

Travaux astronomiques et géodésiques exécutés en Suisse

(Suite de la publication: „Le Réseau de Triangulation suisse“)

publiés par la

Commission géodésique suisse

de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Volume XVII

Déviations de la Verticale et Isostasie

par MM. Th. NIETHAMMER et A. LALIVE.

(Avec 3 figures et 2 planches)

1925

En dépôt au Service topographique fédéral
Berne

Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publikation: „Das Schweizerische Dreiecknetz“)

herausgegeben von der

Schweizerischen geodätischen Kommission

Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Siebzehnter Band.

Lotabweichungen und Isostasie

bearbeitet von Th. Niethammer und A. Lalive.

(Mit 3 Figuren und 2 Karten)

1925

Zu beziehen durch den Kartenverlag
der Schweizerischen Landestopographie in Bern

Travaux astronomiques et géodésiques exécutés en Suisse

(Suite de la publication: „Le Réseau de Triangulation suisse“)

publiés par la

Commission géodésique suisse

de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Volume XVII

Déviations de la Verticale et Isostasie

par MM. Th. NIETHAMMER et A. LALIVE.

(Avec 3 figures et 2 planches)

1925

En dépôt au Service topographique fédéral
Berne



Préface.

Parmi les problèmes que l'étude du géoïde pose aux géodésiens, celui des déviations de la verticale est un des plus anciennement traités dans les temps modernes. Il a été abordé en Suisse déjà avant le milieu du siècle passé, et le présent volume ne représente que l'étape finale des travaux de la Commission géodésique suisse relatifs à ce sujet. Nous croyons donc utile de donner tout d'abord un aperçu historique de ces travaux, en utilisant largement les indications que nous a fournies l'un des auteurs de ce volume, notre collègue M. Th. NIETHAMMER professeur à l'Université de Bâle.

L'autre auteur est M. A. LALIVE, professeur au Gymnase de La Chaux-de-Fonds et directeur de cette Ecole. La table des matières du volume indique, à chaque chapitre, la part de travail qui revient plus spécialement à chacun des deux auteurs. Sauf le chapitre II, rédigé en français par M. Lalive, tout a été écrit par M. Niethammer dans sa langue maternelle. Et nous devons la traduction de son texte aux soins de M. Lalive. A tous deux nous sommes heureux d'exprimer ici les remerciements de la Commission géodésique suisse.

Exposé des travaux relatifs aux déviations de la verticale en Suisse.

H. DENZLER, ingénieur et membre de la Commission géodésique dès sa constitution en 1861, est le premier qui se soit occupé, en Suisse, du calcul des déviations de la verticale provoquées par l'attraction de nos montagnes. Ses travaux remontent à 1845 environ: ils se rapportent aux stations de Berne, Genève, Zurich et Milan. Le 1^{er} fascicule du *Bulletin de la Société zurichoise des Sciences naturelles* en contient un extrait, et le *Jahrbuch du Club alpin suisse* leur consacre une publication plus complète (3^e année, 1866). Denzler avait déjà fait entrer dans ses calculs les masses terrestres jusqu'à une grande distance de la région qu'il avait envisagée et qui s'étendait entre le 42^e et le 52^e parallèle et les méridiens de 18° et de 35° de longitude est de l'île de Fer. Son procédé de calcul était simple: il déterminait les hauteurs moyennes des compartiments dans lesquels il avait divisé le terrain, et calculait leur attraction sur chaque station, en prenant la distance de celle-ci au centre de gravité de chaque subdivision.

Après la mort de Denzler l'intérêt pour le problème qui nous occupe subit une éclipse jusqu'après 1880. Il fut réveillé par une question d'ordre pratique qui se posa à propos de la

fermeture des triangles du réseau de la base du Tessin. Les discordances étaient si fortes qu'il n'était pas possible de les attribuer seulement à l'insuffisance des mesures d'angles, et qu'il sembla nécessaire de faire intervenir de fortes déviations de la verticale.

F. SCHEIBLAUER, qui était alors ingénieur de la Commission et qui est mort tout récemment, entreprit de calculer l'attraction des montagnes pour neuf sommets de la triangulation. Il obtint ainsi des corrections aux valeurs des angles qui amenaient à une beaucoup meilleure fermeture des triangles. Il détermina aussi, pour quatre de ces points, les déviations de la verticale, en comparant les coordonnées astronomiques aux géodésiques en latitude et en azimut et trouva un écart moyen de $\pm 1,6$ seulement entre le calcul et l'observation. Cette concordance est d'autant plus remarquable que les calculs de Scheiblaueur se basaient sur un matériel cartographique (au 1/500 000) que l'on considérerait actuellement comme absolument insuffisant. (Voir vol. IV des « Publications » de la Commission, p. 205.)

Un résultat intéressant des recherches de Scheiblaueur doit être signalé: pour une région qui ne mesure que quelques centaines de kilomètres carrés de surface, la direction relative de la verticale est représentée d'une façon tout à fait satisfaisante par l'attraction des masses montagneuses visibles. Et lorsqu'un problème tout analogue s'est posé plus tard, lors du calcul du réseau des triangles destinés à déterminer la direction et la longueur du tunnel du Simplon, Rosenmund a appliqué avec succès la méthode de Scheiblaueur.

Peu après, en 1891, Rebstein proposa à la Commission de reprendre les calculs de déviations de la verticale, et Hirsch put intéresser à cette étude le géologue Léon DU PASQUIER de Neuchâtel. Celui-ci détermina les déviations de la verticale en latitude pour cinq stations placées approximativement sur le méridien de Neuchâtel. Il calcula avec une grande exactitude la hauteur moyenne de chacun des secteurs de cette région et s'appliqua à déterminer avec précision les densités des roches. Il a cependant utilisé pour ses calculs une densité moyenne de 2,64. Ses résultats, consignés dans un rapport qu'il présenta à la Commission en 1894, sont bons. (Voir Procès-verbal de la 37^e séance de la Commission [1894] p. 19.) Pour les quatre stations les plus boréales, l'écart moyen entre l'observation et le calcul est inférieur à $\pm 0,6$. La station la plus méridionale, située plus près des Alpes, donne un écart de 1,4 qui rendit, à tort, les membres de la Commission un peu sceptiques sur l'ensemble des résultats obtenus.

A cette même époque J. B. MESSERSCHMITT, ingénieur de la Commission, entreprit des travaux analogues pour six points du réseau suisse situés dans les Préalpes ou dans les régions avoisinant au nord. Mais, tandis que DuPasquier avait étendu ses calculs jusqu'à une distance de 300 km de chaque station, Messerschmitt s'arrêta à des distances de 90, même de 60 km seulement pour une des stations. Ses résultats sont moins concordants que ceux de DuPasquier. Messerschmitt en indique lui-même les raisons principales de la façon suivante: le terrain où se trouvent ces six stations est beaucoup plus étendu que celui sur lequel travaillait DuPasquier; puis les déviations en longitude reposent sur des déterminations d'azimuts astronomiques entachées d'assez grandes incertitudes; enfin l'auteur n'a fait entrer dans ses calculs qu'une partie des masses des Alpes. Il formule comme conclusion, ce qui avait déjà été énoncé par ailleurs, que l'on peut avoir une concordance suffisante en n'envisageant

que les masses comprises dans un rayon ne s'étendant que jusqu'à 30 km de chaque station. Puis il trouve aussi avec raison que l'on diminuerait les valeurs des déviations de la verticale en prenant en considération un défaut de masse au-dessous des Alpes. (Voir vol. VI p. 193 et vol. VIII p. 191.)

Les travaux de DuPasquier et de Messerschmitt n'ont pas été publiés en détail. La Commission a estimé qu'ils ne fournissaient pas une solution définitive de la question posée. Il aurait fallu d'ailleurs consacrer un temps considérable à rendre homogènes des études faites dans des conditions très différentes. La Commission décida donc, sur la proposition de Riggenschbach, de reprendre toute la question des déviations de la verticale sur un plan nouveau. A notre demande la Commission du prix Schlaefli de la S. H. S. N. proposa, en 1907, pour 1909, un programme comportant le calcul des composantes nord-sud et est-ouest de la déviation de la verticale pour 12 stations réparties sur une grande partie de la Suisse, de Bâle au Monte Generoso.

Deux travaux furent présentés pour répondre à ce programme: l'un par M. M. OTTI à Aarau et l'autre par M. A. LALIVE à La Chaux-de-Fonds. Leurs conclusions sont assez concordantes, pour autant qu'on peut les comparer les unes aux autres. Au reste, ces études, très méritoires, ne pouvaient pas arriver à une solution de la question, parce que les discordances entre le calcul et l'observation venaient de ce qu'on négligeait l'effet du défaut de masse au-dessous des Alpes. On n'avait pas alors le moyen d'en tenir compte.

C'est dans cette même année 1909 que la question s'est complètement transformée par la publication des recherches de HAYFORD, dont la science géodésique regrette infiniment la mort récente. Hayford a montré en effet que les masses visibles, ou „masses extérieures“, comme elles sont désignées dans le présent volume, ne doivent pas être seules prises en considération, mais aussi les défauts et excès de masse qui les compensent dans toute l'étendue de la croûte terrestre conformément à la théorie de l'isostasie énoncée d'abord par Pratt. Le calcul peut se faire assez simplement en adoptant quelques hypothèses sur la distribution des masses compensatrices. Les recherches de Hayford ont eu ce premier résultat important de permettre d'obtenir la profondeur de la surface de niveau au-dessus de laquelle a lieu la compensation des masses extérieures. Ces hypothèses simplificatrices ont amené une concordance beaucoup plus satisfaisante entre les déviations de la verticale observées et calculées, ce qui doit être envisagé comme un vrai succès.

Les résultats satisfaisants obtenus par Hayford incitèrent notre Commission à faire compléter les recherches en Suisse sur des bases analogues, car il devait en résulter une intéressante confirmation des études du géodésien américain.

La Commission du prix Schlaefli se prêta, en 1916, à mettre une seconde fois au concours la question des déviations de la verticale. Mais le programme fut étendu à seize stations. Il proposait de déterminer les déviations provoquées, non seulement par les masses „extérieures“, mais en tenant compte aussi de l'action des masses compensatrices de la terre entière. On devait, au reste, appliquer la méthode de Hayford en utilisant les développements et les

perfectionnements apportés à cette méthode par Helmert. Après une série de délais occasionnés par les temps troublés de la guerre, le prix Schlaefli a été accordé, en 1919, au travail présenté, en collaboration, par MM. Niethammer et Lalive. C'est ce travail que la Commission géodésique suisse publie maintenant sous une forme très abrégée, et d'ailleurs sensiblement modifiée.

La „table des matières“ renseigne en détail sur la marche qu'ont suivie les auteurs. Nous nous bornerons à attirer ici l'attention sur quelques points qui font différer leurs calculs du modèle de Hayford.

Au Chapitre premier, il est indiqué comment, sans travail supplémentaire, le calcul du facteur isostatique de réduction peut être fait exactement à quelques unités près de la cinquième décimale, tandis que les formules de Hayford et d'Helmert ne donnaient ces facteurs que jusqu'à la troisième décimale.

La méthode spéciale employée au Chapitre II pour la détermination des zones et des secteurs permet des simplifications dans l'exposé détaillé desquelles nous ne pouvons entrer. De même pour les modifications apportées, au Chapitre III, aux procédés employés par Hayford pour le calcul de la hauteur moyenne du terrain afin de déterminer l'effet de compensation du défaut de masse.

Le Chapitre IV indique comment on peut transformer les valeurs des déviations de la verticale, calculées d'abord pour une profondeur de 120 km de la surface de compensation pour des profondeurs variant de 100 à 140 km.

Les conclusions de tout le travail sont données dans le « résumé » de la dernière page. Nous désirons seulement fournir encore quelques indications sur celle des planches accompagnant le volume qui illustre précisément les résultats finals. La planche II donne en effet la représentation graphique des déviations du zénith, aussi bien topographiques qu'isostatiques, à l'échelle de 1 mm pour 1". Elle indique aussi, à une échelle sensiblement plus forte (5 mm pour 1") les résidus entre l'observation et le calcul qui demeurent inexpliqués dans l'hypothèse de la compensation isostatique. Ces résidus peuvent probablement être attribués à des perturbations de la distribution des masses dans l'écorce terrestre. Pour certaines stations cela semble se confirmer. Pour d'autres il y aura lieu de poursuivre l'étude de l'équilibre isostatique d'une façon beaucoup plus détaillée.

Genève, mai 1925.

Au nom de la Commission géodésique suisse

Le président:

Raoul GAUTIER.

Table des Matières

	page
CHAPITRE PREMIER (Th. Niethammer).	
A. Les déviations de la verticale. Déviations topographiques et isostatiques	1
a) Déviations topographiques	1
b) Déviations isostatiques	3
c) Densité des masses extérieures, des masses compensatrices et des masses condensées	7
d) Expression mathématique de δB , $\delta B'$ et \mathfrak{f}^*	10
B. Développement des formules. Passage aux colonnes de dimensions finies	12
a) Calcul de la déviation topographique	12
Attraction horizontale des colonnes de dimensions finies	14
1. Masses voisines de la station	14
2. Masses éloignées de la station	15
b) Calcul de la déviation isostatique	19
1. La correction topographique de la déviation calculée isostatiquement	19
2. Le facteur de la réduction isostatique	19
a) La station est au niveau de la mer	19
Le facteur de la réduction isostatique pour des colonnes de dimensions finies	27
β) La station est au-dessus du niveau de la mer.	29
CHAPITRE II (A. Lalive).	
Calcul des déviations du zénith dans seize stations du réseau géodésique suisse	33
a) Détermination du réseau des zones et secteurs	34
b) Les facteurs de la réduction isostatique	41
c) Remarques relatives à la mesure des h_0 et l_0	43
d) Le matériel cartographique	44
e) Les tableaux numériques	44
Station Gurten N-S	46—47
» » W-E	48—49
Déviations produites par les zones 48 à 62	50—51
Station Berra	52
» Dôle	53
» Gæbris	54
» Generoso	55
» Gurnigel	56
» Gurten	57
» Lægern.	58
» Martinsbruck	59
» Righi.	60
» Rochers-de-Naye.	61
» St-Gothard	62
» Weissenstein	63

	page
Observatoire de Bâle	64
» » Genève	65
» » Neuchâtel	66
» » Zurich	67
 CHAPITRE III (Th. Niethammer).	
L'action compensatrice du „défaut de masse“ d'après une carte des hauteurs moyennes. . .	69
 CHAPITRE IV (Th. Niethammer).	
L'influence d'une variation de la profondeur de compensation	78
 CHAPITRE V (A. Lalive et Th. Niethammer).	
Les erreurs	82
A) Influence de l'incertitude des constantes	82
B) Erreurs dues aux simplifications introduites dans les calculs	87
Résumé	91
 CHAPITRE VI (Th. Niethammer et A. Lalive).	
Discussion des résultats	93
Résumé	102



CHAPITRE PREMIER.

A. Les déviations de la Verticale. Déviations topographiques et isostatiques.

a) Déviations topographiques.

Les écarts qui existent entre les longitudes et les latitudes déterminées par des méthodes géodésiques d'une part, par des procédés astronomiques d'autre part, sont appelés «*déviations de la verticale*». Jusqu'à une époque assez récente, on cherchait à les expliquer par l'attraction des masses extérieures de l'écorce terrestre, c'est-à-dire par l'attraction des masses situées entre la surface *solide* de la Terre et le niveau de la mer. Dans les calculs de cette attraction on procédait comme suit:

Considérons: 1^o un faisceau de plans passant par la verticale de la station; 2^o des cônes circulaires concentriques ayant pour sommet le centre de la Terre et pour axe la verticale de la station; ces deux systèmes de surfaces décomposent le terrain en un certain nombre de «*compartiments*».

Deux plans verticaux voisins et deux surfaces coniques voisines limitent dans la masse terrestre un secteur conique dont la base est la surface liquide ou solide de notre planète. Pour abrégé nous appellerons *colonne* la partie de ce secteur comprise entre deux surfaces de niveau quelconques. Quand la différence des azimuts des deux plans verticaux voisins et la différence des angles des deux cônes voisins sont infiniment petites, nous avons une *colonne élémentaire*. Pour calculer l'attraction d'une de ces colonnes élémentaires sur l'unité de masse située au point P , nous supposerons que la surface de la mer est celle d'une sphère de rayon $R_0 = 6371$ km. Cette valeur est, à très peu près, le rayon d'une sphère ayant le même volume que l'ellipsoïde terrestre.

Si les masses qui constituent la Terre formaient une sphère de rayon $R = R_0 + H$ (H est l'altitude de la station) et composée de couches concentriques homogènes, leur attraction serait dirigée vers le centre de la sphère, et la verticale ne serait pas déviée. Par contre, si la surface solide du globe est irrégulière et si les densités sont inégalement réparties, la direction du fil à plomb ne coïncide plus avec la direction du centre de la Terre. Il est possible de calculer cet écart lorsque l'on connaît les densités des masses ainsi que la forme de la surface solide du globe terrestre. Si l'on ne tient compte que des masses situées entre le niveau de la mer et la surface du sol, ou du fond des mers, et si l'on suppose que l'intérieur de la Terre est formé de couches concentriques homogènes, l'écart calculé s'appelle *déviaton*

topographique de la verticale ou du zénith. Dans ce cas, on simplifie les calculs en observant que l'attraction d'une sphère homogène creuse n'a pas de composante tangentielle; il suffit donc — pour trouver la déviation du fil à plomb — de ne tenir compte que des masses — positives ou négatives — dont la suppression transformerait la partie extérieure de la Terre en une sphère creuse homogène. Le rayon de cette sphère est arbitraire; nous le choisirons égal à R_0 , rayon de la Terre au niveau de la mer. Dans les calculs numériques, il est avantageux d'introduire le rayon $R_0 + H$; le passage de R_0 à $R_0 + H = R$ s'opère sans difficulté.

Nous distinguerons deux cas (fig. 1):

- 1° la colonne élémentaire est comprise entre le niveau de la mer et l'altitude h_0 ;
- 2° la colonne élémentaire s'étend du niveau de la mer jusqu'à la profondeur t_0 .

Soient

- Θ_0 la densité des masses dans l'élément d'altitude h_0 ;
- Θ_e la densité de l'eau de la mer dans l'élément de profondeur t_0 .

Ces densités sont supposées constantes.

Soit

- δB la composante horizontale de l'attraction de la colonne élémentaire — la densité étant 1 — sur la masse 1 située en un point quelconque de la verticale de la station.
- δB^P sera la composante horizontale de l'attraction exercée sur l'unité de masse placée au point P d'altitude H ; nous affecterons enfin ce symbole d'un indice inférieur h_0 ou t_0 pour désigner l'attraction due à la colonne de hauteur h_0 ou de profondeur t_0 .

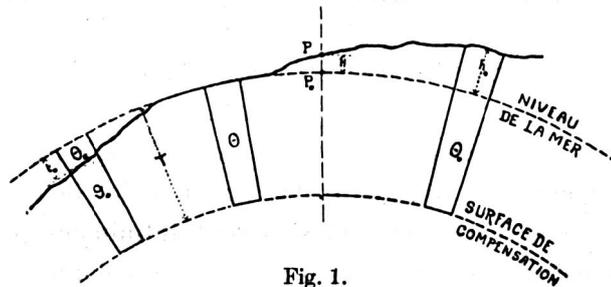


Fig. 1.

Par suite

$$\Theta_0 \delta B_{h_0}^P$$

représente la composante horizontale de l'attraction produite sur le point P , d'altitude H , par les masses comprises dans la colonne élémentaire h_0 ; c'est cette composante qu'il faut évaluer dans les calculs de la déviation.

Par contre, lorsqu'il s'agit d'un élément maritime, il ne faut considérer que l'influence du défaut de masse donné par l'écart entre la densité Θ_e de l'eau et la densité Θ des masses situées sous les continents. Désignons cette différence par ϑ_e .

$$\vartheta_e = \Theta_e - \Theta.$$

La composante horizontale de ce défaut de masse sera

$$\vartheta_e \delta B_{t_0}^P.$$

Les masses Θ_o des éléments continentaux de hauteur h_o et les masses ϑ_o des éléments océaniques seront appelées *les masses extérieures*.

Nous décomposons l'attraction horizontale suivant deux axes rectangulaires: un axe des ξ dirigé du sud au nord et un axe des η dirigé de l'ouest à l'est; soit φ l'azimut de la colonne élémentaire; si nous le comptons positivement du nord vers l'est, nous aurons:

$$\begin{aligned} \text{Composante S-N:} & \quad \Theta_o \delta B_{h_o}^P \cos \varphi \quad \text{resp}^t \quad \vartheta_o \delta B_{h_o}^P \cos \varphi, \\ \text{« W-E:} & \quad \Theta_o \delta B_{h_o}^P \sin \varphi \quad \text{resp}^t \quad \vartheta_o \delta B_{h_o}^P \sin \varphi. \end{aligned}$$

La sommation de ces composantes doit être étendue sur l'ensemble de tous les compartiments, depuis la station jusqu'aux antipodes. Si

$$A_{\xi, \text{top}} \quad \text{et} \quad A_{\eta, \text{top}}$$

représentent les composantes sud-nord et ouest-est de l'attraction horizontale, nous aurons

$$\begin{aligned} A_{\xi, \text{top}} &= \Sigma \{ \Theta_o \delta B_{h_o}^P + \vartheta_o \delta B_{h_o}^P \} \cos \varphi, \\ A_{\eta, \text{top}} &= \Sigma \{ \Theta_o \delta B_{h_o}^P + \vartheta_o \delta B_{h_o}^P \} \sin \varphi. \end{aligned} \quad [1]$$

Quand les valeurs de $A_{\xi, \text{top}}$ et $A_{\eta, \text{top}}$ sont petites par rapport à l'accélération g de la pesanteur, ces composantes produiront des déviations du fil à plomb exprimées par

$$\frac{A_{\xi, \text{top}}}{g} \quad \text{et} \quad \frac{A_{\eta, \text{top}}}{g}$$

Représentons par ξ_{top} et η_{top} les composantes sud-nord et ouest-est de la déviation du zénith; nous aurons, en secondes d'arc,

$$\begin{aligned} \xi_{\text{top}}'' &= 206\,265'' \frac{A_{\xi, \text{top}}}{g} \\ \eta_{\text{top}}'' &= 206\,265'' \frac{A_{\eta, \text{top}}}{g} \end{aligned} \quad [2]$$

b) Déviations isostatiques.

Les tentatives d'expliquer les perturbations du zénith par l'attraction des *masses extérieures* n'eurent un certain succès que lorsqu'il s'agissait d'étudier ces déviations dans une région limitée à quelques dizaines de kilomètres; par contre, il était impossible d'obtenir une explication satisfaisante des déviations observées dans un pays très étendu. La cause de cet échec doit être recherchée dans le fait que les *masses extérieures* ne sont pas seules à troubler la position du zénith. — PRATT¹⁾ a le mérite de l'avoir montré le premier, grâce aux résultats des mesures de la pesanteur et des déviations de la verticale.

L'hypothèse de PRATT relative à la constitution de l'écorce terrestre dit en somme que les masses extérieures sont compensées par un défaut de masse sous les continents ou

¹⁾ J. H. PRATT: On the Constitution of the Solid Crust of the Earth, London Phil. Trans., 161 (1871) pp. 335—357.
 John F. HAYFORD: The Figure of the Earth and Isostasy from Measurements in the United States, Washington, 1909; — Supplementary Investigation in 1909 of the Figure of the Earth and Isostasy, Washington, 1910.
 F. R. HELMERT: Die isostatische Reduktion der Lotrichtungen. Sitzungsberichte der königl. preuss. Akademie der Wissenschaften, 1914, XIV, pp. 440—453.

par un excès de masse au-dessous du fond des océans. En d'autres termes, la densité de la croûte terrestre est plus faible sous les continents que sous les mers; cette inégalité est telle que toute *colonne* verticale de section constante — comprise entre une certaine surface de niveau intérieure et la surface de la Terre — contient la même masse.

Si le principe de la *compensation* doit intervenir dans les calculs de déviation, il est nécessaire, pour simplifier, de faire les suppositions suivantes:

- 1° la section des colonnes dans lesquelles il y a compensation est infiniment petite;
- 2° dans chaque colonne envisagée la densité des masses est constante.

Les bases de toutes les colonnes se trouvent sur la *surface de compensation*; au-dessous de celle-ci toute masse élémentaire est soumise à des pressions égales dans toutes les directions: il y a équilibre hydrostatique.

La *profondeur de compensation* a été calculée par HAYFORD et par HELMERT. Le premier a utilisé les déviations de la verticale observées aux Etats-Unis; le deuxième l'a déduite des irrégularités de l'intensité de la pesanteur dans le voisinage des côtes océaniques.¹⁾ Ces travaux ont donné des résultats concordants: la surface de compensation est à la profondeur

$$T = 120 \text{ km.}$$

D'après l'hypothèse de PRATT, ou hypothèse de *l'isostasie*, la croûte terrestre est dite en *équilibre isostatique* et les déviations du fil à plomb calculées conformément au principe de *l'isostasie* sont dites *déviations isostatiques*.

Celles-ci ont été calculées pour la première fois par HAYFORD; son procédé fut modifié et amélioré par HELMERT qui montra comment on pouvait tenir compte de deux éléments négligés par HAYFORD: la courbure de la Terre et l'altitude de la station.

Le procédé HAYFORD-HELMERT est le suivant. Soient

Θ_T la densité du défaut de masse d'un élément continental, c'est-à-dire l'écart entre une densité constante Θ et la densité Θ_o des masses qui s'étendent de la surface de compensation à la surface de la Terre:

$$\Theta_T = \Theta_o - \Theta;$$

ϑ_T la densité de l'excès de masse d'une colonne océanique, c'est-à-dire la différence entre la même densité constante Θ et la densité ϑ_o des masses qui s'étendent de la surface de compensation au fond de la mer:

$$\vartheta_T = \vartheta_o - \Theta.$$

Soient de plus, en conformité des notations adoptées plus haut:

δB_T^P la composante horizontale de l'attraction exercée au point P , sur la masse I , par une colonne élémentaire comprise entre le niveau de la mer et la surface de compensation;

δB_{T-t}^P la même composante pour le cas où la masse cylindrique élémentaire est comprise entre le fond de la mer et la surface de compensation.

¹⁾ F. R. HELMERT: Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Pratt'schen Hypothese etc., Sitzungsber. der königl.-preuss. Akademie der Wissenschaften, 1909, XLVIII, pag. 1192.

Les deux composantes de l'attraction sont alors

$$\begin{array}{l} \sqrt{N-S}: \\ \text{W-E:} \end{array} \quad \begin{array}{l} \Theta_T \delta B_T^P \cos \varphi \quad \text{resp}^t \quad \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P \cos \varphi \\ \Theta_T \delta B_T^P \sin \varphi \quad \text{resp}^t \quad \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P \sin \varphi. \end{array}$$

La sommation étendue sur l'ensemble des compartiments fournit $A_{\xi,c}$ et $A_{\eta,c}$, les deux composantes sud-nord et ouest-est dues aux masses compensatrices:

$$\begin{aligned} A_{\xi,c} &= \Sigma \{ \Theta_T \delta B_T^P + \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P \} \cos \varphi \\ A_{\eta,c} &= \Sigma \{ \Theta_T \delta B_T^P + \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P \} \sin \varphi \end{aligned} \quad [3]$$

Combinons maintenant l'attraction $\delta A_{\xi, \text{top}}$ des masses extérieures et celle $A_{\xi,c}$ des masses compensatrices; nous obtenons les *composantes isostatiques* $A_{\xi,i}$ et $A_{\eta,i}$ de l'attraction:

$$\begin{aligned} A_{\xi,i} &= A_{\xi, \text{top}} + A_{\xi,c} = \Sigma \{ (\Theta_o \delta B_{h_0}^P + \Theta_T \delta B_T^P) + (\vartheta_o \delta B_{t_0}^P + \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P) \} \cos \varphi \\ A_{\eta,i} &= A_{\eta, \text{top}} + A_{\eta,c} = \Sigma \{ (\Theta_o \delta B_{h_0}^P + \Theta_T \delta B_T^P) + (\vartheta_o \delta B_{t_0}^P + \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P) \} \sin \varphi \end{aligned} \quad [4]$$

Il en résulte que les déviations isostatiques ξ_i et η_i exprimées en secondes d'arc sont:

$$\begin{aligned} \xi_i &= 206 \, 265'' \frac{A_{\xi,i}}{g} \\ \eta_i &= 206 \, 265'' \frac{A_{\eta,i}}{g} \end{aligned} \quad [5]$$

Le calcul des expressions $A_{\xi,i}$ et $A_{\eta,i}$ peut être simplifié. Pour cela, dans les formules [4], nous réunissons et désignons par δA les deux termes qui correspondent à la partie extérieure d'une colonne élémentaire et au défaut (ou à l'excès) de masse compensateur au-dessous du niveau de la mer; de cette manière

$$\begin{array}{l} \text{sur le continent:} \\ \text{sur la mer:} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \delta A = \Theta_o \delta B_{h_0}^P + \Theta_T \delta B_T^P \\ \delta A = \vartheta_o \delta B_{t_0}^P + \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P \end{array} \right\} \quad [6]$$

La simplification consiste à supposer les masses extérieures *condensées* sur une surface de niveau quelconque, assujettie à la seule condition d'être voisine du niveau de la station ou du niveau de la mer, et à ramener les deux termes de δA à l'attraction qu'exerce cette masse fictive sur le point où la verticale de la station traverse la surface de condensation. Dans les limites de l'exactitude fixée pour les calculs numériques, l'attraction horizontale de cette masse condensée est la même pour le niveau de la station et pour le niveau de la mer.

La densité de la couche superficielle est calculée de façon que la masse condensée soit équivalente à celle de la colonne élémentaire extérieure. Nous représentons par

$$\Theta_o \delta B'_{h_0}$$

l'attraction horizontale que cette masse condensée exerce sur le point où la verticale de la station rencontre la surface de condensation.

De la sorte, δA peut s'écrire:

$$\begin{array}{l} \text{sur le continent:} \\ \text{sur la mer:} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \delta A = (\Theta_o \delta B'_{h_0} + \Theta_T \delta B_T^P) + \Theta_o (\delta B_{h_0}^P - \delta B'_{h_0}), \\ \delta A = (\vartheta_o \delta B'_{t_0} + \vartheta_T \delta B_{T-t_0}^P) + \vartheta_o (\delta B_{t_0}^P - \delta B'_{t_0}). \end{array} \right\} \quad [6a]$$

A l'exception du deuxième terme, les seconds membres de ces expressions offrent une analogie complète. Pour que les seconds termes se correspondent aussi, nous posons

$$\delta B_{T,i}^P = \delta B_T^P - \delta B'_i,$$

et δA devient, pour les masses maritimes:

$$\delta A = (\vartheta_e \delta B'_i + \vartheta_T \delta B_T^P) + \vartheta_e \left(\frac{\vartheta_e - \vartheta_T}{\vartheta_e} \delta B_{i_o}^P - \delta B'_i \right) \quad [6b]$$

On remarque que l'analogie de forme est maintenant supprimée dans le troisième terme; les calculs numériques prouvent que c'est là le moindre des inconvénients.

L'attraction isostatique δA de chaque colonne élémentaire se décompose donc en deux parties, savoir: la somme des deux premiers termes que nous désignons par δA_{iso} et le reste de l'expression que nous abrégons par δA_{top} . Il en résulte

$$\delta A = \delta A_{\text{iso}} + \delta A_{\text{top}},$$

$$\begin{aligned} \text{où} \quad \delta A_{\text{iso}} &= \Theta_o \delta B'_{h_o} + \Theta_T \delta B_T^P \quad \text{resp}^t \quad \vartheta_e \delta B'_{i_o} + \vartheta_T \delta B_T^P \\ \text{et} \quad \delta A_{\text{top}} &= \Theta_o (\delta B_{h_o}^P - \delta B'_{h_o}) \quad \text{resp}^t \quad \vartheta_e \left(\frac{\vartheta_e - \vartheta_T}{\vartheta_e} \delta B_{i_o}^P - \delta B'_i \right) \end{aligned} \quad [7]$$

Si cette décomposition est avantageuse, c'est que les différences

$$\delta B_{h_o}^P - \delta B'_{h_o} \quad \text{et} \quad \delta B_{i_o}^P - \delta B'_i$$

n'ont de valeur sensible que dans le voisinage immédiat de la station et qu'elles tendent rapidement vers zéro à mesure que la colonne élémentaire s'éloigne du point P . On appelle δA_{top} la *correction topographique de l'attraction calculée isostatiquement*.

S'il n'y a pas de différence appréciable entre l'attraction des masses extérieures et l'attraction des masses fictives condensées, c'est-à-dire si l'on a:

$$\delta B_{h_o}^P - \delta B'_{h_o} = 0 \quad \text{et} \quad \delta B_{i_o}^P - \delta B'_i = 0,$$

l'analogie des formules est rétablie dans les deux cas; car, nous avons alors

$$\text{continents:} \quad \delta A = \delta A_{\text{iso}} = \Theta_o \delta B'_{h_o} + \Theta_T \delta B_T^P, \quad [7a]$$

$$\text{mers:} \quad \delta A = \delta A_{\text{iso}} = (\vartheta_e - \vartheta_T) \delta B'_{i_o} + \vartheta_T \delta B_T^P. \quad [7b]$$

Dans cette dernière équation, l'excès de masse ne s'étend plus jusqu'au fond de la mer (comme dans la formule [6a]), mais jusqu'au niveau de la mer; l'attraction de la masse de densité ϑ_T , ajoutée entre le niveau et le fond de la mer, est compensée par celle de la masse de densité $-\vartheta_T$ superposée à la masse condensée.

On peut interpréter la relation

$$\delta A = \delta A_{\text{iso}} + \delta A_{\text{top}}$$

de la manière suivante:

L'attraction isostatique δA peut être calculée comme s'il n'existait que les masses condensées et les masses compensatrices, pourvu que l'on tienne compte de la correction topographique.

