

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	79 (1981)
Heft:	1
Artikel:	Une ligne de calibration gravimétrique Interlaken-Jungfraujoch (Suisse)
Autor:	Klingelé, E. / Kahle, H.-G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-230637

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Une ligne de calibration gravimétrique Interlaken–Jungfraujoch (Suisse)^{1,2}

E.Klingelé, H.-G.Kahle

Une ligne de calibration gravimétrique a été établie, sous l'égide de la Commission Géodésique Suisse, entre Interlaken et le Jungfraujoch durant l'automne 1980 en accord avec les résolutions de l'Association Internationale de Géodésie. Cette ligne permet une calibration économique des gravimètres relatifs de terrain. Elle comprend sept stations, dont les deux extrêmes Interlaken et le Jungfraujoch (3500 m) ont une valeur de la pesanteur connue par des mesures absolues. La différence totale de pesanteur entre Interlaken et le Jungfraujoch vaut 604,7 mgal et l'analyse des résultats montre que la concordance des différences de g entre valeurs relatives et valeurs absolues est meilleur que 50 µgal (1 µgal = 10^{-8} ms $^{-2}$).

Auf der Strecke Interlaken–Jungfraujoch ist mit der Unterstützung der Schweizerischen Geodätischen Kommission eine Gravimeter-Eichlinie eingerichtet worden, die im Einklang mit Resolutionen der Internationalen Assoziation für Geodäsie steht. Sie ermöglicht eine zeitsparende Kalibration von relativen Feldgravimetern. Die Eichstrecke besteht aus 7 Fundamentalstationen und 6 Teilstücken. Je eine absolute Schwerestation in Interlaken und auf dem Jungfraujoch (3500 m) bilden die Endpunkte der Kalibrationslinie, deren totale Schweredifferenz 604,7 mgal beträgt. Die Übereinstimmung der absoluten und relativen Messungen ist besser als 50 µgal (1 µgal = 10^{-8} ms $^{-2}$).

Introduction

Une ligne de calibration gravimétrique Interlaken–Jungfraujoch a été établie, en accord avec les recommandations de l'Association Internationale de Géodésie, afin de permettre une calibration (par partie) rapide des gravimètres relatifs. Elle comprend sept stations principales définissant six segments de calibration partielle. Les deux stations extrêmes de cette ligne ont une valeur de la pesanteur connue par des mesures absolues effectuées pendant l'été 1979. De ce fait une étude détaillée du facteur de calibration des gravimètres est possible. Notons que cette ligne, dont la différence totale de pesanteur atteint 604,7 mgal (1 mgal = 10^{-5} ms $^{-2}$) est destinée à la communauté géodésique et géophysique toute entière pour la calibration de ses instruments. A ces sept stations sont associées, dans la plupart des cas, deux à trois stations satellites destinées à préserver la valeur de g en cas de modification de l'environnement. Chaque station a été placée dans un endroit facilement accessible en automobile ou par le train et nécessitant un minimum de transport des appareils à la main. Il est de cette façon possible de parcourir chaque segment simultanément avec plusieurs gravimètres.

Ces sept stations sont Interlaken, Grindelwald, Alpiglen, Petite Scheidegg, Eigergletscher, Eigerwand et Jungfraujoch. Le parcours des segments au delà de Grindelwald devant se faire par le train, il est nécessaire de prévoir une dizaine de jours de mesures pour obtenir six cycles par segment, nombre garantissant une bonne qualité des mesures. Remarquons que pour obtenir la même différence de pesanteur qu'entre Interlaken et le Jungfraujoch, il serait théoriquement nécessaire de se déplacer d'au moins 750 km sur un même méridien. On voit immédiatement l'avantage que présente cette ligne de calibration au point de vue économie de temps et d'argent.

