the normal height H , which are also sufficiently exact for the purpose. - With the present knowledge of the order of error, committed by considering E.D. and its connections as an absolute angular orientation, the error in computing γ by the use of E.D. latitudes instead of absolute ones, might certainly be ignored. Even for sea-gravity, where the location often is uncertain with 0,5 km or more, the error in γ may be neglected.

The above mentioned anomalies can now be utilized to determine - with accepted accuracy - the figure of the Earth's surface and the external gravitational potential, in the following way without making any gravity reductions : From Molodenskij's integral equation

$$2\pi \varphi_0 \cos \alpha_0 = \Delta g_{F_0} + \frac{3}{2R} \int_F \frac{\varphi dF}{A_F} + \int_F \frac{H_n - H_n^o}{\Delta^3} \varphi dF \quad (2)$$

where φ is the single layer density of the harmonic disturbing potential

$$T = \int_F \frac{\varphi dF}{\Delta}$$

F the Earth's surface, R mean radius of the Geoid (sufficiently exact : mean

radius of the International Ellipsoid) and Δ , Δ_F the distances from the point P in space or P_F at the surface, where T, resp. T_F is valid, to the integral element dF , we may by successive approximations calculate φ and consequently also T_F and T together with their directional derivatives (exterior mean curvature-anomalies and deflections).

With $N'_F + H^o$, where $N'_F = \frac{T_F}{G}$, H^o the normal height of P_F , we have a sufficiently accurate value of the length of the curved normal from the surface of the Theoretical Earth to P_F , and with ζ_F , η_F we obtain correctly absolute ellipsoidal latitudes and longitudes for the same point (to within accepted accuracy.)

To get the total external gravitational potential and the absolute values of the geocentric coordinates for the Earth's surface we must introduce a correct scalefactor or a correct value of the Equator-radius of the Theoretical Earth, that is, we must determine (a) from astro-geodetic work to within $5 \cdot 10^{-7}$. Distance measurements between points of the Earth's surface, the ellipsoidal latitudes, longitudes and normal lengths of which are now given, will solve the whole problem to aforesaid accuracy as soon as the gravity material is sufficient and the long distance measuring technique has been still more improved. Knowing (a) it is possible to compute the mass M of the Earth and the potential W_o of the Geoid to the accepted accuracy and we have besides the correct geocentric coordinates along the Earth's surface also the exterior total gravitational potential $V = U - \omega + T$, where U is the wellknown solution of Stokes' problem for the Theoretical Earth, ω the centrifugal potential for the point in space.

Several methods of solving numerically Molodenskijs integral equation have been proposed and used by the Russians long time now, and it has been demonstrated that there exist no very big difficulties from the practical point of view. Almost in all cases the second approximation, starting with Δg_F distributed along the mean sphere and computing new Δg from Malkin-Poissons integral along the real surface in empty space as a first approximation, will be sufficient for all future requirements.

Consequently the use of true free air anomalies (Δg_F) is the most logical and also rather practical way of solving the fundamental problem of Geodesy. The anomalies are easy to compute, no reductions are involved, and the anomaly-tables will be simple. This statement has of course nothing to do with the discussions about the most suitable anomalies as regards representativity for making interpolations and extrapolations from known to unknown areas, depending upon the sad fact, that our world gravity material is still very poor.

At the Symposium on gravity reductions in Cambridge, July 1961, it was pointed out, that several conventional anomalies (Rudzki-isostatic, Model Earth, etc) could be used for obtaining the same solution as described above. I think this is a very important statement, because it shows that the reductions, introduced by our ancestors are from theoretical point of view only a mathematical means, which simplifies the calculations so that we may use the conventional formulas of Stokes and Vening Meinesz for the main integrations. The correction to this result will be obtained by applying the reversed potential effect of restoring the topography. This potential effect is only attainable if the reductions are clearly defined. I myself am convinced, that the simplified Rudzki-anomalies, suggested in Cambridge, are most convenient for the purpose, because the reversed potential effect is very easy to compute and the

anomalies give at the same time directly the best picture of the Geoid, which is in fact identical with the surface of the Earth to about 70%. To this advertising for my own opinion I can add that the Rudzki-reduction also serves the purpose of obtaining a convenient means of handling both local and world-wide gravity surveys for geophysical interpretations.

I hope that this short review of the situation just now as regards the lines, along which we may walk to complete the invaluable work of our scientific friends from the past, that is to obtain an accuracy about 10 times as great as they faced for the solution of our main Geodetic problems, will be able to serve as a basis for discussion at this meeting. The principal questions to be touched and eventually solved are consequently the following :

- a) What is the most logical and practically most convenient way of solving our problem, full gravity information assumed ?
- b) What is the most practical way of making use of already existing data to obtain immediately the best available answer to our main questions : to find the figure of the Earth and its external gravitational field ?

It is a great pleasure to be able to present here several opinions about these matters in the shape of personal contributions from the most outstanding scientists in this field of Geodesy.

-:-:-:-:-:-:-:-:-

Reply to the paper of Dr. Tengström

by W.A. HEISKANEN

I wish to mention that the first item is a problem of the future, because it takes certainly several years before the big gaps in the earth's gravity anomaly field are filled. We have also to fix what we mean by full gravity information. Is the gravity coverage good, if the point density is 5', 10', 30', 1° and 5° etc.

On the continents, where it is relatively easy to make gravity observations, we have used in Columbus the mean anomalies of 5' x 5' squares as starting area. On basis of the gravity material of State of Ohio and Finland we have realized that in case we have one point respectively in every 5', 10', 20', 40' and 1° square, the statistical standard error of the mean anomalies of these squares would be 2.7, 5.0, 7.5, 8.7 and 10.0 mgal. If there is in the square n^2 gravity points reasonably distributed, the standard error would be n time smaller.

What reduction method do we have to use ? The gravity anomalies can either be reduced to the geoid or we use the observed gravity value at the physical earth's surface. In the first method we, so to say, transfer the observed gravity to the sea level and compare it with the theoretical gravity

there ; in the second method we compute the theoretical gravity at the observation point and compare it with the observed gravity there. Earlier, almost exclusively the former method was used. Now both methods have defenders and both of them will be applied. The Stokes integral and Vening Meinesz integrals can obviously best be applied at the geoid surface. However, the studies of the last years have shown that the comparison between the observed gravity and the normal gravity can be done also at the observation point itself. Papers of Molodenskij (and his group), Hirvonen, Arnold and Levallois have been most interesting.