Le calcul de δA_{iso} est facilité par le fait que l'on peut ramener l'attraction des masses compensatrices à celle des masses condensées. Dans ce but nous définissons, avec HAYFORD et HELMERT, une grandeur \mathfrak{F}^* par les égalités

$$\Theta_T \delta B_T = (\mathfrak{F}^* - 1) \Theta_o \delta B'_{h_o} \quad \text{et} \quad \vartheta_T \delta B_T^P = (\mathfrak{F}^* - 1) \vartheta_e \delta B'_{t_o}.$$

δA_{iso} prend alors la forme plus simple

$$\delta A_{\text{iso}} = \mathfrak{F}^* \Theta_o \delta B'_{h_o} \quad \text{resp}^t \quad \delta A_{\text{iso}} = \mathfrak{F}^* \vartheta_e \delta B'_{t_o} \quad [8]$$

et \mathfrak{F}^* a pour valeur

$$\mathfrak{F}^* = \frac{\Theta_T \delta B_T^P + \Theta_o \delta B'_{h_o}}{\Theta_o \delta B'_{h_o}} \quad \text{resp}^t \quad \frac{\vartheta_T \delta B_T^P + \vartheta_e \delta B'_{t_o}}{\vartheta_e \delta B'_{t_o}} \quad [9]$$

HAYFORD appelle \mathfrak{F}^* *facteur de réduction isostatique*. Ce facteur est fonction de l'altitude H de la station et de l'éloignement des masses; par contre il est indépendant de la densité.

On peut se représenter facilement comment cette fonction varie avec la distance.

Les masses compensatrices voisines de la verticale de la station et situées au-dessous du niveau de la mer n'exercent pas d'attraction horizontale sensible; pour ces masses δB_T^P est à très peu près nul et par suite \mathfrak{F}^* part de la valeur 1.

L'attraction horizontale des masses compensatrices augmente en valeur absolue avec la distance, jusqu'à ce qu'elle devienne égale — mais de signe contraire — à l'attraction horizontale des masses condensées; dans ce cas:

$$\Theta_T \delta B_T^P + \Theta_o \delta B'_{h_o} = \vartheta_T \delta B_T^P + \vartheta_e \delta B'_{t_o} = 0$$

et par suite

$$\mathfrak{F}^* = 0.$$

Quand l'éloignement augmente encore, l'action des masses compensatrices dépasse celle des masses condensées, de sorte que

$$\Theta_T \delta B_T^P + \Theta_o \delta B'_{h_o} < 0$$

$$\vartheta_T \delta B_T^P + \vartheta_e \delta B'_{t_o} < 0$$

$$\text{et } \mathfrak{F}^* < 0.$$

Le facteur \mathfrak{F}^* reste ensuite négatif jusqu'aux masses voisines de l'antipode.

Entre la correction topographique δA_{top} et l'attraction topographique $\Theta_o \delta B'_{h_o}$, respectivement $\vartheta_e \delta B'_{t_o}$, nous avons les relations:

$$\Theta_o \delta B'_{h_o} = \delta A_{\text{top}} + \Theta_o \delta B'_{h_o} \quad \text{et} \quad \vartheta_e \delta B'_{t_o} = \delta A_{\text{top}} + \vartheta_e \delta B'_{t_o} \quad [10]$$

e) Densité des masses extérieures, des masses compensatrices et des masses condensées.

Comment concevoir la répartition des masses de l'écorce terrestre pour que l'isostasie soit réalisée? Nous pouvons supposer qu'à l'origine les masses ont eu la densité constante Θ jusqu'à la profondeur T ; un continent ou une région montagneuse a pu se former par la dila-

tation uniforme des masses de l'écorce terrestre jusqu'au niveau $R_o + h_o$; une dépression océanique peut s'être produite par la contraction uniforme des masses jusqu'au niveau $R_o - t_o$, l'eau de densité Θ_e remplissant en même temps la dépression.

Dans cette hypothèse toutes les densités peuvent être ramenées à la valeur constante de la densité Θ de la croûte terrestre primitive. Ces densités sont:

- Θ_o densité des masses extérieures h_o ,
- $\vartheta_e = \Theta_e - \Theta$ densité des masses extérieures t_o ,
- $\Theta_T = \Theta_o - \Theta$ densité des masses compensatrices sous un continent,
- $\vartheta_T = \vartheta_o - \Theta$ densité des masses compensatrices sous un océan,
- d densité superficielle des masses condensées.

Soit dq la base, au niveau de la mer, d'une colonne élémentaire quelconque. Le volume de l'élément sera, abstraction faite de la courbure de la Terre:

$$\begin{aligned} h_o dq & \text{ si la hauteur est } h_o; \\ t_o dq & \text{ si la profondeur est } t_o; \\ T dq & \text{ si la profondeur est } T. \end{aligned}$$

Les densités correspondront à l'hypothèse de PRATT, si les relations suivantes sont satisfaites:

$$\begin{aligned} (h_o + T) \Theta_o &= T \Theta, \\ t_o \Theta_e + (T - t_o) \vartheta_o &= T \Theta. \end{aligned}$$

Pour tenir compte de la courbure de la Terre il faut remplacer les grandeurs h_o , t_o et T par:

$$\left. \begin{aligned} h'_o &= \frac{\frac{4}{3} \pi \{ (R_o + h_o)^3 - R_o^3 \}}{4 \pi R_o^2} = h_o \left(1 + \frac{h_o}{R_o} + \frac{1}{3} \frac{h_o^2}{R_o^2} \right) = \frac{1}{3} \left[\frac{r^3}{R_o^2} \right]_{r=R_o}^{r=R_o+h_o} \\ t'_o &= \frac{\frac{4}{3} \pi \{ R_o^3 - (R_o - t_o)^3 \}}{4 \pi R_o^2} = t_o \left(1 - \frac{t_o}{R_o} + \frac{1}{3} \frac{t_o^2}{R_o^2} \right) = \frac{1}{3} \left[\frac{r^3}{R_o^2} \right]_{r=R_o-t_o}^{r=R_o} \\ T' &= \frac{\frac{4}{3} \pi \{ R_o^3 - (R_o - T)^3 \}}{4 \pi R_o^2} = T \left(1 - \frac{T}{R_o} + \frac{1}{3} \frac{T^2}{R_o^2} \right) = \frac{1}{3} \left[\frac{r^3}{R_o^2} \right]_{r=R_o-T}^{r=R_o} \end{aligned} \right\} [11]$$

et les volumes des divers éléments deviennent ainsi:

$$h'_o dq, \quad t'_o dq \quad \text{et} \quad T' dq.$$

Les conditions d'une répartition isostatique des masses sont maintenant:

$$\begin{aligned} (h'_o + T') \Theta_o &= T' \Theta \\ t'_o \Theta_e + (T' - t'_o) \vartheta_o &= T' \Theta \end{aligned}$$

et par suite:

$$\begin{aligned} \Theta_o &= \frac{T'}{T' + h'_o} \Theta \\ \Theta_T &= - \frac{h'_o}{T' + h'_o} \Theta \\ \vartheta_T &= \frac{t'_o}{T' - t'_o} (\Theta - \Theta_e) \end{aligned}$$

L'expression Θ_o dépend de l'altitude h_o ; c'est un inconvénient pour les calculs. Or la densité effective des masses extérieures subit des variations plus fortes que celles indiquées par

$$\Theta_o = \frac{T'}{T' + h'_o} \Theta;$$

il en résulte qu'il suffira — dans les calculs numériques — de partir de l'hypothèse

$$\Theta_o = \text{constante}$$

et de déterminer aussi la densité du « défaut » des masses maritimes par rapport à cette constante. Les densités Θ_T et ϑ_T sont alors données par

$$\begin{aligned} h'_o \Theta_o + T' \Theta_T &= 0 \\ t'_o \vartheta_e + (T' - t'_o) \vartheta_T &= 0 \end{aligned} \quad [12]$$

qui peut s'écrire

$$t'_o(\vartheta_e - \vartheta_T) + T' \vartheta_T = 0,$$

où l'on a

$$\vartheta_e = \Theta_e - \Theta_o.$$

De plus, la « densité superficielle » des masses condensées au niveau de la mer sera

$$\begin{aligned} \text{pour les continents:} & \quad d_{h_o} = h'_o \Theta_o, \\ \text{pour les océans:} & \quad d_{t_o} = t'_o \vartheta_e. \end{aligned} \quad [13]$$

Les formules [6a] et [6b] qui donnent l'attraction isostatique deviennent, grâce aux expressions [12]:

$$\begin{aligned} \text{pour les continents:} & \quad \delta A = \Theta_o \left(\delta B'_{h_o} - \frac{h'_o}{T'} \delta B_T^P \right) + \Theta_o (\delta B_{h_o}^P - \delta B'_{h_o}), \\ \text{pour les mers:} & \quad \delta A = \vartheta_e \left(\delta B'_{t_o} - \frac{t'_o}{T' - t'_o} \delta B_T^P \right) + \vartheta_e \left(\frac{\vartheta_e - \vartheta_T}{\vartheta_e} \delta B_{t_o}^P - \delta B'_{t_o} \right). \end{aligned}$$

Dans la dernière égalité, nous pouvons remplacer $\vartheta_T \delta B_{t_o}^P$ par $\vartheta_T \delta B'_{t_o}$; de sorte que

$$\delta A = (\vartheta_e - \vartheta_T) \left(\delta B'_{t_o} + \frac{\vartheta_T}{\vartheta_e - \vartheta_T} \delta B_T^P \right) + \vartheta_e (\delta B_{t_o}^P - \delta B'_{t_o})$$

ou bien, grâce à [12]:

$$\delta A = (\vartheta_e - \vartheta_T) \left(\delta B'_{t_o} - \frac{t'_o}{T'} \delta B_T^P \right) + \vartheta_e (\delta B_{t_o}^P - \delta B'_{t_o}).$$

Le facteur de la réduction isostatique devient alors:

$$\mathfrak{F}^* = 1 - \frac{h'_o}{T'} \frac{\delta B_T^P}{\delta B'_{h_o}} \quad \text{resp}^t \quad = 1 - \frac{t'_o}{T'} \frac{\delta B_T^P}{\delta B'_{t_o}} \quad [14]$$

Par conséquent, les attractions isostatiques peuvent se mettre sous la forme:

$$\begin{aligned} \text{masses continentales:} & \quad \delta A = \mathfrak{F}^* \Theta_o \delta B'_{h_o} + \Theta_o (\delta B_{h_o}^P - \delta B'_{h_o}), \\ \text{masses océaniques:} & \quad \delta A = \mathfrak{F}^* (\vartheta_e - \vartheta_T) \delta B'_{t_o} + \vartheta_e (\delta B_{t_o}^P - \delta B'_{t_o}) \end{aligned} \quad [15]$$

Ainsi, le calcul de l'attraction isostatique, celui de la correction topographique et même, grâce aux formules [10], celui de l'attraction topographique, sont ramenés à la recherche de l'attraction δB d'une colonne élémentaire et de l'attraction $\delta B'$ de la masse condensée.

d) Expression mathématique de δB , $\delta B'$ et ξ^* .

Pour déterminer l'attraction horizontale d'une colonne élémentaire sur le point P d'altitude H , nous décomposons cet élément à l'aide d'un système de sphères concentriques ayant pour centre le centre de la Terre.

Soient (fig. 2):

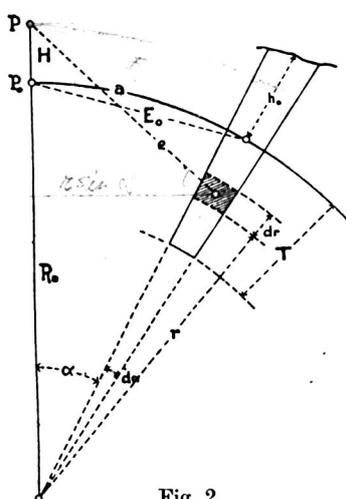


Fig. 2.

α et $\alpha + d\alpha$ les angles d'ouverture de deux surfaces coniques voisines,

φ et $\varphi + d\varphi$ les azimuts de deux plans verticaux voisins,

r et $r + dr$ les rayons de deux sphères voisines.

Le volume élémentaire limité par ces six surfaces a pour expression:

$$r^2 \sin \alpha \, d\alpha \, d\varphi \, dr .$$

Soient de plus:

e l'éloignement de l'élément par rapport à la station P ,

f la constante de la gravitation universelle.

L'attraction de l'élément — la densité étant 1 — sur la masse 1 située au point P sera

$$f \frac{r^2 \sin \alpha \, d\alpha \, d\varphi \, dr}{e^2}$$

où

$$e = + \sqrt{(R_0 + H)^2 + r^2 - 2(R_0 + H)r \cos \alpha} .$$

Si l'on multiplie cette attraction par le cosinus de l'angle que fait la distance e avec l'horizon du point P , on trouve la composante horizontale de l'attraction. Ce cosinus a pour valeur

$$\frac{r \sin \alpha}{e}$$

et la composante horizontale devient

$$f \frac{r^3 \sin^2 \alpha}{e^3} \, d\alpha \, d\varphi \, dr .$$

Intégrons par rapport à r de $r = R_0$ à $r = R_0 + x$ (respectivement de $r = R_0 - x$ à $r = R_0$); nous obtenons l'attraction horizontale, pour la densité 1, des masses situées dans la colonne élémentaire entre le niveau inférieur et supérieur. Il en résulte

$$\delta B_{\pm x}^P = \pm f \sin^2 \alpha \, d\varphi \, d\alpha \int_{R_0}^{R_0 \pm x} \frac{r^3}{e^3} \, dr \quad [16]$$

Attraction horizontale des masses condensées. — Si x' a la même signification que h'_0 ou t'_0 , la densité superficielle des masses condensées au niveau de la mer, masses de hauteur x et de densité 1, sera

$$d = x'.$$

Soit E_0 l'éloignement de la masse condensée du pied P_0 de la verticale de la station,

$$E_0 = 2R_0 \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Nous aurons

$$\left. \begin{aligned} \delta B'_x &= f x' \sin^2 \alpha \, d\varphi \, d\alpha \frac{R_0^3}{E_0^3} \\ \text{ou} &= f x' \, d\alpha \, d\varphi \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \\ \text{ou encore} &= f x' \, d\varphi \cos \frac{\alpha}{2} \frac{dE_0}{E_0} \end{aligned} \right\} \quad [17]$$

Le facteur de la réduction isostatique \mathcal{F}^ .* — Si l'on pose $x = T$ dans la formule [16], $x' = h'_0$ (resp^t t'_0) dans la formule [17], et si l'on introduit δB_T^P et $\delta B'_{h_0}$ ou $\delta B'_{t_0}$ dans l'équation de définition [14], il vient:

$$\mathcal{F}^* = 1 - \frac{E_0^3}{R_0^3} \frac{1}{T'} \int_{R_0 - T}^{R_0} \frac{r^3}{e^3} \, dr \quad [18]$$

qui est le facteur de la réduction isostatique tant pour les masses terrestres que pour les régions océaniques.

Il résulte des formules [16] et [18] que le calcul de la déviation topographique et celui de la déviation isostatique se ramènent à la recherche de l'intégrale

$$\int_{R_0}^{R_0 + x} \frac{r^3}{e^3} \, dx$$

B. Développement des formules. Passage aux colonnes de dimensions finies.

a) Calcul de la déviation topographique.

Le calcul numérique se présente de façon un peu plus simple lorsqu'on tient compte, non pas de toutes les masses comprises entre le niveau de la mer et la surface du sol, mais seulement de celles qui dépassent le niveau de la station ou qui manquent pour parvenir à celui-ci.

Soit

$$h = h_0 - H$$

la hauteur relative des masses extérieures par rapport à la station. Si l'on pose

$$R = R_0 + H$$

l'attraction horizontale δA_h^P , exercée sur le point P par la partie de la colonne élémentaire qui dépasse le niveau de P , sera :

$$\delta A_h^P = f \Theta_0 \sin^2 \alpha \, d\alpha \, d\varphi \int_R^{R+h} \frac{r^3}{e^3} dr. \quad [19]$$

Pour une colonne élémentaire qui n'atteint pas l'altitude du point P , on a

$$h_0 < H ;$$

il suffit alors de considérer l'espace compris entre le sol et le niveau de la station comme rempli d'une masse de densité $-\Theta_0$. Dans ce cas, puisqu'il faut intégrer entre $r = R_0 + h_0$ et $r = R$, on peut permuter les deux limites; il y a changement de signe et la même expression reste valable.

L'intégrale

$$J = \int_R^{R+h} \frac{r^3}{e^3} dr$$

dans laquelle

$$e^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos \alpha$$

n'est pas favorable sous cette forme au calcul numérique.¹⁾ Or, il est dans la nature même du problème que seules ont de l'importance les masses qui sont voisines du niveau initial R ou du niveau de la mer R_0 ; par conséquent, il sera préférable d'introduire comme variable d'intégration le rapport de la hauteur relative au rayon R :

¹⁾ Voir HELMERT; l. c. pag. 442.

$$z = \frac{r - R}{R}.$$

Les puissances supérieures de z seront alors négligeables. Par cette substitution l'intégrale J devient

$$J = \frac{R}{\sin^3 \frac{\alpha}{2}} \int_0^{h/R} \frac{(1+z)^3}{\left(\frac{2+z}{2}\right)^3} \frac{dz}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{2+z}\right)^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}};$$

elle montre qu'il est avantageux de prendre $\frac{z}{2+z}$ comme nouvelle variable; posons donc

$$y = \frac{z}{2+z} = \frac{r-R}{r+R};$$

il en résulte

$$\frac{1+z}{1+\frac{z}{2}} = 1+y \quad \text{et} \quad dz = \frac{2 dy}{(1-y)^2}$$

et l'intégrale prend la forme

$$J = \frac{R}{4 \sin^3 \frac{\alpha}{2}} \int_0^{y_0} \frac{(1+y)^3}{(1-y)^2} \frac{dy}{\sqrt{1+y^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}} \quad [20]$$

dans laquelle y_0 représente $\frac{h}{2R+h}$.

Si l'on développe $\frac{(1+y)^3}{(1-y)^2}$, il vient

$$\frac{(1+y)^3}{(1-y)^2} = 1 + 5y + 4y^2 \sum_{n=0}^{\infty} (3+2n) y^n.$$

Dans l'intégration, on s'en tiendra aux premiers termes de la série. Au reste on verra bientôt que les calculs numériques rendent nécessaire d'abandonner déjà les termes d'ordre y par rapport à 1, ce qui revient à évaluer à l'unité le quotient $\frac{(1+y)^3}{(1-y)^2}$; on conservera le terme $5y$ qui ne peut être négligé dans le calcul du facteur de la réduction isostatique. L'intégrale devient alors

$$J = \frac{R}{4 \sin^3 \frac{\alpha}{2}} \int_0^{y_0} \frac{1+5y+\dots}{\sqrt{1+y^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}} dy$$

ou bien

$$J = \frac{2R^4}{E^3} \int_0^{y_0} d \left[\frac{y}{\sqrt{1+y^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}} \left(1 + \frac{5y}{\sqrt{1+y^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}} + 1} \right) \right];$$

par suite

$$J = \frac{1}{8 \sin^3 \frac{\alpha}{2}} \frac{h}{\sqrt{1 + \frac{h}{R} + \frac{h^2}{E^2}}} \left(1 + \frac{5 \frac{h}{R}}{\sqrt{1 + \frac{h}{R} + \frac{h^2}{E^2}} + 1 + \frac{h}{2R}} \right)$$

L'attraction horizontale cherchée sera

$$\delta A_h^P = f \Theta_o \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} d\alpha d\varphi \frac{h}{\sqrt{1 + \frac{h}{R} + \frac{h^2}{E^2}}} \left(1 + \frac{\frac{5h}{2R}}{\sqrt{1 + \frac{h}{R} + \frac{h^2}{E^2} + 1 + \frac{h}{2R}}} \right) \quad [21]$$

et, en négligeant les termes de l'ordre $\frac{h^2}{R^2}$, (puisque $1 + \frac{h}{R} + \dots = \frac{h}{h'}$):

$$\delta A_h^P = f \Theta_o \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} d\alpha d\varphi \frac{h}{\sqrt{\frac{h'}{h} + \frac{h^2}{E^2}}} \left(1 + \frac{\frac{5h}{2R}}{\sqrt{\frac{h'}{h} + \frac{h^2}{E^2} + 1 + \frac{h}{2R}}} \right)^* \quad [21a]$$

Or l'exécution pratique des calculs nous contraint à abandonner les termes d'ordre $\frac{h}{R}$; on posera donc la parenthèse égale à l'unité, ainsi que $h' = h$; dans ces conditions l'expression suivante est valable pour toutes les distances E :

$$\delta A_h^P = f \Theta_o h \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} d\alpha d\varphi \frac{E}{\sqrt{h^2 + E^2}}. \quad [22]$$

Si, de plus, $\cos \frac{\alpha}{2}$ et $\sin \frac{\alpha}{2}$ sont remplacés par leurs valeurs en fonction du paramètre E ,

$$\frac{E}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = R, \quad R \cos^2 \frac{\alpha}{2} d\alpha = \cos^2 \frac{\alpha}{2} dE = \sqrt{1 - \frac{E^2}{4R^2}} dE,$$

il s'en suit finalement:

$$\delta A_h^P = f \Theta_o h d\varphi \cos^2 \frac{\alpha}{2} \frac{dE}{\sqrt{h^2 + E^2}} = f \Theta_o h d\varphi \sqrt{1 - \frac{E^2}{4R^2}} \frac{dE}{\sqrt{h^2 + E^2}}. \quad [23]$$

Attraction horizontale des colonnes de dimensions finies.

1. Masses voisines de la station.

Si l'on intègre de $E = E_i$ à $E = E_k$, on obtient l'attraction du secteur d'ouverture $d\varphi$ d'un cône creux. Mais la valeur ainsi déduite ne doit être appliquée que dans le voisinage immédiat de la station; pour les masses plus éloignées, le calcul est sensiblement simplifié.

*) Le deuxième terme de la parenthèse tend rapidement vers $\frac{5h}{4R}$ quand E augmente: l'expression entre parenthèses se réduit alors approximativement à $1 + \frac{h}{R}$; de la sorte

$$\delta A_h^P = f \Theta_o \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} d\alpha \cdot d\varphi \cdot \frac{h'}{\sqrt{\frac{h'}{h} + \frac{h^2}{E^2}}}$$

peut être considéré comme l'expression de l'attraction horizontale qui, à partir de $h = E$, tient compte des termes de l'ordre $\frac{h}{R}$.

Lorsque les distances sont faibles, le facteur $\cos \frac{\alpha}{2}$ varie si lentement qu'il est permis d'introduire une valeur moyenne $\cos \frac{\bar{\alpha}}{2}$ qui passe devant le signe de l'intégration.

On obtient alors pour l'attraction ΔA_h^P d'un secteur du cône creux

$$\Delta A_h^P = f \Theta_o h d\varphi \cos \frac{\bar{\alpha}}{2} \log \frac{E_k + \sqrt{E_k^2 + h^2}}{E_i + \sqrt{E_i^2 + h^2}} .$$

Jusqu'à la distance $E = 400$ km, $\cos \frac{\bar{\alpha}}{2}$ diffère de l'unité d'une quantité moindre que $\frac{1}{2000}$; nous négligeons les grandeurs de cet ordre et posons en conséquence:

$$\cos \frac{\bar{\alpha}}{2} = 1 .$$

L'expression précédente pour ΔA_h^P ne sera appliquée que si $E < 50$ km; dans ce cas, on peut remplacer E par l'arc a mesuré au niveau de la station, puisque

$$E = a \left(1 - \frac{1}{6} \frac{a}{2R} + \dots \right) = a \dots$$

De la sorte

$$\Delta A_h^P = f \Theta_o h d\varphi \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + h^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + h^2}} . \quad [24]$$

2. Masses éloignées de la station.

Comparons l'attraction d'une colonne élémentaire (formule [21 a]) avec l'attraction des masses condensées

$$\delta A_h' = \Theta_o \delta B_h'$$

(formule [17]); nous avons

$$\frac{\delta A_h^P}{\delta A_h'} = \frac{\frac{h}{h'}}{\sqrt{\frac{h'}{h} + \frac{h^2}{E^2}}} \left(1 + \frac{\frac{5h}{2R}}{\sqrt{\frac{h'}{h} + \frac{h^2}{E^2} + 1 + \frac{h}{2R}}} \right) = \frac{1 - \frac{h}{R} + \dots}{\sqrt{1 + \frac{h}{R} + \frac{h^2}{R^2}}} \left(1 + \frac{\frac{5h}{2R}}{\sqrt{1 + \frac{h}{R} + \frac{h^2}{E^2} + 1 + \frac{h}{2R}}} \right)$$

ou bien, en développant les racines:

$$\frac{\delta A_h^P}{\delta A_h'} = \left(1 - \frac{h}{R} + \dots \right) \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{R} + \frac{h^2}{E^2} \right) + \dots \right\} \left(1 + \frac{5}{4} \frac{h}{R} \right);$$

si l'on suppose que $\frac{h^2}{E^2}$ est petit du même ordre que $\frac{h}{R}$, il vient en négligeant toutes les grandeurs de cet ordre:

$$\delta A_h^P = \delta A_h' . \quad [25]$$

L'estimation de la distance E à partir de laquelle la formule précédente est valable, dépend bien plus de la hauteur relative moyenne que de la hauteur relative réelle à l'intérieur du secteur considéré. Fixons la limite de validité de l'expression [25] de façon que

$$\frac{1}{2} \frac{E^2}{h^2} < \frac{1}{2000};$$

nous avons dans ce cas

$$E > 32 h .$$

La formule [25] pourra donc être formulée comme suit:

L'attraction horizontale des masses extérieures peut être calculée comme si ces masses étaient condensées au niveau de la mer, dès que la distance à la station dépasse 30 fois environ la hauteur moyenne relative.

Ainsi dès que $E > 32 h$:

$$\Delta A_h^P = \Delta A_h' = f \Theta_o h' d\varphi \int_{\alpha_i}^{\alpha_k} \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} d\varphi$$

ou bien

$$\Delta A_h^P = f \Theta_o h' d\varphi \left(\log \frac{tg \frac{\alpha_k}{4}}{tg \frac{\alpha_i}{4}} + \cos \frac{\alpha_k}{2} - \cos \frac{\alpha_i}{2} \right) \quad [26a]$$

Au lieu de l'angle α , introduisons l'arc a mesuré au niveau de la station et développons en série:

$$\Delta A_h^P = \Delta A_h' = f \Theta_o h' d\varphi \left(\log \frac{a_k}{a_i} - \frac{5}{48} \frac{a_k^2 - a_i^2}{R^2} + \dots \right) \quad [26b]$$

Pour évaluer le deuxième terme de la parenthèse, posons

$$\begin{aligned} a_k - a_i &= da \\ a_k + a_i &= 2a \\ \frac{5}{48} \frac{a_k^2 - a_i^2}{R^2} &= \frac{5}{48} \frac{2a da}{R^2} . \end{aligned}$$

Le calcul numérique sera facilité si les arcs a , qui mesurent les limites des zones, progressent de telle sorte que le rapport $\frac{a_k}{a_i}$ soit constant.

Si $\frac{a_k}{a_i} = 1,23 \dots$, (voir chapitre II, p. 37), $\frac{da}{a}$ sera très voisin de $\frac{1}{5}$ et l'on obtient

$$\frac{10}{48} \frac{da}{a} \left(\frac{a}{R} \right)^2 = \frac{1}{24} \left(\frac{a}{R} \right)^2 .$$

Divisée par $\log \frac{a_k}{a_i}$, cette expression représente, à très peu de chose près, l'erreur commise par rapport à l'unité, en abandonnant le deuxième terme entre parenthèses de la formule [26b].

Pour que l'erreur soit inférieure à $\frac{1}{2000}$, il faut que

$$a < 700 \text{ km.}$$

Par suite, lorsque

$$32 h < a < 700 \text{ km,}$$

l'attraction des masses peut se calculer d'après la formule:

$$\Delta A_h^P = \Delta A'_h = f \Theta_o \int \varphi h' \log \frac{a_k}{a_i} \quad [27a] \quad /d$$

ou, dans les limites de l'exactitude désirée, d'après

$$\Delta A_h^P = \Delta A'_h = f \Theta_o d\varphi h \log \frac{a_k}{a_i} \quad [27b]$$

Par contre, pour

$$a > 700 \text{ km,}$$

on utilisera la formule [26 a], respectivement [26 b].

La relation exprimée par l'équation [25] nous engage à mesurer les masses actives depuis le niveau de la mer (non depuis le niveau de la station) et, par suite, à remplacer la hauteur relative h par l'altitude h_o .

L'attraction des masses extérieures h_o sur le point P est donnée par la formule [27 a]:

$$\Delta A_{h_o}^P = \Delta A'_{h_o} = f \Theta_o d\varphi (H' \pm h') \log \frac{a_k}{a_i}$$

qui devient, après suppression des termes d'ordre $\frac{h_o}{R}$, respectivement $\frac{H^2}{h_o R}$ ou $\frac{h^2}{h_o R}$,

$$\Delta A_{h_o}^P = \Delta A'_{h_o} = f \Theta_o d\varphi \cdot h'_o \log \frac{a_k}{a_i}. \quad [28]$$

Or, on aurait obtenu exactement cette expression, si la station avait été placée au niveau de la mer; de la sorte, la conclusion formulée à la page 16 peut être modifiée et complétée comme suit:

A partir de $a > 32 h$, la déviation topographique peut être calculée comme si la station était à l'altitude zéro et comme si les masses extérieures étaient condensées au niveau de la mer.

Dans la formule [25], nous avons abandonné les grandeurs de l'ordre $\frac{h_o}{R}$ et $\frac{t_o}{R}$; il serait donc illogique de maintenir dans [28] le facteur h'_o (t'_o dans la formule applicable aux régions océaniques). Par suite nous substituerons h_o et t_o à ces facteurs h'_o et t'_o .

L'intégration de ΔA_h^P par rapport à φ donne l'attraction horizontale d'un cône évidé d'ouverture finie. Pour déterminer l'intensité et la direction de cette attraction, nous décomposons celle-ci en deux composantes rectangulaires de la manière indiquée page 3; nous obtenons ainsi

$$\begin{aligned} \text{composante sud-nord} & \int_{\varphi_l}^{\varphi_m} \Delta A_h^P \cos \varphi = A_{\xi, \text{top}} \\ \text{composante ouest-est} & \int_{\varphi_l}^{\varphi_m} \Delta A_h^P \sin \varphi = A_{\eta, \text{top}} \end{aligned}$$

et par conséquent,

de $a = 700$ km } jusqu'à l'antipode:
ou $\alpha = 6^\circ$ }

$$\left. \begin{array}{l} A_{\xi, \text{top}} \\ A_{\eta, \text{top}} \end{array} \right\} = f \Theta_o \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h_o \left[\log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} + \cos \frac{\alpha}{2} \right]_{\alpha_i}^{\alpha_k}$$

de $a = 32 h$ jusqu'à $a = 700$ km:

$$\left. \begin{array}{l} A_{\xi, \text{top}} \\ A_{\eta, \text{top}} \end{array} \right\} = f \Theta_o \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h_o \log \frac{a_k}{a_i}$$

de $a = 0$ jusqu'à $a = 32 h$:

$$\left. \begin{array}{l} A_{\xi, \text{top}} \\ A_{\eta, \text{top}} \end{array} \right\} = f \Theta_o \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + h^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + h^2}}$$

ou bien

$$\left. \begin{array}{l} A_{\xi, \text{top}} \\ A_{\eta, \text{top}} \end{array} \right\} = f \Theta_o \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h_o \log \frac{a_k}{a_i} + \text{correction topographique}$$

où cette « correction topographique » a pour valeur:

$$f \Theta_o \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) \left\{ h \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + h^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + h^2}} - h_o \log \frac{a_k}{a_i} \right\}$$

Sur les océans il faudra remplacer dans ces formules h_o par $t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o}$.

Il est inutile d'examiner les modifications à apporter dans le cas où des masses marines se trouveraient à l'intérieur du rayon $a = 32 h$; en effet toutes les stations du réseau suisse sont à plus de 200 km de la mer.

Représentons par Q le facteur qui dépend des rayons-limites α_i et α_k ou a_i et a_k

$$Q = \left[\log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} + \cos \frac{\alpha}{2} \right]_{\alpha_i}^{\alpha_k}$$

ou

$$Q = \log \frac{a_k}{a_i};$$

les formules précédentes prennent alors la forme générale:

$$\left. \begin{array}{l} A_{\xi, \text{top}} \\ A_{\eta, \text{top}} \end{array} \right\} = f \Theta_o \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h_o \cdot Q + \text{corr. top.}$$

Transformons enfin ces attractions en secondes d'arc; pour cela, il faut diviser $A_{\xi, \text{top}}$ et $A_{\eta, \text{top}}$ par l'attraction g de la Terre, et multiplier par 206 265''.

Dans les limites de l'exactitude désirée, on peut remplacer l'intensité de la pesanteur à la station par la valeur approchée

$$g = \frac{4}{3} f \pi \Theta_m R_o$$

où Θ_m est la densité moyenne de la Terre. La sommation sur l'ensemble des compartiments donne les *composantes de la déviation topographique de la verticale*, savoir:

$$\left. \begin{matrix} \xi_{\text{top}} \\ \eta_{\text{top}} \end{matrix} \right\} = \sum \left\{ \frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206\,265''}{\pi R_o} \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h_o Q + \text{corr. top.} \right\}$$

b) Calcul de la déviation isostatique.

Le facteur de la réduction isostatique introduit par HAYFORD est d'une grande utilité; il permet de ramener la déviation isostatique de la verticale, d'une part à l'attraction horizontale des masses condensées, d'autre part à la « *correction topographique* ».

1. La correction topographique de la déviation calculée isostatiquement. (Voir page 6.)

On sait que la correction topographique est la différence entre l'attraction topographique et l'attraction des masses condensées h_o . Nous avons démontré ci-dessus que ces deux grandeurs sont pratiquement identiques dès que $a \geq 32 h$. La correction topographique est donc nulle à partir de cette distance; elle ne prend de valeur sensible qu'à l'intérieur du rayon indiqué. Pour $a < 32 h$, la *correction topographique de l'attraction calculée isostatiquement* est identique à la « *correction topographique* » introduite page 6. Que l'on parte, dans celle-ci, des hauteurs relatives h , tandis que, dans celle-là, on considère comme actives toutes les masses situées au-dessus (respectivement au-dessous) du niveau de la mer, est sans importance; car, lorsqu'on établit la somme des différences

« attraction topographique — attraction des masses condensées »,

il est évident que les actions de deux colonnes élémentaires, de même hauteur H , placées sur un même diamètre et à égale distance, se compensent.