Appareillage

Lors de l'établissement de la ligne, les appareils suivants ont été utilisés: deux gravimètres LaCoste-Romberg modèles G No.317 et 514 donnant une lecture à $\pm 1.10^{-7}$ ms $^{-2}$ un gravimètre LaCoste-Romberg modèle D (Microgal Gravimètre) permettant une lecture dix fois plus précise que les modèles G soit $\pm 1.10^{-8}$ m/sec. $^{-2}$; deux thermomètres au 1/10 de degré centigrade et enfin un baromètre Thommen type 3B4. A chaque station, deux opérateurs ont effectué au même endroit les mesures de pesanteur, de température et de pression barométrique, mais indépendamment l'un de l'autre. Ces lectures reportées chaque soir sur des formulaires spéciaux ont été traitées par ordinateur immédiatement après la campagne de mesure.

Corrections et réductions

Pour que les mesures de différents gravimètres effectuées à des époques différentes soient comparables entre elles, il est nécessaire de leur appliquer un certain nombre de corrections. Celles-ci sont au nombre de quatre:

Correction de marée

La valeur de la pesanteur peut varier au cours d'une même journée et sous nos latitudes de plus ou moins $20 \cdot 10^{-7}$ m/sec 2 . Il est donc nécessaire d'en tenir compte car elle représente entre 20 et 200 fois la précision que l'on peut obtenir avec les instruments de mesure. Ces variations sont provoquées par l'attraction gravifique de la lune et du soleil et dépendent de la position relative de la terre et de ces deux corps. Elles peuvent être calculées pour chaque astre (lune et soleil) à partir de l'expression simplifiée suivante puis sommées pour obtenir l'effet global:

$$\Gamma = \kappa g \frac{M}{M_0} \frac{R_0^3}{R} (1 - 3\cos^2 \Psi)$$

avec:

g = Valeur absolue de g au point (φ, λ) et pour le temps Θ

M_0 et R_0 = Masse et rayon de la terre

M et R = Masse et distance de l'astre considéré

Ψ = Distance zenithale de l'astre

κ = Constante élastique de la terre

Γ = Marée gravimétrique due à l'astre considéré

De plus Ψ peut être obtenu par la relation suivante

$$\cos \Psi = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(\Theta - \alpha)$$

où φ est la latitude de la station, Θ le temps sidéral local, δ et α la déclinaison et l'ascension droite de l'astre considéré.

Correction de la dérive instrumentale

Tous les gravimètres relatifs présentent une dérive instrumentale due à la plasticité à long terme des matériaux constituant les ressorts de l'appareillage. Sur cette dérive généralement linéaire et comme vient se greffer une dérive que l'on peut qualifier de dérive d'environnement et qui est due principalement aux petits chocs ou aux vibrations auxquels le gravimètre est soumis pendant son transport.

¹Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Mitteilung No. 319

²Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Separata No. 11

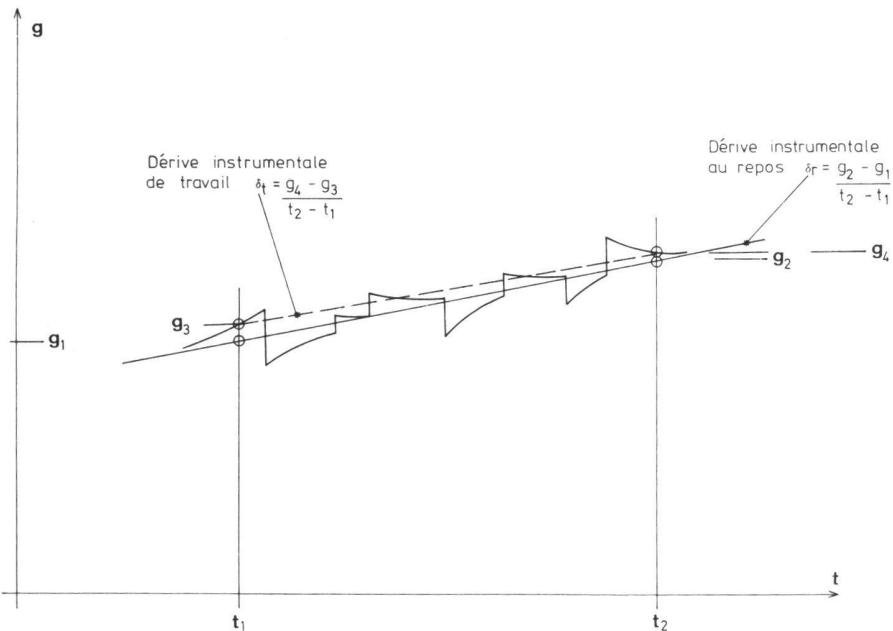


Fig.1 Exemple des dérives instrumentales de repos et de travail d'un gravimètre. Les oscillations autour de la dérive de repos représentent l'effet des chocs durant le transport.