How much the second method will be of benefit in practice depends on the topography around the observation points. As I have mentioned several times in the oceans, 70 per cent of the earth's surface, there is no difference because no reduction is needed ; in the flat lands, about 15 per cent of the whole surface, the improvement will be almost negligible ; but in the rough mountains the anomalies of both methods differ some milligals from one another. In these cases, however, the error brought about by the very scarce gravity material, rough topography, and lacking reliable maps can be 30 mgal and more.

In fact, both the classic method and the new method (Hirvonen), "computation of the anomalies at the physical earth's surface, are if used correctly, equally well suited so that the decision is partly a matter of personal reference. Not all of them, however, have been as yet worked out to their full logical and practical extend - a task for future work, so that definite final decision is not yet possible - nor necessary, for we are very far from complete gravity information all over the world" (Moritz).

The Institute of Geodesy, Photogrammetry and Cartography of the Ohio State University has during the last years paid much attention to the following - in our opinion most important subjects :

(1) The accuracy of the point gravity anomalies Δg and of the mean anomalies Δg_m of suitable size squares ($5' \times 5'$, $10' \times 10'$, $1^\circ \times 1^\circ$, $5^\circ \times 5^\circ$) (Hirvonen, Moritz, Uotila).

(2) The estimation or prediction of the Δg to the gravimetrically scarcely surveyed and/or unsurveyed areas including their investigation of the accuracy of the obtained values (Hirvonen, Uotila, Moritz, Rapp, Kivioja).

(3) Continuation of the gravity anomalies Δg_h upward to different elevations h and, if needed, downward from the airborne observation level to the earth's surface (Hirvonen, Moritz).

(4) The derivation of the best fitting gravity formulas and related quantities (Uotila).

(5) The adjustment of the gravity base stations of different countries to the world gravimetric system (Uotila, Kärki).

In the extension of the gravity anomaly to the unsurveyed areas and in the continuation of the gravity anomaly field upwards to different elevations and downwards from the level of the airborne observations to the earth's surface the isostatic anomalies yield most accurate results because they correspond closely the physical behaviour of the earth's crust and are most representative. In emergency case - if the isostatic anomalies do not exist - the free air anomalies with elevation correction are useful. In these cases we use the Bouguer anomalies in the interpolation and compute from them the free air anomalies.

Rather much has been discussed the correlation between the free air anomalies and elevation. As far as I know this relationship has been studied by Bonsdorff (1916), Bowie in some publications, Heikonen in several publications, Jeffreys (1930), Zhongolovitz, Tengström (1952) on basis of the Swedish material, and Hirvonen, Uotila and Moritz in worldwide scale.

We are now so far that we can compute the following quantities which determine the geometry and the gravity anomaly field and the equipotential surfaces at the earth's surface and above it even to the satellite heights. These quantities are the rectangular components R_x , R_y , R_z of the geocentric distance R of the point P, the components γ_x , γ_y , γ_z of the normal gravity γ , components f_x , f_y , f_z of the gravitation f (gravity + centrifugal force), the components Δg_x , Δg_y , Δg_z of the gravity anomalies Δg , and the elevation disturbances ζ .

All other or these quantities, except R and its components can be computed gravimetrically.

As to the resolution, geodesy is so dynamic, not static, that it is difficult to formulate resolutions which are good after one year. What is good today is no more good tomorrow. Best is to compare the score of different methods to find best and most economic way to solve different problems.

Most important is that the big gaps in the earth's gravity anomaly field can be filled.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

Remarks on the use of gravity anomalies for the
solution of the fundamental problem of Geodesy

8516

by K. ARNOLD

If the gravity field is known with sufficient precision all over the earth, every reduction-method should yield the same geodetic results, under the presupposition, that the gravity-anomalies have been used in the right way. This holds true in the case of using free air anomalies, isostatic ones, Rudzki-, model earth- or Bouguer anomalies.

Irrespective of geodetic applications of gravity anomalies, we never can evade the investigation of the isostatic anomalies for geophysical purposes. The use and investigation of the isostatic anomalies is very convenient, if not indispensable, in view of isostasy. For these applications, however it is indeed not necessary to have the field of the isostatic anomalies spread over the whole earth, the knowledge of them in the investigated area is sufficient.

Granting the field of the favoured system of anomalies to be known all over the earth, it is possible, to resolve the isostatic-geophysical problems and the geodetic problems uninfluenced by any hypothesis if basing on isostatic

anomalies. In case the values of the influences of isostatic mass-transportations on the geoid and on the deflections of the vertical are at hand as maps, then the use of the isostatic anomalies seems to be very convenient, both for geodetic and geophysical applications. Thus the ieostatic method seems to be rather economic.

However we must also take into account the practicality of geodetic methods. The methods of geodesy are those of step-to-step approximation.

Free air anomalies are computable in a much easier way than the isostatic anomalies. Free air anomalies are adequate for use also in the high mountains.

Hence, for the gravimetric development of any area, it seems to be convenient to begin with the establishment of a free air anomaly map, doing thus the first step for the geodetic gravimetric development. The first step for geophysical purposes might be a Bouguer map.

The next step would be the establishment of a map of isostatic anomalies, both for geodetic and geophysical purposes. If we should consider not the isostatic model earth in doing this next step, but any other model earth, than the study of isostasy seems to be handicapped and further calculations seem to be indispensable.

If the gravity anomalies all over the earth are not at hand, the isostatic anomalies seem to be favourable to geodetic purposes as against the free air anomalies in some cases. This holds true less because of the bad representativity of the free air anomalies, since this can be corrected taking into account the good correlation of free air anomaly with height : But it is important, that there is in unsurveyed areas a greater probability for the zero anomalies in the ieostatic case than in the free air or any other case.

Thus if gravity is not surveyed all over the earth, for the determination of the integral of Stokes the isostatic anomalies seem to be better.

In the case of the integral of Vening Meinesz the situation is somewhat different, because the near surroundings of the computation point have a greater relative influence or "weight". If up to 2000 km a good field of free air anomalies is available, the use of free air anomalies in the integral of Vening Meinesz seems to be not inconvenient, since the influence of the outer area is not great and can be evaluated on the basis of the mean values of the $10^\circ \times 10^\circ$ squares, which are known more or less approximately.

For the determination of an astronomic-gravimetric levelling, of gravimetric differences of neighbouring deflections of the vertical and for geoid-curvature determinations only a local gravity net is needed. In this case, the use of free air anomalies seems to be best.

Answering the two questions of the chairman, Prof.E.TENGSTRÖM, I whish to formulate the following summary :

a) \oint .Integral of Stokes :

Isostatic anomalies preferable (if reduction maps are available).