2. Le facteur de la réduction isostatique donné par la formule [18] (page 11)

$$\mathfrak{f}^* = 1 - \frac{E^*}{R_o^3} \frac{1}{T'} \int_{R_o - T}^{R_o} \frac{r^3}{e^3} dr$$

où

$$e^2 = (R_o + H)^2 + r^2 - 2 (R_o + H) r \cos \alpha$$

sera désigné par \mathfrak{f} quand la station est au niveau de la mer. Nous suivrons la marche de HELMERT et considérerons d'abord ce dernier cas; puis nous calculerons la correction qui permettra le passage de \mathfrak{f} à \mathfrak{f}^* .

a) La station est au niveau de la mer. Posons $\tau' = \frac{T}{2 R_o - T}$ et $b = \text{ctg} \frac{\alpha}{2}$ et soit $y_o = -\frac{T}{2 R_o - T}$ la limite inférieure, $y = 0$ la limite supérieure de l'intégration; le développement en série donné par HELMERT fournit alors:

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} \frac{1 + \tau'}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2}} \left(1 - \frac{5 \tau'}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2} + 1} \right). \quad [29]$$

Le premier des termes négligés dans le développement est $12 y^2$; le facteur d'intégration étant $\frac{1}{3}$, l'erreur qui en résulte est de l'ordre de $4 \tau'^2$, soit d'environ $\frac{1}{2500}$ ($T = 120$ km, $\tau' = 1:100$).

Par conséquent la quatrième décimale du facteur \mathfrak{f} donnée par la formule [29] est incertaine. Dans les calculs numériques, il est désirable que les valeurs de \mathfrak{f}^* soient exactes à 0,0005 près; par conséquent, l'exactitude des facteurs \mathfrak{f} devra s'étendre jusqu'à la quatrième décimale. On y parvient sans rendre la formule [29] plus compliquée.

Le terme suivant de la série donne l'intégrale

$$\int \frac{12 y^2 dy}{\sqrt{1 + b^2 y^2}}$$

qui se traduit par une fonction logarithmique fort incommode. Nous cherchons donc \mathfrak{f} avec une plus grande approximation en posant:

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} \frac{1 + \tau'}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2}} \left(1 - \frac{5 \tau' (1 - u \tau')}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2} + 1} + v \right). \quad [30]$$

Dans cette expression u est un facteur à déterminer, v représente l'erreur que l'on commet lorsque le terme suivant de la série est introduit sous cette forme à la place du terme logarithmique.

Pour calculer le facteur u , développons la racine

$$\sqrt{1 + b^2 y^2}^{-3} = 1 - \frac{3}{2} b^2 y^2 + \dots$$

dans l'hypothèse $by < 1$; intégrons jusqu'aux termes de l'ordre τ'^2 y compris:

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} (1 + \tau') \left\{ 1 - \frac{5}{2} \tau' + \left(4 - \frac{b^2}{2} \right) \tau'^2 + \dots \right\}.$$

Développons, d'autre part, la formule [30]:

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} (1 + \tau') \left\{ 1 - \frac{5}{2} \tau' + \left(\frac{5u}{2} - \frac{b^2}{2} \right) \tau'^2 + \dots \right\}.$$

L'identification donne

$$u = \frac{8}{5}$$

On en déduit la valeur de \mathfrak{f} exacte jusqu'aux termes d'ordre τ'^2 (à la condition que $b = \cotg \frac{\alpha}{2}$ soit du même ordre de grandeur que l'unité, c'est-à-dire pourvu que $90^\circ < \alpha < 180^\circ$).

Nous pouvons déterminer l'erreur v pour toutes les valeurs du paramètre b .

Cette quantité v est une fonction $f(y)$ que l'on déduit des deux équations suivantes:

$$\frac{\tau'}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2}} \left(\frac{8 \tau'^2}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2} + 1} + v \right) = \int_{-\tau'}^0 d \left\{ \frac{8 y^3}{\sqrt{1 + b^2 y^2} (\sqrt{1 + b^2 y^2} + 1)} + f(y) \right\}$$

$$\frac{\tau'}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2}} \left(\frac{8 \tau'^2}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2} + 1} + v \right) = \int_{-\tau'}^0 \frac{12 y^2}{\sqrt{1 + b^2 y^2}} dy.$$

Il en résulte

$$\begin{aligned} \frac{df(y)}{dy} &= \frac{12y^2}{\sqrt{1+b^2y^3}} - \frac{d}{dy} \left\{ \frac{8y^3}{\sqrt{1+b^2y^2}(\sqrt{1+b^2y^2+1})} \right\} \\ &= \frac{12y^2}{\sqrt{1+b^2y^3}} - \frac{8}{b^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+b^2y^3}} \right) \end{aligned}$$

et

$$\frac{v}{\sqrt{1+b^2\tau'^2}} = \frac{1}{\tau'} \int_{-\tau'}^0 \frac{df(y)}{dy} dy.$$

La fonction

$$\Phi = - \frac{df(y)}{dy}$$

a un maximum pour une valeur de b telle que

$$\frac{d\Phi}{db} = 0.$$

Si l'on pose

$$1 + b^2y^2 = z^2,$$

cette condition devient

$$2(z^2-1) + 4z^5 - (3z^2-1)^2 = 0.$$

La racine $z = 1$ est inadmissible parce que z doit être plus grand que 1; en supprimant le facteur $(z-1)^2$, l'équation se réduit à $4z^3 - z^2 - 6z - 3 = 0$

~~qui possède deux racines réelles, l'une entre 0 et 1, l'autre entre 1 et 2; Cette dernière, la seule admissible, a pour valeur~~
 ~~$z = \frac{4.4}{1.54} = 2.857$~~
 ~~$z = \frac{5.2}{1.17} = 4.444$~~
imaginaires et une racine réelle.

$$z = \frac{1.82}{1.54}$$

Par conséquent

$$by = \pm \sqrt{z^2-1} = \pm \frac{1.52}{1.17};$$

le signe supérieur ou inférieur se rapporte aux valeurs positives ou négatives de y .

La plus petite valeur de b , pour laquelle le maximum de Φ tombe entre les limites 0 et τ' de l'intégrale v , est donnée par

$$b = \frac{4.17}{1.52\tau'}.$$

Pour $\tau' = 0,009507$, correspondant à $T = 120$ km, la valeur de α est égale à $\alpha = 0^\circ 43' 54''$.

Si nous introduisons $z = \frac{5.2}{1.82}$ dans l'expression de Φ , nous obtenons très sensiblement:

$$\Phi = \frac{19}{20} y^2.$$

Il s'en suit que

$$\frac{v}{\sqrt{1+b^2\tau'^2}} < \frac{1}{\tau'} \frac{19}{20} \int_0^{\tau'} y^2 dy$$

ou bien, si $\tau' = 10^{-2}$:

$$\frac{\nu}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2}} < 3 \cdot 10^{-5}$$

pour toutes les valeurs du paramètre b .

Résumé: En posant pour abréger

$$5 \tau' \left(1 - \frac{8}{5} \tau'\right) = \tau'' \quad \text{et} \quad \frac{T}{T'} (1 + \tau') = 1 + \varepsilon,$$

le facteur \mathfrak{f} de la réduction isostatique est donné, pour toutes les valeurs du paramètre $b = \text{ctg} \frac{\alpha}{2}$, par l'expression

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{1 + \varepsilon}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2}} \left(1 - \frac{\tau''}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2 + 1}}\right) \quad [31]$$

abstraction faite des termes d'ordre inférieur à $3 \cdot 10^{-5}$. —

Pour $R_0 = 6371$ km et $T = 120$ km, les constantes de cette formule deviennent:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,0287720 & \log(1 + \varepsilon) &= 0,012319 \\ \tau' &= 0,0095072 & \log \tau' &= 7,978053 - 10 \\ \tau'' &= 0,0468130 & \log \tau'' &= 5,956106 - 10 \\ & & \log \tau'' &= 8,670366 - 10 \end{aligned}$$

Dans le tableau suivant, les valeurs numériques de \mathfrak{f} , calculées à l'aide de la formule [31], sont données en fonction des distances angulaires α .

α	\mathfrak{f}	\mathfrak{f}_0	$\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0$	α	\mathfrak{f}	\mathfrak{f}_0	$\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0$
0° 5'	0,92 180	0,92 301	-0,00 121	8°	+0,00 437	0,00 899	-0,00 462
10	0,84 538	0,84 737	-0,00 199	10	+0,00 112	0,00 579	-0,00 467
15	0,77 187	0,77 432	-0,00 245	12	-0,00 065	0,00 404	-0,00 469
20	0,70 220	0,70 488	-0,00 268	14	-0,00 174	0,00 297	-0,00 471
30	0,57 680	0,57 962	-0,00 282	16	-0,00 242	0,00 228	-0,00 470
40	0,47 164	0,47 446	-0,00 282	20	-0,00 324	0,00 147	-0,00 471
50	0,38 602	0,38 882	-0,00 280	24	-0,00 369	0,00 102	-0,00 471
1 0	0,31 746	0,32 032	-0,00 286	28	-0,00 396	0,00 076	-0,00 472
15	0,24 005	0,24 308	-0,00 303	32	-0,00 414	0,00 058	-0,00 472
30	0,18 503	0,18 826	-0,00 323	40	-0,00 435	0,00 038	-0,00 473
45	0,14 540	0,14 884	-0,00 344	48	-0,00 446	0,00 027	-0,00 473
2 0	0,11 633	0,11 995	-0,00 362	56	-0,00 453	0,00 020	-0,00 473
30	0,07 799	0,08 190	-0,00 391	64	-0,00 457	0,00 016	-0,00 473
3 0	0,05 493	0,05 904	-0,00 411	80	-0,00 462	0,00 011	-0,00 473
30	0,04 016	0,04 441	-0,00 425	96	-0,00 465	0,00 008	-0,00 473
4 0	0,03 018	0,03 453	-0,00 435	112	-0,00 466	0,00 006	-0,00 472
5 0	0,01 805	0,02 252	-0,00 447	128	-0,00 467	0,00 006	-0,00 473
6 0	0,01 126	0,01 581	-0,00 455	160	-0,00 468	0,00 005	-0,00 473
7 0	0,00 710	0,01 169	-0,00 459	180	-0,00 468	0,00 005	-0,00 473
8 0	0,00 437	0,00 899	-0,00 462				

Transformation de la formule [31] pour les petites distances. Dans le voisinage immédiat de la station, remplaçons le paramètre

$$b = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

par l'arc a mesuré au niveau de la mer; cet arc sert à subdiviser le terrain en zones. Développons en même temps [31] par rapport aux puissances de

$$\tau = \frac{T}{R_0}.$$

Comme

$$1 + b^2 \tau'^2 = (1 + \tau'^2) \left(1 - \tau + \frac{T^2}{E^2} \right),$$

la formule [31] se transforme en

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} \frac{1}{\sqrt{1 - \tau + \frac{T^2}{E^2}}} \left(1 - \frac{5 \tau' - 8 \tau'^2}{(1 + \tau') \sqrt{1 - \tau + \frac{T^2}{E^2} + 1}} \right).$$

Posons pour abrégé

$$\lambda = \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}};$$

il vient alors

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2 \tau}} \left(1 - \frac{5 \tau' - 8 \tau'^2}{(1 + \tau') \frac{\sqrt{1 - \lambda^2 \tau}}{\lambda} + 1} \right).$$

Si l'on ramène τ' , ainsi que $\frac{T}{T'}$, à τ à l'aide des relations

$$\tau' = \frac{\tau}{2 - \tau}, \quad \tau = \frac{2 \tau'}{1 + \tau'},$$

$$\frac{T}{T'} = 1 + \tau + \frac{2}{3} \tau^2 + \dots,$$

le facteur \mathfrak{f} devient:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{f} = & 1 - \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} - \tau \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{E^2}{E^2 + T^2} - \frac{5}{2} \frac{E}{E + \sqrt{E^2 + T^2}} \right) \\ & - \tau^2 \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} \left[\frac{2}{3} + \frac{1}{2} \frac{E^2}{E^2 + T^2} + \frac{3}{8} \left(\frac{E^2}{E^2 + T^2} \right)^2 \right] \\ & + \frac{\tau^2}{2} \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} \frac{E}{E + \sqrt{E^2 + T^2}} \left(1 + \frac{5}{2} \frac{E^2}{E^2 + T^2} + \frac{5}{2} \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} \right) + \dots \end{aligned} \right\} [32]$$

Pour $\tau = 0$, \mathfrak{f} s'appellera \mathfrak{f}_0 :

$$\mathfrak{f}_0 = 1 - \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}}$$

Les valeurs numériques de \mathfrak{f}_0 , ainsi que les différences $\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0$, sont données dans la table ci-dessus.

On peut remplacer E en fonction de a dans la formule (32):

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2 R_0}$$

$$\frac{1}{E^2} = \frac{\operatorname{cosec}^2 \frac{\alpha}{2}}{4 R_0^2} = \frac{1}{a^2} \left(1 + \frac{1}{12} \frac{a^2}{R_0^2} + \frac{1}{240} \frac{a^4}{R_0^4} + \dots \right)$$

ou bien

$$\frac{1}{E^2} = \frac{1}{a^2} (1 + \mu)$$

si l'on pose

$$\mu = \frac{1}{12} \frac{a^2}{R_0^2} + \frac{1}{240} \frac{a^4}{R_0^4} + \dots$$

Nous arrêtons le développement aux distances a pour lesquelles $\frac{a}{R_0}$ est du même ordre que τ ; de la sorte μ se réduit au premier terme du second membre; ainsi

$$\frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2} \sqrt{1 + \frac{T^2}{a^2 + T^2} \mu}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \frac{a^2}{a^2 + T^2} \frac{\tau^2}{24} + \dots$$

Si l'on introduit cette expression dans [32], on obtient, abstraction faite des termes d'ordre supérieur à τ^2 ,

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{f} = 1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} - \tau \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} - \frac{5}{2} \frac{a}{a + \sqrt{a^2 + T^2}} \right) \\ - \tau^2 \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \left[\frac{2}{3} + \frac{13}{24} \frac{a^2}{a^2 + T^2} + \frac{3}{8} \left(\frac{a^2}{a^2 + T^2} \right)^2 \right] \\ + \frac{\tau^2}{2} \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \frac{a}{a + \sqrt{a^2 + T^2}} \left(1 + \frac{5}{2} \frac{a^2}{a^2 + T^2} + \frac{5}{2} \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \right) \end{aligned} \right\} \quad [33]$$

On ne doit appliquer les deux formules [33] et [32] en remplacement de [31] que s'il est légitime d'abandonner les termes de l'ordre de τ^2 . Un examen de ces deux termes montre que leur influence est la plus grande dans le voisinage de $a = 60$ km; mais puisqu'ils sont de l'ordre $3 \cdot 10^{-5}$, on constate que les trois premiers termes de [33] donnent \mathfrak{f} avec quatre décimales exactes.

Les deux premiers termes sont indépendants de τ et fournissent pour \mathfrak{f} une valeur conforme à l'hypothèse d'une surface terrestre plane ($R = \infty$).

Posons donc

$$\left. \begin{aligned} \bar{\mathfrak{f}}_0 = 1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} ; \\ \text{nous aurons} \\ \mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_0 = -\tau \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{a^2}{a^2 + T^2} - \frac{5}{2} \frac{a}{a + \sqrt{a^2 + T^2}} \right) + \dots \end{aligned} \right\} \quad [34]$$

qui représente la correction par laquelle on ramène le « facteur de réduction du calcul plan » $\bar{\mathfrak{f}}_0$ au « facteur de réduction du calcul sphérique » \mathfrak{f} .

En négligeant dans la valeur de μ les termes d'ordre supérieur, nous avons limité le domaine de validité de la formule [33]. Pratiquement cette restriction est sans importance; en effet, si dans la série

$$\frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + T^2}} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \frac{T^2}{a^2 + T^2} \mu + \frac{3}{8} \left(\frac{T^2}{a^2 + T^2} \mu \right)^2 - \frac{5}{16} \left(\frac{T^2}{a^2 + T^2} \mu \right)^3 + \dots \right\} \quad [35]$$

on suppose a petit, $\frac{T^2}{a^2 + T^2}$ devient égal à 1; μ devient alors très petit et les termes de μ supprimés sont, jusqu'à $a = T$, de l'ordre $\frac{\tau^2}{20}$. Si par contre a est grand, — si nous lui donnons même la valeur maximum $a = \pi R_o$, — μ se rapproche très sensiblement de $\frac{3}{2}$; le quotient $\frac{T^2}{a^2 + T^2}$ est de l'ordre $\frac{\tau^2}{10}$ et les termes de μ négligés sont de nouveau du même ordre de grandeur que $\frac{3}{20} \tau^2$.

En conséquence, lorsque le degré d'exactitude des calculs ne dépasse pas quelques unités du cinquième ordre décimal, il est permis de poser:

$$\mathfrak{f}_0 = \bar{\mathfrak{f}}_0.$$

Transformation des formules [31] et [32] pour les grandes distances. Quand l'éloignement E devient très grand, la formule [32] se transforme en une expression plus commode, exacte jusqu'aux termes de l'ordre τ^2 .

Si E se rapproche de R_o , $\frac{T}{E}$ et τ sont du même ordre de grandeur; par suite

$$\begin{aligned} \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}} &= 1 - \frac{1}{2} \frac{T^2}{E^2} + \dots \\ \frac{E^2}{E^2 + T^2} &= 1 - \frac{T^2}{E^2} \dots \\ \frac{E}{E + \sqrt{E^2 + T^2}} &= \frac{1}{2} - \frac{1}{32} \frac{T^2}{E^2} + \dots \end{aligned}$$

Substituons dans [32], il vient

$$\mathfrak{f} = -\frac{\tau}{4} + \left(\frac{R^2}{E^2} - 12 \right) \frac{\tau^2}{2} + \dots$$

c'est-à-dire

$$\begin{aligned} \mathfrak{f} &= -\frac{\tau}{4} + \left(\operatorname{cosec}^2 \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{3} \right) \frac{\tau^2}{8} + \dots \\ &= -\frac{1}{4} \left(\tau + \frac{\tau^2}{6} \right) + \frac{\tau^2}{8} \operatorname{cosec}^2 \frac{\alpha}{2} + \dots \end{aligned} \quad [36]$$

Cette formule est valable dès que $E = R_o$, soit à partir de $\alpha = 60^\circ$.

Pour les distances plus petites, mais qui satisfont encore à la condition

$$b \tau' < 1,$$

la formule [31] peut être développée par rapport aux puissances de $b \tau' = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \tau'$.

Posons

$$(1 + b^2 \tau'^2)^{-\frac{1}{2}} = A_0 + A_2 \tau'^2 b^2 + A_4 \tau'^4 b^4 + \dots + A_{2n} \tau'^{2n} b^{2n} + \dots$$

et

$$\frac{1}{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2 + 1}} = \frac{\sqrt{1 + b^2 \tau'^2} - 1}{b^2 \tau'^2} = B_0 + B_2 \tau'^2 b^2 + \dots + B_{2n} \tau'^{2n} b^{2n} + \dots,$$

où

$$A_{2n} = \binom{-\frac{1}{2}}{n},$$

$$B_{2n} = \binom{\frac{1}{2}}{n+1} = A_{2n} + A_{2n+2},$$

nous aurons:

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} (1 + \tau') \sum_{n=0}^{\infty} A_{2n} \tau'^{2n} b^{2n} \left(1 - \tau'' \sum_{n=0}^{\infty} B_{2n} \tau'^{2n} b^{2n} \right).$$

Groupons les termes en $(b\tau')^{2n}$ et désignons par C_{2n} la somme des produits des coefficients A et B ; il vient

$$C_{2n} = A_{2n} B_0 + A_{2n-2} B_2 + \dots + A_0 B_{2n} = - \binom{-\frac{1}{2}}{n+1}$$

ou bien

$$C_{2n} = (-1)^n \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n+1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots 2(n+1)}$$

et par conséquent

$$\mathfrak{f} = 1 - \frac{T}{T'} (1 + \tau') \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} A_{2n} \tau'^{2n} b^{2n} - \tau'' \sum_{n=0}^{\infty} C_{2n} \tau'^{2n} b^{2n} \right\}.$$

Si nous posons de plus, pour abrégier,

$$\frac{T}{T'} (1 + \tau') (A_{2n} - \tau'' C_{2n}) \tau'^{2n} = D_{2n},$$

nous obtenons

$$\mathfrak{f} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} D_{2n} b^{2n} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} D_{2n} \operatorname{ctg}^{2n} \frac{\alpha}{2}. \quad [37]$$

Pour $T = 120$ km, $\tau = \frac{120}{6371}$, l'expression numérique de \mathfrak{f} est

$$\mathfrak{f} = -469 \cdot 10^{-5} + 4,49 \cdot 10^{-5} \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} - 3,03 \cdot 10^{-9} \operatorname{ctg}^4 \frac{\alpha}{2} + \dots \quad [38]$$

Lorsque

$$3,03 \cdot 10^{-9} \operatorname{ctg}^4 \frac{\alpha}{2} < 0,00003,$$

la formule [38] peut être réduite à ses deux premiers termes; cette condition est satisfaite dès que

$$\alpha > 11^{\circ}6.$$

Le facteur de la réduction isostatique pour des colonnes de dimensions finies.

Les formules obtenues jusqu'ici se rapportent à la masse d'une colonne élémentaire dont la section, au niveau de la mer, a pour valeur

$$R^2 \sin \alpha \, d\alpha \, d\varphi .$$

R^2

Nous allons passer de cet élément à un secteur de dimensions finies, limité par deux surfaces coniques d'ouverture α_i et α_k . Dans cet intervalle, la hauteur des masses visibles sera supposée constante; la densité superficielle des masses condensées est alors également constante. Désignons par

$\Delta A'_{h_0}$ l'attraction horizontale des masses condensées;

$\Delta A_{T'}^{P_0}$ l'attraction horizontale du défaut ou de l'excès de masse compensateur;

la résultante sera

$$\Delta A_i = \Delta A'_{h_0} + \Delta A_{T'}^{P_0} = \Delta A'_{h_0} \left(1 + \frac{\Delta A_{T'}^{P_0}}{\Delta A'_{h_0}} \right)$$

ou, si

$$F = 1 + \frac{\Delta A_{T'}^{P_0}}{\Delta A'_{h_0}} ; \quad [39]$$

$$\Delta A_i = \Delta A'_{h_0} F . \quad [40]$$

Le facteur F permet donc de ramener le calcul de l'attraction isostatique ΔA_i à celui de l'attraction horizontale des masses de la zone $\alpha_k - \alpha_i$, condensées au niveau de la mer.

Pour déterminer le « facteur zonal » F , il suffit de se rappeler que ΔA_i provient de l'intégration de δA_i entre les limites α_i et α_k :

$$\Delta A_i = \int_{\alpha_i}^{\alpha_k} \mathfrak{F} \, \delta A'_{h_0}$$

Soit \mathfrak{F}_0 la somme des deux premiers termes de la formule [32]:

$$\mathfrak{F}_0 = 1 - \frac{E}{\sqrt{E^2 + T^2}}$$

Les trois autres termes, qui contiennent les facteurs τ et τ^2 , seront donc représentés par $\mathfrak{F} - \mathfrak{F}_0$, et puisque

$$\mathfrak{F} = \mathfrak{F}_0 + (\mathfrak{F} - \mathfrak{F}_0) ,$$

nous aurons

$$\Delta A_i = \int_{\alpha_i}^{\alpha_k} \mathfrak{F}_0 \, \delta A'_{h_0} + \int_{\alpha_i}^{\alpha_k} (\mathfrak{F} - \mathfrak{F}_0) \, \delta A'_{h_0} .$$

En décomposant ainsi le facteur \mathfrak{f} , nous en séparons la partie principale \mathfrak{f}_0 — qui varie rapidement pour les petites valeurs de α (respectivement de E), — de la partie $(\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0)$ qui varie lentement et qui est de l'ordre τ' . Il en résulte qu'il suffit de déterminer exactement la première intégrale de ΔA_i ; dans la deuxième, par contre, il sera permis de remplacer $(\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0)$ par une valeur moyenne, choisie entre les deux limites α_i et α_k . Il suffit même, pour toutes les distances α , d'égaliser cette valeur moyenne à la moyenne arithmétique des valeurs de $\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0$ aux deux limites de la zone; en effet, la largeur des zones voisines de la station est petite; pour les zones éloignées, où la différence $\alpha_k - \alpha_i$ est grande, le facteur $\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0$ ne varie que très lentement.

La formule [17] (page 11) donne

$$\delta A'_{h_o} = f h_o \Theta_o d\varphi \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{dE}{E}$$

et par suite

$$\int_{\alpha_i}^{\alpha_k} \mathfrak{f}_0 \delta A'_{h_o} = f h_o \Theta_o d\varphi \int_{E_i}^{E_k} \cos \frac{\alpha}{2} \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{\sqrt{E^2 + T^2}} \right) dE$$

D'autre part, on a

$$\Delta A'_{h_o} = f \Theta_o h_o d\varphi \int_{E_i}^{E_k} \cos \frac{\alpha}{2} \frac{dE}{E}.$$

Soient $\cos \frac{\alpha_o}{2}$ une valeur moyenne que l'on peut mettre devant le signe \int dans la première équation,

$\cos \frac{\bar{\alpha}}{2}$ une valeur analogue pour la deuxième; on a

$$\int_{\alpha_i}^{\alpha_k} \mathfrak{f}_0 \delta A'_{h_o} = f h_o \Theta_o d\varphi \cos \frac{\alpha_o}{2} \log \frac{E_k}{E_i} \left\{ 1 - \frac{\log \frac{E_k + \sqrt{E_k^2 + T^2}}{E_i + \sqrt{E_i^2 + T^2}}}{\log \frac{E_k}{E_i}} \right\}$$

et

$$\Delta A'_{h_o} = f h_o \Theta_o d\varphi \cos \frac{\bar{\alpha}}{2} \log \frac{E_k}{E_i}.$$

Jusqu'à la distance

$$E = 400 \text{ km}$$

$\cos \frac{\alpha}{2}$ ne diffère pas sensiblement de l'unité; la différence entre les deux valeurs moyennes de $\cos \frac{\alpha}{2}$ sera donc très petite. Il en résulte

$$F_o = 1 - \frac{\log \frac{E_k + \sqrt{E_k^2 + T^2}}{E_i + \sqrt{E_i^2 + T^2}}}{\log \frac{E_k}{E_i}} \quad [43]$$

$$\Delta A_i = \Delta A'_{h_o} \cdot F_o + \Delta A'_{h_o} (\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_o)$$

ou bien

$$\Delta A_i = \Delta A'_{h_o} \{F_o + (\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_o)\}. \quad [44]$$

Lorsque les zones sont très voisines de la station, on peut simplifier un peu le calcul de F ; il suffit pour cela d'introduire comme paramètre l'arc a au lieu de l'éloignement E . Décomposons \mathfrak{f} en

$$\mathfrak{f} = \bar{\mathfrak{f}}_o + (\mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_o),$$

$\bar{\mathfrak{f}}_o$ étant le facteur de réduction pour le « calcul plan »; si nous remarquons en outre que

$$\frac{dE}{E} = \cos \frac{a}{2} \frac{da}{a} \left(1 + \frac{1}{24} \frac{a^2}{R^2} + \dots\right),$$

nous obtenons, en négligeant les termes d'ordre $\frac{a^2}{R^2}$:

$$\delta A'_{h_o} = f h'_o \Theta_o d\varphi \cos \frac{a}{2} \frac{dE}{E} = f h'_o \Theta_o d\varphi \cdot \frac{da}{a}.$$

Par conséquent

$$\Delta A_i = \int_{a_i}^{a_k} \bar{\mathfrak{f}}_o \delta A'_{h_o} + (\mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_o) \int_{a_i}^{a_k} \delta A'_{h_o}$$

ou bien

$$\Delta A_i = \Delta A'_{h_o} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{\log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + T^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + T^2}}}{\log \frac{a_k}{a_i}} \right) + (\mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_o) \right\}$$

Nous avons donc, pour les distances a qui sont petites par rapport au rayon R_o de la terre:

$$\bar{F}_o = 1 - \frac{\log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + T^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + T^2}}}{\log \frac{a_k}{a_i}} \quad [43a]$$

et

$$\Delta A_i = \Delta A'_{h_o} \{ \bar{F}_o + (\mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_o) \}. \quad [44a]$$

La différence $F_o - \bar{F}_o$ est du même ordre que $\mathfrak{f}_o - \bar{\mathfrak{f}}_o$; il est facile de le faire voir; elle n'affecte que la cinquième décimale; la validité de l'expression [43a] était restreinte aux valeurs relativement petites de a ; cette réserve peut être également supprimée.

β) **La station est au-dessus du niveau de la mer.** Dans le cas général où la station n'est pas au niveau de la mer, le facteur de la réduction isostatique \mathfrak{f}^* se détermine aisément; il se ramène au calcul de \mathfrak{f} dont il vient d'être question.

La formule [8] (page 7) définit

$$\mathfrak{f}^* = 1 + \frac{\Theta_T \delta B_{T_o}^P}{\Theta_o \delta B'_{h_o}}.$$

[5]

$\Theta_T \delta B_{T_o}^P$ représente l'attraction horizontale des masses compensatrices de densité Θ_T , situées entre le niveau de la mer et la surface de compensation de profondeur T_o , l'altitude de la station P étant H .

Soient

δB_T^P l'attraction des masses de densité 1 qui s'étendent entre la surface de compensation et le niveau H de la station;

δB_H^P l'attraction des masses comprises entre les altitudes 0 et H ;

nous aurons

$$\delta B_{T_o}^P = \delta B_T^P - \delta B_H^P.$$

En remplaçant dans la formule [21] (page 14)

$$\frac{h}{R} \text{ par } -\frac{T_o + H}{R_o + H} = -\frac{T}{R},$$

nous obtiendrons la valeur de δB_T^P , y compris les termes d'ordre $\frac{T}{R}$:

$$\delta B_T^P = f \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} d\alpha d\varphi \frac{T}{\sqrt{1 - \frac{T}{R} + \frac{T^2}{R^2}}} \left(1 - \frac{\frac{5}{2} \frac{T}{R}}{\sqrt{1 - \frac{T}{R} + \frac{T^2}{R^2} + 1 - \frac{T}{2R}}} \right).$$

Cette expression peut s'écrire avec la même approximation:

$$\delta B_T^P = \frac{\delta B_{h_o}'}{h_o'} \frac{TE}{\sqrt{T^2 + E^2}} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{E^2}{E^2 + T^2} \frac{T}{R} - \frac{5}{2} \frac{E}{E + \sqrt{E^2 + T^2}} \frac{T}{R} \right).$$

Si l'on pose le coefficient de $\frac{\delta B_{h_o}'}{h_o'}$ égal à $f(T, E, R)$, il vient

$$\delta B_T^P = \frac{\delta B_{h_o}'}{h_o'} f(T, E, R)$$

et

$$\delta B_H^P = \frac{\delta B_{h_o}'}{h_o'} f(H, E, R).$$

Introduisons la densité Θ_T des masses compensatrices

$$\Theta_T = -\frac{h_o'}{T_o'} \Theta_o;$$

nous obtenons

$$\mathfrak{F}^* = 1 - \frac{1}{T_o'} \{f(T, E, R) - f(H, E, R)\}. \quad [45]$$

Quand la station est ramenée au niveau de la mer, \mathfrak{F}^* devient \mathfrak{F} , T , E et R deviennent T_o , E_o et R_o ; de cette façon:

$$\mathfrak{F} = 1 - \frac{1}{T_o'} f(T_o, E_o, R_o). \quad [46]$$

En conséquence, la correction ($\mathfrak{F}^* - \mathfrak{F}$) qu'il faut ajouter à \mathfrak{F} pour que le facteur de réduction à l'altitude zéro devienne celui qui est valable à l'altitude H , sera

$$\mathfrak{F}^* - \mathfrak{F} = -\frac{1}{T_o'} \{ f(T, E, R) - f(T_o, E_o, R_o) - f(H, E, R) \}.$$

Or les différences

$$\begin{aligned} T - T_o &= dT = H \\ E - E_o &= dE = E_o \frac{H}{R_o} \\ R - R_o &= dR = H \end{aligned}$$

sont petites; on peut donc développer

$$f(T, E, R) = f(T_o + dT, E_o + dE, R_o + dR)$$

d'après le théorème de Taylor; il en résulte:

$$\mathfrak{F}^* - \mathfrak{F} = -\frac{1}{T_o'} \left\{ dT \frac{\partial f}{\partial T_o} + dE \frac{\partial f}{\partial E_o} + dR \frac{\partial f}{\partial R_o} - f(H, E, R) \right\}. \quad [47]$$

En désignant par (τ) la somme des termes d'ordre $\frac{T_o}{R_o}$ et par (τ^2) la somme des termes d'ordre $\left(\frac{T_o}{R_o}\right)^2$ ou, ce qui revient au même, d'ordre $\frac{H}{R_o}$, les dérivées partielles de la formule [47] peuvent se mettre sous la forme:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial T_o} &= \frac{E_o^3}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} \{ 1 + (\tau) \}, \\ \frac{\partial f}{\partial E_o} &= \frac{T_o^3}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} \{ 1 + (\tau) \}, \\ \frac{\partial f}{\partial R_o} &= \frac{E_o}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} (\tau^2). \end{aligned}$$

En outre:

$$f(H, E, R) = f(H, E_o + dE, R_o + dR) = \frac{HE_o}{\sqrt{E_o^2 + H^2}} \{ 1 + (\tau^2) \}.$$

Nous allons négliger les termes de l'ordre $\frac{T_o}{R_o}$ [ce qui revient à abandonner dans $(\mathfrak{F}^* - \mathfrak{F})$ les termes d'ordre $\frac{T_o H}{R_o T_o} = \frac{H}{R_o}$] et nous obtenons de la sorte:

$$\mathfrak{F}^* - \mathfrak{F} = -\frac{H}{T_o'} \left\{ \frac{E_o^3}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} + \frac{E_o}{R_o} \frac{T_o^3}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} - \frac{E_o}{\sqrt{E_o^2 + H^2}} \right\}.$$

Si l'on écrit

$$\frac{E_o}{R_o} \frac{T_o^3}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} = \frac{T_o}{R_o} \frac{E_o}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} \frac{T_o^2}{E_o^2 + T_o'^2}$$

on remarque que ce terme peut aussi être supprimé puisqu'il est de l'ordre $\frac{T_o}{R_o}$; de plus, dans le facteur mis en évidence, il est permis de substituer T_o à T_o' ; de cette manière:

$$\mathfrak{F}^* - \mathfrak{F} = \frac{H}{T_o} \left(\frac{E_o}{\sqrt{E_o^2 + H^2}} - \frac{E_o^3}{\sqrt{E_o^2 + T_o'^2}} \right).$$

Cette expression, qui tient compte de la sphéricité de la Terre, est valable pour toutes les distances E ; lorsqu'on remplace E par l'arc a , elle se réduit à:

$$\mathfrak{f}^* - \mathfrak{f} = \frac{H}{T_o} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + H^2}} - \frac{a^3}{\sqrt{a^2 + T_o^2}^3} \right) \quad [48]$$

formule donnée par HELMERT, abstraction faite de la sphéricité terrestre; il est du reste facile de prouver que l'erreur produite en négligeant la courbure de la Terre est de l'ordre

$$\left(\frac{T_o}{R_o} \right)^2 \frac{H}{T_o}.$$

Pour déterminer le facteur de la réduction isostatique F^* valable pour les masses de dimensions finies, nous posons

$$\mathfrak{f}^* = \mathfrak{f}_0 + (\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0) + (\mathfrak{f}^* - \mathfrak{f}).$$

Or nous pouvons faire ici, au sujet de $(\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0) + (\mathfrak{f}^* - \mathfrak{f})$, les mêmes constatations que celles faites (page 28) à propos de $(\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0)$; par suite:

$$\Delta A_i = F^* \Delta A'_{h_o},$$

ou

$$F^* = F_o + (\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0) + (\mathfrak{f}^* - \mathfrak{f}).$$

Résumé. — Si l'on procède comme dans le calcul de la composante topographique en passant des attractions horizontales ΔA aux déviations de la verticale ξ et η , et si l'on pose égal à Q le facteur qui, dans $\Delta A'_{h_o}$, dépend des limites des zones:

$$Q = \left[\cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \right]_{\alpha_i}^{\alpha_k}$$

ou

$$Q = \log \frac{\alpha_k}{\alpha_i},$$

on obtient

$$\left. \begin{array}{l} \xi_i \\ \eta_i \end{array} \right\} = \sum \left\{ \frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206 \ 265''}{\pi R_o} \left(\frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right) h_o Q F^* + \text{corr. top.} \right\} \quad [49]$$

Ce sont les composantes isostatiques de la déviation du zénith causée par l'ensemble de toutes les masses envisagées.