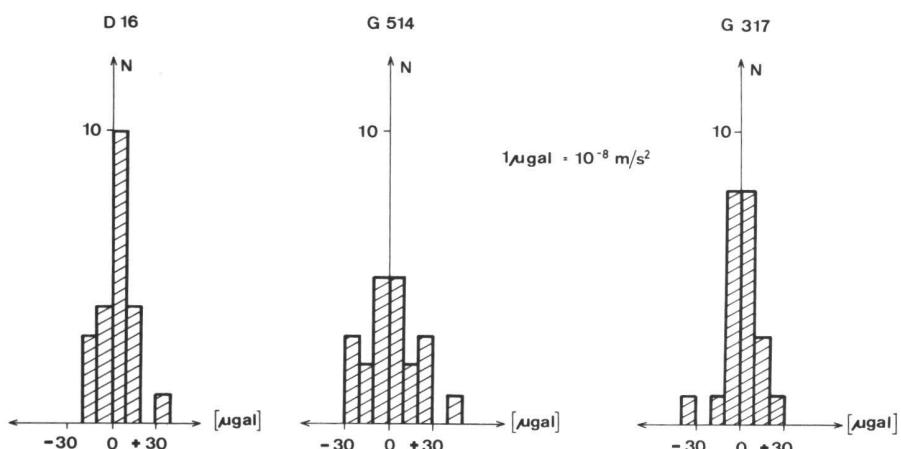


Fig.2 Histogrammes des dérives de travail des trois gravimètres utilisés durant la campagne de mesure de 1980.

La figure 1 montre la forme schématique d'une dérive instrumentale d'un gravimètre transporté entre deux mesures effectuées en une même station aux temps t_1 et t_2 (avec $t_2 > t_1$).

Ce schéma montre clairement que la connaissance de la dérive instrumentale statique ne suffit pas mais qu'en plus il est nécessaire de connaître la réaction de l'instrument aux secousses. Malheureusement, il n'existe aucun modèle mathématique permettant une formulation satisfaisante du phénomène.

On préfère par conséquent déterminer cette dérive expérimentalement en procédant selon le schéma suivant: Soit quatre stations A B C et D mesurées dans l'ordre A-B-C-D-C-B-A. On obtient trois cycles de mesures donnant les dérives expérimentales de la façon suivante.

Le préfixe V indiquant la valeur de g mesurée, corrigée des variations de marées, et T indiquant le temps correspondant à la mesure.

Les dérives obtenues durant la campagne de mesure 1980 et pour les trois gravimètres G317, G514 et D16 sont présentées sous forme de diagrammes de fréquence à la figure 2.

Effet des variations de la pression atmosphérique

L'influence des variations de la pression atmosphérique présente trois aspects. Premièrement, le fléau du gravimètre peut être influencé par ces variations si le récipient contenant celui-ci n'est pas parfaitement étanche. Cette influence est quasiment négligeable dans les gravimètres modernes. Le second effet est dû à l'attraction gravitationnelle de la couche d'air proprement dite et le troisième (de signe opposé) est causé par la distorsion de l'écorce terrestre due à ces variations.

Dans le cas de la ligne de calibration Interlaken-Jungfraujoch, seul le second effet a été pris en compte. Pour ceci, les valeurs de g, corrigées des variations de marées, ont été re-corrigées de $-0,42 \cdot 10^{-9} \text{ m/sec}^2$ par mbar de variation de la pression atmosphérique. Ces variations ont été calculées relativement à la valeur moyenne obtenue pendant la campagne de mesure pour la station considérée.