β .Integral of Vening Meinesz :

Isostatic anomalies (if reduction maps are at disposal) or free air anomalies are preferable ($\Delta g_p + G_h (\delta_x + \gamma_y)$)

\ Astronomic-gravimetric levelling, gravimetric interpolation of neighbouring deflections of the vertical, curvature of the goid :
Free air anomalies are preferable ($\Delta g_F + G_h (\xi_x + \gamma_y)$)

b) The same as figure a).

If the whole earth is covered by a sufficient quantity of gravity anomalies according to number a), and if the isostatic reductions and the effects of the isostatic masstransportations on the undulations and deflections are not yet mapped in an adequate way, free air anomalies might be preferable.

-:-:-:-:-:-:-:-

Proposal for the determination of representative gravity anomalies for hilly or mountainous areas.

by K. RAMSAYER

One of the main problems for the determination of the figure of the earth from gravity anomalies is to find representative values for these anomalies for defined areas. From the theoretical standpoint the Rudzki anomalies would be the best because they give the true geoid. With a certain approximation we can use free air anomalies too. Both anomalies have the disadvantage that they depend very much from the topography so that in hilly and especially in mountainous countries it is very difficult to find representative values.

This difficulty may be overcome in the following way : We measure in the respective area the gravity g at the surface of the earth and the height above sea-level at many points which are distributed about the area as symmetrically as possible. Then we determine empirically the dependence of g from the height H . For this purpose we approximate g by

$$g = \gamma_0 + \delta - \alpha \cdot H^\beta \quad (I)$$

where α , β and δ are constant coefficients for the whole area in question. γ_0 is the normal gravity in sea level. These coefficients may be determined by the method of least squares or graphically. In the latter case a double logarithmic grid is very convenient. A special case of this formula is the Bouguer reduction neglecting the topography

$$g = \gamma_0 + \delta - \alpha_B \cdot H \quad (2)$$

with $\alpha_B = (0,3086 - 0,04 \cdot 193^{\circ}) \frac{\text{mgal}}{\text{m}}$ (3)

where ${}^{\circ}$ means the density of the masses above the goid. I found that formula (I) represents the dependence of g from H better than formula (2). E.g. I found

for a levelling line in the Swiss Alps

$$\gamma_0 - g = 12,3 \cdot H^{0,50} \text{ (mgal)}, \quad (4)$$

whereby H is to take in meters. It is shown that the approximation is very good from $H = 250$ m up to $H = 2500$ m.

Now we plot on a map the lines of equal values of

$$g'_0 = g - \delta + \alpha \cdot H^{\beta} \quad (5)$$

An assistant of me has found in a dissertation, which will be published in the near future, that the construction of the lines of equal g'_0 values is possible without difficulties even in mountains like the Black Forest (Schwarzwald). The reason for this is that the influence of topography is approximately reduced to the topographical reduction. Such a g'_0 map is therefore a very good means to find the g value at the surface of the earth at any desired point with a good accuracy by a simple calculation, namely

$$g = g'_0 + \delta - \alpha \cdot H^{\beta} \quad (6)$$

where g'_0 represents the interpolated value of g'_0 at the point in question.

After this we can determine the mean gravity anomaly, For simplicity I will show it for the free air anomaly, which is given by the formula

$$\Delta g_F = g + 0,3086 H - \gamma_0 \quad (7)$$

With (5) we get

$$\Delta g_F = g'_0 + \delta - \alpha \cdot H^{\beta} + 0,3086 H - \gamma_0 \quad (8)$$

Hence the mean value for the area δ is given by

$$\overline{\Delta g_F} = \frac{1}{\delta} \int_{\delta} (g'_0 + \delta - \alpha \cdot H^{\beta} + 0,3086 H - \gamma_0) d\delta \quad (9)$$

If we set

$$\bar{g}'_0 = \frac{1}{\delta} \int_{\delta} g'_0 \cdot d\delta, \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{\delta} \int_{\delta} (-\alpha \cdot H^{\beta} + 0,3086 H) d\delta, \quad (11)$$

$$B = \frac{1}{\delta} \int_{\delta} \gamma_0 \cdot d\delta, \quad (12)$$

we get

$$\overline{\Delta g_F} = \bar{g}'_0 + A - B + \delta. \quad (13)$$

\bar{g}'_0 may be computed from the map with lines of equal g'_0 values. A may be computed from a map with lines of equal heights. The computation of B is no problem. I think that such a gravity anomaly is very good representative for the whole area δ .

The proposed procedure may be recommended for such areas where a dense network of gravity measurements is already available. E.g. in Germany such a network exists, the results of which are plotted in maps with the scale 1/200 000 representing lines of equal Bouguer anomalies. From these maps the

above mentioned g'_o maps could be derived without difficulties.

It is to hope that the proposal is also usable in such areas where only few gravity values are available. In this case we determine again the coefficients α , β and δ according to formula (I). Then we compute an approximate value of g'_o by the formula

$$\bar{g}'_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g'_{oi}$$

The determination of A and B is the same as before.

-:-:-:-:-:-:-

ANNEXE VII - Gradient vertical de la pesanteur

Summary of
Measurement and Geodetic Evaluation of
Vertical Gradients of Gravity
by H.BODEMULLER

Vertical and horizontal gradients of gravity can be determined with very precise gravimeters if all precautions and all known factors are regarded. On these suppositions the accuracy is less than ± 10 E or 0,0010 mgal/m. Considering the fact that especially above characteristic topographical forms the vertical gradient is not representative, it would be better to construct a special gradient meter. Horizontal gradients allow us to compute the curvature of the plumb-line going through the station, whilst vertical gradients give the mean curvature of the equipotential surface involving the station point. Horizontal and vertical gradients together give us the angle ξ between the surfaces $W = \text{const.}$ and $g = \text{const.}$ in the station.

If in the shorter environs of the station several points which form a regular or irregular net are fixed and if the coordinates and altitudes of the points as well as the orientation of the net with respect to North have been determined, with a gravity meter gravity in all fixed points and in points lying about 5 m vertically above the netpoints can be observed. With these measurements the principal curvatures and the azimuths of the curvature lines in the equipotential surface going through the station in this point can be determined. For this purpose the below and above observed values of gravity have to be reduced onto two horizontal planes running outside the earth and through the station as well as the chosen upper point. The reduction of gravity takes place with the observed mean gradient $\Delta g / \Delta h$.