Les expressions [49] sont aussi valables dans les compartiments maritimes pourvu qu'on remplace Θ_o par $\vartheta_c - \vartheta_T$.

Il a été prouvé (page 19) que la correction topographique peut être calculée au moyen de la formule obtenue page 18.

CHAPITRE II.

Calcul des déviations du zénith dans seize stations du réseau géodésique suisse.

Les formules obtenues dans le chapitre I seront appliquées au calcul des déviations du zénith dans les seize stations suivantes du réseau géodésique suisse:

Stations	Altitude	Longitude (Est de Greenwich)	Latitude
1. Berra	1720 m	7°11'	46°41'
2. Dôle	1678 m	7 06	46 26
3. Gæbris	1251 m	9 28	47 23
4. Generoso	1700 m	9 01	45 56
5. Gurnigel	1542 m	7 28	46 45
6. Gurten	858 m	7 27	46 55
7. Lægern	855 m	8 24	47 29
8. Martinsbruck	1030 m	10 28	46 53
9. Righi	1797 m	8 29	47 03
10. Rochers-de-Naye	2042 m	6 59	46 26
11. St-Gothard	2109 m	8 34	46 33
12. Weissenstein	1290 m	7 31	47 15
13. Bâle	286 m	7 35	47 34
14. Genève	404 m	6 09	46 12
15. Neuchâtel	487 m	6 57	47 00
16. Zurich	468 m	8 33	47 23

Le calcul de ces déviations peut être ramené à une simple sommation. En effet, si l'on choisit les limites des zones et des secteurs de manière que

$$\frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206\,265''}{\pi R_o} \left\{ \frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right\} Q = \text{constante},$$

l'expression de la composante topographique prend la forme

$$\text{const. } \Sigma h_o + \text{correction topographique.}$$

La déviation isostatique se réduit à la même forme simple, quand

$$\frac{3 \Theta_o}{4} \frac{206265''}{\pi R_o} \left\{ \frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right\} Q F^* = \text{constante.}$$

La recherche des hauteurs moyennes constitue la partie la plus importante du travail pratique; il est donc naturel de ne pas choisir un réseau de zones et de secteurs spécial à chacun des deux genres de calcul, topographique et isostatique; il faudra faire en sorte que les h_o déterminés pour l'une des deux déviations, puissent être utilisés pour l'autre.

Nous calculerons la composante topographique à l'aide de l'expression

$$\text{const} \times \Sigma h_o + \text{corr. top.}$$

et nous en déduirons la composante isostatique

$$\text{const} \times \Sigma F^* h_o + \text{corr. top.}$$

Le facteur F^* étant inférieur à l'unité, les formules donnent la déviation isostatique avec une exactitude plus grande que la composante topographique.

a) Détermination du réseau des zones et secteurs.

La valeur numérique de la constante ne dépend que du degré d'exactitude avec lequel on doit calculer les composantes de la déviation. Si l'on choisit une puissance de 10, la recherche du produit

$$\text{const} \times \Sigma h_o$$

se réduit, après le calcul de Σh_o , à un déplacement de la virgule.

Si h_o est exprimé en mètres, il suffit d'admettre $\text{const} = 10^{-4}$ pour obtenir une exactitude suffisante; chaque mètre d'altitude d'un compartiment du réseau correspond à 0,0001 dans la valeur de la composante topographique.

En attribuant aux constantes Θ_o , Θ_m et R_o les valeurs

$$\Theta_o = 2,73$$

$$\Theta_m = 5,52$$

$$\text{et } R_o = 6371000 \text{ m,}$$

nous obtenons

$$\left\{ \frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_l}{\cos \varphi_l - \cos \varphi_m} \right\} \cdot Q = 10^{-4} \frac{4 \Theta_m}{3 \Theta_o} \frac{\pi R_o}{206265''} = \frac{1}{8} \cdot 0,209284 \dots ;$$

c'est la condition à laquelle doivent satisfaire les rayons des zones et les angles des secteurs.

Si l'on donne successivement à la différence des sinus, respectivement des cosinus, les valeurs

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots,$$

le quadrant sera divisé en 2, 3, 4... secteurs; or Q est sensiblement égal à $\log \frac{a_k}{a_l}$; il en résulte que, plus le nombre des secteurs est grand, c'est-à-dire plus leur angle moyen est petit,

plus la largeur des zones augmente. Il sera donc possible de choisir n et $\frac{a_k}{a_i}$ de manière que la majorité des compartiments prennent une forme voisine du carré, cette forme étant la plus favorable à l'estimation exacte des hauteurs moyennes h_o .

On constate aisément que la plupart des quadrilatères n'ont la forme désirée que pour

$$n = 6, 8 \text{ et } 10.$$

Le tableau ci-après donne les angles des secteurs pour ces diverses valeurs de n .

$n =$	6	8	10
secteur 1	0°00'	0°00'	0°00'
„ 2	9 36	7 11	5 44
„ 3	19 28	14 29	11 32
„ 4	30 00	22 01	17 27
„ 5	41 49	30 00	23 35
„ 6	56 26	38 41	30 00
„ 7	90 00	48 36	36 52
„ 8		61 03	44 26
„ 9		90 00	53 08
„ 10			64 09
			90 00
$\frac{a_k}{a_i} =$	1,170	1,233	1,303

Dessignons à une échelle quelconque le canevas correspondant à ces trois valeurs de n ; il saute aux yeux que $n = 8$ est plus favorable que $n = 6$ et que $n = 10$. La constante $n = 8$ présente encore un autre avantage: l'ensemble des quatre premiers secteurs comprend 30° , soit à peine 1° de moins que le secteur le plus grand, le huitième, qui mesure $28^\circ 57'$. Cette coïncidence n'existe pas dans le cas où $n = 6$ et $n = 10$; elle permet de simplifier la recherche de l'altitude moyenne dans les compartiments les plus larges. En effet, numérotons les secteurs depuis le point *est*, dans le sens contraire au mouvement des aiguilles d'une montre; nous obtiendrons le schéma représenté dans la figure 3 (page 36).

On voit immédiatement que, dans une même zone et avec une très grande approximation, la hauteur h_o du secteur 1 nord-sud est la moyenne arithmétique des altitudes des secteurs 1, 2, 3, 4 ouest-est, — l'altitude h_o du secteur 8 ouest-est est la moyenne des hauteurs des quatre secteurs 5, 6, 7, 8 nord-sud. Il en sera de même dans les trois autres quadrants.

Par ce procédé, on aura $2 \times 4 + 2 \times 3 = 14$ altitudes moyennes à déterminer au lieu de 16; l'économie de travail paraît, à première vue, très minime; mais si l'on considère que l'évaluation d'une hauteur devient d'autant plus longue et difficile que la largeur du com-

partiment augmente, on constatera que l'économie est bien supérieur à $\frac{1}{8}$. Nous estimons que ce procédé réduit de $\frac{1}{3}$ environ le temps consacré à la recherche des h_0 .

Si l'on voulait se contenter d'une approximation plus faible, on pourrait poser

$$h_2 \text{ (N-S)} = h_5 \text{ (W-E)}$$

$$h_3 \text{ (N-S)} = h_6 \text{ (W-E)}$$

$$h_4 \text{ (N-S)} = h_7 \text{ (W-E)} .$$

Dans ce cas, pour répartir l'erreur uniformément sur les deux composantes, il faudrait déplacer les limites des secteurs et les mettre à égale distance des limites véritables (lignes poin-

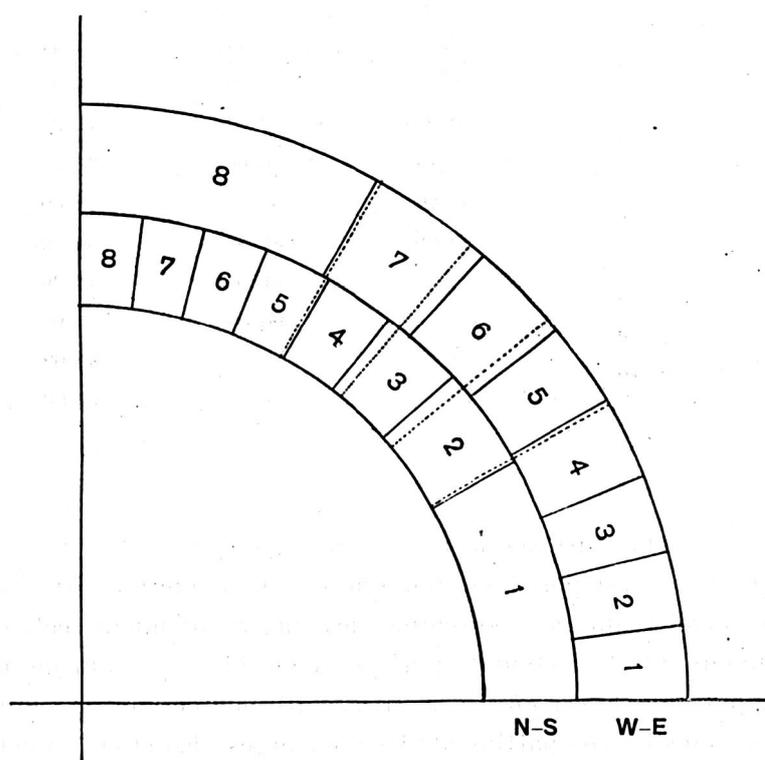


Fig. 3.

tillées de la figure 3). Nous n'avons pas fait usage de cette simplification; les hauteurs des secteurs 2, 3, 4, (N-S) et 5, 6, 7 (W-E) ont été déterminées séparément pour chaque composante; mais nous avons admis dans les calculs

$$h_1 \text{ (N-S)} = \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \right) \text{ (W-E)}$$

$$h_8 \text{ (W-E)} = \left(\frac{h_5 + h_6 + h_7 + h_8}{4} \right) \text{ (N-S)} .$$

L'erreur due à ce procédé sera examinée de près dans le chapitre V. Toutefois nous devons faire remarquer que l'on obtiendrait une valeur plus exacte des altitudes moyennes dans les grands compartiments, en attribuant à h_1, h_2, h_3, h_4 , respectivement h_5, h_6, h_7, h_8 , des poids proportionnels à $\sin \varphi_m - \sin \varphi_l$, respectivement $\cos \varphi_l - \cos \varphi_m$; il en résulterait un accroissement de travail très considérable. Mais si l'on admettait des poids approximatifs, en posant

$$h_1 \text{ (N-S)} = \frac{\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3}{2} + h_4 \text{ (W-E)},$$

le calcul serait aussi simple que celui de la moyenne arithmétique.

Pour $n = 8$ et pour les valeurs attribuées ci-dessus à θ_o, θ_m et R_o , la valeur exacte de Q qui conduit à 10^{-4} , est

$$Q = 0,209\,284.$$

Pour les zones voisines de la station

$$Q = \log \frac{a_k}{a_i},$$

c'est-à-dire

$$\frac{a_k}{a_i} = 1,2328$$

Les rayons des zones forment ainsi une progression géométrique, aussi longtemps que le facteur Q peut se réduire à $\log \frac{a_k}{a_i}$.

La table, page 42, donne les rayons des zones du réseau utilisé dans nos calculs; de la zone 5 ($a_i = 0,609$ km) à la zone 31 ($a_k = 172,6$ km), ces rayons augmentent en progression géométrique de raison

$$1,2326_4$$

au lieu de la valeur indiquée plus haut

$$1,2328.$$

Cela s'explique par le fait qu'au début de notre étude nous avons employé d'autres constantes; si nous attribuons cet écart à un changement dans la densité, celle-ci serait $\theta_o = 2,73_{16}$ au lieu de $2,73_{00}$. La différence est insignifiante; elle est sans aucun effet sur les résultats numériques.

A l'intérieur de $a = 0,609$ km, nous avons partagé le terrain en quatre zones dont les rayons, 0,45 km, 0,30 km, 0,15 km et 0,00 km, sont en progression arithmétique. L'emploi du rapport $\frac{a_i}{a_k} = 1,2326$ entre la station et $a = 0,609$ km n'aurait fait que compliquer inutilement les calculs sans en augmenter l'exactitude.

A partir de $a = 172,6$ km, les limites des zones satisfont à la condition

$$Q = \left[\cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \right]_{\alpha_i}^{\alpha_k} = 0,209284 ;$$

on les détermine aisément à l'aide de la fonction

$$f(\alpha) = \cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4}$$

dont les valeurs numériques sont données dans la première des deux tables suivantes:

I. La fonction $f(\alpha)$.

α	$f(\alpha)$	Δ_1	Δ_2	α	$f(\alpha)$	Δ_1	Δ_2
4°	-3,04 874	+69 163		60°	-0,45 0933	+4 981 9	
8	-2,35 711	+40 303	-28 860	64	-0,40 111 4	+4 510 1	- 471 8
12	-1,95 418	+28 414	-11 889	68	-0,35 601 3	+4 085 4	- 424 7
16	-1,67 004	+21 860	- 6 554	72	-0,31 515 9	+3 700 8	- 374 6
20	-1,45 144	+17 679	- 4 181	76	-0,27 815 1	+3 351 3	- 349 5
24	-1,27 465	+14 763	- 2 916	80	-0,24 463 8	+5 770 4	
28	-1,12 702	+12 602	- 2 161				
32	-1,00 100	+10 933	- 1 609	88	-0,18 693 4	+4 689 6	-1 080 8
36	-0,89 167	+ 9 595	- 1 338	96	-0,14 003 8	+3 771 2	- 918 4
40	-0,79 572 3	+ 8 496 8	- 1 098	104	-0,10 232 6	+2 986 1	- 785 1
44	-0,71 075 5	+ 7 575 4	- 921 4	112	-0,07 246 5	+2 315 8	- 671 3
48	-0,63 500 1	+ 6 788 6	- 786 8	120	-0,04 930 7	+3 014 1	
52	-0,56 711 5	+ 6 107 7	- 680 9				
56	-0,50 603 8	+ 5 510 5	- 597 2	136	-0,01 916 6	+1 427 4	-1 586 7
60	-0,45 093 3	+ 4 981 9	- 529 6	152	-0,00 489 2	+ 450 8	- 976 6
64	-0,40 111 4			168	-0,00 038 4		
23° 50'	-1,28 136	+671		37° 10'	-0,86 242	+409	
24 0	-1,27 465	+666	- 5	20	-0,85 833	+407	- 2
10	-1,26 799			30	-0,85 426		
29° 50'	-1,06 692	+526		47° 0'	-0,65 316	+459	
30 0	-1,06 166	+522	- 4	15	-0,64 857	+453	- 6
10	-1,05 644			30	-0,64 402		

II. Rayons des Zones à partir de $\alpha = 172,6$ km.

No de la zone	$f(\alpha)$	calcul plan		$f(\bar{\alpha})$	Différences	calcul sphérique		α (sphérique) moins α (plan)
		\bar{a}	$\bar{\alpha}$			a	α	
		km				km		
32	-3,9950	172,6	1,552	-3,9950	2092	172,6	1,552	0,0
33	-3,7857	212,8	1,914	-3,7858	2094	212,8	1,914	0,0
34	-3,5764	262,3	2,359	-3,5764	2090	262,3	2,359	0,0
35	-3,3671	323,4	2,908	-3,3674	2092	323,5	2,909	0,1
36	-3,1579	398,7	3,585	-3,1582	2092	398,7	3,586	0,0
37	-2,9486	491,5	4,420	-2,9490	2089	491,7	4,422	0,2
38	-2,7393	605,9	5,449	-2,7401	2088	606,3	5,453	0,4
39	-2,5300	746,9	6,717	-2,5313	2085	747,9	6,726	1,0
40	-2,3207	920,8	8,281	-2,3228	2087	922,8	8,298	2,0
41	-2,1114	1135,0	10,21	-2,1147	2076	1138,8	10,242	3,8
42	-1,9022	1399,4	12,58	-1,9071	2061	1406,4	12,65	7,0
43	-1,6929	1725	15,52	-1,7010	2060	1738,4	15,63	13
44	-1,4836	2127	19,13	-1,4950	2033	2152,0	19,35	25
45	-1,2743	2622	23,58	-1,2917	2002	2670	24,01	48
46	-1,0650	3232	29,07	-1,0915	1956	3324	29,89	92
47	-0,8557	3985	35,84	-0,8959	1887	4163	37,44	178
	-0,6464	4912	44,18	-0,7072		5267	47,37	355

L'examen des différences premières et secondes montre qu'il faut déterminer $f(\alpha)$ pour un intervalle beaucoup plus petit que 4° , lorsqu'on désire extraire de la table la valeur des rayons à $0,001$ près, c'est-à-dire à $0,1$ km près. Aussi avons-nous appliqué un procédé rapide pour le calcul des petites valeurs de α , jusqu'à $\alpha < 20^\circ$; voici ce procédé:

Le rapport $\frac{\alpha_k}{\alpha_i} = 1,2328$ appliqué au-delà de $a = 172,6$ km fournit des rayons approximatifs \bar{a} ou $\bar{\alpha}$ qui sont indiqués dans les deux colonnes « calcul plan » de la table II ci-dessus. En calculant ensuite les différences

$$f(\bar{\alpha}_k) - f(\bar{\alpha}_i) = \left[\cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \right]_{\bar{\alpha}_i}^{\bar{\alpha}_k}$$

on constate que celles-ci sont déjà très sensiblement égales à $0,20928$. Si l'on considère maintenant la valeur $\bar{\alpha}$ comme fonction de l'argument $f(\bar{\alpha})$, il est facile de déterminer les angles α qui correspondent à des arguments donnés $f(\alpha)$ satisfaisant à la condition

$$\left[\cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \right]_{\alpha_i}^{\alpha_k} = 0,209284$$

Les rayons a et α calculés de cette manière sont réunis dans la double colonne « calcul

sphérique» de la table II (page 39); les quatre derniers: $\alpha = 24^{\circ}0$; $29^{\circ}9$; $37^{\circ}4$; $47^{\circ}4$ ont été déduits directement des valeurs $f(\alpha)$ interpolées dans des limites très étroites; les décimales nécessaires se trouvent au pied de la table I.

La dernière colonne de la deuxième table fournit l'écart

«calcul sphérique» moins «calcul plan»;

cette différence n'est sensible que vers $a = 600$ km; plus loin elle augmente assez rapidement et atteint 355 km pour

$$\alpha = 47^{\circ}4.$$

Limites des zones de $\alpha = 47^{\circ}4$ à $\alpha = 180^{\circ}$.

Au-delà de $\alpha = 47^{\circ}4$, c'est-à-dire quand $a > 5267$ km, toutes les masses extérieures, ainsi que les défauts ou excédents qui leur correspondent à l'intérieur de l'écorce terrestre, exercent à peu près la même influence sur toutes les stations de la Suisse. On peut faire abstraction de ces masses éloignées lorsqu'il s'agit simplement de savoir si les déviations «calculées» coïncident vraiment avec les déviations «observées» dans le réseau géodésique suisse. Si les stations à étudier sont disséminées sur une grande étendue du continent ou si les stations suisses doivent être comparées avec les stations européennes éloignées, il est utile de connaître l'influence, dans ce cas variable, des masses lointaines. Toutefois, il ne sera plus nécessaire d'exiger une exactitude aussi grande que celle obtenue avec les masses plus rapprochées; au contraire, il paraît suffisant de ne calculer, sans erreur sensible, que les déviations isostatiques.

Par conséquent, nous allons déterminer les rayons des autres zones de manière que les composantes *isostatiques* se ramènent à la forme

$$\text{const} \times \Sigma h_o.$$

Pour cela, il faut que

$$\frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206\,265''}{\pi R_o} \left\{ \begin{array}{l} \sin \varphi_m - \sin \varphi_l \\ \cos \varphi_l - \cos \varphi_m \end{array} \right\} Q F^* = \text{const.}$$

L'altitude de la station ne modifiant le facteur F que dans les zones peu éloignées, nous avons le droit de remplacer ci-dessus F^* par F . De plus, pour les distances envisagées, F varie très lentement; il est donc permis de prendre pour F la moyenne des valeurs \mathfrak{f} aux deux limites inférieure et supérieure:

$$F = \frac{1}{2} \left(\mathfrak{f}_{\alpha_i} + \mathfrak{f}_{\alpha_k} \right)$$

Nous choisirons ici comme valeur de la constante:

$$10^{-7}.$$

Si les h_o et l_o sont évaluées au kilomètre près, l'exactitude des composantes isostatiques entre $\alpha = 47^{\circ}4$ et $\alpha = 180^{\circ}$ est la même que celle que l'on a cherché à atteindre dans le «calcul topographique» en déterminant les hauteurs h_o et les profondeurs l_o au mètre près.

Les limites des zones α_i et α_k peuvent être calculées à l'aide de la méthode suivante; la fonction $f(\alpha)$ de la table I, page 38, nous donne une valeur approximative du rayon extérieur $\bar{\alpha}_k$ correspondant à un rayon donné α_i et à une valeur approchée attribuée à F ; α_k doit satisfaire à la condition

$$\left[\cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \right]_{\alpha_i}^{\bar{\alpha}_k} = \frac{1}{F} \cdot 0,00020928.$$

La valeur $\bar{\alpha}_k$ permet alors de calculer exactement le facteur F et d'en déduire — par répétition du procédé — la valeur cherchée α_k .

De la même manière, on détermine le rayon extérieur de la zone suivante et ainsi de suite. Les valeurs définitives de F et de α sont données dans la table, page 42.

Dans la dernière zone le produit

$$\left[\cos \frac{\alpha}{2} + \log \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \right]_{\alpha_i}^{\alpha_k} F$$

a pour valeur $327 \cdot 10^{-7}$ au lieu de $2093 \cdot 10^{-7}$; il en résulte que les hauteurs et les profondeurs de cette zone doivent être multipliées par le facteur

$$\frac{327}{2093} = \frac{1}{6,2}.$$

b) Les facteurs de la réduction isostatique.

Les valeurs numériques du facteur de la réduction isostatique sont donnés pages 52 à 67 dans les tables qui résument les résultats des seize stations. On les obtient à l'aide des formules

$$\bar{F}_o = 1 - \frac{\log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + T^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + T^2}}}{\log \frac{a_k}{a_i}} \left[\begin{array}{l} \text{jusqu'à la zone 40} \\ \text{où } a = 1139 \text{ km} \end{array} \right]$$

$$\mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_0 = - \frac{a\tau}{\sqrt{a^2 + T^2}} \left(1 + \frac{a^2}{2(a^2 + T^2)} - \frac{2,5 a}{a + \sqrt{a^2 + T^2}} \right)$$

$$\mathfrak{f}^* - \mathfrak{f} = \frac{H}{T} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + H^2}} - \frac{a^3}{\sqrt{a^2 + T^2}^3} \right),$$

Au lieu des valeurs $\mathfrak{f} - \bar{\mathfrak{f}}_0$ que nous avons calculées d'après la formule ci-dessus, on aurait pu utiliser les nombres $\mathfrak{f} - \mathfrak{f}_0$ du chapitre I, page 22; quant aux facteurs $\mathfrak{f}^* - \mathfrak{f}$, ils sont tirés de la table de HELMERT.¹⁾

Dans les zones 41 à 47, la valeur de F a été déterminée à l'aide de l'égalité

$$F = \frac{1}{2} \left(\mathfrak{f}_{\alpha_i} + \mathfrak{f}_{\alpha_k} \right),$$

\mathfrak{f}_α étant extrait du chapitre I, page 22.

Enfin, les facteurs relatifs aux zones 48 à 62 sont calculés, page 42.

¹⁾ F. R. HELMERT, l. c. page 452.

Nos des zones	Rayons des zones <i>a</i>	Nos des zones	Rayons des zones	
			<i>a</i>	α
1	0,000 km	32	172,6 km	1° 552
2	0,150	33	212,8	1, 914
3	0,300	34	262,3	2, 359
4	0,450	35	323,4	2, 909
5	0,609	36	398,8	3, 586
6	0,750	37	491,7	4, 422
7	0,925	38	606,4	5, 453
8	1,140	39	747,9	6, 726
9	1,406	40	922,7	8, 299
10	1,733	41	1139	10, 24
11	2,136	42	1406	12, 65
12	2,632	43	1738	15, 63
13	3,245	44	2152	19, 35
14	4,000	45	2670	24, 01
15	4,931	46	3324	29, 89
16	6,077	47	4163	37, 44
17	7,492		5267	47, 37
18	9,234	Nos des zones	<i>F</i>	α
19	11,4			
20	14,0	48	- 0,004 47	47° 22'
21	17,3	49	- 0,004 50	50 02
22	21,3	50	- 0,004 52	52 53
23	26,3	51	- 0,004 54	55 57
24	32,4	52	- 0,004 56	59 15
25	39,9	53	- 0,004 57	62 51
26	49,2	54	- 0,004 58	66 48
27	60,7	55	- 0,004 60	71 10
28	74,8	56	- 0,004 61	76 02
29	92,2	57	- 0,004 62	81 33
30	113,6	58	- 0,004 63	87 57
31	140,0	59	- 0,004 64	95 37
	172,6	60	- 0,004 66	105 17
		61	- 0,004 67	118 56
		62	- 0,004 67	148 09
				180 00

c) **Remarques relatives à la mesure des h_o et t_o .**

Le réseau constitué par les grands cercles issus de la station et par les limites des zones, décompose la surface du globe en quadrilatères curvilignes qui se répartissent en trois catégories :

- 1° les compartiments continentaux;
- 2° les compartiments maritimes;
- 3° les compartiments mixtes.

Dans les trois cas les limites du quadrilatère étaient, ou bien dessinées sur la carte, ou bien fixées à l'aide d'un transparent en celluloïde portant le tracé du réseau à l'échelle de la carte. Une évaluation immédiate de l'altitude moyenne est possible dans la plupart des cas (compartiments petits, en plaine ou en terrain régulier). Dans les régions à topographie irrégulière ou tourmentée, le terrain était décomposé en plusieurs sections égales et l'on formait la moyenne des altitudes des diverses sections.

1. *Compartiments continentaux.* Quelques lacs assez profonds se trouvent à proximité de certaines stations; l'altitude moyenne d'un compartiment lacustre s'obtient en ajoutant à l'altitude moyenne du fond du lac l'épaisseur de la couche liquide divisée par Θ_o .

2. *Compartiments maritimes.* L'évaluation des t_o s'est faite de la même manière que celle des h_o , soit directement, soit en décomposant la parcelle en plusieurs parties égales.

La profondeur t_o doit être multipliée par

$$\frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} = 0,620$$

pour réduire la couche liquide à une masse de densité Θ_o (calcul topographique).

Dans le calcul de la *déviatio*n isostatique**, la densité du défaut de masse du compartiment maritime n'est pas ϑ_e , mais $\vartheta_e - \vartheta_T$. Or, nous avons (voir page 9, formules [12] et [15])

$$\vartheta_e - \vartheta_T = \vartheta_e \left(1 + \frac{t'_o}{T' - t'_o} \right);$$

il en résulte qu'il faudra modifier les valeurs obtenues

$$\frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} t_o$$

en les augmentant de la correction

$$\Delta = \frac{t'_o}{T' - t'_o} \cdot \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} t_o.$$

Au lieu du facteur $\frac{t'_o}{T' - t'_o}$, il suffit d'employer $\frac{t_o}{T}$.

3. *Compartiments mixtes.* La hauteur ou la profondeur de ces parcelles s'obtient naturellement en tenant compte de l'altitude et de la grandeur relative de la partie émergée et immergée.

d) Le matériel cartographique.

Pour la recherche des h_o et t_o , nous avons utilisé de très nombreuses cartes dont nous citerons les principales.

L'Atlas Siegfried (1 : 25 000 et 1 : 50 000, équidistance 10 m et 30 m) jusqu'à la zone 17; pour les stations Dôle, Bâle, Generoso, Martinsbruck les indications de la carte Siegfried étaient complétées par celles des cartes officielles à petite échelle des pays voisins. — *La Carte scolaire murale de la Suisse* (1 : 200 000, équidistance 100 m). — *La carte oro-hydrographique de la Suisse* (1 : 500 000, équidistance 100 m). — Les cartes allemandes (1 : 200 000 et 20 m), — françaises (1 : 200 000 et 20 m ou 1 : 500 000 et 100 m), — italiennes (1 : 500 000, équidistance: 100, 200, 300 et 400 m). En général les cartes précédentes ont donné les altitudes moyennes des compartiments jusqu'à 172,6 km de la station.

De cette distance, jusqu'à la zone 44 ($a = 2670$ km), les h_o ont été évaluées en partie à l'aide des *Cartes murales* de Gaebler, de l'*Atlas geograficzny* de Romer, du *Stieler's Hand-atlas*, etc. Enfin, nous avons construit, en projection équivalente de Lambert (échelle 1 : 32 000 000 environ, rayon terrestre = 20 cm) l'hémisphère oriental et l'hémisphère occidental d'après la feuille 3 de *Stieler* (courbes de niveau 100, 1000, 2000, 4000, 5000 m — dans l'Océan: 500, 1000, 2000, etc.). —

e) Les tableaux numériques.

Nous ne reproduisons les détails complets des calculs que pour la station Gurten (voir les tables, pages 46 à 49).

Après les deux premières colonnes, où figurent le numéro et le rayon extérieur de chaque zone, on trouve les altitudes h_o des 32 secteurs. Ceux-ci sont numérotés depuis le point Est dans le sens contraire au mouvement des aiguilles d'une montre. Les compartiments maritimes (zones 35 à 47), dont la profondeur t_o est multipliée par $\frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o}$, se distinguent par le signe des compartiments continentaux (zones 1 à 34); de plus, la correction

$$\Delta = \frac{t'_o}{T' - t'_o} \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} t_o$$

est indiquée en caractères plus petits.

Les sommes zonales des hauteurs h_o , respectivement des profondeurs $\left(t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o}\right)$ se trouvent dans la rubrique

$$\sum \left(h_o \text{ resp } t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} \right)$$

dont le sous-titre

$$\sum \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} t_o \frac{t'_o}{T' - t'_o}$$

se rapporte aux zones 35 à 47; pour celles-ci la correction est imprimée en petits caractères dans les interlignes.

Dans les zones 1 à 6, les nombres en petites italiques sont les déviations topographiques, calculées à l'aide de la hauteur relative $h = h_o - H$, d'après la formule:

$$\frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206\ 265''}{\pi R_o} \frac{1}{n} h \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + h^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + h^2}}.$$

Dans les zones 7 à 16, les petites italiques représentent les corrections qu'il faut ajouter à Σh pour obtenir la déviation véritable produite par chaque compartiment; ces termes ont été déterminés au moyen de

$$\frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206\ 265''}{\pi R_o} \frac{1}{n} \left(h \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + h^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + h^2}} - h \log \frac{a_k}{a_i} \right).$$

Nous trouvons ensuite dans l'avant-dernière colonne les sommes des déviations topographiques; elles ne sont indiquées que jusqu'à la zone 18, car, à partir de ce point, la différence

$$\log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + h^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + h^2}} - \log \frac{a_k}{a_i}$$

devient négligeable.

Il a été expliqué précédemment (chap. I, page 19) pourquoi les altitudes h_o peuvent remplacer les hauteurs relatives h .

La dernière colonne contient le produit du total des h_o (resp^t $t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o}$) de chaque zone par le facteur de la réduction isostatique.

Dans les zones 35 à 47, l'influence des corrections

$$\Delta = \frac{t'_o}{T' - t'_o} \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} t_o$$

est transcrite en petits caractères.

Quant aux nombres donnés dans les zones 45 à 47, ils ne se rapportent pas en vérité à la station Gurten; ils ont été calculés pour un point central de longitude $8^\circ 0' 0''$ E. de Gr. et de latitude $47^\circ 0' 0''$.