Le tableau suivant montre les variations de pression atmosphériques obtenues pendant la campagne 1980, considérées à l'intérieur d'un même cycle et pour une même station.

Ce tableau montre clairement que la correction maximale appliquée a été de $-1.26 \cdot 10^{-8} \text{ m}^{-2}$ et ceci sur une seule mesure et que par conséquent aucune incertitude ne peut être introduite sur les résultats par les variations de pression atmosphérique.

Effet des variations de la température extérieure

Si dans les gravimètres modernes, en raison du haut degré de perfectionnement des systèmes de chauffage et d'isolation, la température extérieure et ses variations n'influencent pas le système de mesure lui-même, il n'en va pas de même pour les niveaux à bulle servant à l'horizontalisation du gravimètre.

I. Mesures A-B-C-D-B-A

$$d_I = \frac{V_{A2} - V_{A1}}{T_{A2} - T_{A1}} \quad \text{dérive valable pour les stations B-C-D-C-B}$$

II. Mesures B-C-D-C-B

$$d_{II} = \frac{V_{B2} - V_{B1}}{T_{B2} - T_{B1}} \quad \text{dérive valable pour les stations C-D-C}$$

III. Mesures C-D-C

$$d_{III} = \frac{V_{C2} - V_{C1}}{T_{C2} - T_{C1}} \quad \text{dérive valable pour la station D}$$

ΔP [mbar]:	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
N:	10	5	4	0	1	1	1

Table 1 Statistique des écarts de pression barométrique à l'intérieur d'un même cycle et par station.

Ligne de mesures	Nb. de Cycles	LCR D 16		LCR G 514		LCR G 317		Ensemble	
		ΔG	σ						
Interlaken S1–Grindelwald	3/9	115,476	0,016	115,530	0,021	115,449	0,010	115,507	0,037
Grindelwald–Alpiglen	5/15	106,043	0,010	106,077	0,015	106,075	0,011	106,065	0,020
Alpiglen–Kleine Scheidegg	5/15	79,053	0,018	79,100	0,009	79,079	0,015	79,078	0,024
Alpiglen–Eigerletscher	1/3	140,625	–	140,706	–	140,590	–	140,640	0,060
Kleine Scheidegg–Eigerletscher	3/9	61,576	0,021	61,622	0,020	61,562	0,031	61,589	0,030
Kleine Scheidegg–Eigerletscher S1	3/9	61,011	0,027	61,072	0,043	61,044	0,044	61,042	0,043
Eigerletscher–Eigerletscher S1	3/3	0,579	0,004	–	–	–	–	0,579	0,004
Eigerletscher–Eigerwand	1/3	149,669	–	149,690	–	149,672	–	149,677	0,011
Eigerletscher S1–Eigerwand	3/9	150,275	0,062	150,272	0,056	150,273	0,018	150,274	0,043
Kleine Scheidegg–Eigerwand	3/9	211,240	0,012	211,340	0,042	211,288	0,031	211,289	0,051
Eigerwand–Jungfraujoch S1	3/9	92,285	0,041	92,271	0,032	92,283	0,003	92,280	0,026

Table 2 Résumé des résultats moyennés par segment. La valeur de g et la déviation standard (σ) sont en milligal (1 milligal = 10^{-5} ms^{-2}).
NB de cycles (par gravimètre/pour l'ensemble des gravimètres)

Ceux-ci sont particulièrement sensibles aux chocs thermiques, comme par exemple le passage en hiver d'un véhicule chauffé à une station de mesure située à l'extérieur.

Il est possible d'étudier l'effet des chocs thermiques sur la sensibilité des appareils et d'en tirer une loi permettant les corrections des variations de température. Outre le fait que ces lois sont imprécises, leur détermination est longue et fastidieuse. C'est pourquoi nous avons préféré la méthode tendant à éviter ces chocs et qui consiste à travailler pendant les périodes de l'année à faibles écarts de température (automne) et à maintenir le gravimètre à la température extérieure (voiture non chauffée et fenêtres ouvertes pendant le transport). Les écarts maximum mesurés pendant la campagne 1980 ont été de 6 à 7 degrés centigrade et dans la plupart des cas inférieurs à 5 degrés centigrades (Figure 3). De ce fait il n'a pas été nécessaire d'appliquer une correction de température aux mesures.