Visible and invisible disturbing masses have a considerable influence on the vertical gradient. Thus the influence in the vertical direction changes the quicker, the smaller the disturbing bodies are. Not the form but the dimension of a topographic disturbing body determines the rapidity of the diminution of vertical gradients. When using gravity meters. it is, therefore, always advisable to measure the gravity in at least three points of a plumb-line in order to find out if gravity changes rather linearly with the altitude. It is advisable also to determine the altitude behaviour of gravity by means of a rational total function of the second order directly or by adjustment and to compute the vertical gradient for the lowest point, using the above question.

A special vertical gradient meter would allow us to determine this rather important field quantity in an economical way. But also a horizontal gradient meter would be necessary as we have seen above. For the measurements with a gravity meter, which gives us all data, a special apparatus and special measuring arrangements are necessary.

A hydraulic hoisting apparatus and a device for operating and reading of the gravity meter from the ground would probably be the best solution of this problem. But also with a large stand and a special ladder rather good results may be obtained in an economic way.

All applications of vertical and horizontal gradients of gravity in geodesy should be investigated very carefully because the significance of these measurements cannot yet be overlooked to its full extent.

-:-:-:-:-:-:-

ANNEXE VIII - Variation Séculaire de la pesanteur

The connection between the triaxiality of the Earth and the eccentricity of the geomagnetic field.

by G.BARTA

It is well known, that the geomagnetic field shows a permanent deformation, in so far as its centre does not coincide with the geometrical centre of the globe, but it has an eccentric site towards the direction of the Marshall-Islands. The amount of this eccentricity is far more greater, than the accuracy of the measurements and their processing, and it can be established not only on the basis of recent data, but also by using the coefficients of all the spherical functions calculated since Gauss ; moreover, it can be followed back to 1550 in some extrapolated systems of data. Therefore, its existence may be assumed as a firmly established fact of the physics of the Earth. But, if it is so, then a similar eccentricity must occur in the internal structure of the Earth, too.

It is interesting to note in this connection, that the direction of the eccentricity of the geomagnetic field/ in 1960, 32°W / coincides - within the limits of observational errors - with the direction of the equatorial greater axis of the "triaxial Earth". Calculations show easily, that if the inner core of 2500 km diameter and of 17,0 density is embedded eccentrically with 300 km in a surrounding outer core of 11,0 density, then the equatorial section of the goid will be elliptical with a difference of 175 m between the two axes, in full conformity with the geodetical information.

Recently the ellipticity of the equator was computed on the basis of the perturbations of the motion of the Vanguard II and Vanguard III satellites. (According to this determination at about the middle of 1960 the following values have been valid : $\lambda_0 = -33,15^{\circ} \pm 0,53^{\circ}$ $a - b = 205 \pm 18 \text{ m}$).

These values are in better agreement with those computed from the magnetic eccentricity, than the geodetical and gravitational data obtained before. The orbit of an artificial satellite is influenced by the integrated effect of the Earth's mass ; therefore, data obtained from its computation must be more accurate, than the gravitational or geodetical data founded on local measurements. Besides, the values obtained from the orbit of the satellites does not contain the secular change of the Earth's figure resulting from the shifting of the core either. Thus the investigation of the orbits of artificial satellites furnishes new and independent data for the support of the theory explained above.

The magnetic centre has been moving in the last century towards WNW with an annual speed of $0,2^\circ$. This seems to indicate, that the eccentricity be not related to the continental structure of the Earth, but it must be the effect of some factors having their seat deeply under the crust and mantle, that is in the core itself. The long-period character of the variation suggests a process of great inertia ; thus, we can assume, that we have to do with a shifting and slowly displacing of immense masses relatively to the surface. This displacement is brought about probably by the gravitational (tidal) effect exerted by the Moon and Sun upon the eccentric core.

In case of a movement of the inner core, the material of the outer core must show a divergence out of the point towards which the movement is directing. In fact, the vectors representing the magnetic secular variation show a symmetrical configuration around Pakistan as centre, when projected orthogonally. The magnetic variation-vectors of the observatories lying in the middle of the projectional figure are converging around Pakistan, those of the observatories on the margin of the figure are diverging.

In the series of data of the magnetic observatories on the northern hemisphere - having been in function for a sufficiently long interval - one can state the existence of a wave with a period of 50 years. From this it is obvious, that the magnetic secular variation, beside its features of local nature possesses some large scale characteristics affecting the whole of the Earth, too. A period of about 50 years presents itself also in the rotational speed of the Earth as well as in the amplitude of the latitude variation ; therefore one could suppose, that the magnetic secular variation is in connection with great mass movements, which may produce a change in the geoidal surface, too. Indeed, a certain large scale conformity can be discovered also in the observational series of mareograph-stations being situated in great distances one from another and the 50 years' period can be established in these series of data, too.

Basing on these considerations we might suppose, that the form of the Earth undergoes significant changes in time and the gravitational field might show a secular variation of some 10 mgal ordre of magnitude as a consequence of the changes experienced in the mass distribution of the Earth.

-:-:-

The core of the Earth was obviously formed around the point of maximum pressure, the site of which is largely dependent on the density conditions of the materials that the Earth is composed of. If we divide the Earth in two half-spheres, supposing that one of them is by 1/1000 denser, the other being thinner by the same amount, then the center of maximum pressure will be formed in a distance of 260 km from the geometrical centre, because of the density-difference supposed at. The equipotential level over the denser half-sphere will be lying higher, while it will be found in a smaller height over the thinner one ; as a consequence the difference in gravitational acceleration resulting from the density difference will vanish on the equipotential surface.

The inhomogeneity - of course - has its geological consequences, too. If the part of the crust and mantel underlying the Pacific is somewhat denser than the other materials of the Earth and if it is uniform, then it will be

acted upon uniformly by the displacement of the Earth's core. On the marginal places we get a breaking up and the well known pacific volcanic zone results. If the rotational speed of the Earth decreases, then this denser material protrudes in the direction of the rotation because of its inertia and it piles up the Cordilleras and Andes ; on the opposed side to the direction of the movement a drifting away is taking place from the back areas and the deep-sea-rifts will be formed on the shores of Asia.

The eccentrical core after being formed will shift slowly owing to the effect of tide generating forces. This motion will result in an ellipticity-change and in connection with it, in a change of the direction of the vertical, too.

Evidently, the supposition of a perfectly layered structure of the Earth could be maintained only owing to the lack of exact data concerning the deeper strata of the Earth. It seems to be sure that some sort of inhomogeneity must exist. For the explanation of the phenomena dealt with a rather small amount such as $1/1000$ - of density difference would be sufficient ; such an amount is insignificant when viewed at from the geological standpoint.