Les calculs de la déviation produite par les masses des zones 48 à 62 sont réunis dans la table, pages 50 et 51. Les compartiments océaniques se distinguent des autres en ce que les corrections Δ y sont données en caractères plus petits, à côté des valeurs $t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o}$. Les nombres de la table sont exprimés en unités de la 4^e décimale, les hauteurs h_o et les profondeurs t_o étant évaluées en kilomètres.

Dans les trois colonnes de droite, on trouve d'abord les composantes zonales de la déviation isostatique, puis la composante de la déviation topographique; cette dernière s'obtient en divisant le nombre placé dans la troisième colonne depuis la droite par le facteur de la réduction isostatique.

Les tables «Gurten» (page 57) ne contiennent que le résumé de ces derniers calculs.

Pour les autres stations, les résultats obtenus sont disposés d'une manière analogue dans les tables pages 52 à 67. (Suite page 68.)

No des zones	Rayons des zones km	Secteurs																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0,150	845		844		844		847		851		855		859		860		-853		-840
2	0,300	820	818	818	818	820	822	822	825	825	826	830	837	846	847	852	855	-829	-813	-802
3	0,450	804	794	787	780	780	780	782	790	795	798	804	810	822	833	844	842	-799	-784	-777
4	0,609	772	740	730	726	727	727	730	736	745	753	760	770	783	804	840	821	-755	-745	-725
5	0,750	730	701	703	704	705	705	707	711	714	715	723	730	743	763	795	793	-722	-791	-768
6	0,925	699	669	662	665	671	673	675	675	678	687	694	693	685	690	705	735	-700	-651	-629
7	1,14	648	610	600	610	630	640	435	630	650	655	645	640	642	650	660	690	-659	-615	-615
8	1,41	587	565	565	565	565	570	572	575	590	600	600	602	617	634	638	659	-626	-630	-630
9	1,73	565	562	555	555	557	557	560	562	543	555	565	568	600	615	617	630	-641	-670	-730
10	2,14	562	532	532	535	525	530	527	522	525	540	550	557	573	567	585	595	-620	-670	-720
11	2,63	536	537	538	535	543	545	537	530	515	525	538	550	568	565	565	586	-647	-675	-710
12	3,25	517	555	552	552	550	545	540	525	520	535	535	545	555	555	590	614	-650	-700	-708
13	4,00	531	560	555	565	565	520	535	530	542	555	555	555	550	565	605	640	-633	-760	-685
14	4,93	567	560	562	575	578	563	565	535	520	555	553	554	555	555	562	612	-686	-652	-735
15	6,08	591	662	588	555	560	550	550	520	548	578	555	545	552	552	562	585	-679	-670	-713
16	7,49	632	652	579	555	552	535	518	533	533	541	549	547	520	517	563	614	-645	-653	-759
17	9,23	608	641	707	675	652	590	559	535	570	575	583	590	595	533	541	620	-625	-636	-665
18	11,4	715	730	800	720	740	600	550	540	560	580	630	630	640	610	530	608	-608	-750	-740
19	14,0	770	850	700	650	620	580	550	550	560	600	630	650	720	710	600	598	-605	-730	-730
20	17,3	850	780	700	600	580	550	580	570	550	580	520	570	650	650	620	508	-598	-730	-790
21	21,3	835	630	600	580	540	500	540	510	500	520	530	500	480	480	470	493	-596	-700	-800
22	26,3	760	750	700	530	480	480	500	550	550	490	490	470	480	480	460	454	-593	-700	-850
23	32,4	950	800	700	520	460	450	500	480	460	490	600	600	680	600	550	465	-568	-700	-1150
24	39,9	1015	715	615	480	440	490	750	800	1000	950	900	880	950	1150	1100	560	-545	-800	-940
25	49,2	930	630	570	445	580	750	950	825	750	780	800	900	1000	1070	1070	840	-528	-825	-915
26	60,7	860	590	540	575	790	790	675	580	615	720	680	720	750	850	900	1058	-645	-765	-1135
27	74,8	625	630	475	600	525	430	390	360	430	470	460	470	540	602	695	930	-768	-695	-533
28	92,2	820	500	480	475	575	495	455	280	320	280	320	360	350	410	500	743	-930	-385	-1020
29	113,6	1045	525	470	680	980	940	600	240	225	435	660	654	460	350	350	510	-1005	-436	-1150
30	140,0	903	520	620	720	760	400	250	160	500	540	400	450	400	280	280	390	-720	-670	-840
31	172,6	1075	480	560	760	900	650	240	190	240	700	840	650	480	300	310	190	-380	-850	-620
32	212,8	1150	550	700	600	600	570	190	200	560	400	290	300	350	400	360	320	-220	-450	-500
33	262,3	1360	570	620	400	450	300	120	230	300	300	260	300	320	300	280	380	-380	-300	-450
34	323,5	1290	510	540	420	320	300	270	360	420	350	320	330	300	190	160	250	-430	-630	-350
35	398,7	1140	450	450	400	350	270	400	350	330	420	400	350	280	130	160	180	-620	-960	-750
36	491,7	1160	520	550	370	540	450	450	400	180	220	170	170	160	110	120	135	-610	-750	-720
37	606,9	1000	530	600	350	400	300	350	100	100	40	20	10	40	90	100	138	-203	-270	-530
38	747,9	395	400	410	120	90	100	60	50	20	0	0	-12	-25	38	-19	94	-46	-460	-1000
39	922,8	365	450	110	60	40	20	20	9	-12	-6	-19	-25	30	140	92	-5	432	-760	-285
40	1139	338	220	90	65	-22	19	0	42	-44	-25	-37	-31	215	190	72	-500	614	-800	-620
41	1406	450	140	120	-12	-11	130	30	35	113	-100	-62	77	300	62	138	-1165	98	-700	-700
42	1738	210	170	120	28	-44	60	400	1000	775	-125	-62	-37	15	-655	-499	-2065	1600	-200	-235
43	2152	-55	170	100	25	90	0	850	377	-562	-998	-874	-312	-936	-636	-1685	-2590	2746	1810	-550
44	2670	-136	210	130	50	130	172	900	-811	-1498	-1810	-842	134	-742	-1435	-1997	-2605	2605	2246	-394
45	3324	345	170	150	60	-28	-38	-307	-1061	-1747	-1560	-998	25	-468	-1248	-1560	-2153	2309	2059	-150
46	4163	225	230	160	50	-16	-56	-187	-57	-1747	644	1800	2000	1000	106	-2184	-2387	2465	2184	51
47	5267	738	220	110	80	66	-39	-156	-187	-1560	-50	471	13	-6	-254	-162	-2428	2527	2496	2184

Station Gurten $H = 860$ m.

No des zones	Rayons des zones km	Secteurs																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
1	0,150	847		845		845		845		845		-855		-860		-860		-860		-856		-851
2	0,300	⁻³⁹⁰ 822	820	⁻⁴³⁰ 820	819	⁻⁴³⁰ 818	818	⁻⁴³⁰ 818	822	⁻⁴³⁰ 832	⁻⁴³⁰ -847	¹⁹⁰ -850	⁰ -853	⁰ -857	⁰ -855	⁰ -850	⁰ -840	¹⁶⁰ -830	³⁰⁰ -825			
3	0,450	⁻¹²⁴ 806	⁻¹³⁰ 806	⁻¹³⁰ 804	⁻¹³³ 801	⁻¹³⁶ 795	⁻¹³⁵ 785	⁻¹³⁶ 780	⁻¹²³ 783	¹⁰⁰ -802	⁴³ -824	³³ -839	²³ -844	¹⁰ -848	¹⁰ -847	¹⁷ -843	³³ -830	⁶⁶ -817	⁹⁹ -805	¹¹⁴ -789		
4	0,609	⁻¹⁰² 794	⁻¹⁰² 778	⁻¹⁰⁶ 765	⁻¹¹¹ 752	⁻¹²⁵ 743	⁻¹⁴¹ 732	⁻¹⁵⁰ 727	⁻¹⁴⁵ 730	¹¹⁰ -757	⁶⁸ -787	³⁹ -805	³⁰ -845	²² -853	²⁴ -843	³² -815	⁵⁷ -783	⁸¹ -773	¹⁰⁴ -760	¹³⁴ -747		
5	0,750	⁻⁹⁴ 760	⁻¹²⁸ 738	⁻¹³¹ 717	⁻¹⁴⁷ 705	⁻¹⁵⁹ 700	⁻¹⁷⁵ 702	⁻¹⁸² 703	⁻¹⁷⁷ 707	¹⁴² -721	¹⁰⁴ -748	⁶⁴ -770	²¹ -795	¹⁰ -805	²⁴ -805	⁶⁴ -794	¹³⁹ -767	¹²² -741	¹³⁷ -727	¹⁵⁴ -718		
6	0,925	⁻⁹⁸ 726	⁻¹¹⁹ 704	⁻¹³⁸ 687	⁻¹⁴⁹ 678	⁻¹⁵³ 609	⁻¹⁵¹ 660	⁻¹⁵¹ 605	⁻¹⁴⁶ 674	¹³⁵ -688	¹¹⁰ -680	⁸⁹ -690	⁶⁵ -707	⁵⁵ -723	⁵⁵ -740	⁶⁶ -748	⁹² -728	¹¹⁶ -714	¹²⁹ -705	¹³⁷ -701		
7	1,14	⁻¹³¹ 675	⁻¹⁵² 655	⁻¹⁶⁸ 635	⁻¹⁷⁶ 625	⁻¹⁸⁰ 620	⁻¹⁸⁹ 610	⁻¹⁸⁵ 612	⁻¹⁸¹ 634	¹⁶⁷ -649	¹⁷¹ -650	¹⁶² -662	¹⁴⁹ -670	¹³⁴ -690	¹¹⁸ -690	¹¹⁰ -705	¹³⁰ -695	¹⁴² -680	¹⁵⁰ -680	¹⁵⁵ -645		
8	1,41	⁵ 615	¹⁰ 595	¹⁰ 575	¹⁰ 562	¹⁰ 565	¹⁰ 565	¹⁰ 565	¹⁰ 568	⁻⁵ -598	⁻⁵ -617	⁻⁵ -633	⁻⁵ -637	⁻⁵ -647	⁻⁵ -655	⁻⁵ -670	⁻⁵ -665	⁻⁵ -650	⁻⁵ -612	⁻⁵ -620		
9	1,73	⁵ 515	⁵ 565	⁵ 565	⁵ 563	⁵ 555	⁵ 555	⁵ 555	⁵ 559	⁻⁵ -558	⁻⁵ -600	⁻⁵ -613	⁻⁵ -620	⁻⁵ -625	⁻⁵ -625	⁻⁵ -630	⁻⁵ -638	⁻⁵ -600	⁻⁵ -630	⁻⁵ -665		
10	2,14	¹⁰ 575	¹⁰ 571	¹⁰ 555	¹⁰ 545	¹⁰ 545	¹⁰ 535	¹⁰ 535	¹⁰ 526	⁻¹⁰ -543	⁻⁵ -565	⁻⁵ -567	⁻⁵ -580	⁻⁵ -605	⁻⁵ -610	⁻⁵ -595	⁻⁵ -595	⁻⁵ -620	⁻⁵ -630	⁻⁵ -650		
11	2,63	⁵ 545	⁵ 543	⁵ 523	⁵ 530	⁵ 533	⁵ 542	⁵ 537	⁵ 528	⁻⁵ -532	⁻⁵ -565	⁻⁵ -565	⁻⁵ -565	⁻⁵ -572	⁻⁵ -577	⁻⁵ -585	⁻⁵ -610	⁻⁵ -633	⁻⁵ -640	⁻⁵ -650		
12	3,25	⁵ 512	⁵ 512	⁵ 512	⁵ 535	⁵ 545	⁵ 555	⁵ 547	⁵ 540	⁻⁵ -534	⁻⁵ -560	⁻⁵ -563	⁻⁵ -597	⁻⁵ -610	⁻⁵ -615	⁻⁵ -602	⁻⁵ -590	⁻⁵ -620	⁻⁵ -648	⁻⁵ -657		
13	4,00	⁵ 512	⁵ 515	⁵ 540	⁵ 555	⁵ 560	⁵ 555	⁵ 563	⁵ 538	⁻⁵ -552	⁻⁵ -557	⁻⁵ -567	⁻⁵ -600	⁻⁵ -640	⁻⁵ -655	⁻⁵ -645	⁻⁵ -605	⁻⁵ -625	⁻⁵ -620	⁻⁵ -637		
14	4,93	⁵ 550	⁵ 565	⁵ 572	⁵ 562	⁵ 560	⁵ 560	⁵ 575	⁵ 560	⁻⁵ -546	⁻⁵ -555	⁻⁵ -560	⁻⁵ -563	⁻⁵ -572	⁻⁵ -605	⁻⁵ -610	⁻⁵ -660	⁻⁵ -660	⁻⁵ -685	⁻⁵ -723		
15	6,08	⁵ 595	⁵ 572	⁵ 573	⁵ 625	⁵ 655	⁵ 630	⁵ 555	⁵ 547	⁻⁵ -556	⁻⁵ -552	⁻⁵ -555	⁻⁵ -557	⁻⁵ -578	⁻⁵ -582	⁻⁵ -580	⁻⁵ -596	⁻⁵ -655	⁻⁵ -680	⁻⁵ -710		
16	7,49	⁰ 573	⁰ 580	⁰ 650	⁰ 720	⁰ 660	⁰ 580	⁰ 555	⁰ 535	⁻⁵ -543	⁻⁵ -520	⁻⁵ -531	⁻⁵ -560	⁻⁵ -560	⁻⁵ -594	⁻⁵ -647	⁻⁵ -646	⁻⁵ -625	⁻⁵ -630	⁻⁵ -655		
17	9,23	⁰ 627	⁰ 597	⁰ 621	⁰ 581	⁰ 625	⁰ 709	⁰ 671	⁰ 584	⁻⁵ -530	⁻⁵ -586	⁻⁵ -492	⁻⁵ -538	⁻⁵ -624	⁻⁵ -585	⁻⁵ -638	⁻⁵ -646	⁻⁵ -645	⁻⁵ -649	⁻⁵ -584		
18	11,4	⁰ 650	⁰ 720	⁰ 750	⁰ 730	⁰ 730	⁰ 760	⁰ 720	⁰ 608	⁻⁵ -600	⁻⁵ -640	⁻⁵ -530	⁻⁵ -530	⁻⁵ -620	⁻⁵ -580	⁻⁵ -600	⁻⁵ -630	⁻⁵ -610	⁻⁵ -560	⁻⁵ -610		
19	14,0	⁰ 756	⁰ 750	⁰ 800	⁰ 780	⁰ 850	⁰ 750	⁰ 650	⁰ 575	⁻⁵ -610	⁻⁵ -720	⁻⁵ -600	⁻⁵ -550	⁻⁵ -530	⁻⁵ -630	⁻⁵ -610	⁻⁵ -620	⁻⁵ -570	⁻⁵ -570	⁻⁵ -610		
20	17,3	⁰ 880	⁰ 900	⁰ 870	⁰ 750	⁰ 780	⁰ 700	⁰ 600	⁰ 570	⁻⁵ -545	⁻⁵ -650	⁻⁵ -620	⁻⁵ -580	⁻⁵ -480	⁻⁵ -520	⁻⁵ -520	⁻⁵ -510	⁻⁵ -510	⁻⁵ -590	⁻⁵ -620		
21	21,3	⁰ 900	⁰ 950	⁰ 780	⁰ 700	⁰ 630	⁰ 630	⁰ 580	⁰ 523	⁻⁵ -513	⁻⁵ -480	⁻⁵ -470	⁻⁵ -480	⁻⁵ -480	⁻⁵ -470	⁻⁵ -500	⁻⁵ -520	⁻⁵ -550	⁻⁵ -550	⁻⁵ -610		
22	26,3	⁰ 820	⁰ 750	⁰ 750	⁰ 730	⁰ 750	⁰ 710	⁰ 540	⁰ 503	⁻⁵ -500	⁻⁵ -480	⁻⁵ -460	⁻⁵ -470	⁻⁵ -460	⁻⁵ -450	⁻⁵ -435	⁻⁵ -470	⁻⁵ -570	⁻⁵ -600	⁻⁵ -580		
23	32,4	⁰ 850	⁰ 1020	⁰ 1020	⁰ 900	⁰ 800	⁰ 720	⁰ 530	⁰ 473	⁻⁵ -538	⁻⁵ -680	⁻⁵ -550	⁻⁵ -480	⁻⁵ -480	⁻⁵ -440	⁻⁵ -490	⁻⁵ -450	⁻⁵ -460	⁻⁵ -560	⁻⁵ -600		
24	39,9	⁰ 950	⁰ 1050	⁰ 1100	⁰ 950	⁰ 715	⁰ 630	⁰ 510	⁰ 620	⁻⁵ -934	⁻⁵ -950	⁻⁵ -1220	⁻⁵ -1000	⁻⁵ -750	⁻⁵ -650	⁻⁵ -400	⁻⁵ -440	⁻⁵ -480	⁻⁵ -470	⁻⁵ -550		
25	49,2	⁰ 1250	⁰ 900	⁰ 850	⁰ 720	⁰ 630	⁰ 605	⁰ 450	⁰ 776	⁻⁵ -808	⁻⁵ -1000	⁻⁵ -1056	⁻⁵ -1080	⁻⁵ -1100	⁻⁵ -980	⁻⁵ -750	⁻⁵ -530	⁻⁵ -410	⁻⁵ -480	⁻⁵ -550		
26	60,7	⁰ 1250	⁰ 870	⁰ 680	⁰ 630	⁰ 590	⁰ 560	⁰ 575	⁰ 660	⁻⁵ -684	⁻⁵ -750	⁻⁵ -825	⁻⁵ -860	⁻⁵ -980	⁻⁵ -1050	⁻⁵ -1150	⁻⁵ -1050	⁻⁵ -800	⁻⁵ -450	⁻⁵ -650		
27	74,8	⁰ 785	⁰ 550	⁰ 530	⁰ 630	⁰ 630	⁰ 505	⁰ 568	⁰ 426	⁻⁵ -458	⁻⁵ -540	⁻⁵ -603	⁻⁵ -710	⁻⁵ -815	⁻⁵ -895	⁻⁵ -905	⁻⁵ -1105	⁻⁵ -1156	⁻⁵ -750	⁻⁵ -535		
28	92,2	⁰ 1075	⁰ 950	⁰ 710	⁰ 540	⁰ 500	⁰ 473	⁰ 475	⁰ 451	⁻⁵ -320	⁻⁵ -350	⁻⁵ -430	⁻⁵ -558	⁻⁵ -630	⁻⁵ -710	⁻⁵ -770	⁻⁵ -850	⁻⁵ -1000	⁻⁵ -1085	⁻⁵ -975		
29	113,6	⁰ 1650	⁰ 1300	⁰ 650	⁰ 575	⁰ 525	⁰ 488	⁰ 670	⁰ 690	⁻⁵ -494	⁻⁵ -460	⁻⁵ -325	⁻⁵ -345	⁻⁵ -385	⁻⁵ -460	⁻⁵ -475	⁻⁵ -515	⁻⁵ -805	⁻⁵ -955	⁻⁵ -1140		
30	140,0	⁰ 1600	⁰ 1150	⁰ 850	⁰ 700	⁰ 500	⁰ 480	⁰ 760	⁰ 495	⁻⁵ -610	⁻⁵ -450	⁻⁵ -200	⁻⁵ -220	⁻⁵ -200	⁻⁵ -180	⁻⁵ -190	⁻⁵ -200	⁻⁵ -500	⁻⁵ -580	⁻⁵ -750		
31	172,6	⁰ 1250	⁰ 1050	⁰ 850	⁰ 460	⁰ 480	⁰ 580	⁰ 730	⁰ 390	⁻⁵ -470	⁻⁵ -400	⁻⁵ -250	⁻⁵ -370	⁻⁵ -450	⁻⁵ -140	⁻⁵ -350	⁻⁵ -330	⁻⁵ -230	⁻⁵ -230	⁻⁵ -500		
32	212,8	⁰ 1900	⁰ 1400	⁰ 800	⁰ 500	⁰ 540	⁰ 650	⁰ 660	⁰ 390	⁻⁵ -390	⁻⁵ -350	⁻⁵ -400	⁻⁵ -360	⁻⁵ -370	⁻⁵ -350	⁻⁵ -300	⁻⁵ -260	⁻⁵ -200	⁻⁵ -200	⁻⁵ -220		
33	262,3	⁰ 2100	⁰ 1600	⁰ 1050	⁰ 700	⁰ 570	⁰ 600	⁰ 420	⁰ 280	⁻⁵ -290	⁻⁵ -350	⁻⁵ -300	⁻⁵ -280	⁻⁵ -310	⁻⁵ -350	⁻⁵ -430	⁻⁵ -430	⁻⁵ -350	⁻⁵ -350	⁻⁵ -450		
34	323,5	⁰ 2100	⁰ 1500	⁰ 950	⁰ 600	⁰ 500	⁰ 540	⁰ 400	⁰ 312	⁻⁵ -355	⁻⁵ -250	⁻⁵ -170	⁻⁵ -150	⁻⁵ -200	⁻⁵ -240	⁻⁵ -250	⁻⁵ -300	⁻⁵ -280	⁻⁵ -300	⁻⁵ -500		
35	398,7	⁰ 2200	⁰ 1200	⁰ 650	⁰ 510	⁰ 450	⁰ 510	⁰ 350	⁰ 343	⁻⁵ -375	⁻⁵ -180	⁻⁵ -150	⁻⁵ -120	⁻⁵ -130	⁻⁵ -170	⁻⁵ -250	⁻⁵ -180	⁻⁵ -270	⁻⁵ -470	⁻⁵ -850		
36	491,7	⁰ 2000	⁰ 1650	⁰ 570	⁰ 450	⁰ 530	⁰ 580	⁰ 520	⁰ 472	⁻⁵ -185	⁻⁵ -150	⁻⁵ -110	⁻⁵ -115	⁻⁵ -120	⁻⁵ -140	⁻⁵ -130	⁻⁵ -150	⁻⁵ -220	⁻⁵ -650	⁻⁵ -760		
37	606,9	⁰ 1300	⁰ 1500	⁰ 560	⁰ 650	⁰ 480	⁰ 650	⁰ 420	⁰ 288	⁻⁵ -42	⁰ 25	⁰ -100	⁰ -100	⁰ -160	⁰ -200	⁰ -80	⁰ -100	⁰ -150	⁰ -250	⁰ -220		
38	747,9	⁰ 320	⁰ 450	⁰ 300	⁰ 510	⁰ 400	⁰ 370	⁰ 170	⁰ 75	⁻⁵ -2	⁰ 21	⁰ -53	⁰ 31	⁰ -85	⁰ -150	⁰ -70	⁰ -70	⁰ -2	⁰ -4	⁰ -39		
39	922,8	⁰ 170	⁰ 270	⁰ 620	⁰ 400	⁰ 450	⁰ 190	⁰ 70	⁰ 22	⁰ 16	⁰ -30	⁰ -150	⁰ -81	⁰ 31	⁰ -52	⁰ -48	⁰ 87	⁰ 374	⁰ 1123	⁰ 811		
40	1139	⁰ 120	⁰ 150	⁰ 730	⁰ 350	⁰ 220	⁰ 120	⁰ 76	⁰ 10	⁰ 34	⁰ -138	⁰ -370	⁰ -77	⁰ 39	⁰ 62	⁰ 156	⁰ 1747	⁰ 2683	⁰ 1223	⁰ -700		
41	1406	⁰ 600	⁰ 500	⁰ 470	⁰ 230	⁰ 180	⁰ 130	⁰ -18	⁰ 46	⁰ -7	⁰ -274	⁰ -76	⁰ -123	⁰ 62	⁰ 106	⁰ 1685	⁰ 2808	⁰ 2059	⁰ -267	⁰ -600		
42	1738	⁰ 160	⁰ 270	⁰ 210	⁰ 190	⁰ 180	⁰ 170	⁰ 25	⁰ 354	⁻⁵ -138	⁰ 55	⁰ 874	⁰ 250	⁰ 842	⁰ 1997	⁰ 2746	⁰ 2683	^{0</}				

Composante W-E.

Secteurs													$\Sigma \left(h_o \text{ resp. } t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} \right)$	Déviations topograph. par zone	$F^* \Sigma \left(h_o \text{ resp. } t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} \right)$				
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	$\Sigma \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} t_o \frac{t'_o}{T' - t'_o}$		$F^* \Sigma t_o \frac{\Theta_e - \Theta_o}{\Theta_o} \frac{t'_o}{T' - t'_o}$				
	-845		-836		842		850		847		847		-	110	-	1600	-	110	
	⁴³⁰		⁵⁸⁰		⁻⁵⁰⁰		⁻³²⁰		⁻³⁹⁰		⁻³⁹⁰		-		-		-		
-818	-814	-806	-794	-783	821	841	844	845	843	840	833	828	-	59	-	210	-	59	
¹³⁶	¹⁴⁸	¹⁷¹	²⁰⁵	²³⁷	⁻¹²⁵	⁻⁶⁴	⁻⁵³	⁻⁵⁰	⁻⁵⁶	⁻⁶⁶	⁻⁸⁹	⁻¹⁰⁵	-		-		-		
-784	-785	-780	-750	-749	817	838	842	842	839	827	813	808	+	40	+	77	+	40	
¹⁴³	¹⁴¹	¹⁵⁰	²⁰²	²⁰⁴	⁻⁸¹	⁻⁴¹	⁻³⁶	⁻³⁶	⁻³⁹	⁻⁶²	⁻⁸⁹	⁻⁹⁸	+		+		+		
-740	-745	-730	-608	-716	796	822	837	843	835	823	810	802	+	192	+	257	+	192	
¹⁶³	¹⁵⁶	¹⁷⁷	²²²	¹⁹⁷	⁻⁹¹	⁻⁵⁵	⁻³³	⁻²⁴	⁻³⁷	⁻⁵³	⁻⁷¹	⁻⁸²	+		+		+		
-700	-692	-667	-650	-749	754	793	816	827	826	812	800	779	+	290	+	281	+	290	
¹⁵³	¹⁶¹	¹⁸³	¹⁹⁸	¹⁰⁸	⁻¹⁰⁴	⁻⁶⁶	⁻⁴⁴	⁻³³	⁻³³	⁻⁴⁷	⁻⁵⁹	⁻⁸⁰	+		+		+		
-680	-653	-633	-626	-637	688	740	794	811	807	788	770	753	+	561	+	536	+	560	
¹⁷⁶	¹⁹⁹	²¹⁷	²²³	²¹⁴	⁻¹⁶⁶	⁻¹¹⁸	⁻⁶⁶	⁻⁴⁹	⁻⁵³	⁻⁷¹	⁻⁸⁹	⁻¹⁰⁵	+		+		+		
-630	-625	-620	-670	-659	650	690	780	775	755	740	720	710	+	286	+	281	+	285	
⁻¹⁰	⁻¹⁰	⁻¹⁰	⁻⁵	⁻⁵	¹⁰	⁵	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-630	-620	-690	-730	-731	671	645	710	760	735	695	685	655	-	239	-	214	-	238	
⁻⁵	⁻⁵	⁻⁵	⁻⁵	⁻⁵	⁵	⁵	⁵	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-670	-665	-720	-800	-829	749	670	625	710	700	685	640	590	-	537	-	502	-	533	
⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-660	-670	-690	-790	-892	785	740	660	615	590	580	565	555	-	786	-	761	-	778	
⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-665	-680	-720	-760	-848	830	810	775	670	575	580	550	550	-	546	-	531	-	539	
⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-675	-700	-690	-750	-839	875	863	815	690	560	517	511	510	-	651	-	651	-	639	
⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-648	-660	-675	-715	-832	888	845	740	620	515	513	512	511	-	751	-	761	-	734	
⁻⁵	⁻⁵	⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-675	-650	-705	-770	-795	895	830	700	550	518	514	513	512	-	798	-	788	-	773	
⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-660	-675	-710	-740	-808	840	720	570	525	518	516	518	585	-	650	-	640	-	625	
⁻⁵	⁻⁵	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-668	-640	-735	-765	-860	837	546	640	655	520	517	559	575	-	467	-	467	-	444	
⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁵	⁵	⁵	⁵	-		-		-		
-623	-648	-675	-720	-795	900	613	810	610	522	550	583	595	+	210	+	210	+	197	
-650	-860	-600	-650	-720	770	690	660	580	570	630	680	660	+	918	+	918	+	845	
-670	-710	-620	-700	-803	780	610	580	650	720	650	820	770	+	1468	etc.		+	1323	
-670	-700	-780	-880	-970	798	580	580	710	820	840	750	740	+	1723			+	1509	
-650	-700	-780	-820	-1315	923	570	680	870	1000	1040	900	780	+	2568			+	2175	
-620	-680	-800	-1050	-1393	1335	580	1000	930	1000	1000	900	850	+	3130			+	2541	
-650	-680	-920	-1300	-1438	1150	580	1050	1400	1200	1050	1000	1050	+	4237			+	3254	
-680	-800	-850	-1250	-1463	1563	1075	980	1300	1600	1350	1400	1250	+	4156			+	2980	
-670	-825	-1000	-1450	-1556	1781	1880	1500	1600	1500	1400	1400	1450	+	4447			+	2922	
-680	-765	-985	-1325	-1675	2425	2550	2900	2050	1800	1100	1250	950	+	6161			+	3629	
-635	-700	-540	-970	-1469	1603	2500	2763	2850	2050	1900	1850	1450	+	8804			+	4525	
-655	-390	-665	-1500	-1490	2360	2090	2193	2454	2500	2250	2050	1600	+	10293			+	4467	
-1115	-470	-893	-1338	-2154	2833	1050	1675	1738	1925	2350	2000	2050	+	9640			+	3413	
-1050	-650	-780	-1300	-1900	1610	700	870	1200	1450	2300	1700	1700	+	8365			+	2317	
-550	-850	-620	-1050	-2275	975	270	650	850	1400	2250	1750	1550	+	6120			+	1279	
-270	-450	-400	-750	-1780	250	150	270	1000	1600	2300	2350	2150	+	9860			+	1499	
-350	-270	-400	-700	-1810	230	120	110	450	1400	1800	2300	2300	+	8610			+	930	
-650	-700	-500	-800	-1763	585	570	80	130	700	1100	1300	1500	+	5459			+	404	
-900	-900	-1000	-370	-763	-606	662	150	60	110	450	1400	1900	+	3261			+	160	
-800	-800	-850	-154	485	-823	394	570	40	-11	19	460	1500	+	4072			+	126	
⁻⁵	⁻⁵	⁴	⁴	⁴	⁻⁸	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				+		
-190	-250	-420	90	1310	-311	370	750	-6	-37	500	700	800	+	7777			+	156	
⁰	⁰	⁰	²³	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				+		
-140	-460	-1200	117	1638	-485	-16	671	-62	-91	870	320	300	+	3634			+	40	
⁰	⁰	⁰	³⁶	⁰	⁻³	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				+		
-581	-750	-360	468	1261	-984	-1542	600	-62	437	900	250	150	+	4060			+	24	
³	²¹	³	²¹	⁰	⁻¹³	⁻³²	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				+		
-750	-820	-720	310	1189	-356	-934	447	-189	370	900	350	220	+	6452			+	13	
⁰	⁰	⁰	¹⁹	⁰	⁰	⁻¹²	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				+		
-800	-700	-1000	719	-633	213	-855	-1373	113	1100	1100	450	650	+	6495			+	0	
⁸	⁸	⁸	⁸	⁸	⁰	⁻²²	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				+		
101	-217	-202	-522	-643	27	-1747	-2112	559	-95	381	370	112	+	3382			-	27	
⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁻⁴¹	⁻⁶⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				-		
2496	2122	40	-1000	-368	340	-544	-1181	-530	-81	800	165	-998	+	24808			-	51	
⁸³	⁶⁰	⁰	⁰	⁰	⁻⁴	⁻¹⁹	⁻⁴	⁻⁴	⁰	⁰	⁰	⁰	+				-		
2683	2372	90	-450	-313	388	160	157	-1335	-1334	675	1300	-266	+	27716			-	111	
⁹⁷	⁷⁵	⁰	⁰	⁰	⁻²⁴	⁻²⁴	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				-		
2621	2184	210	-250	-288	480	350	250	220	400	350	550	1800	+	30118			-	120	
⁹²	⁶³	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				-		
2496	2184	876	-250	-288	500	500	350	229	750	250	800	1600	+	29045			-	116	
⁸³	⁶³	¹⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				-		
2496	2496	2496	1201	928	450	600	950	296	750	250	563	1200	+	35861			-	143	
⁸³	⁸³	⁸³	¹⁹	¹¹	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	⁰	+				-		

zones 48 à 62 (N-S).