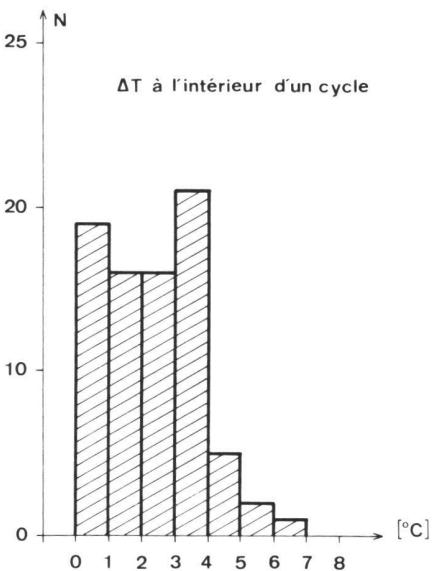


Fig.3 Histogramme des différences de température mesurées à l'intérieur d'un même cycle.

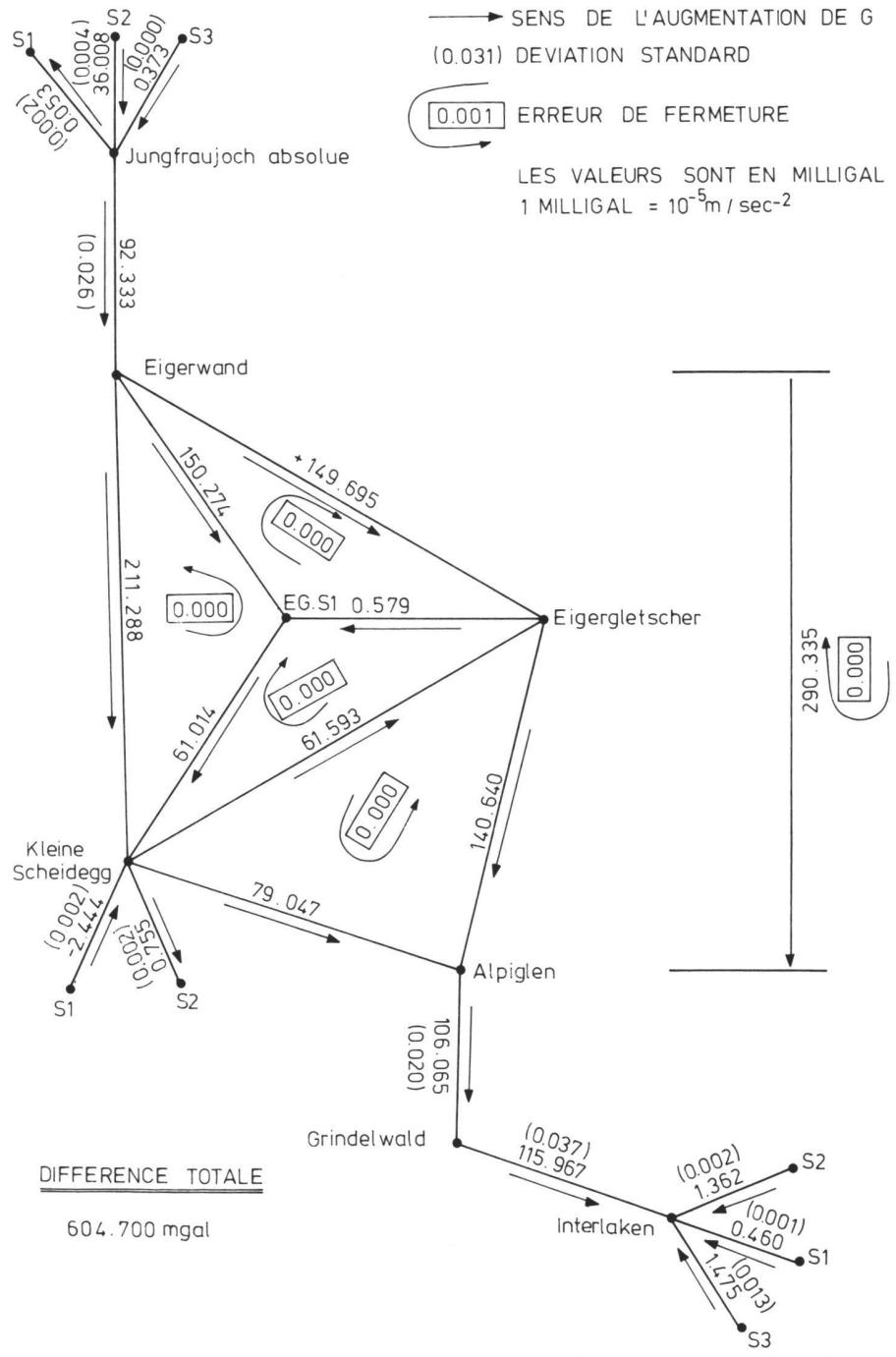


Fig.4 Schéma des distributions spatiales des différences de pesanteur sur la ligne de calibration Interlaken–Jungfraujoch.