Thus it can be seen that the investigation of this group of phenomena may give an explanation for the internal structure of the Earth, for the energetic conditions of the system Earth-Sun-Moon, for some astronomical movements and geological problems, too.

-:-:-:-:-:-:-:-:-

The Potsdam "g"-value and the displacement of the Earth's core

by G.BARTA

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. The Table gives a review of such confrontations :

Datum	Acceleration as being measured reduced to Potsdam	Δg	Author
1936	$g_{\text{Washington}} - g_p$	= - 18 mgal	HYLE - COOK
1939	$g_{\text{Teddington}} - g_p$	= - 12,6 mgal	CLARK
1956	$g_{\text{Leningrad}} - g_p$	= - 10 mgal	AGALETSKI
1956	$g_{\text{Leningrad}} - g_p$	= - 13,1 mgal	AGALETSKI-JEGOROV
1957 58	$g_{\text{Paris}} - g_p$	= - 12,8 mgal	THULIN

Assuming that the inner core of the Earth (of a density of $\rho_1 = 17,0 \text{ gm/cm}^3$) is moving in the liquid state outer core ($\rho_2 = 11,0 \text{ gm/cm}^3$) with a speed corresponding to that of the magnetic center of the Earth as calculated on the base of spherical harmonic representations for the epochs 1885 (SCHMIDT), 1922 (DYSON-FURNER), 1945 (VESTINE-LANGE) and 1955 (FINCH-LEATON), respectively, we can compute easily the secular gravity variation due to this mass displacement for the various points of the Earth.

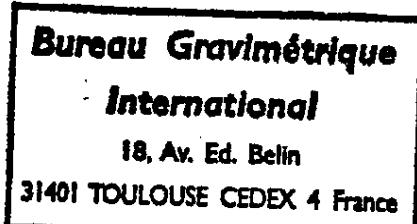
For Potsdam this secular change of gravitational acceleration results as follows :

Total		
I900 - I922	- 0,10 mgal/year	- 2,20 mgal
I922 - I945	- 0,22 "	- 5,06 "
I945 - I955	- 0,40 "	- 4,00 "
Total change in 55 years		-II,26 mgal

Of course this value is based on some hypothetical data (densities of the inner and outer core, the partly extrapolational character of the 1945 and 1955 harmonic representation) ; nevertheless there can be no doubt that it exists a striking conformity between the sign and approximate values of the secular "g"-variation as calculated by taking into account the supposed wandering of the Earth's core and the difference of the measurements taken in I900 and in the years 1950-60. This underlines the possibility that the Potsdam-difference may be - at least partly - due to secular variation of gravity.

R E S O L U T I O N S

-:-:-:-:-



VOEUX

adoptés par

la COMMISSION GRAVIMETRIQUE INTERNATIONALE
Paris 1962

VALEUR ABSOLUE de la PESANTEUR - FORMULE INTERNATIONALE de la PESANTEUR.

Voeu n°1 :

La Commission Gravimétrique Internationale,

considérant que tout changement dans la formule internationale de la pesanteur et dans l'ellipsoïde international ne peut être effectué qu'en accord avec les autres Institutions intéressées et en tenant compte de leur relation avec les autres constantes de la physique et de l'astronomie,

prie le Secrétaire Général de l'Association Internationale de Géodésie d'inviter des représentants des Institutions suivantes à discuter le processus de révision de la formule de la pesanteur et de l'ellipsoïde :

Le Comité International des Poids et Mesures,
l'IAU,
l'IUPAP,
le COSPAR.

Voeu n°2 :

La Commission Gravimétrique Internationale,

suggère que tout changement dans les constantes de la formule internationale de la pesanteur pourrait être fondé sur les principes suivants :

1) le terme constant devrait être fondé sur la valeur de la gravité, acceptée en valeur absolue, en une seule station ;

2) le terme exprimant la variation avec la latitude devrait être tiré seulement du potentiel extérieur déduit du mouvement des satellites artificiels ;

3) l'expression du potentiel extérieur, et celle de la gravité qui en dérive, devraient être fondées sur une théorie assignant à l'équipotentielle correspondant au niveau de la mer exactement la forme d'une ellipsoïde de révolution.

RESOLUTIONS

adopted by

the INTERNATIONAL GRAVITY COMMISSION

Paris 1962

ABSOLUTE VALUE OF GRAVITY - INTERNATIONAL GRAVITY FORMULA.

Resolution n°1 :

The International Gravity Commission,

considering that any changes in the International Gravity Formula and International Ellipsoid should only be made in conjunction with other interested bodies and with appreciation of their relation to other constants of physics and astronomy,

requests the Secretary General of the International Association of Geodesy to invite representatives of the following bodies to discuss the procedure for revising the gravity formula and ellipsoid :

The International Committee of Weights and Measures,
IAU,
IUPAP,
COSPAR.

Resolution n°2 :

The International Gravity Commission,

suggests that any changes in the constants of the International Gravity Formula should be based on the following principles :

- 1) the constant term should be based on an agreed value of gravity in absolute terms at a single site ;
- 2) the terms expressing the variation with latitude should be derived solely from the external potential inferred from the motions of artificial satellites ;
- 3) the terms to be retained in the external potential and the derivation of the gravity formula from the potential should be on the basis of a theory that makes the corresponding sea level equipotential surface an exact ellipsoid of revolution.

RESEAU MONDIAL de Ier ORDRE et CHAINES d'ETALONNAGE PRINCIPALES.

Voeu n°3 : - Liaisons directes entre Potsdam et Bad Harzburg -

La Commission Gravimétrique Internationale

considérant qu'il est difficile d'obtenir un système mondial cohérent de valeurs gravimétriques, sans mesures directes entre Potsdam et Bad Harzburg,

demande à tous les membres intéressés de la Commission de s'entendre pour effectuer de telles mesures.