Secteurs													Totaux par zone des valeurs:			
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	h_o resp ^t $t_o \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o}$	$\frac{f_o^2}{T} \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o}$	$\frac{1}{F} \Sigma h_o$ resp. $t_o \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o}$
-2,8	-3,1	-3,1	-3,2	-3,1	-2,5	0,2	0,2	0,5	0,8	1,0	1,2	0	-0,1	-19,0	-0,86	+ 4250
-0,10	-0,13	-0,13	-0,14	-0,13	-0,08											
-2,5	-2,5	-2,5	-3,1	-3,1	-3,0	0	0,3	0,5	1,0	1,5	0,6	0,1	-1,4	-20,6	-0,82	+ 4575
-0,08	-0,08	-0,08	-0,13	-0,13	-0,12								-0,03			
-2,5	-3,1	-2,3	-2,8	-3,1	-3,1	-1,4	0,3	0,7	1,0	1,5	0,2	-0,3	-2,1	-24,9	-0,84	+ 5505
-0,08	-0,13	-0,07	-0,10	-0,13	-0,13	-0,03							-0,06			
-3,0	-3,6	-2,1	-2,8	-3,2	-3,2	-1,6	0,8	1,0	1,0	0,8	-1,3	-2,6	-2,3	-30,1	-1,03	+ 6625
-0,13	-0,17	-0,06	-0,10	-0,14	-0,14	-0,03					-0,02	-0,09	-0,07			
-3,2	-3,6	-2,1	-2,6	-3,1	-3,2	-0,4	1,2	1,2	1,0	0	-2,5	-2,8	-2,3	-33,5	-1,12	+ 7350
-0,14	-0,17	-0,06	-0,09	-0,13	-0,14						-0,08	-0,10	-0,07			
-2,1	-3,4	-2,1	-2,5	-3,1	-3,1	-0,6	1,2	1,2	0,8	-0,4	-2,6	-2,5	-2,6	-31,3	-0,90	+ 6850
-0,06	-0,15	-0,06	-0,08	-0,13	-0,13						-0,09	-0,08	-0,09			
-2,5	-3,2	-2,5	-2,5	-3,1	-3,0	-0,9	1,2	0,7	0,4	-0,9	-2,1	-1,9	-1,9	-31,4	-0,81	+ 6850
-0,08	-0,14	-0,08	-0,08	-0,13	-0,12	-0,01				-0,01	-0,06	-0,05	-0,05			
-2,5	-3,1	-2,8	-2,5	-3,1	-2,8	-1,3	0,7	1,0	-1,3	-0,5	-1,6	-2,1	-2,1	-22,7	-0,72	+ 4940
-0,08	-0,13	-0,10	-0,08	-0,13	-0,10	-0,02			-0,02		-0,03	-0,06	-0,06			
-1,1	-3,1	-2,8	-2,5	-2,5	-3,0	-2,5	0,5	0,5	-2,1	-0,5	-2,5	-2,5	-2,3	-13,8	-0,47	+ 2990
-0,02	-0,13	-0,10	-0,08	-0,08	-0,12	-0,08			-0,06		-0,08	-0,08	-0,07			
-1,3	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-3,1	-3,1	-1,9	-2,1	-2,6	-2,8	-2,8	-2,6	-2,8	-6,0	0	+ 1300
-0,02	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,13	-0,13	-0,05	-0,05	-0,09	-0,10	-0,10	-0,09	-0,10			
-1,9	-2,8	-2,8	-2,5	-2,5	-2,5	-2,8	-2,8	-2,1	-1,9	-2,5	-2,8	-2,6	-2,8	+ 11,5	+0,60	- 2480
-0,05	-0,10	-0,10	-0,08	-0,08	-0,08	-0,10	-0,10	-0,06	-0,05	-0,08	-0,10	-0,09	-0,10			
-1,9	-3,1	-2,8	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,1	-2,5	-2,6	-2,3	-3,0	+ 8,2	+0,57	- 1765
-0,05	-0,13	-0,10	-0,09	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,06	-0,08	-0,09	-0,07	-0,12			
-0,3	-1,9	-1,9	-1,9	-1,3	-1,3	-2,5	-2,5	-2,8	-2,8	-2,1	-1,9	-2,1	-3,0	+ 14,4	+0,77	- 3090
	-0,05	-0,05	-0,05	-0,02	-0,02	-0,08	-0,08	-0,10	-0,10	-0,06	-0,05	-0,06	-0,12			
-2,5	-1,9	-0,6	?	?	1,0	?	?	1,0	1,0	-0,6	-1,9	-2,1	-2,5	+ 24,3	+0,87	- 5200
-0,08	-0,05									-0,05	-0,06	-0,08				
-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	+ 1,1	0	- 235
Sommes:													-173,8	-4,76	+ 3 8465	

zones 48 à 62 (W-E).

Secteurs													Totaux par zone des valeurs:			
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	h_o resp ^t $t_o \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o}$	$\frac{f_o^2}{T} \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o}$	$\frac{1}{F} \Sigma h_o$ resp. $t_o \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o}$
-2,8	-3,1	-3,1	-2,8	-3,1	-3,1	-0,5	-1,0	-1,2	0,3	0,2	0,2	1,3	-1,0	-43,9	-1,29	+ 9810
-0,10	-0,13	-0,13	-0,10	-0,13	-0,13							0,02				
-2,5	-3,1	-3,0	-2,5	-2,5	-3,0	-0,4	-1,2	-0,5	-0,1	1,6	1,9	1,6	-0,1	-38,0	-1,17	+ 8445
-0,08	-0,13	-0,12	-0,08	-0,08	-0,12					0,03	0,05	0,03				
-2,5	-2,5	-2,6	-2,5	-3,4	-2,6	-0,4	-1,5	-0,1	1,6	2,5	2,5	1,9	-0,1	-37,3	-1,03	+ 8250
-0,08	-0,08	-0,09	-0,08	-0,15	-0,09				0,03	0,08	0,08	0,05				
-2,5	-2,5	-2,5	-2,8	-3,7	-2,6	-0,3	-0,8	1,9	2,6	2,8	2,5	2,1	-0,1	-35,4	-0,96	+ 7790
-0,08	-0,08	-0,08	-0,10	-0,18	-0,09			0,05	0,09	0,10	0,08	0,06				
-2,5	-2,5	-2,8	-3,0	-3,4	-2,6	-0,7	-0,4	2,8	2,8	2,8	2,8	1,9	-0,2	-35,6	-0,86	+ 7810
-0,08	-0,08	-0,10	-0,12	-0,15	-0,09			0,10	0,10	0,10	0,10	0,05				
-1,6	-1,6	-1,3	-2,8	-3,4	-2,6	-0,5	+0,7	2,8	2,5	2,5	2,5	1,3	-0,2	-23,7	-0,45	+ 5185
-0,03	-0,03	-0,02	-0,10	-0,15	-0,09			0,10	0,08	0,08	0,08	0,02				
0,2	0,1	0,2	-1,9	-3,1	-2,6	-0,1	1,0	2,5	1,9	2,5	2,5	0,9	0,6	-4,7	-0,05	+ 1020
			-0,11	-0,13	-0,09		+0,02	0,08	0,05	0,08	0,08	0,01				
0,3	0,3	0,5	-1,2	-3,0	-2,6	0,2	0,6	2,5	1,9	2,5	2,5	1,9	2,1	+6,0	+0,12	- 1305
			-0,02	-0,12	-0,09			0,08	0,05	0,08	0,08	0,05	0,06			
0,1	0,3	0,5	-0,4	-2,8	-2,8	1,4	1,4	2,3	2,1	2,3	2,5	2,5	2,5	+11,7	+0,27	- 2535
			-0,10	-0,10		0,03	0,03	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08			
0,2	0,2	0,2	-0,7	-2,5	-2,5	2,3	2,8	2,8	2,5	2,8	2,8	2,8	2,8	+20,6	+0,61	- 4455
			-0,01	-0,08	-0,08	0,07	0,10	0,10	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10			
2,0	0,5	0,2	-1,2	-2,8	-2,5	2,5	2,5	2,8	2,5	2,8	2,8	3,1	3,1	+15,7	+0,55	- 3390
			-0,02	-0,10	-0,08	0,08	0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,13	0,13			
-2,8	0,3	0,2	-1,0	-3,2	-2,8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	3,1	3,1	+1,3	+0,04	- 280
-0,10			-0,02	-0,14	-0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,13	0,13	0,13			
-1,9	-1,9	-0,4	-0,1	-1,9	-2,5	2,5	2,1	2,5	2,5	2,8	3,1	3,1	2,8	+4,8	+0,25	- 1030
-0,05	-0,05			-0,05	-0,08	0,08	0,06	0,08	0,08	0,10	0,13	0,13	0,10			
-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-1,9	?	?	1,3	2,1	2,5	2,6	3,0	2,3	0,2	-14,9	-0,53	+ 3190
-0,09	-0,09	-0,08	-0,08	-0,05			0,02	0,06	0,08	0,09	0,12	0,07				
-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	-2,9	0	+ 620
Sommes:													-182,3	-4,43	+ 3 9125	

Station Berra. $H = 1720$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	-358	- 62	- 420	- 420	+ 468	+ 42	+ 510	+ 510
2	1,000	-213	- 119	- 752	- 752	+ 326	+ 193	+ 1029	+ 1029
3	1,000	-121	- 74	- 947	- 947	+ 192	+ 268	+ 1489	+ 1489
4	1,000	- 43	- 154	- 1144	- 1144	+ 7	+ 79	+ 1575	+ 1575
5	1,000	+102	- 163	- 1205	- 1205	- 96	+ 264	+ 1743	+ 1743
6	0,999	- 21	+ 19	- 1207	- 1207	- 57	+ 704	+ 2390	+ 2389
7	0,999	+ 15	- 108	- 1300	- 1300	- 120	+ 1328	+ 3598	+ 3596
8	0,998	0	+ 88	- 1212	- 1212	- 85	+ 1512	+ 5025	+ 5020
9	0,996	0	+ 415	- 797	- 799	- 120	+ 1841	+ 6746	+ 6734
10	0,994	- 10	+ 533	- 274	- 279	- 140	+ 1825	+ 8431	+ 8388
11	0,991	+ 20	+ 343	+ 89	+ 81	- 120	+ 1880	+ 1 0191	+ 1 0131
12	0,988	+ 5	+ 77	+ 171	+ 162	- 160	+ 2352	+ 1 2383	+ 1 2292
13	0,981	+ 20	+ 19	+ 210	+ 201	- 195	+ 4280	+ 1 6468	+ 1 6296
14	0,976	+105	- 2546	- 2231	- 2179	- 235	+ 5938	+ 2 2171	+ 2 1856
15	0,967	+185	- 4102	- 6248	- 5961	- 205	+ 6957	+ 2 8923	+ 2 8378
16	0,956	+110	- 5007	- 1 1045	- 1 0638	- 245	+ 9051	+ 3 7729	+ 3 6785
17	0,935	+110	- 5081	- 1 6016	- 1 5279	- 160	+ 7942	+ 4 5511	+ 4 4050
18	0,928	+160	- 7208	- 2 3064	- 2 1808	- 100	+ 6787	+ 5 2198	+ 5 0248
19	0,908	+180	- 8714	- 3 1598	- 2 9540	- 100	+ 7898	+ 5 9896	+ 5 7319
20	0,884	0	-1 0295	- 4 1893	- 3 8641	0	+ 6963	+ 6 6859	+ 6 3474
21	0,854	0	- 9796	- 5 1689	- 4 7007	0	+ 5607	+ 7 2466	+ 6 8262
22	0,818	0	-1 1133	- 6 2822	- 5 6114	0	+ 7735	+ 8 0201	+ 7 4507
23	0,775	0	-1 4328	- 7 7150	- 6 7218	0	+ 7428	+ 8 7629	+ 8 0264
24	0,724	0	-1 5721	- 9 2871	- 7 8600	0	+ 8985	+ 9 6614	+ 8 6769
25	0,664	0	-1 0442	-10 3313	- 8 5533	0	+ 9905	+10 6519	+ 9 3346
26	0,596	0	- 8040	-11 1353	- 9 0325	0	+ 8163	+11 4682	+ 9 8211
27	0,520	0	-1 5560	-12 6913	- 9 8416	0	+1 0863	+12 5545	+10 3860
28	0,440	0	-2 2981	-14 9894	-10 8528	0	+1 3215	+13 6760	+10 9675
29	0,359	0	-1 8346	-16 8240	-11 5114	0	+1 0695	+14 9455	+11 3515
30	0,282	0	-1 3523	-18 1763	-11 8927	0	+ 9697	+15 9152	+11 6250
31	0,213	0	- 6239	-18 8002	-12 0256	0	+ 8687	+16 7839	+11 8100
32	0,155	0	- 5571	-19 3573	-12 1120	0	+ 7130	+17 4969	+11 9205
33	0,110	0	- 8558	-20 2131	-12 2061	0	+ 7579	+18 2548	+12 0039
34	0,076	0	- 7265	-20 9396	-12 2613	0	+ 5660	+18 8203	+12 0469
35	0,050	+ 56	+ 3801	-20 5595	-12 2417	- 13	+ 2354	+19 0562	+12 0585
36	0,032	+ 77	+ 8743	-19 6852	-12 2133	- 1	+ 4820	+19 5382	+12 0739
37	0,020	+132	+ 8909	-18 7943	-12 1949	+ 24	+ 7045	+20 2427	+12 0880
38	0,012	+175	+ 7666	-18 0277	-12 1853	+ 35	+ 3918	+20 6345	+12 0927
39	0,006	+210	(+1 0800)	-16 9477	-12 1786	+ 10	(+ 3800)	+21 0145	+12 0950
40	0,002	+ 70	(+ 5000)	-16 4477	-12 1776	+ 160	(+ 5800)	+21 5945	+12 0962
41	0,000	+ 30	(- 2000)	-16 6477	-12 1776	+ 180	(+ 7000)	+22 2945	+12 0962
42	-0,002	+ 70	(+ 1800)	-16 4677	-12 1780	+ 380	(+1 4100)	+23 7045	+12 0933
43	-0,002	0	(- 4400)	-16 9077	-12 1771	+ 810	(+2 5000)	+26 2045	+12 0879
44	-0,004	-110	(- 8200)	-17 7277	-12 1738	+ 860	(+2 7400)	+28 9445	+12 0753
45 à 47	-0,004	+ 5	(- 7554)	-18 4831	-12 1707	+ 2377	(+9 5024)	+38 4469	+12 0364
48 à 62	-0,004	-	(+3 8465)	-14 6366	-12 1886	-	(+3 9125)	+42 3594	+12 0177

Station La Dôle. $H = 1678$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	+ 1228	+ 252	+ 1480	+ 1480	- 904	- 316	- 1220	- 1220
2	1,000	+ 1396	+ 342	+ 3218	+ 3218	- 727	- 706	- 2653	- 2653
3	1,000	+ 58	+ 171	+ 3447	+ 3447	- 324	- 800	- 3777	- 3777
4	1,000	- 122	- 289	+ 3036	+ 3036	- 109	- 637	- 4525	- 4523
5	1,000	+ 60	- 603	+ 2493	+ 2493	+ 64	- 360	- 4819	- 4819
6	0,999	- 3	- 383	+ 2107	+ 2107	- 96	- 120	- 5035	- 5035
7	0,999	+ 20	+ 299	+ 2426	+ 2426	- 25	- 11	- 5071	- 5071
8	0,998	+ 50	+ 281	+ 2757	+ 2756	- 10	- 12	- 5093	- 5093
9	0,996	+ 5	+ 45	+ 2807	+ 2806	- 15	+ 331	- 4777	- 4778
10	0,994	+ 0	+ 176	+ 2983	+ 2981	+ 5	+ 474	- 4298	- 4302
11	0,991	+ 10	+ 213	+ 3206	+ 3202	- 40	- 698	- 5036	- 5034
12	0,987	+ 40	+ 142	+ 3388	+ 3382	- 120	- 2301	- 7457	- 7425
13	0,981	+ 85	+ 1459	+ 4932	+ 4898	- 205	- 4261	- 1 1923	- 1 1810
14	0,975	+ 190	+ 3369	+ 8491	+ 8373	- 240	- 5354	- 1 7517	- 1 7270
15	0,967	+ 175	+ 4737	+ 1 3403	+ 1 3129	- 205	- 6056	- 2 3778	- 2 3331
16	0,956	+ 170	+ 5749	+ 1 9322	+ 1 8795	- 220	- 6662	- 3 0660	- 2 9920
17	0,945	+ 180	+ 6060	+ 2 5562	+ 2 4702	- 190	- 6650	- 3 7500	- 3 6394
18	0,927	+ 200	+ 6974	+ 3 2736	+ 3 1367	- 190	- 6697	- 4 4387	- 4 2892
19	0,908	+ 140	+ 6589	+ 3 9465	+ 3 7490	- 90	- 5921	- 5 0398	- 4 8258
20	0,883	0	+ 6912	+ 4 6377	+ 4 3593	0	- 4919	- 5 5317	- 5 2601
21	0,954	0	+ 6965	+ 5 3342	+ 4 9541	0	- 4586	- 5 9903	- 5 6517
22	0,818	0	+ 6262	+ 5 9604	+ 5 4663	0	- 4075	- 6 3978	- 5 9850
23	0,775	0	+ 3435	+ 6 3039	+ 5 7325	0	- 1596	- 6 5574	- 6 1087
24	0,724	0	+ 7	+ 6 3046	+ 5 7330	0	+ 1229	- 6 4345	- 6 0197
25	0,664	0	- 400	+ 6 2646	+ 5 7064	0	+ 4295	- 6 0050	- 5 7345
26	0,596	0	- 4077	+ 5 8569	+ 5 4634	0	+ 7454	- 5 2596	- 5 3902
27	0,520	0	- 5738	+ 5 2831	+ 5 1650	0	+ 1 2463	- 4 0133	- 4 6421
28	0,450	0	- 8515	+ 4 4316	+ 4 7818	0	+ 1 6330	- 2 3803	- 3 9072
29	0,359	0	- 9534	+ 3 4782	+ 4 4395	0	+ 1 9089	- 4714	- 3 2219
30	0,282	0	- 1 1640	+ 2 3142	+ 4 1113	0	+ 1 7958	+ 1 3244	- 2 7155
31	0,213	0	- 1 2962	+ 1 0180	+ 3 8352	0	+ 1 6450	+ 2 9694	- 2 3651
32	0,155	0	- 7995	+ 2185	+ 3 7113	0	+ 6775	+ 3 6469	- 2 2601
33	0,110	0	- 9620	- 7435	+ 3 6055	0	+ 4222	+ 4 0691	- 2 2137
34	0,075	0	- 6137	- 1 3572	+ 3 5595	0	+ 4397	+ 4 5088	- 2 1807
35	0,050	+ 59	+ 5595	- 7977	+ 3 5881	- 23	+ 4495	+ 4 9583	- 2 1584
36	0,032	+ 143	+ 1 2465	+ 4488	+ 3 6288	- 10	+ 6315	+ 5 5898	- 2 1382
37	0,020	+ 167	+ 8723	+ 1 3211	+ 3 6469	+ 9	+ 4964	+ 6 0862	- 2 1283
38	0,012	+ 161	+ 9185	+ 2 2396	+ 3 6583	+ 13	+ 5200	+ 6 6062	- 2 1220
39	0,006	+ 170	+ 1 0596	+ 3 2992	+ 3 6649	+ 94	+ 4273	+ 7 0335	- 2 1193
40	0,002	+ 36	+ 3066	+ 3 6058	+ 3 6655	+ 186	+ 4935	+ 7 5270	- 2 1183
41	0,000	0	- 2747	+ 3 3311	+ 3 6655	+ 221	+ 8247	+ 8 3517	- 2 1183
42	- 0,002	+ 50	(+ 300)	+ 3 3611	+ 3 6654	+ 430	(+ 1 8900)	+ 10 2417	- 2 1222
43	- 0,002	+ 10	(- 4100)	+ 2 9511	+ 3 6662	+ 900	(+ 2 6200)	+ 12 8617	- 2 1278
44	- 0,004	- 90	(- 8000)	+ 2 1511	+ 3 6694	+ 860	(+ 2 8500)	+ 15 7117	- 2 1401
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	+ 1 3957	+ 3 6725	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 25 2141	- 2 1790
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	+ 5 2422	+ 3 6546	-	(+ 3 9125)	+ 29 1276	- 2 1977

Station Gæbris. $H = 1251$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	+ 2 014	+ 286	+ 2300	+ 2300	- 1 220	- 200	- 1420	- 1420
2	1,000	+ 1 437	+ 734	+ 4471	+ 4471	- 147	- 48	- 1615	- 1615
3	1,000	+ 652	+ 864	+ 5987	+ 5987	+ 195	+ 25	- 1169	- 1169
4	1,000	+ 293	+ 805	+ 7085	+ 7085	+ 132	+ 342	- 695	- 695
5	1,000	- 50	+ 673	+ 7708	+ 7708	- 20	+ 346	- 369	- 369
6	0,999	+ 44	+ 680	+ 8432	+ 8431	- 15	+ 253	- 131	- 131
7	0,998	- 40	+ 626	+ 9018	+ 9015	- 40	+ 450	+ 279	+ 278
8	0,997	+ 10	+ 300	+ 9328	+ 9324	- 50	+ 895	+ 1124	+ 1120
9	0,995	- 5	+ 254	+ 9577	+ 9572	- 30	+ 926	+ 2020	+ 2011
10	0,992	- 30	+ 897	+ 1 9444	+ 1 0432	- 50	+ 1170	+ 3140	+ 3122
11	0,989	- 25	+ 886	+ 1 1305	+ 1 1283	- 25	+ 614	+ 3729	+ 3704
12	0,985	- 5	- 594	+ 1 0706	+ 1 0693	+ 5	- 79	+ 3655	+ 3631
13	0,979	+ 30	- 1632	+ 9104	+ 9125	+ 40	- 1242	+ 2453	+ 2455
14	0,973	0	- 52	+ 9052	+ 9074	+ 60	- 2389	+ 124	+ 191
15	0,964	- 15	+ 991	+ 1 0028	+ 1 0014	+ 75	- 3291	- 3092	- 2907
16	0,953	- 15	+ 31	+ 1 0044	+ 1 0029	+ 60	- 2596	- 5628	- 5421
17	0,940	+ 90	- 2269	+ 7865	+ 7986	+ 30	- 2620	- 8218	- 7854
18	0,924	0	- 5797	+ 2068	+ 2630	0	- 3924	- 1 2142	- 1 1480
19	0,904	0	- 6345	- 4277	- 3106	0	- 6012	- 1 8154	- 1 6915
20	0,880	0	- 7884	- 1 2161	- 1 0044	0	- 6986	- 2 5140	- 2 3063
21	0,850	0	- 8537	- 2 0698	- 1 7300	0	- 3811	- 2 8951	- 2 6302
22	0,815	0	- 1 0550	- 3 1248	- 2 5898	0	+ 1105	- 2 7846	- 2 5401
23	0,771	0	- 1 1610	- 4 2858	- 3 4849	0	+ 3291	- 2 4555	- 2 2864
24	0,720	0	- 1 1807	- 5 4665	- 4 3350	0	+ 5220	- 1 9335	- 1 9106
25	0,660	0	- 1 3999	- 6 8664	- 5 2589	0	+ 8323	- 1 1012	- 1 3613
26	0,592	0	- 1 5728	- 8 4392	- 6 1900	0	+ 8771	- 2241	- 8421
27	0,517	0	- 1 7508	- 10 1900	- 7 0952	0	+ 1 1198	+ 8957	- 2632
28	0,437	0	- 1 8790	- 12 0690	- 7 9163	0	+ 8740	+ 1 7697	+ 1187
29	0,356	0	- 2 1240	- 14 1930	- 8 6724	0	+ 6946	+ 2 4638	+ 3660
30	0,279	0	- 1 9140	- 16 1070	- 9 2064	0	+ 8580	+ 3 3218	+ 6054
31	0,211	0	- 1 3900	- 17 4970	- 9 4997	0	+ 6615	+ 3 9833	+ 7450
32	0,154	0	- 9510	- 18 4480	- 9 6462	0	+ 3600	+ 4 3433	+ 8004
33	0,109	0	- 4780	- 18 9260	- 9 6983	0	+ 4367	+ 4 7800	+ 8480
34	0,075	0	- 2668	- 19 1928	- 9 7183	0	+ 1845	+ 4 9645	+ 8618
35	0,049	0	- 808	- 19 2736	- 9 7223	0	+ 3241	+ 5 2886	+ 8777
36	0,032	+ 39	+ 2101	- 19 0635	- 9 7154	+ 5	+ 1913	+ 5 4799	+ 8838
37	0,020	+ 55	+ 2097	- 18 8538	- 9 7111	+ 8	+ 1369	+ 5 6168	+ 8865
38	0,012	+ 122	+ 5862	- 18 2676	- 9 7038	+ 26	+ 4315	+ 6 0483	+ 8917
39	0,006	+ 220	+ 8859	- 17 3817	- 9 6983	+ 11	+ 3631	+ 6 4114	+ 8939
40	0,002	+ 141	+ 7844	- 16 5973	- 9 6967	+ 76	+ 7351	+ 7 1465	+ 8954
41	0,000	+ 87	+ 3504	- 16 2469	- 9 6967	+ 111	+ 3394	+ 7 4859	+ 8954
42	- 0,002	+ 81	+ 3170	- 15 9299	- 9 6974	+ 185	+ 5410	+ 8 0269	+ 8943
43	- 0,002	- 37	- 5621	- 16 4920	- 9 6963	+ 670	+ 2 4285	+ 10 4554	+ 8893
44	- 0,004	- 143	- 8946	- 17 3866	- 9 6926	+ 904	+ 2 9216	+ 13 3770	+ 8772
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 18 1420	- 9 6895	+ 2 377	(+ 9 5024)	+ 22 8794	+ 8383
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	- 14 2955	- 9 7074	-	(+ 3 9125)	+ 26 7919	+ 8196

Station Generoso. $H = 1700$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique	Déviation isostatique	Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique	Déviation isostatique
1	1,000	-1 580	- 540	- 2120	- 2120	+ 518	+ 442	+ 960	+ 960
2	1,000	+ 327	+ 62	- 1731	- 1731	+ 868	+ 1204	+ 3032	+ 3032
3	1,000	- 16	- 526	- 2273	- 2273	+ 318	+ 187	+ 5221	+ 5221
4	1,000	- 23	- 1134	- 3430	- 3430	- 129	+ 209	+ 7200	+ 7200
5	1,000	+ 272	- 973	- 4131	- 4131	- 994	+ 2505	+ 8711	+ 8711
6	0,999	+ 394	- 844	- 4581	- 4580	- 875	+ 2684	+ 1 0520	+ 1 0517
7	0,999	+ 155	+ 173	- 4253	- 4252	- 1060	+ 3321	+ 1 2781	+ 1 2775
8	0,998	- 30	+ 987	- 3296	- 3300	- 1120	+ 4055	+ 1 5716	+ 1 5702
9	0,996	- 245	+ 2095	- 1446	- 1458	- 855	+ 3178	+ 1 8039	+ 1 8012
10	0,994	- 395	+ 2758	+ 917	+ 888	- 685	+ 3001	+ 2 0355	+ 2 0310
11	0,991	- 390	+ 3943	+ 4470	+ 4406	- 945	+ 5672	+ 2 5082	+ 2 4986
12	0,987	- 290	+ 2586	+ 6766	+ 6668	- 965	+ 7905	+ 3 2022	+ 3 1827
13	0,981	- 60	+ 921	+ 7627	+ 7512	- 990	+ 8091	+ 3 9123	+ 3 8774
14	0,975	- 130	+ 1531	+ 9028	+ 8875	- 565	+ 6334	+ 4 4892	+ 4 4385
15	0,967	- 5	+ 747	+ 9770	+ 9592	- 340	+ 4435	+ 4 8987	+ 4 8334
16	0,957	- 85	- 1642	+ 8213	+ 8103	- 275	+ 5852	+ 5 4564	+ 5 3659
17	0,935	- 100	- 2036	+ 6277	+ 6299	- 150	+ 4769	+ 5 9183	+ 5 7968
18	0,927	- 170	+ 2367	+ 8474	+ 8323	+ 70	- 838	+ 5 8415	+ 5 7261
19	0,908	- 130	+ 3311	+ 1 1655	+ 1 1199	- 100	+ 2896	+ 6 1211	+ 5 9791
20	0,883	0	+ 4323	+ 1 5978	+ 1 5016	0	+ 2519	+ 6 3730	+ 6 2015
21	0,854	0	+ 9076	+ 2 5054	+ 2 2767	0	- 3231	+ 6 0499	+ 5 9256
22	0,818	0	+ 9893	+ 3 4947	+ 3 0859	0	+ 2076	+ 6 2573	+ 6 0954
23	0,775	0	+ 7192	+ 4 2139	+ 3 6433	0	+ 6115	+ 6 8690	+ 6 5693
24	0,724	0	+ 1 3866	+ 5 6005	+ 4 6472	0	+ 4937	+ 7 3627	+ 6 9267
25	0,664	0	+ 1 8076	+ 7 4081	+ 5 8474	0	+ 1940	+ 7 5567	+ 7 0555
26	0,596	0	+ 2 1785	+ 9 5866	+ 7 1458	0	+ 1315	+ 7 8882	+ 7 1339
27	0,520	0	+ 2 6991	+ 12 2857	+ 8 5493	0	- 2366	+ 7 4516	+ 7 0109
28	0,440	0	+ 2 8557	+ 15 1414	+ 9 8058	0	- 9484	+ 6 5032	+ 6 5936
29	0,359	0	+ 2 7591	+ 17 9005	+ 10 7963	0	- 8190	+ 5 6842	+ 6 2996
30	0,282	0	+ 1 8220	+ 19 7225	+ 11 3101	0	- 1610	+ 5 5232	+ 6 2542
31	0,213	0	+ 9694	+ 20 6919	+ 11 5166	0	- 4777	+ 5 0455	+ 6 1524
32	0,155	+ 15	+ 7267	+ 21 4186	+ 11 6297	0	- 2887	+ 4 7568	+ 6 1077
33	0,110	+ 41	+ 6908	+ 22 1094	+ 11 7066	0	- 3160	+ 4 4460	+ 6 0729
34	0,075	+ 77	+ 8049	+ 22 9143	+ 11 7681	+ 16	+ 1297	+ 4 5705	+ 6 0828
35	0,050	+ 73	+ 7893	+ 23 7036	+ 11 8083	+ 18	+ 3928	+ 4 9633	+ 6 1026
36	0,032	+ 116	+ 1 0384	+ 24 7420	+ 11 8423	+ 15	+ 3462	+ 5 3095	+ 6 1137
37	0,020	+ 164	+ 1 2784	+ 26 0204	+ 11 8685	+ 42	+ 5168	+ 5 8263	+ 6 1241
38	0,012	+ 286	+ 1 3376	+ 27 3580	+ 11 8852	+ 23	+ 3039	+ 6 1302	+ 6 1278
39	0,006	+ 195	+ 1 1239	+ 28 4819	+ 11 8919	+ 8	+ 2140	+ 6 3442	+ 6 1291
40	0,002	+ 40	+ 2908	+ 28 7727	+ 11 8925	+ 72	+ 5273	+ 6 8715	+ 6 1302
41	0,000	+ 113	+ 871	+ 28 8598	+ 11 8925	+ 60	+ 917	+ 6 9632	+ 6 1302
42	-0,002	+ 46	+ 982	+ 28 9580	+ 11 8923	+ 179	+ 4995	+ 7 4627	+ 6 1302
43	-0,002	- 25	- 5393	+ 28 4187	+ 11 8934	+ 708	+ 2 1874	+ 9 6501	+ 6 1247
44	-0,004	- 147	- 9582	+ 27 4605	+ 11 8972	+ 741	+ 2 7582	+ 12 4083	+ 6 1131
45 à 47	-0,004	+ 5	(- 7554)	+ 26 7051	+ 11 9073	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 21 9107	+ 6 0742
48 à 62	-0,004	-	(+ 3 8465)	+ 30 5516	+ 11 8894	-	(+ 3 9125)	+ 25 8232	+ 6 0555

Station Gurnigel. $H = 1542$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	- 2 352	- 298	- 2650	- 2650	+ 520	0	+ 520	+ 520
2	1,000	- 1 881	- 1057	- 5588	- 5588	+ 289	+ 75	+ 884	+ 884
3	1,000	- 971	- 1377	- 7936	- 7936	+ 207	+ 193	+ 1284	+ 1284
4	1,000	- 592	- 1786	- 1 0314	- 1 0314	+ 152	- 24	+ 1412	+ 1412
5	1,000	+ 538	- 2450	- 1 2226	- 1 2226	+ 69	- 356	+ 1125	+ 1125
6	0,999	+ 217	- 2231	- 1 4400	- 1 4399	+ 164	- 563	+ 726	+ 727
7	0,999	+ 235	- 2896	- 1 7061	- 1 7057	+ 125	- 1142	- 291	- 289
8	0,998	+ 210	- 3549	- 2 0400	- 2 0389	+ 175	- 2131	- 2247	- 2241
9	0,996	+ 235	- 4113	- 2 4278	- 2 4251	+ 210	- 2665	- 4702	- 4685
10	0,994	+ 240	- 4752	- 2 8790	- 2 8734	+ 235	- 3796	- 8263	- 8219
11	0,991	+ 245	- 5295	- 3 3840	- 3 3736	+ 270	- 5413	- 1 3406	- 1 3313
12	0,986	+ 290	- 7016	- 4 0566	- 4 0364	+ 290	- 5982	- 1 9098	- 1 8921
13	0,981	+ 265	- 8560	- 4 8861	- 4 8496	+ 280	- 6804	- 2 5622	- 2 5316
14	0,974	+ 220	- 9302	- 5 7943	- 5 7336	+ 225	- 6198	- 3 1595	- 3 1128
15	0,966	+ 235	- 1 1685	- 6 9393	- 6 8389	+ 155	- 5967	- 3 7407	- 3 6737
16	0,955	+ 190	- 1 1798	- 8 1001	- 7 9466	+ 130	- 5636	- 4 2913	- 4 1989
17	0,942	+ 180	- 1 0342	- 9 1163	- 8 9028	+ 140	- 5303	- 4 8076	- 4 6844
18	0,926	+ 40	- 6168	- 9 7291	- 9 4700	+ 80	- 4145	- 5 2141	- 5 0602
19	0,906	0	- 7920	- 10 5211	- 10 1876	0	- 4900	- 5 7041	- 5 5041
20	0,882	0	- 9898	- 11 5109	- 11 0606	0	- 3655	- 6 0696	- 5 8265
21	0,853	0	- 1 3671	- 12 8780	- 12 2267	0	- 187	- 6 0883	- 5 8425
22	0,817	0	- 1 2319	- 14 1099	- 13 2332	0	+ 2540	- 5 8343	- 5 6350
23	0,774	0	- 1 3764	- 15 4863	- 14 2985	0	+ 5758	- 5 2585	- 5 1893
24	0,723	0	- 1 8832	- 17 3695	- 15 6601	0	+ 9515	- 4 3070	- 4 5014
25	0,663	0	- 1 9148	- 19 2843	- 16 9296	0	+ 1 1480	- 3 1590	- 3 7403
26	0,594	0	- 1 1807	- 20 4650	- 17 6309	0	+ 1 1495	- 2 0095	- 3 0575
27	0,519	0	- 1 6436	- 22 1086	- 18 4839	0	+ 1 0618	- 9477	- 2 5064
28	0,439	0	- 2 3276	- 24 4362	- 19 5057	0	+ 7192	- 2285	- 2 1907
29	0,358	0	- 1 7417	- 26 1779	- 20 1292	0	+ 7833	+ 5548	- 1 9103
30	0,281	0	- 1 1728	- 27 3507	- 20 4588	0	+ 6658	+ 1 2206	- 1 7232
31	0,212	0	- 7687	- 28 1194	- 20 6218	0	+ 6161	+ 1 8367	- 1 5926
32	0,154	0	- 5240	- 28 6434	- 20 7025	0	+ 9590	+ 2 7957	- 1 4449
33	0,110	0	- 6275	- 29 2702	- 20 7715	0	+ 8720	+ 3 6677	- 1 3490
34	0,075	0	- 6694	- 29 9403	- 20 8217	0	+ 5496	+ 4 2173	- 1 3078
35	0,050	+ 45	+ 2926	- 29 6477	- 20 8066	- 10	+ 2605	+ 4 4778	- 1 2949
36	0,032	+ 79	+ 8005	- 28 8472	- 20 7804	+ 1	+ 4424	+ 4 9202	- 1 2807
37	0,021	+ 119	+ 8391	- 28 0081	- 20 7623	+ 25	+ 6986	+ 5 6188	- 1 2659
38	0,012	+ 175	+ 7546	- 27 2535	- 20 7528	+ 38	+ 4017	+ 6 0205	- 1 2610
39	0,006	+ 210	(+ 1 1200)	- 26 1335	- 20 7459	+ 10	(+ 3600)	+ 6 3805	- 1 2588
40	0,002	+ 90	(+ 5400)	- 25 5935	- 20 7448	+ 160	(+ 6100)	+ 6 9905	- 1 2576
41	0,000	+ 130	(- 1500)	- 25 7435	- 20 7448	+ 170	(+ 6300)	+ 7 6205	- 1 2576
42	- 0,002	+ 70	(+ 1400)	- 25 6035	- 20 7451	+ 370	(+ 1 2900)	+ 8 9105	- 1 2603
43	- 0,002	+ 10	(- 4400)	- 26 0435	- 20 7442	+ 790	(+ 2 4700)	+ 11 3805	- 1 2655
44	- 0,004	- 100	(- 8300)	- 26 8735	- 20 7408	+ 880	(+ 2 7600)	+ 14 1405	- 1 2772
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 27 6289	- 20 7377	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 23 6429	- 1 3161
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	- 23 7824	- 20 7556	-	(+ 3 9125)	+ 27 5554	- 1 3348