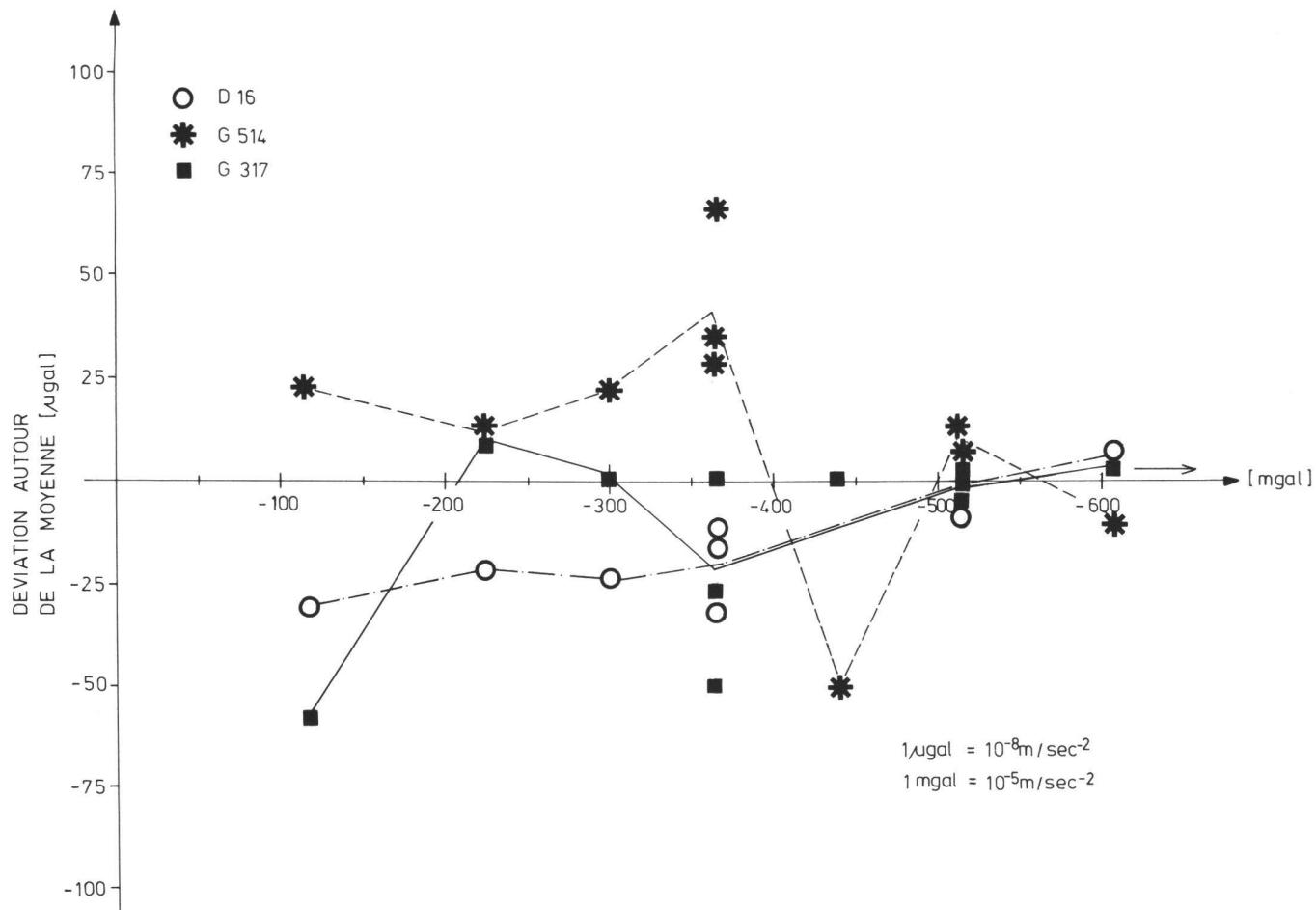


Fig. 5 Déviations autour des valeurs moyennes mesurées, par gravimètre, en fonction la valeur lue.

Résultats

Le tableau II donne les résultats des mesures obtenus lors de cette première campagne de mesure. Une liste détaillée de ceux-ci risquant de surcharger l'exposé, seules les moyennes et les déviations standard ont été mentionnées par gravimètre et pour l'ensemble des mesures. La colonne «NB de CYCLES» mentionne seulement le nombre de mesures prises entre deux retours à une même station par gravimètre et pour l'ensemble des mesures.

A la figure 4 est représentée la disposition schématique des stations de la ligne de calibration avec les écarts moyens, les déviations standard et les erreurs de fermeture par le réseau central. Remarquons que ce réseau a été égalisé à la main étant donné le faible nombre de mailles qu'il contient. Afin de ne pas surcharger le schéma les différences ont été données en milligal qui est l'équivalent de $1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$. Il suffit donc de multiplier chaque différence et chaque déviation standard par ce coefficient pour obtenir des valeurs conformes au système d'unité international (SI).

Le but principal de cette ligne de calibration étant de permettre l'étude

du comportement des gravimètres, nous donnons à la figure 5 les écarts, relatifs à la moyenne de l'ensemble des mesures, obtenus pour chaque gravimètre, en fonctions de la position de la mesure dans l'échelle de l'appareil. On peut voir clairement sur ce graphique qu'à mesure que la valeur mesurée diminue dans l'échelle, la différence