Voeu n°4 : - Réseau mondial de Ier ordre et chaines d'étalementage principales -

La Commission Gravimétrique Internationale

considérant que la solution des problèmes du réseau absolu et du réseau mondial de Ier ordre dépend de la solution des problèmes des chaines d'étalementage, et

considérant que des mesures pendulaires de haute précision avec différents types d'appareils sont absolument indispensables sur les trois lignes d'étalementage principales (Amérique, Euro-Afrique et Ouest-Pacifique) et que peu d'instruments et d'observateurs qualifiés sont disponibles,

recommande : 1) qu'en priorité des appareils pendulaires soient employés sur les trois lignes officielles d'étalementage ;

2) que, outre les stations terminales, trois stations soient réoccupées avec des pendules :

- a) sur la ligne d'étalementage américaine entre Fairbanks et Mexico City,
- b) sur la ligne d'étalementage euro-africaine entre Hammerfest et Nairobi,
- c) sur la ligne d'étalementage Ouest-Pacifique entre Fairbanks et Christchurch ;

3) que les stations ci-dessus soient réoccupées avec des gravimètres géodétiques à faible dérive ; que des stations intermédiaires supplémentaires soient établies avec ces gravimètres à des intervalles d'environ 100 mgal et que ces mêmes gravimètres soient utilisés pour prolonger ces lignes d'étalementage jusqu'à Buenos Aires et le Cap en repassant, si possible, sur les lignes d'étalementage nationales ;

4) que des liaisons Est-Ouest soient faites entre ces lignes d'étalementage avec des gravimètres à faible dérive, spécialement près de l'Equateur et à l'extrémité des lignes ;

5) que les nations et institutions intéressées contribuent au rapide achèvement de ce travail selon les projets établis par le Groupe Spécial d'Etudes n°5 en procurant personnel scientifique, instruments, moyens de transport et toutes facilités ;

6) que les données d'observation et les calculs soient fournis au Groupe Spécial d'Etudes n°5 aussi vite que possible, pour compensation ;

7) que dans la mesure du possible ces mesures et compensations soient achevées à temps pour l'Assemblée Générale de l'Union Internationale de Géodésie et Géophysique en août 1963.

FIRST ORDER WORLD NET and PRIMARY CALIBRATION LINES.

Resolution n°3 : - Direct connections between Potsdam and Bad Harzburg -

The International Gravity Commission,
considering the difficulty of obtaining a consistent world-wide system of gravity values without direct measurements between Potsdam and Bad Harzburg,
requests all interested members of the Commission to arrange co-operation to effect such measurements.

Resolution n°4 : - First order world net and primary calibration lines -

The International Gravity Commission,
considering that the solution of the problems of the absolute net and the first order world net depend on the solution of the calibration line problem, and
considering that very accurate pendulum measurements with different types of instruments are urgently needed on the three primary calibration lines (American, Euro-African and West Pacific) and that few instruments and trained observers are available,

recommends : I) that first priority should be given to use of pendulum apparatus for work on the three primary calibration lines ;

2) that with terminal stations, three intermediate stations should be reoccupied with pendulums :

- a) on the American calibration line between Fairbanks and Mexico City,
- b) on the Euro-African calibration line between Hammerfest and Nairobi,
- c) on the West Pacific calibration line between Fairbanks and Christchurch ;

3) that the above stations should be reoccupied with low drift rate geodetic gravity meters ; additional intermediate stations should be observed with these gravity meters at intervals of about 100 mgal and these same gravity meters should be used to extend these calibration lines to Buenos Aires, Capetown, reobserving national calibration lines, when possible ;

4) that East-West ties should be made between these calibration lines with low drift rate gravity meters, especially near the Equator and at the end of the lines ;

5) that interested nations and institutions should support the rapid completion of this work according to plans outlined by the Special Study Group n°5 by providing scientific personnel, instruments, transportations facilities and clearances ;

6) that field data and computations should be furnished Special Study Group n°5 as soon as possible, for adjustment ;

7) that so far as possible. these measurements and adjustments should be completed in time for the August 1963 General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics.

Voeu n°5 : - Rattachement gravimétrique de la station de Téhéran -

La Commission Gravimétrique Internationale
considérant l'importance des points gravimétriques de contrôle dans la région considérée,
encourage l'établissement à Téhéran d'une base gravimétrique bien déterminée par des liaisons gravimétriques précises avec les bases du réseau mondial de 1er ordre.

Voeu n°6 : - Ligne d'étalonnage Européenne -

La Commission Gravimétrique Internationale
a pris connaissance du fait que le Groupe Spécial d'Etudes n°6 a effectué la compensation des mesures aux pendules et aux gravimètres dans le système gravimétrique européen par la méthode des moindres carrés et du calcul en a déduit les différences de pesanteur entre Bad Harzburg et les 27 points principaux du système. La précision du facteur d'étalonnage du système d'après les mesures pendulaires actuelles, est supérieure à $2 \cdot 10^{-4}$. Par conséquent la précision de $3 \cdot 10^{-4}$ recommandée par la résolution n°19 de l'Assemblée Générale de Helsinki a de toute évidence été atteinte ;

accueille favorablement la proposition de la Commission Géodétique Italienne de renforcer la ligne d'étalonnage par des mesures supplémentaires aux pendules et aux gravimètres, et

recommande : I) que les valeurs de la pesanteur aux points principaux résultant de la compensation soient utilisées comme valeurs de base pour toute nouvelle application pratique telle que nouvelles cartes d'anomalies de la pesanteur ;

2) que des mesures supplémentaires aux pendules et aux gravimètres soient faites dans tous les pays intéressés en vue d'obtenir une amélioration statistique significative pour la ligne d'étalonnage de 1962 ;

3) que les résultats de la compensation du système européen soient publiés prochainement avec une discussion statistique des résidus des observations et qu'ils paraissent en même temps qu'une étude critique faite par les observateurs italiens, si possible dans le même numéro du Bulletin Géodésique.

Voeu n°7 : - Réseau Européen unifié -

La Commission Gravimétrique Internationale,
ayant pris connaissance des recommandations préparées par le Prof.KNEISSL pour l'établissement d'un réseau européen unique des points gravimétriques principaux, suggère de traiter cette question durant la XIIIème Assemblée Générale de l'UGGI à Berkeley, et
prie le Prof.KNEISSL de parfaire ses recommandations par des propositions pratiques, et demande à tous les pays d'aider le Prof.KNEISSL et de poursuivre leurs propres efforts pour la préparation de ce réseau.

Les recommandations faites par le Prof.KNEISSL sont les suivantes :

I - Basé sur les publications disponibles et sur les documents présentés par le Groupe Spécial d'Etudes n°6, un atlas international du réseau européen actuel des mesures au gravimètre aux points principaux, devrait être établi. Les réseaux au gravimètre seraient dessinés sur un fond gris atténué de la carte internationale mondiale au 1/1 000 000° qui sert aussi de fond pour le report du réseau européen unifié de triangulation.

Resolution n°5 : - Gravity tie of the Tehran station -

The International Gravity Commission
considering the importance of gravity control points in the area,
encourages the establishment of a precise gravity base station in Tehran, Iran,
by accurate gravity ties to bases of the first order world net.