Station Gurten. $H = 858$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	+ 1312	+ 128	+ 1440	+ 1440	- 1490	- 110	- 1600	- 1600
2	1,000	+ 498	+ 265	+ 2203	+ 2203	- 151	- 59	- 1810	- 1810
3	1,000	+ 84	+ 130	+ 2417	+ 2417	+ 37	+ 40	- 1733	- 1733
4	1,000	- 35	- 118	+ 2264	+ 2264	+ 65	+ 192	- 1476	- 1476
5	0,999	+ 39	- 633	+ 1670	+ 1671	- 9	+ 290	- 1195	- 1195
6	0,998	- 17	- 61	+ 1592	+ 1593	- 25	+ 561	- 659	- 660
7	0,997	+ 35	- 479	+ 1148	+ 1150	- 5	+ 286	- 378	- 380
8	0,996	+ 40	- 1330	- 142	- 136	+ 25	- 239	- 592	- 593
9	0,993	+ 105	- 2656	- 2693	- 2668	+ 35	- 537	- 1094	- 1091
10	0,990	+ 105	- 3415	- 6003	- 5944	+ 25	- 786	- 1855	- 1844
11	0,987	+ 75	- 3641	- 9569	- 9463	+ 15	- 546	- 2386	- 2368
12	0,982	+ 70	- 3792	- 1 3291	- 1 3117	0	- 651	- 3037	- 3007
13	0,977	+ 55	- 3541	- 1 6777	- 1 6522	- 10	- 751	- 3798	- 3751
14	0,969	+ 65	- 3371	- 2 0083	- 1 9723	+ 10	- 798	- 4586	- 4514
15	0,961	+ 55	- 2740	- 2 2768	- 2 2301	+ 10	- 650	- 5226	- 5129
16	0,950	+ 45	- 3028	- 2 5751	- 2 5142	0	- 467	- 5693	- 5573
17	0,935	0	- 2201	- 2 7952	- 2 7204	0	+ 210	- 5483	- 5376
18	0,921	0	- 1596	- 2 9548	- 2 8674	0	+ 918	- 4565	- 4531
19	0,901	0	- 1477	- 3 1025	- 3 0005	0	+ 1468	- 3097	- 3208
20	0,876	0	- 2808	- 3 3833	- 3 2465	0	+ 1723	- 1374	- 1699
21	0,847	0	- 6268	- 4 0101	- 3 7774	0	+ 2568	+ 1194	+ 476
22	0,811	0	- 8667	- 4 8768	- 4 4803	0	+ 3130	+ 4324	+ 3017
23	0,768	0	- 8538	- 5 7306	- 5 1360	0	+ 4237	+ 8561	+ 6271
24	0,717	0	- 7046	- 6 4352	- 5 6412	0	+ 4156	+ 1 2717	+ 9251
25	0,657	0	- 1 0323	- 7 4675	- 6 3194	0	+ 4447	+ 1 7164	+ 1 2173
26	0,589	0	- 1 7202	- 9 1877	- 7 3326	0	+ 6161	+ 2 3325	+ 1 5802
27	0,514	0	- 1 7746	- 10 9623	- 8 2447	0	+ 8804	+ 3 2129	+ 2 0327
28	0,434	0	- 2 0514	- 13 0137	- 9 1350	0	+ 1 0293	+ 4 2422	+ 2 4794
29	0,354	0	- 2 1777	- 15 1914	- 9 9059	0	+ 9640	+ 5 2062	+ 2 8207
30	0,277	0	- 1 3755	- 16 5669	- 10 2869	0	+ 8365	+ 6 0427	+ 3 0524
31	0,209	0	- 1 1887	- 17 7556	- 10 5353	0	+ 6120	+ 6 6547	+ 3 1803
32	0,152	0	- 5470	- 18 3026	- 10 6184	0	+ 9860	+ 7 6407	+ 3 3302
33	0,108	0	- 6250	- 18 9276	- 10 6859	0	+ 8610	+ 8 5017	+ 3 4232
34	0,074	0	- 7459	- 19 6735	- 10 7411	0	+ 5459	+ 9 0476	+ 3 4636
35	0,049	+ 25	+ 477	- 19 6258	- 10 7385	- 5	+ 3261	+ 9 3737	+ 3 4796
36	0,031	+ 73	+ 7088	- 18 9170	- 10 7163	- 5	+ 4072	+ 9 7809	+ 3 4922
37	0,020	+ 119	+ 8435	- 18 0735	- 10 6988	+ 23	+ 7777	+ 10 5586	+ 3 5078
38	0,011	+ 163	+ 7861	- 17 2874	- 10 6898	+ 33	+ 3634	+ 10 9220	+ 3 5118
39	0,006	+ 209	+ 1 0584	- 16 2290	- 10 6832	+ 5	+ 4060	+ 11 3280	+ 3 5142
40	0,002	+ 101	+ 6838	- 15 5452	- 10 6818	+ 165	+ 6452	+ 11 9732	+ 3 5155
41	0,000	+ 29	- 1788	- 15 7240	- 10 6818	+ 175	+ 6495	+ 12 6227	+ 3 5155
42	- 0,002	+ 64	+ 651	- 15 6589	- 10 6819	+ 358	+ 1 3282	+ 13 9509	+ 3 5127
43	- 0,002	+ 6	- 4253	- 16 0842	- 10 6810	+ 863	+ 2 4808	+ 16 4317	+ 3 5074
44	- 0,004	- 90	- 8207	- 16 9049	- 10 6778	+ 853	+ 2 7716	+ 19 2033	+ 3 4959
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 17 6603	- 10 6747	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 28 7057	+ 3 4570
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	- 13 8138	- 10 6926	-	(+ 3 9125)	+ 32 6182	+ 3 4383

Station Lægern. $H = 855$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique	Déviation isostatique	Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique	Déviation isostatique
1	1,000	+ 3 012	+ 588	+ 3600	+ 3600	+ 584	+ 56	+ 640	+ 640
2	1,000	+ 967	+ 693	+ 5260	+ 5260	+ 76	- 74	+ 490	+ 490
3	1,000	+ 319	+ 849	+ 6428	+ 6428	- 188	- 384	- 82	- 82
4	1,000	+ 213	+ 872	+ 7513	+ 7512	- 117	- 455	- 654	- 654
5	0,999	- 87	+ 663	+ 8089	+ 8057	+ 48	- 492	- 1098	- 1098
6	0,998	- 76	+ 650	+ 8663	+ 8660	+ 19	- 281	- 1360	- 1359
7	0,997	- 40	+ 459	+ 9082	+ 9078	+ 5	- 150	- 1505	- 1504
8	0,995	- 10	+ 76	+ 9148	+ 9144	- 15	+ 158	- 1362	- 1362
9	0,993	+ 30	- 508	+ 8670	+ 8670	- 25	+ 216	- 1171	- 1172
10	0,990	+ 35	- 582	+ 8123	+ 8129	+ 15	- 451	- 1607	- 1604
11	0,987	+ 5	- 69	+ 8059	+ 8066	+ 25	- 295	- 1877	- 1870
12	0,982	- 40	+ 736	+ 8755	+ 8756	+ 10	- 311	- 2178	- 2165
13	0,977	- 50	+ 1703	+1 0408	+1 0370	+ 10	- 301	- 2469	- 2449
14	0,969	0	+ 1092	+1 1500	+1 1428	0	- 318	- 2789	- 2757
15	0,961	- 35	+ 977	+1 2442	+1 2332	+ 10	- 46	- 2823	- 2791
16	0,950	- 25	+ 1277	+1 3694	+1 3520	+ 15	- 201	- 3009	- 2967
17	0,937	+ 20	- 206	+1 3508	+1 3347	+ 70	- 983	- 3922	- 3818
18	0,921	0	- 738	+1 2770	+1 2667	0	+ 784	- 3138	- 3096
19	0,901	0	- 429	+1 2241	+1 2280	0	+ 492	- 2646	- 2653
20	0,876	0	- 779	+1 1462	+1 1598	0	+ 439	- 2207	- 2269
21	0,847	0	- 755	+1 0707	+1 0959	0	+ 252	- 1955	- 2056
22	0,811	0	- 380	+1 0327	+1 0651	0	- 255	- 2210	- 2263
23	0,768	0	+ 1261	+1 1588	+1 1619	0	- 1121	- 3331	- 3124
24	0,717	0	+ 2580	+1 4168	+1 3469	0	- 967	- 4298	- 3817
25	0,657	0	+ 1275	+1 5443	+1 4307	0	+ 485	- 3813	- 3498
26	0,589	0	- 1187	+1 4256	+1 3608	0	+ 402	- 3411	- 3261
27	0,514	0	- 8741	+ 5515	+ 9115	0	+ 5020	+ 1609	- 681
28	0,434	0	-1 4900	- 9385	+ 2648	0	+ 7159	+ 8768	+ 2426
29	0,354	0	-1 6548	-2 5933	- 3210	0	+ 5130	+ 1 3898	+ 4242
30	0,277	0	-1 7136	-4 2798	- 7957	0	+ 7808	+ 2 1706	+ 6405
31	0,209	0	-1 6865	-5 9934	-1 1505	0	+ 9335	+ 3 1041	+ 8356
32	0,152	0	-1 4700	-7 4634	-1 3739	0	+ 9890	+ 4 0931	+ 9859
33	0,108	0	- 7510	-8 2144	-1 4550	0	+ 6275	+ 4 7206	+1 0537
34	0,074	0	- 4980	-8 7124	-1 4919	0	+ 6537	+ 5 3743	+1 1021
35	0,049	0	- 4757	-9 1881	-1 5152	0	+ 4859	+ 5 8602	+1 1259
36	0,031	+ 40	+ 822	-9 1059	-1 4893	0	+ 4141	+ 6 2743	+1 1387
37	0,020	+ 56	+ 2760	-8 8299	-1 4836	+ 12	+ 3761	+ 6 6504	+1 1462
38	0,011	+ 114	+ 5830	-8 2469	-1 4770	+ 38	+ 4374	+ 7 0878	+1 1511
39	0,006	+ 180	(+ 7500)	-7 4969	-1 4724	+ 20	(+ 3200)	+ 7 4078	+1 1530
40	0,002	+ 160	(+1 0300)	-6 4669	-1 4703	+ 140	(+ 6800)	+ 8 0878	+1 1544
41	0,000	+ 40	(+ 600)	-6 4069	-1 4703	+ 140	(+ 6200)	+ 8 7078	+1 1544
42	-0,002	+ 90	(+ 2100)	-6 1969	-1 4707	+ 280	(+ 8800)	+ 9 5878	+1 1525
43	-0,002	- 10	(- 4300)	-6 6269	-1 4698	+ 770	(+2 3300)	+11 9178	+1 1475
44	-0,004	- 130	(- 8600)	-7 4869	-1 4662	+ 840	(+2 7300)	+14 6478	+1 1359
45 à 47	-0,004	+ 5	(- 7554)	-8 2423	-1 4631	+ 2377	(+9 5024)	+24 1502	+1 0970
48 à 62	-0,004	-	(+3 8465)	-4 3958	-1 4810	-	(+3 9125)	+28 0627	+1 0783

Station Martinsbruck. $H = 1030$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviat. topographique	Déviat. isostatique			Déviat. topographique	Déviat. isostatique
1	1,000	+ 270	+ 100	+ 370	+ 370	+ 1830	- 150	+ 1680	+ 1680
2	1,000	- 1 543	- 1019	- 2192	- 2192	+ 1018	+ 641	+ 3339	+ 3339
3	1,000	- 822	- 1882	- 4896	- 4896	+ 342	+ 869	+ 4555	+ 4550
4	1,000	- 238	- 1471	- 6605	- 6605	+ 49	+ 1341	+ 5940	+ 5940
5	0,999	+ 257	- 1173	- 7521	- 7520	- 218	+ 1051	+ 6773	+ 6772
6	0,998	+ 105	- 592	- 8008	- 8006	- 202	+ 814	+ 7385	+ 7382
7	0,997	+ 30	+ 190	- 7788	- 7787	- 170	+ 792	+ 8007	+ 8002
8	0,996	- 10	+ 665	- 7133	- 7135	- 125	+ 704	+ 8586	+ 8578
9	0,994	- 180	+ 1220	- 6093	- 6102	- 10	+ 357	+ 8933	+ 8920
10	0,991	- 175	+ 1110	- 5158	- 5177	+ 220	- 719	+ 8434	+ 8427
11	0,988	- 205	+ 1130	- 4233	- 4266	+ 450	- 2757	+ 6127	+ 6153
12	0,983	- 190	+ 880	- 3543	- 3591	+ 700	- 4512	+ 2315	+ 2418
13	0,978	- 185	+ 980	- 2748	- 2818	+ 815	- 5995	- 2865	- 2630
14	0,971	- 335	+ 3640	+ 557	+ 381	+ 640	- 6837	- 9062	- 8629
15	0,961	- 370	+ 4615	+ 4802	+ 4446	+ 470	- 5040	- 1 3632	- 1 3002
16	0,951	- 70	+ 785	+ 5517	+ 5123	+ 205	- 2365	- 1 5792	- 1 5046
17	0,938	+ 30	- 495	+ 5052	+ 4689	+ 60	+ 1633	- 1 4099	- 1 3454
18	0,920	+ 130	- 2555	+ 2627	+ 2468	- 150	+ 2540	- 1 1709	- 1 1267
19	0,902	- 80	+ 590	+ 3137	+ 2920	+ 170	- 5545	- 1 7084	- 1 6099
20	0,878	0	- 120	+ 3017	+ 2815	0	+ 830	- 1 6254	- 1 5370
21	0,848	0	- 3160	- 143	+ 135	0	+ 6408	- 9846	- 9936
22	0,813	0	- 1720	- 1863	- 1263	0	+ 2403	- 7443	- 7982
23	0,770	0	- 4685	- 6548	- 4870	0	+ 4753	- 2690	- 4322
24	0,718	0	- 2335	- 8883	- 6547	0	+ 5970	+ 3280	- 36
25	0,659	0	- 5130	- 1 4013	- 9928	0	+ 3135	+ 6415	+ 4007
26	0,591	0	- 7925	- 2 1938	- 1 4611	0	+ 4310	+ 1 0725	+ 6554
27	0,515	0	- 8150	- 3 0088	- 1 8808	0	+ 1842	+ 1 2567	+ 7503
28	0,435	0	- 8350	- 3 8438	- 2 2440	0	+ 625	+ 1 3192	+ 7775
29	0,355	0	- 8250	- 4 6688	- 2 5369	0	+ 3543	+ 1 6735	+ 9033
30	0,278	0	- 6630	- 5 3318	- 2 7212	0	+ 6218	+ 2 2953	+ 1 0762
31	0,210	0	+ 1480	- 5 1838	- 2 6901	0	+ 4348	+ 2 7301	+ 1 1675
32	0,153	0	+ 5125	- 4 6713	- 2 6117	0	+ 1065	+ 2 8366	+ 1 1838
33	0,108	0	+ 2470	- 4 4243	- 2 5850	0	- 1815	+ 2 6551	+ 1 1642
34	0,073	+ 3	+ 1303	- 4 2940	- 2 5755	0	- 643	+ 2 5908	+ 1 1595
35	0,049	+ 28	+ 1344	- 4 1596	- 2 5687	+ 4	+ 68	+ 2 5976	+ 1 1599
36	0,032	+ 39	+ 3040	- 3 8556	- 2 5586	+ 16	+ 557	+ 2 6533	+ 1 1618
37	0,020	+ 88	+ 5937	- 3 2619	- 2 5464	+ 19	+ 1856	+ 2 8389	+ 1 1655
38	0,011	+ 163	+ 8654	- 2 3965	- 2 5365	+ 15	+ 4487	+ 3 2876	+ 1 1704
39	0,006	+ 257	+ 1 1403	- 1 2562	- 2 5293	+ 23	+ 2974	+ 3 5850	+ 1 1722
40	0,002	+ 106	+ 7373	- 5189	- 2 5278	+ 36	+ 7186	+ 4 3036	+ 1 1736
41	0,000	+ 146	+ 4118	- 1071	- 2 5278	+ 82	+ 3918	+ 4 6954	+ 1 1736
42	- 0,002	+ 79	+ 4098	+ 3027	- 2 5286	+ 126	+ 1340	+ 4 8294	+ 1 1733
43	- 0,002	- 25	- 4025	- 998	- 2 5278	+ 534	+ 1 9119	+ 6 7413	+ 1 1693
44	- 0,004	- 110	- 9639	- 1 0637	- 2 5317	+ 771	+ 2 8044	+ 9 5457	+ 1 1575
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 1 8191	- 2 5286	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 19 0481	+ 1 1186
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	+ 2 0274	- 2 5465	-	(+ 3 9125)	+ 22 9606	+ 1 0999

Station Righi. $H = 1797$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviations topographique	Déviations isostatique			Déviations topographique	Déviations isostatique
1	1,000	- 2696	- 1024	- 3720	- 3720	+ 2796	+ 684	+ 3480	+ 3480
2	1,000	- 2071	- 2014	- 7805	- 7805	+ 493	+ 1116	+ 5089	+ 5089
3	1,000	- 686	- 3226	- 1 1717	- 1 1717	- 34	+ 1097	+ 6152	+ 6152
4	1,000	+ 126	- 4274	- 1 5865	- 1 5865	+ 78	+ 373	+ 6603	+ 6603
5	1,000	+ 1783	- 5293	- 1 9375	- 1 9375	+ 91	- 236	+ 6458	+ 6458
6	0,999	+ 1938	- 6053	- 2 3490	- 2 3484	+ 406	- 845	+ 6019	+ 6020
7	0,999	+ 2110	- 6716	- 2 8096	- 2 8083	+ 750	- 1963	+ 4806	+ 4809
8	0,998	+ 2150	- 7383	- 3 3329	- 3 3301	+ 1115	- 3185	+ 2736	+ 2745
9	0,997	+ 2240	- 9231	- 4 0320	- 4 0264	+ 1460	- 4625	- 429	- 409
10	0,995	+ 2400	-1 0512	- 4 8432	- 4 8323	+ 1730	- 6120	- 4819	- 4768
11	0,992	+ 2250	-1 0917	- 5 7099	- 5 6903	+ 1590	- 6251	- 9480	- 9379
12	0,988	+ 1620	-1 0364	- 6 5843	- 6 5523	+ 820	- 3558	- 1 2218	- 1 2074
13	0,983	+ 1090	- 8819	- 7 3572	- 7 3102	+ 60	+ 480	- 1 1678	- 1 1542
14	0,976	+ 610	- 5899	- 7 8861	- 7 8249	- 345	+ 4656	- 7367	- 7343
15	0,968	+ 105	- 2073	- 8 0829	- 8 0141	- 540	+ 6319	- 1588	- 1766
16	0,957	- 40	+ 673	- 8 0196	- 7 9537	- 285	+ 6758	+ 4885	+ 4416
17	0,934	- 140	+ 3048	- 7 7288	- 7 6830	- 220	+ 4929	+ 9594	+ 8800
18	0,928	- 30	+ 603	- 7 6715	- 7 6300	- 130	+ 3255	+ 1 2719	+ 1 1691
19	0,908	+ 140	- 5034	- 8 1609	- 8 0731	- 130	+ 4362	+ 1 6951	+ 1 5522
20	0,884	0	- 7186	- 8 8795	- 8 7083	0	+ 6444	+ 2 3395	+ 2 1218
21	0,855	0	- 9930	- 9 8725	- 9 5573	0	+ 5474	+ 2 8869	+ 2 5898
22	0,819	0	-1 3696	-11 2421	-10 6790	0	+ 3915	+ 3 2784	+ 2 9104
23	0,776	0	-1 7058	-12 9479	-12 0027	0	+ 6197	+ 3 8981	+ 3 3913
24	0,725	0	-2 0534	-15 0013	-13 4914	0	+ 8023	+ 4 7004	+ 3 9730
25	0,665	0	-2 0567	-17 0580	-14 8591	0	+ 6753	+ 5 3757	+ 4 4221
26	0,597	0	-2 2807	-19 3387	-16 2207	0	+ 7276	+ 6 1033	+ 4 8565
27	0,521	0	-2 1968	-21 5355	-17 3652	0	+ 5703	+ 6 6736	+ 5 1536
28	0,441	0	-1 7818	-23 3173	-18 1510	0	+ 4333	+ 7 1069	+ 5 3447
29	0,359	0	-1 4010	-24 3183	-18 6540	0	+ 6535	+ 7 8604	+ 5 5793
30	0,282	0	-1 2568	-25 9751	-19 0084	0	+ 9953	+ 8 8557	+ 5 8600
31	0,213	0	- 8580	-26 8331	-19 1912	0	+ 6554	+ 9 5111	+ 5 9996
32	0,155	0	- 6445	-27 4776	-19 2911	0	+ 8180	+10 3291	+ 6 1264
33	0,110	0	- 3900	-27 8676	-19 3340	0	+ 5533	+10 8824	+ 6 1873
34	0,076	0	- 6882	-28 5558	-19 3863	0	+ 4586	+11 3410	+ 6 2222
35	0,050	+ 8	+ 217	-28 5341	-19 3852	0	+ 2373	+11 5783	+ 6 2341
36	0,032	+ 61	+ 5713	-27 9628	-19 3665	+ 7	+ 4564	+12 0347	+ 6 2487
37	0,020	+ 88	+ 5926	-27 3702	-19 3543	+ 20	+ 4961	+12 5308	+ 6 2497
38	0,012	+ 145	+ 7675	-26 6027	-19 3447	+ 32	+ 4016	+12 9324	+ 6 2546
39	0,006	+ 146	+1 0000	-25 6027	-19 3385	+ 12	+ 2745	+13 2069	+ 6 2562
40	0,002	+ 113	+ 7464	-24 8563	-19 3370	+ 117	+ 6954	+13 9023	+ 6 2576
41	0,000	+ 69	+ 2678	-24 5885	-19 3370	+ 125	+ 5321	+14 4344	+ 6 2576
42	-0,002	+ 97	+ 1564	-24 4321	-19 3373	+ 267	+ 8131	+15 2475	+ 6 2558
43	-0,002	- 16	- 4442	-24 8763	-19 3364	+ 744	+ 2 2997	+17 5472	+ 6 2510
44	-0,004	- 116	- 8578	-25 7341	-19 3330	+ 829	+ 2 6967	+20 2439	+ 6 2396
45 à 47	-0,004	+ 5	(- 7554)	-26 4895	-19 3299	+ 2377	(+ 9 5024)	+29 7463	+ 6 2007
48 à 62	-0,004	-	(+ 3 8465)	-22 6430	-19 3478	-	(+ 3 9125)	+33 6588	+ 6 1820

Station Rochers-de-Naye. $H = 2042$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	+ 1136	+ 214	+ 1350	+ 1350	+ 1470	+ 1220	+ 2690	+ 2690
2	1,000	+ 336	- 524	+ 1162	+ 1162	+ 1168	+ 2508	+ 6366	+ 6366
3	1,000	+ 339	+ 39	+ 1540	+ 1540	+ 447	+ 2741	+ 9554	+ 9554
4	1,000	- 63	+ 1536	+ 3013	+ 3013	- 152	+ 2973	+ 1 2375	+ 1 2375
5	1,000	- 772	+ 2530	+ 4771	+ 4771	- 1062	+ 3535	+ 1 4848	+ 1 4848
6	0,999	- 842	+ 3177	+ 7106	+ 7103	- 1033	+ 4192	+ 1 8007	+ 1 8003
7	0,999	- 795	+ 2950	+ 9261	+ 9255	- 1050	+ 4748	+ 2 1705	+ 2 1696
8	0,998	- 865	+ 3164	+ 1 1560	+ 1 1548	- 970	+ 4834	+ 2 5569	+ 2 5550
9	0,997	- 680	+ 3601	+ 1 4481	+ 1 4458	- 915	+ 4942	+ 2 9596	+ 2 9560
10	0,995	- 385	+ 1984	+ 1 6080	+ 1 6047	- 970	+ 5820	+ 3 4446	+ 3 4381
11	0,993	- 195	+ 561	+ 1 6446	+ 1 6409	- 1060	+ 7721	+ 4 1107	+ 4 0988
12	0,989	- 45	- 799	+ 1 5602	+ 1 5574	- 1030	+ 9109	+ 4 9186	+ 4 8965
13	0,984	- 75	- 357	+ 1 5170	+ 1 5148	- 990	+ 8413	+ 5 6609	+ 5 6254
14	0,978	- 255	+ 2169	+ 1 7084	+ 1 7014	- 1055	+ 9991	+ 6 5545	+ 6 4970
15	0,969	- 190	+ 1909	+ 1 8803	+ 1 8674	- 925	+ 1 3547	+ 7 8167	+ 7 7172
16	0,959	- 65	- 1797	+ 1 6941	+ 1 6886	- 670	+ 1 3440	+ 9 0937	+ 8 9391
17	0,936	- 110	- 256	+ 1 6575	+ 1 6536	- 620	+ 1 3735	+ 10 4052	+ 10 1627
18	0,930	- 200	+ 3422	+ 1 9797	+ 1 9518	- 680	+ 1 2694	+ 11 6066	+ 11 2752
19	0,910	- 90	+ 2900	+ 2 2607	+ 2 2067	- 350	+ 1 2692	+ 12 8408	+ 12 3952
20	0,886	0	- 1718	+ 2 0889	+ 2 0545	0	+ 1 1335	+ 13 9743	+ 13 3995
21	0,857	0	- 5453	+ 1 5436	+ 1 5872	0	+ 1 0690	+ 15 0433	+ 14 3156
22	0,821	0	- 1 0161	+ 5275	+ 7530	0	+ 1 2341	+ 16 2774	+ 15 3288
23	0,778	0	- 1 0266	- 4991	- 457	0	+ 1 3632	+ 17 6406	+ 16 3894
24	0,727	0	- 8754	- 1 3745	- 6822	0	+ 9899	+ 18 6305	+ 17 1091
25	0,667	0	- 1 3532	- 2 7277	- 1 5848	0	+ 1 4359	+ 20 0664	+ 18 0668
26	0,598	0	- 1 6689	- 4 3966	- 2 5828	0	+ 1 2625	+ 21 3289	+ 18 8218
27	0,523	0	- 1 7603	- 6 1569	- 3 5034	0	+ 1 3554	+ 22 6843	+ 19 5307
28	0,442	0	- 1 3031	- 7 4600	- 4 0794	0	+ 1 7669	+ 24 4512	+ 20 3117
29	0,361	0	- 1 4273	- 8 8873	- 4 5947	0	+ 1 1727	+ 25 6239	+ 20 7350
30	0,283	0	- 1 1578	- 10 0451	- 4 9224	0	+ 9766	+ 26 6005	+ 21 0114
31	0,214	0	- 4989	- 10 5440	- 5 0292	0	+ 7937	+ 27 3942	+ 21 1813
32	0,156	0	- 5240	- 11 0680	- 5 1109	0	+ 5520	+ 27 9462	+ 21 2674
33	0,111	0	- 8560	- 11 9240	- 5 1204	0	+ 6425	+ 28 5887	+ 21 3387
34	0,076	0	- 1187	- 12 0427	- 5 1294	0	+ 5700	+ 29 1587	+ 21 3820
35	0,050	+ 93	+ 7102	- 11 3325	- 5 1253	- 20	- 656	+ 29 0931	+ 21 3787
36	0,032	+ 118	+ 1 1211	- 10 2114	- 5 0886	+ 10	+ 5290	+ 29 6221	+ 21 3956
37	0,020	+ 171	+ 1 0928	- 9 1186	- 5 0661	+ 31	+ 6676	+ 30 2897	+ 21 4091
38	0,013	+ 182	+ 8092	- 8 3094	- 5 0551	+ 30	+ 3754	+ 30 6651	+ 21 4140
39	0,006	+ 211	+ 1 1469	- 7 1625	- 5 0481	+ 19	+ 3225	+ 30 9876	+ 21 4159
40	0,003	+ 39	+ 3531	- 6 8094	- 5 0470	+ 146	+ 5244	+ 31 5120	+ 21 4175
41	0,000	+ 24	- 1851	- 6 9945	- 5 0470	+ 201	+ 7347	+ 32 2467	+ 21 4175
42	- 0,002	+ 76	+ 2998	- 6 6947	- 5 0476	+ 398	+ 1 4722	+ 33 7189	+ 21 4144
43	- 0,002	- 1	- 4677	- 7 1624	- 5 0467	+ 861	+ 2 4996	+ 36 2185	+ 21 4090
44	- 0,004	- 119	- 8284	- 7 9908	- 5 0434	+ 807	+ 2 7110	+ 38 9295	+ 21 3975
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 8 7462	- 5 0403	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 48 4319	+ 21 3586
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	- 4 8997	- 5 0582	-	(+ 3 9125)	+ 52 3444	+ 21 3399

Station St-Gothard. $H = 2109$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviati on topographique	Déviati on isostatique			Déviati on topographique	Déviati on isostatique
1	1,000	+ 2732	+ 488	+ 3220	+ 3220	+ 910	0	+ 910	+ 910
2	1,000	+ 2661	+ 1551	+ 7432	+ 7432	- 1730	- 758	- 1578	- 1578
3	1,000	+ 1485	+ 2048	+ 1 0965	+ 1 0965	- 1107	- 1261	- 3946	- 3946
4	1,000	+ 778	+ 1654	+ 1 3397	+ 1 3397	- 605	- 1568	- 6119	- 6119
5	1,000	- 204	+ 1625	+ 1 4818	+ 1 4818	- 55	- 1914	- 8088	- 8088
6	0,999	+ 83	+ 1008	+ 1 5909	+ 1 5908	+ 101	- 2293	- 1 0280	- 1 0278
7	0,999	- 15	+ 984	+ 1 6878	+ 1 6876	+ 135	- 2439	- 1 2584	- 1 2580
8	0,998	- 30	+ 1834	+ 1 8682	+ 1 8676	+ 115	- 2684	- 1 5153	- 1 5144
9	0,997	- 45	+ 2139	+ 2 0776	+ 2 0763	+ 170	- 3811	- 1 8794	- 1 8774
10	0,996	- 60	+ 2394	+ 2 3110	+ 2 3087	+ 150	- 3346	- 2 1990	- 2 1957
11	0,993	- 145	+ 4771	+ 2 7736	+ 2 7679	+ 60	- 1620	- 2 3550	- 2 3506
12	0,989	- 305	+ 9471	+ 3 6902	+ 3 6752	+ 105	- 2807	- 2 6252	- 2 6177
13	0,984	- 365	+ 1 2164	+ 4 8701	+ 4 8356	+ 105	- 5997	- 3 2144	- 3 1973
14	0,978	- 195	+ 9548	+ 5 8054	+ 5 7499	+ 95	- 3811	- 3 5860	- 3 5605
15	0,970	- 155	+ 7188	+ 6 5087	+ 6 4316	+ 45	- 1018	- 3 6833	- 3 6547
16	0,960	0	- 1413	+ 6 3674	+ 6 2960	+ 25	- 978	- 3 7786	- 3 7461
17	0,947	+ 20	- 898	+ 6 2796	+ 6 2130	+ 80	- 5220	- 4 2926	- 4 2324
18	0,931	0	- 144	+ 6 2652	+ 6 1996	0	- 5362	- 4 8288	- 4 7316
19	0,911	0	+ 521	+ 6 3173	+ 6 2471	0	- 6025	- 5 4313	- 5 2805
20	0,887	0	+ 6207	+ 6 9380	+ 6 7977	0	- 7262	- 6 1575	- 5 9246
21	0,857	0	+ 4178	+ 7 3558	+ 7 1558	0	- 5166	- 6 6741	- 6 3673
22	0,821	0	+ 2036	+ 7 5594	+ 7 3312	0	- 5741	- 7 2482	- 6 8386
23	0,778	0	+ 1761	+ 7 7355	+ 7 4682	0	- 8777	- 8 1259	- 7 5215
24	0,727	0	+ 890	+ 7 8245	+ 7 5329	0	- 2635	- 8 3894	- 7 7131
25	0,667	0	- 2390	+ 7 5855	+ 7 3735	0	+ 396	- 8 3498	- 7 6867
26	0,599	0	- 704	+ 7 5151	+ 7 3313	0	- 258	- 8 3756	- 7 6712
27	0,523	0	- 3366	+ 7 1785	+ 7 1553	0	+ 908	- 8 2848	- 7 6237
28	0,443	0	- 6939	+ 6 4846	+ 6 8479	0	- 28	- 8 2876	- 7 6249
29	0,361	0	- 4742	+ 6 0104	+ 6 6767	0	+ 3493	- 7 9383	- 7 7988
30	0,283	0	- 1022	+ 5 9082	+ 6 6478	0	+ 5342	- 7 4041	- 7 3476
31	0,214	0	+ 217	+ 5 9299	+ 6 6524	0	+ 5669	- 6 8372	- 7 2263
32	0,156	0	+ 390	+ 5 9689	+ 6 6585	0	+ 2900	- 6 5472	- 7 1881
33	0,111	0	- 5235	+ 5 4454	+ 6 6004	0	+ 3146	- 6 2326	- 7 1462
34	0,076	+ 29	- 727	+ 5 3727	+ 6 5953	0	+ 2662	- 5 9664	- 7 1260
35	0,050	+ 66	+ 5791	+ 5 9518	+ 6 6249	+ 5	+ 3191	- 5 6473	- 7 1100
36	0,033	+ 67	+ 7437	+ 6 6955	+ 6 6499	+ 15	+ 4522	- 5 1951	- 7 0949
37	0,020	+ 113	+ 8093	+ 7 5040	+ 6 6665	+ 35	+ 5304	- 4 6647	- 7 0841
38	0,013	+ 196	+ 9036	+ 8 4084	+ 6 6788	+ 47	+ 3645	- 4 3002	- 7 0792
39	0,006	+ 237	+ 1 1995	+ 9 6079	+ 6 6862	+ 1	+ 2436	- 4 0566	- 7 0777
40	0,003	+ 63	+ 5167	+ 10 1246	+ 6 6878	+ 125	+ 7668	- 3 2898	- 7 0754
41	0,000	+ 80	+ 396	+ 10 1642	+ 6 6878	+ 84	+ 3746	- 2 9152	- 7 0754
42	- 0,002	+ 78	+ 2279	+ 10 3921	+ 6 6873	+ 247	+ 8043	- 2 1109	- 7 0771
43	- 0,002	- 20	(- 4900)	+ 9 9021	+ 6 6883	+ 720	(+ 2 2900)	+ 1791	- 7 0818
44	- 0,004	- 130	(- 870)	+ 9 0321	+ 6 6918	+ 790	(+ 2 7300)	+ 2 9091	- 7 0933
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	+ 8 2767	+ 6 6949	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 12 4115	- 7 1322
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	+ 12 1232	+ 6 6770	-	(+ 3 9125)	+ 16 3240	- 7 1509