obtenue par les trois gravimètres converge vers une valeur unique à plus ou moins quelques microgals (10^{-8} ms^{-2}). Soulignons aussi la bonne qualité du résultat obtenu par cette méthode et par là même la bonne qualité des facteurs de calibration pris dans leur ensemble, puisque la différence de pesanteur obtenue entre Interlaken et le Jungfraujoch est de 604,757 milligal par les mesures absolues ($\sigma = 0,038$) alors qu'elle est de 604,700 ($\sigma = 0,049$) milligal (après égalisation du réseau central) pour la première campagne de mesure à l'aide de gravimètres.

Conclusions

En conclusion de ce court article il apparaît clairement que l'utilité d'une telle ligne de calibration n'est plus à contester de par la rapidité la fiabilité et la facilité des mesures qu'elle permet. Il

est bien évident que les résultats présentés ici ne sont qu'une première approche et qu'il sera nécessaire, dans les années futures, de remesurer maintes fois cette ligne avec autant d'appareils différents que possible, afin d'obtenir des résultats statistiquement plus fiables.

Remerciements

Nous sommes particulièrement reconnaissant à M. H. Schwendener, géophysicien diplômé, de son aide technique durant la campagne de mesure. Qu'il trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

Ce projet a été supporté financièrement par la Commission Géodésique Suisse.

Adresses des auteurs:

Dr. Emile Klingelé, Schweizerische Geophysikalische Kommission, Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Prof. Dr. Hans-Gert Kahle, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

**Bitte Manuskripte im
Doppel einsenden**