Resolution n°6 : - European Calibration line -

The International Gravity Commission
recognises that Special Study Group n°6 has adjusted the pendulum and gravity meter measurements in the European gravity system according to the method of least squares and has calculated the resulting difference of gravity from Bad Harzburg for the 27 principal points of the system. The accuracy of the scale factor of the system, according to existing pendulum measurements, is better than $2 \cdot 10^{-4}$. Thus the accuracy of $3 \cdot 10^{-4}$ recommended by resolution n°19 of the Helsinki General Assembly has obviously been achieved,
welcomes the proposal of the Italian Geodetic Commission to strengthen the calibration line by further pendulum and gravity meter measurements ;
recommends : 1) that the gravity values for the principal points obtained from the adjustment be used as the basis of all new practical applications such as new maps of gravity anomalies ;
2) that further pendulum and gravity meter measurements should be made in all the participating countries with the aim of effecting a statistical significant improvement in the calibration line of 1962 ;
3) that the results of the adjustment of the European system with a statistical discussion of the residuals of the observations be published in the near future and that they should appear together with a critical study by the Italian workers, if possible in the same issue of the Bulletin Géodésique.

Resolution n°7 : - Unified European network -

The International Gravity Commission
recognising the recommendations elaborated by Prof.KNEISSL for the establishment of a unique European network of the principal gravity points,
suggests to deal with the matter during the XIIIth General Assembly of IUGG in Berkeley, and
asks Prof. KNEISSL to complete his recommendations by practical proposals and requests all countries to support Prof.KNEISSL and to continue their own efforts in preparing the network.

The recommendations as given by Prof.KNEISSL are the following :
"I - Based on the available publications, and on the documents presented by Study Group n°6, an international atlas of the existing European gravimeter network of principal gravity points should be established. The gravimeter nets should be designed on grey-prints of the international world map I/I 000 000 serving also as base for the description of the uniform European triangulation network.

..../....

Pour l'établissement de l'atlas, on devra décider des symboles uniformes à choisir.

La Commission Géodétique Allemande est prête à entreprendre l'élaboration de cet atlas en étroite collaboration avec les Commissions Géodétiques des nations européennes.

2 - En supplément à l'atlas, tous les pays européens devraient donner de courtes descriptions de leurs réseaux principaux suivant un modèle uniforme. La plupart de ces descriptions seraient de brefs extraits des publications disponibles.

3 - D'après l'établissement de l'atlas, les liaisons manquantes ou souhaitables entre les réseaux au gravimètre des pays voisins seraient mises en évidence et leur exécution suggérée.

4 - Pour l'évaluation de la précision des réseaux de pesanteur, des formules d'erreur internationales devraient être étudiées et adoptées par une résolution lors de l'une des prochaines réunions de la Commission Gravimétrique Internationale.

5 - Pour le rattachement des points principaux à ceux du réseau gravimétrique mondial et au système européen d'étalonnage, des conventions internationales devraient être prises avant l'échévement complet de tous les réseaux principaux nationaux et la détermination de leur précision. Cependant, des suggestions relatives aux méthodes de compensation pourraient être faites dès maintenant.

Voeu n°8 : - Ligne d'étalonnage Ouest-Pacifique -

La Commission Gravimétrique Internationale

considérant les problèmes spéciaux soulevés dans l'établissement de la ligne d'étalonnage Ouest-Pacifique,

recommande que les Etats Unis, le Japon, Taiwan, le Royaume Uni, les Philippines, la Thaïlande, la Malaisie, l'Indonésie, l'Australie et la Nouvelle Zélande collaborent à l'établissement de cette ligne.

LIGNES d'ETALONNAGE NATIONALES.

Voeu n°9 : - Ligne d'étalonnage argentine -

La Commission Gravimétrique Internationale

considérant l'importance de lignes nationales d'étalonnage précises,

encourage l'Institut Géodésique de la Faculté d'Ingénieurs d'Argentine dans leur effort pour établir une ligne d'étalonnage argentine entre les latitudes 22°S et 55°S en collaboration avec le Canada et les Etats Unis d'Amérique, en utilisant simultanément des appareils avec pendules d'invar, de bronze et de quartz, et

recommande que la ligne d'étalonnage argentine soit rattachée à la ligne d'étalonnage américaine au moyen de plusieurs gravimétriques géodétiques.

For the establishment of the atlas, decisions on the specifications for uniform symbolizations must be taken.

The German Geodetic Commission is ready to undertake the elaboration of this atlas in tight collaboration with the Geodetic Commissions of the European countries.

2 - As supplement to the atlas, all European countries should give short descriptions of their principal networks according to a uniform sample. Mostly these descriptions will be brief excerpts from available publications.

3 - After the establishment of the atlas, missing and desirable connexions to the gravimeter nets of the adjacent countries should be found out, and their executions should be suggested.

4 - For the valuation of the accuracy of the gravity nets, international error formulae should be elaborated and recommended for adoption during one of the next meetings of the International Gravity Commission.

5 - For the connexion of the principal points to those of the world gravity network, and to the European gravimeter calibration system, international conventions should be taken, and suggestions should be elaborated.

6 - Decisions about a total adjustment of the European principal nets joined to the European points of the world gravity network, and to the European gravimeter calibration system should not be taken earlier than after completion of all national principal nets and after determination of their accuracy. However, suggestions for the adjustment methods should be made from now on."

Resolution n°8 : - West Pacific Calibration line -

The International Gravity Commission

considering the special problems involved in establishing the West Pacific calibration line,

recommends that the United States, Japan, Taiwan, the United Kingdom, the Philippines, Thailand, Malaya, Indonesia, Australia and New Zealand cooperate in the establishment of this line.

NATIONAL CALIBRATION LINES.

Resolution n°9 : - Argentine Calibration line -

The International Gravity Commission

considering the importance of precise calibration lines within nations,

encourages the Geodetic Institute of the Faculty of Ingeneering of Argentine in their efforts to establish an Argentine Calibration line between latitudes 22°S and 55°S in collaboration with Canada and the United States of North America, using invar, bronze and quartz pendulum apparatus simultaneously, and

recommends that the Argentine calibration line be referred to the American calibration line with several geodetic gravity meters.

Vœu n°IO : - Ligne d'étalement en Inde -

La Commission Gravimétrique Internationale
considérant l'importance de lignes d'étalement précises dans diverses nations,
encourage le Survey of India dans ses efforts pour établir une ligne d'étalement
indienne, et
recommande que la ligne d'étalement indienne soit rattachée à l'une des
lignes d'étalement officielles au moyen de plusieurs gravimètres géodétiques.

MESURES de PESANTEUR en MER.

Vœu n°II :

La Commission Gravimétrique Internationale
tenant compte du délai inévitable avant la publication des résultats des cam-
pagnes gravimétriques en mer, et
considérant que de nombreux détails opérationnels, importants pour les utilisa-
teurs d'instruments en mer, ne sont jamais publiés,
recommande qu'une Lettre d'informations officieuse soit transmise à titre per-
sonnel aux personnes activement intéressées par les problèmes pratiques de mesures
de pesanteur en mer avec des appareils marins. Le but de cette Lettre serait la
communication des renseignements préliminaires, tels que rapports des croisières,
recherches de laboratoire et peut-être résultats provisoires ou du moins cartes
des parcours. De plus, il est entendu que les informations données dans la Lettre
ne seront pas considérées comme ayant été publiées mais seulement comme un moyen de
diffusion rapide et directe des informations ayant que celles-ci ne soient prêtes
à être publiées sous leur forme définitive. Aussi, cette Lettre d'informations devra
avoir une diffusion restreinte de façon à être directe et personnelle et seuls ceux
qui sont prêts à y contribuer la recevront. Un exemplaire de chaque envoi sera
remis au Bureau Gravimétrique International et un résumé des questions d'intérêt
général sera publié en temps voulu avec l'accord des auteurs.

Vœu n°I2 :

La Commission Gravimétrique Internationale
considérant, que les instruments propres aux mesures de pesanteur en mer, sont
peu nombreux, mais que néanmoins ils sont parfois inutilisés pour différentes raisons,
que leur utilisation convenable est normalement associée avec un personnel bien
entraîné,
que le développement des mesures de pesanteur en mer est une nécessité urgente
d'intérêt primordiale,
recommande qu'à la fois gravimètres pour bateaux de surface et gravimètres
télécommandés - quand ils sont disponibles - avec les observateurs, soient mis à
la disposition d'autres Institutions qui pourraient, en en assumant les dépenses,
les faire fonctionner dans des régions d'intérêt commun, pourvu que les résultats
soient publiés. Les renseignements seraient diffusés par les Lettres ronéotypées
(voir vœu n°II) et par le Bureau Gravimétrique International.

Resolution n°IO : - Calibration line in India -

The International Gravity Commission
considering the importance of precise calibration lines in various countries,
encourages the Survey of India in their efforts to establish an Indian
calibration line, and
recommends that the Indian calibration line be referred to any of the primary
calibration lines with several geodetic gravity meters.

GRAVITY MEASUREMENTS AT SEA.

Resolution n°II :

The International Gravity Commission
taking into account the unavoidable delay before the results of the investi-
gation of gravimetry at sea are published, and
considering that there are many operational details which are important for
the persons using the instruments at sea but which never get published,
recommends that an informal News Letter be established for private circulation
between the persons actively interested in the practical problems of measuring
gravity at sea with the shipborne gravimeters. The purpose of this Letter is to
be the distribution of preliminary findings, such as cruise reports, laboratory
investigations and, perhaps, preliminary results or at least the track charts.
Further, it is understood, that the information given in the News Letter shall
not be regarded as having been published but only a means of quick and direct
dissemination of information before it is ready to be published in final form.
Also this News Letter should have a small circulation in order to be direct and
personal and only those who are prepared to contribute to it are to receive it.
A copy of each issue is to be deposited with the International Gravity Bureau and
a summary of points of permanent interest should be published in due course, with
the authors' permission.

Resolution n°I2 :

The International Gravity Commission
considering that instruments for proper measurements of gravity at sea are
only few, but nevertheless they are sometimes staying for different reasons,
that their proper use is normally connected with well trained
personal, and
that the extension of sea-gravity measurements is urgent necessity
of prior interest,

recommends that both surface-ship and remotely controlled bottom gravity-meters -
when free - be placed with the observers, at disposal of other Institutions that
could, supporting the expenses, let them be operating in areas of common interest,
provided that results will be published. Information should circulate through
the mimeographed News Letter (see resolution n°II) and the International Gravity
Bureau.

EMPLOI des ANOMALIES de la PESANTEUR en GEODESIE.

Voeu n°I3 :

La Commission Gravimétrique Internationale

considérant qu'il est de grande importance de définir clairement les meilleures méthodes théoriques et pratiques qui devraient être utilisées dans la solution du problème principal de la Géodésie, à partir des données gravimétriques,

recommande la formation immédiate d'un Groupe de Travail pour ce but. Le Groupe de Travail comprendrait environ 5 membres et un président, et fournirait un premier rapport de son travail lors de la réunion de l'Association Internationale de Géodésie à Berkeley en 1963.

CARTES PERFOREES.

Voeu n°I4 :

La Commission Gravimétrique Internationale

souhaite que toutes remarques relatives à la proposition présentée par le Prof. TARDI à propos des cartes perforées, parviennent au Bureau Gravimétrique International avant la fin d'octobre 1962,

qu'après consultation des membres désignés*, un modèle international soit arrêté, et

que le Bureau Gravimétrique International fasse la collection des cartes déjà existantes et se charge de compléter cette collection sous la forme agréée, en collaboration avec l'Ohio State University et les Services Nationaux.

* La liste des membres désignés lors de la réunion de la Commission est la suivante : BOKUN, BOULANGER, BROWNE, BRUINS, BULLERWELL, COOK, DAUGHERTY, HAMILTON, HONKASALO, KARLIK, KENNEY, LAGRULA, MARZAHN, PETTERSSON, PICHA, UOTILA, WITKOWSKI.

USE of GRAVITY ANOMALIES in GEODESY.

Resolution n°I3 :

The International Gravity Commission

considering the great importance of clearly stating the best theoretical and practical methods which should be used by utilizing gravity data for the solution of the main problem of Geodesy,

recommends the immediate formation of a Working Study Group for this purpose. The Working Group should consist of about five members under a chairman, and should give a first report of its work at the meeting of the International Association of Geodesy at Berkeley in 1963.

PUNCHED CARDS.

Resolution n°I4 :

The International Gravity Commission

desires that all comments on the proposal made by Prof.TARDI about punched cards, should be sent to the International Gravity Bureau before the end of October 1962,

that after having consulted the nominated members*, an international format should be adopted, and

that the International Gravity Bureau should collect existing cards and should complete this collection in the agreed form in cooperation with the Ohio State University and the National Services.

* The list of members nominated during the meeting of the Commission is the following : BOKUN, BOULANGER, BROWNE, BRUINS, BULLERWELL, COOK, DAUGHERTY, HAMILTON, HONKASALO, KARNICK, KENNEY, LAGRULA, MARZAHN, PETTERSSON, PIJHA, UOTILA, WITKOWSKI.