Station Weissenstein. $H = 1290$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	+ 948	+ 162	+ 1110	+ 1110	- 2866	- 444	- 3310	- 3310
2	1,000	+ 1179	+ 612	+ 2901	+ 2901	- 435	- 240	- 3985	- 3985
3	1,000	+ 958	+ 1225	+ 5084	+ 5084	- 1	- 95	- 4081	- 4081
4	1,000	+ 400	+ 1755	+ 7239	+ 7239	- 64	- 239	- 4384	- 4384
5	1,000	- 180	+ 1839	+ 8898	+ 8898	+ 19	- 288	- 4653	- 4653
6	0,999	- 199	+ 1407	+1 0106	+1 0105	- 63	+ 179	- 4537	- 4537
7	0,999	- 130	+ 1302	+1 1278	+1 1276	0	+ 646	- 3891	- 3892
8	0,997	- 245	+ 2236	+1 3269	+1 3260	+ 40	+ 801	- 3050	- 3053
9	0,995	- 365	+ 3007	+1 5911	+1 5887	+ 45	+ 208	- 2797	- 2801
10	0,994	- 255	+ 2602	+1 8258	+1 8218	+ 10	+ 395	- 2892	- 2398
11	0,989	- 240	+ 2496	+2 0514	+2 0447	+ 90	- 889	- 3191	- 3187
12	0,985	- 215	+ 3238	+2 3537	+2 3421	+ 130	- 2224	- 5285	- 5248
13	0,980	- 250	+ 5139	+2 8426	+2 8207	+ 105	- 2907	- 8087	- 7992
14	0,973	- 235	+ 6267	+3 4458	+3 4070	+ 130	- 3196	- 1 1153	-1 0972
15	0,964	- 145	+ 5851	+4 0164	+3 9565	+ 85	- 3041	- 1 4109	-1 3819
16	0,954	- 135	+ 6110	+4 6139	+4 5259	+ 70	- 2995	- 1 7034	-1 6608
17	0,940	- 90	+ 6513	+5 2562	+5 1291	+ 70	- 3150	- 2 0114	-1 9499
18	0,924	0	+ 3550	+5 6112	+5 4571	0	- 938	- 2 1052	-2 0366
19	0,904	0	+ 1676	+5 7788	+5 6086	0	- 1910	- 2 2962	-2 2093
20	0,880	0	+ 1557	+5 9345	+5 7456	0	- 2295	- 2 5257	-2 4113
21	0,850	0	+ 1468	+6 0815	+5 8704	0	- 1465	- 2 6722	-2 5358
22	0,816	0	- 116	+6 0697	+5 8609	0	- 2135	- 2 8857	-2 7100
23	0,772	0	- 2955	+5 7742	+5 6328	0	- 2343	- 3 1200	-2 8909
24	0,721	0	- 4574	+5 3168	+5 3030	0	- 1350	- 3 2550	-2 9882
25	0,661	0	- 5690	+4 7478	+4 9269	0	- 340	- 3 2890	-3 0107
26	0,593	0	- 7332	+4 0146	+4 4921	0	+ 1568	- 3 1322	-2 9177
27	0,517	0	- 8185	+3 1961	+4 0689	0	+ 1163	- 3 0159	-2 8576
28	0,437	0	-1 5388	+1 6573	+3 3964	0	+ 5746	- 2 4413	-2 6065
29	0,356	0	-1 5931	+ 642	+2 8293	0	+ 9702	- 1 4711	-2 2611
30	0,280	0	-1 7730	-1 7088	+2 3329	0	+1 0010	- 4701	-1 9808
31	0,211	0	-1 5030	-3 2118	+2 0158	0	+ 8175	+ 3474	-1 8083
32	0,154	0	-1 0610	-4 2728	+1 8524	0	+1 0230	+ 1 3704	-1 6058
33	0,109	0	- 6970	-4 9698	+1 7764	0	+ 9870	+ 2 3574	-1 5432
34	0,075	0	- 6860	-5 6558	+1 7249	0	+ 6135	+ 2 9709	-1 4972
35	0,049	+ 4	- 5051	-6 1609	+1 7001	0	+ 4425	+ 3 4134	-1 4755
36	0,032	+ 53	+ 3249	-5 8360	+1 7109	- 10	+ 3770	+ 3 7904	-1 4635
37	0,020	+ 91	+ 6116	-5 2244	+1 7235	+ 16	+ 6847	+ 4 4751	-1 4498
38	0,012	+ 140	+ 5257	-4 6987	+1 7302	+ 32	+ 3946	+ 4 8697	-1 4450
39	0,006	+ 200	(+ 9000)	-3 7987	+1 7358	+ 20	(+ 4100)	+ 5 2797	-1 4425
40	0,002	+ 150	(+ 8700)	-2 9287	+1 7376	+ 180	(+ 6700)	+ 5 9494	-1 4411
41	0,000	+ 20	(- 1500)	-3 0787	+1 7376	+ 160	(+ 6900)	+ 6 6394	-1 4411
42	-0,002	+ 80	(+ 300)	-3 0487	+1 7375	+ 350	(+1 3400)	+ 7 9794	-1 4439
43	-0,002	+ 10	(- 3900)	-3 4387	+1 7383	+ 780	(+2 4500)	+10 4294	-1 4491
44	-0,004	- 110	(- 8400)	-4 2787	+1 7417	+ 860	(+2 7400)	+13 1694	-1 4607
45 à 47	-0,004	+ 5	(- 7554)	-5 0341	+1 7448	+ 2377	(+9 5024)	+22 6718	-1 4996
48 à 62	-0,004	-	(+3 8465)	-1 1876	+1 7269	-	(+3 9125)	+26 5843	-1 5183

Observatoire de Bâle. $H = 286$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviations topographique	Déviations isostatique			Déviations topographique	Déviations isostatique
1	1,000	-268	- 32	- 300	- 300	- 230	- 30	- 260	- 260
2	1,000	-244	- 107	- 651	- 651	- 413	- 72	- 745	- 745
3	1,000	-150	- 168	- 969	- 969	- 101	- 115	- 961	- 961
4	1,000	- 94	- 235	- 1298	- 1297	- 106	- 259	- 1326	- 1325
5	0,996	0	- 263	- 1561	- 1559	0	- 285	- 1611	- 1609
6	0,995	0	- 273	- 1834	- 1831	0	- 279	- 1890	- 1887
7	0,994	0	- 250	- 2084	- 2079	0	- 276	- 2166	- 2161
8	0,992	0	- 249	- 2333	- 2326	0	- 253	- 2419	- 2412
9	0,989	0	- 295	- 2628	- 2618	0	- 229	- 2648	- 2638
10	0,986	0	- 370	- 2998	- 3003	0	- 208	- 2856	- 2843
11	0,983	0	- 564	- 3562	- 3557	0	- 231	- 3087	- 3070
12	0,978	0	- 827	- 4389	- 4366	0	- 287	- 3374	- 3351
13	0,972	0	- 949	- 5338	- 5288	0	- 414	- 3788	- 3753
14	0,965	0	- 674	- 6012	- 5938	0	- 543	- 4331	- 4277
15	0,956	0	- 988	- 7000	- 6883	0	- 244	- 4575	- 4510
16	0,945	0	- 717	- 7717	- 7561	0	+ 104	- 4471	- 4412
17	0,932	0	- 1043	- 8760	- 8533	0	+ 529	- 3942	- 3919
18	0,916	0	- 2818	- 11578	-11114	0	+ 426	- 3516	- 3529
19	0,896	0	- 2610	- 14188	-13453	0	+ 171	- 3346	- 3376
20	0,872	0	- 2480	- 16668	-15616	0	+ 460	- 2885	- 2975
21	0,842	0	- 3618	- 20286	-18662	0	+ 1068	- 1817	- 2076
22	0,806	0	- 4190	- 24476	-22039	0	+ 1805	- 12	- 621
23	0,763	0	- 3312	- 27788	-24566	0	+ 3206	+ 3194	+ 1825
24	0,712	0	- 1987	- 29775	-25981	0	+ 2820	+ 6014	+ 3833
25	0,653	0	- 1868	- 31643	-27201	0	+ 1910	+ 7924	+ 5080
26	0,585	0	- 2512	- 34155	-28671	0	+ 430	+ 8354	+ 5332
27	0,510	0	- 2632	- 36787	-30013	0	- 105	+ 8249	+ 5278
28	0,430	0	- 4944	- 41731	-32139	0	+ 1159	+ 9408	+ 5776
29	0,350	0	-12201	- 53932	-36409	0	+ 5044	+ 14452	+ 7541
30	0,274	0	-18211	- 72143	-41399	0	+ 9173	+ 23625	+10054
31	0,207	0	-17489	- 89632	-45019	0	+ 8570	+ 32195	+11828
32	0,150	0	-15280	-104912	-47311	0	+10040	+ 42235	+13334
33	0,106	0	- 9350	-114262	-48302	0	+10350	+ 52585	+14431
34	0,073	0	- 6890	-121152	-48805	0	+ 6810	+ 59395	+14928
35	0,048	0	- 6630	-127782	-49123	0	+ 5275	+ 64690	+15181
36	0,031	+ 45	+ 1221	-126561	-49083	- 5	+ 2632	+ 67322	+15262
37	0,019	+ 72	+ 4095	-122466	-49003	+ 10	+ 4262	+ 71584	+15343
38	0,011	+113	+ 4348	-118118	-48953	+ 22	+ 3411	+ 74995	+15381
39	0,006	+181	+ 7725	-110393	-48905	+ 29	+ 3032	+ 78027	+15399
40	0,002	+200	+10744	- 99649	-48883	+ 194	+ 6902	+ 84929	+15412
41	0,000	+ 9	- 781	-100430	-48883	+ 167	+ 7417	+ 92346	+15412
42	-0,002	+ 90	+ 686	- 99744	-48885	+ 346	+13437	+105783	+15384
43	-0,002	+ 8	- 3838	-103582	-48877	+ 809	+24097	+129880	+15332
44	-0,003	-125	- 8637	-112219	-48851	+ 805	+26952	+156832	+15247
45 à 47	-0,004	+ 5	(- 7554)	-119773	-48820	+2377	(+95024)	+251856	+14858
48 à 62	-0,004	-	(+38465)	- 81308	-48999	-	(+39125)	+290981	+14671

Observatoire de Genève. $H = 404$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique Déviation isostatique		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique Déviation isostatique	
1	1,000	- 2442	- 178	- 2620	- 2620	- 242	- 18	- 260	- 260
2	1,000	- 581	- 249	- 3450	- 3450	- 5	- 7	- 272	- 272
3	1,000	- 299	- 301	- 4050	- 4050	+ 7	+ 12	- 253	- 253
4	1,000	- 146	- 339	- 4535	- 4534	+ 68	+ 130	- 55	- 55
5	0,997	+ 12	- 389	- 4912	- 4910	- 1	+ 210	+ 154	+ 153
6	0,996	0	- 403	- 5315	- 5311	0	+ 289	+ 443	+ 441
7	0,994	0	- 417	- 5732	- 5725	0	+ 347	+ 790	+ 786
8	0,993	0	- 337	- 6069	- 6060	0	+ 411	+ 1201	+ 1193
9	0,990	0	- 249	- 6318	- 6307	0	+ 358	+ 1559	+ 1547
10	0,987	0	- 160	- 6478	- 6465	0	+ 249	+ 1808	+ 1793
11	0,984	0	- 227	- 6705	- 6688	0	+ 102	+ 1910	+ 1893
12	0,980	0	- 189	- 6894	- 6873	0	+ 14	+ 1924	+ 1907
13	0,973	0	- 111	- 7005	- 6981	0	- 5	+ 1919	+ 1902
14	0,966	0	- 374	- 7379	- 7342	0	+ 109	+ 2028	+ 2007
15	0,957	+ 15	- 1496	- 8865	- 8774	- 15	+ 903	+ 2916	+ 2871
16	0,946	+ 45	- 3827	- 1 2647	- 1 2394	- 20	+ 1683	+ 4579	+ 4463
17	0,933	+ 40	- 3508	- 1 6115	- 1 5667	- 10	+ 1034	+ 5603	+ 5428
18	0,917	0	- 4057	- 2 0172	- 1 9387	0	+ 838	+ 6441	+ 6196
19	0,897	0	- 3785	- 2 3957	- 2 2782	0	+ 1134	+ 7575	+ 7213
20	0,873	0	- 2159	- 2 6116	- 2 4667	0	+ 778	+ 8353	+ 7893
21	0,843	0	+ 1859	- 2 4259	- 2 3100	0	- 3379	+ 4974	+ 5045
22	0,807	0	+ 1377	- 2 2880	- 2 1989	0	- 1998	+ 2976	+ 3433
23	0,764	0	- 190	- 2 3070	- 2 2134	0	+ 3170	+ 6146	+ 5855
24	0,713	0	- 824	- 2 3894	- 2 2722	0	+ 4167	+ 1 0313	+ 8826
25	0,654	0	- 1728	- 2 5622	- 2 3852	0	+ 7187	+ 1 7500	+ 1 3526
26	0,586	0	- 3349	- 2 8971	- 2 5815	0	+ 1 0485	+ 2 7985	+ 1 9670
27	0,511	0	- 6143	- 3 5114	- 2 8954	0	+ 1 6960	+ 4 4945	+ 2 8337
28	0,431	0	- 6598	- 4 1712	- 3 1798	0	+ 2 0190	+ 6 5135	+ 3 7039
29	0,351	0	- 1 4008	- 5 5720	- 3 6715	0	+ 2 3503	+ 8 8638	+ 4 5289
30	0,275	0	- 1 4660	- 7 0380	- 4 0747	0	+ 2 0712	+ 10 9350	+ 5 0985
31	0,207	0	- 1 0312	- 8 0692	- 4 2882	0	+ 1 2780	+ 12 2130	+ 5 3631
32	0,151	0	- 7540	- 8 8232	- 4 4021	0	+ 3610	+ 12 5740	+ 5 4176
33	0,107	0	- 6827	- 9 5059	- 4 4751	0	+ 4205	+ 12 9945	+ 5 4626
34	0,073	0	- 915	- 9 5974	- 4 4818	0	+ 3299	+ 13 3244	+ 5 4867
35	0,048	+ 98	+ 9997	- 8 5977	- 4 4328	- 20	+ 5535	+ 13 8779	+ 5 5131
36	0,031	+ 128	+ 1 2875	- 7 3102	- 4 3921	- 7	+ 6209	+ 14 4988	+ 5 5323
37	0,019	+ 174	+ 9479	- 6 3623	- 4 3735	+ 9	+ 4278	+ 14 9266	+ 5 5424
38	0,011	+ 170	+ 8865	- 5 4758	- 4 3634	+ 5	+ 4890	+ 15 4156	+ 5 5478
39	0,006	+ 217	+ 1 0567	- 4 4191	- 4 3568	+ 98	+ 3723	+ 15 7879	+ 5 5502
40	0,002	+ 36	+ 2551	- 4 1640	- 4 3516	+ 178	+ 4853	+ 16 2732	+ 5 5512
41	0,000	- 3	- 3249	- 4 4889	- 4 3516	+ 213	+ 8197	+ 17 0929	+ 5 5512
42	- 0,002	+ 50	- 16	- 4 4905	- 4 3516	+ 428	+ 1 8114	+ 18 9043	+ 5 5474
43	- 0,002	+ 14	- 4299	- 4 9204	- 4 3507	+ 899	+ 2 5902	+ 21 4945	+ 5 5418
44	- 0,003	- 90	- 8197	- 5 7401	- 4 3481	+ 859	+ 2 8925	+ 24 3870	+ 5 5326
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 6 4955	- 4 3450	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 33 8894	+ 5 4937
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	- 2 6490	- 4 3629	-	(+ 3 9125)	+ 37 8019	+ 5 4750

Observatoire de Neuchâtel. $H = 487$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique Déviation isostatique		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs Déviation topographique Déviation isostatique	
1	1,000	+ 2188	+ 222	+ 2410	+ 2410	- 2906	- 334	- 3240	- 3240
2	1,000	+ 1183	+ 561	+ 4154	+ 4154	- 1333	- 618	- 5191	- 5191
3	1,000	+ 567	+ 692	+ 5413	+ 5413	- 508	- 661	- 6360	- 6340
4	1,000	+ 430	+ 1162	+ 7005	+ 7004	- 346	- 731	- 7437	- 7416
5	0,998	- 82	+ 1661	+ 8584	+ 8580	+ 13	- 995	- 8419	- 8396
6	0,996	- 50	+ 2072	+ 1 0606	+ 1 0594	+ 11	- 1219	- 9627	- 9609
7	0,995	- 45	+ 2353	+ 1 2914	+ 1 2890	+ 25	- 1463	- 1 1065	- 1 1040
8	0,993	- 42	+ 2815	+ 1 5687	+ 1 5643	+ 26	- 1686	- 1 2725	- 1 2688
9	0,991	- 60	+ 3539	+ 1 9166	+ 1 9090	+ 31	- 1997	- 1 4691	- 1 4635
10	0,988	- 125	+ 4825	+ 2 3866	+ 2 3732	+ 46	- 2666	- 1 7311	- 1 7223
11	0,984	- 188	+ 6648	+ 3 0326	+ 3 0086	+ 76	- 3079	- 2 0314	- 2 0177
12	0,979	- 196	+ 7592	+ 3 7722	+ 3 7323	+ 65	- 3116	- 2 3365	- 2 3163
13	0,974	- 131	+ 6997	+ 4 4588	+ 4 4007	+ 24	- 2059	- 2 5405	- 2 5144
14	0,966	- 89	+ 6114	+ 5 0613	+ 4 9824	+ 19	- 1924	- 2 7305	- 2 6984
15	0,958	- 69	+ 5822	+ 5 6366	+ 5 5332	+ 20	- 2077	- 2 9362	- 2 8954
16	0,947	- 54	+ 5484	+ 6 1796	+ 6 0471	+ 16	- 2339	- 3 1685	- 3 1153
17	0,934	- 89	+ 6949	+ 6 8656	+ 6 6872	+ 51	- 3876	- 3 5510	- 3 4722
18	0,918	- 114	+ 8900	+ 7 7442	+ 7 4928	+ 85	- 5960	- 4 1385	- 4 0108
19	0,898	- 81	+ 8273	+ 8 5634	+ 8 2276	+ 58	- 5655	- 4 6962	- 4 5128
20	0,873	0	+ 7533	+ 9 3167	+ 8 8852	0	- 5845	- 5 2827	- 5 0231
21	0,844	0	+ 6349	+ 9 9516	+ 9 4211	0	- 4640	- 5 7467	- 5 4147
22	0,808	0	+ 4333	+ 10 3849	+ 9 7712	0	- 4205	- 6 1672	- 5 7545
23	0,765	0	+ 2911	+ 10 6760	+ 9 9939	0	- 3295	- 6 4967	- 6 0066
24	0,714	0	- 1350	+ 10 5410	+ 9 8975	0	- 1239	- 6 6206	- 6 0951
25	0,654	0	- 5593	+ 9 9817	+ 9 5317	0	+ 909	- 6 5297	- 6 0357
26	0,586	0	- 7846	+ 9 1971	+ 9 0719	0	+ 2752	- 6 2545	- 5 8744
27	0,511	0	- 1 1424	+ 8 0547	+ 8 4881	0	+ 5259	- 5 7286	- 5 6057
28	0,431	0	- 1 5735	+ 6 4812	+ 7 8099	0	+ 9578	- 4 7708	- 5 1929
29	0,351	0	- 1 7393	+ 4 7419	+ 7 1994	0	+ 1 3210	- 3 4498	- 4 7292
30	0,275	0	- 1 9736	+ 2 7683	+ 6 6567	0	+ 1 4948	- 1 9550	- 4 3181
31	0,207	0	- 1 3100	+ 1 4583	+ 6 3855	0	+ 1 1750	- 7800	- 4 0749
32	0,151	0	- 8025	+ 6558	+ 6 2643	0	+ 7130	- 670	- 3 9672
33	0,107	0	- 7440	- 882	+ 6 1847	0	+ 8410	+ 7740	- 3 8772
34	0,073	0	- 8938	- 9820	+ 6 1195	0	+ 6965	+ 1 4705	- 3 8264
35	0,048	+ 13	- 1324	- 1 1444	+ 6 1133	0	+ 2560	+ 1 7265	- 3 8141
36	0,031	+ 71	+ 6375	- 4769	+ 6 1335	- 15	+ 4184	+ 2 1449	- 3 8012
37	0,019	+ 106	+ 7657	+ 2888	+ 6 1484	+ 17	+ 7146	+ 2 8595	- 3 7876
38	0,011	+ 174	+ 7359	+ 1 0247	+ 6 1569	+ 32	+ 4031	+ 3 2626	- 3 7831
39	0,006	+ 171	+ 8650	+ 1 8897	+ 6 1623	+ 48	+ 4597	+ 3 7223	- 3 7803
40	0,002	+ 145	+ 8263	+ 2 7160	+ 6 1640	+ 174	+ 6526	+ 4 3749	- 3 7789
41	0,000	- 37	- 2872	+ 2 4288	+ 6 1640	+ 196	+ 7777	+ 5 1526	- 3 7789
42	- 0,002	+ 65	+ 1059	+ 2 5347	+ 6 1638	+ 418	+ 1 5647	+ 6 7173	- 3 7822
43	- 0,002	+ 10	- 3721	+ 2 1626	+ 6 1647	+ 826	+ 2 5400	+ 9 2573	- 3 7876
44	- 0,004	- 100	(- 8080)	+ 1 3546	+ 6 1680	+ 850	(+ 2 7400)	+ 11 9973	- 3 7992
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	+ 5992	+ 6 1711	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 21 4997	- 3 8381
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	+ 4 4457	+ 6 1532	-	(+ 3 9125)	+ 25 4122	- 3 8568

Observatoire de Zurich. $H = 468$ m.

Zones	F^*	N-S				W-E			
		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs		Correction topographique	Σh_o	Totaux successifs	
				Déviaton topographique	Déviaton isostatique			Déviaton topographique	Déviaton isostatique
1	1,000	+ 2734	+ 176	+ 2910	+ 2910	+ 2970	+ 190	+ 3160	+ 3160
2	1,000	+ 1043	+ 457	+ 4410	+ 4410	+ 1069	+ 462	+ 4691	+ 4691
3	1,000	+ 489	+ 560	+ 5459	+ 5459	+ 567	+ 646	+ 5904	+ 5904
4	1,000	+ 327	+ 741	+ 6527	+ 6526	+ 483	+ 1108	+ 7495	+ 7494
5	0,998	+ 32	+ 956	+ 7515	+ 7512	0	+ 1381	+ 8876	+ 8872
6	0,996	+ 10	+ 1215	+ 8740	+ 8732	0	+ 1661	+ 1 0537	+ 1 0526
7	0,995	- 25	+ 1410	+ 1 0125	+ 1 0110	- 20	+ 1851	+ 1 2368	+ 1 2348
8	0,993	- 35	+ 1691	+ 1 1781	+ 1 1754	- 30	+ 2228	+ 1 4566	+ 1 4530
9	0,991	- 25	+ 1678	+ 1 3434	+ 1 3392	- 20	+ 2517	+ 1 7063	+ 1 7004
10	0,988	0	+ 1460	+ 1 4894	+ 1 4834	0	+ 2498	+ 1 9561	+ 1 9472
11	0,984	0	+ 1053	+ 1 5947	+ 1 5870	- 5	+ 2348	+ 2 1904	+ 2 1777
12	0,979	0	+ 443	+ 1 6390	+ 1 6304	- 10	+ 2103	+ 2 3997	+ 2 3826
13	0,974	+ 5	+ 208	+ 1 6603	+ 1 6512	- 15	+ 1513	+ 2 5495	+ 2 5285
14	0,966	0	+ 392	+ 1 6211	+ 1 6891	- 5	+ 979	+ 2 6469	+ 2 6226
15	0,958	+ 10	- 1285	+ 1 4936	+ 1 5670	0	- 291	+ 2 6178	+ 2 5947
16	0,947	0	- 1423	+ 1 3513	+ 1 4322	0	- 194	+ 2 5984	+ 2 5763
17	0,934	0	- 1345	+ 1 2168	+ 1 3066	0	+ 109	+ 2 6093	+ 2 5865
18	0,917	0	- 1314	+ 1 0854	+ 1 1861	0	- 62	+ 2 6031	+ 2 5808
19	0,898	0	- 778	+ 1 0076	+ 1 1162	0	+ 99	+ 2 6130	+ 2 5897
20	0,873	0	- 67	+ 1 0009	+ 1 1104	0	+ 1037	+ 2 7167	+ 2 6802
21	0,844	0	- 135	+ 9874	+ 1 0990	0	+ 1459	+ 2 8626	+ 2 8033
22	0,808	0	- 2254	+ 7620	+ 9169	0	+ 1501	+ 3 0127	+ 2 9246
23	0,765	0	- 3611	+ 4009	+ 6407	0	+ 2527	+ 3 2654	+ 3 1179
24	0,714	0	- 4586	- 577	+ 3133	0	+ 2172	+ 3 4826	+ 3 2730
25	0,654	0	- 4274	- 4851	+ 338	0	+ 3226	+ 3 8052	+ 3 4840
26	0,586	0	- 9761	- 1 4612	- 5382	0	+ 2913	+ 4 0965	+ 3 6547
27	0,511	0	- 1 4029	- 2 8641	- 1 2551	0	+ 3700	+ 4 4665	+ 3 8438
28	0,431	0	- 1 4904	- 4 3545	- 1 8975	0	+ 4570	+ 4 9235	+ 4 0408
29	0,351	0	- 2 0110	- 6 3655	- 2 6034	0	+ 8012	+ 5 7247	+ 4 3220
30	0,275	0	- 1 7681	- 8 1336	- 3 0896	0	+ 9790	+ 6 7037	+ 4 5912
31	0,207	0	- 1 6513	- 9 7849	- 3 4314	0	+ 8886	+ 7 5923	+ 4 7751
32	0,151	0	- 1 2400	- 11 0249	- 3 6186	0	+ 8540	+ 8 4463	+ 4 9041
33	0,107	0	- 5865	- 11 6114	- 3 6814	0	+ 5241	+ 8 9704	+ 4 9602
34	0,073	0	- 5095	- 12 1209	- 3 7186	0	+ 5684	+ 9 5388	+ 5 0017
35	0,048	+ 4	- 3857	- 12 5066	- 3 7371	0	+ 3589	+ 9 8977	+ 5 0189
36	0,031	+ 49	+ 1844	- 12 3222	- 3 7310	0	+ 3204	+ 10 2181	+ 5 0288
37	0,019	+ 64	+ 3207	- 12 0015	- 3 7247	+ 14	+ 3125	+ 10 5306	+ 5 0348
38	0,011	+ 132	+ 6644	- 11 3371	- 3 7171	+ 32	+ 4211	+ 10 9517	+ 5 0395
39	0,006	+ 180	+ 7994	- 10 5377	- 3 7121	+ 15	+ 3147	+ 11 2664	+ 5 0414
40	0,002	+ 141	+ 9662	- 9 5715	- 3 7101	+ 120	+ 6753	+ 11 9417	+ 5 0428
41	0,000	+ 53	+ 971	- 9 4744	- 3 7101	+ 139	+ 5936	+ 12 5353	+ 5 0428
42	- 0,002	+ 91	+ 2224	- 9 2520	- 3 7105	+ 251	+ 7914	+ 13 3267	+ 5 0411
43	- 0,002	- 16	- 4391	- 9 6911	- 3 7096	+ 750	+ 2 3127	+ 15 6394	+ 5 0361
44	- 0,004	- 130	(- 8700)	- 10 5611	- 3 7060	+ 860	(+ 2 7300)	+ 18 3694	+ 5 0245
45 à 47	- 0,004	+ 5	(- 7554)	- 11 3165	- 3 7029	+ 2377	(+ 9 5024)	+ 27 8718	+ 4 9856
48 à 62	- 0,004	-	(+ 3 8465)	- 7 4700	- 3 7208	-	(+ 3 9125)	+ 31 7843	+ 4 9669

La première colonne contient la numérotation des zones; mais nous avons groupé les zones 45 à 47 et 48 à 62.

La deuxième colonne donne la valeur numérique du facteur de la réduction isostatique.

Dans la 3^e et dans la 7^e, nous trouvons le total des corrections topographiques pour les zones 1 à 16 et le total des corrections Δ pour les zones 35 à 47.

Les colonnes 4 et 8 donnent les sommes des h_o (resp^t $\frac{\theta_e - \theta_o}{\theta_o} t_o$).

Nous avons ensuite les totaux successifs des valeurs zonales: de la composante topographique (5^e et 9^e colonnes), de la composante isostatique (6^e et 10^e colonnes).

Dans quelques stations, une partie des valeurs Σh_o des zones 39 à 44 ont été déterminées par interpolation; le procédé consiste à noter d'abord sur une carte la position des stations, à tracer ensuite à l'aide des valeurs connues de Σh_o — pour chaque zone et pour chaque composante — les courbes d'égale déviation et à lire enfin sur ce graphique les termes cherchés Σh_o . Dans nos tables les valeurs interpolées sont placées entre parenthèses.

Les résultats des calculs, c'est-à-dire les composantes topographiques et isostatiques, exprimés en unités de la 4^e décimale, se trouvent sur la dernière ligne des tables.

CHAPITRE III.

L'action compensatrice du „défaut de masse“ d'après une carte des hauteurs moyennes.

Les formules trouvées dans le chapitre I et les déviations isostatiques calculées dans le chapitre II sont basées sur l'hypothèse de HAYFORD, savoir: dans toute colonne verticale, de section aussi petite qu'on le veut, les «masses extérieures», situées entre le niveau de la mer et la surface solide de la Terre, sont compensées par une augmentation ou par une diminution de la densité de l'écorce terrestre.

Si cette hypothèse était une réalité, à chaque sommet de montagne, à chaque vallée, devrait correspondre un changement de la densité du défaut de masse; celui-ci «reflèterait» en quelque sorte la forme extérieure du terrain. Toutefois, divers auteurs ont fait voir que cette supposition n'est pas exacte; à cause de la rigidité de l'écorce terrestre, la compensation entre les masses extérieures et intérieures n'existe pas dans le détail; elle n'est réalisée que *grosso modo*; le défaut de densité des couches profondes correspond à une forme moyenne du modelé topographique.¹⁾

L'influence des masses lointaines sur la déviation isostatique du zénith ne dépend pas de l'hypothèse relative aux dimensions de la colonne élémentaire dans laquelle il y a compensation; pour les masses éloignées le résultat des calculs est en effet le même, que l'on évalue l'attraction d'un grand compartiment à l'aide de sa hauteur moyenne, ou que l'on décompose ce compartiment en un nombre quelconque de parties dont on détermine individuellement l'attraction.

Le calcul de l'attraction des masses voisines de la station nécessite une décomposition du terrain en éléments très petits; si l'on admet ici l'hypothèse de HAYFORD, il en résulte une erreur systématique. Cependant le résultat ne peut être faussé de manière très sensible puisque la composante horizontale de l'attraction du défaut de masse est naturellement très faible dans le voisinage immédiat de la station; elle ne devient appréciable qu'aux distances supérieures à 10 km. En revanche, l'accélération de la pesanteur calculée isosta-

¹⁾ F. R. HELMERT. *Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde. Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften*, Band VI, 1 B., Heft 2, page 154.

E. HÜBNER. *Beitrag zur Theorie der isostatischen Reduktion der Schwerebeschleunigung. Gerland's Beiträge zur Geophysik*, Band XII, Heft 4, pages 632/633.

TH. NIETHAMMER. *Zur Theorie der isostatischen Reduktion der Schwerebeschleunigung. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, Band XXVIII, 2. Teil, page 211.

tiquement dépend dans une large mesure de la valeur attribuée à la densité du défaut de masse à proximité de la station.¹⁾

Néanmoins, il n'est pas sans intérêt d'examiner les changements que subissent les calculs de la déviation du zénith lorsqu'on se fonde sur une autre hypothèse que celle de HAYFORD; quel que soit, en effet, le résultat de cet examen, nous pourrions au moins en tirer une indication sur l'existence éventuelle d'une erreur systématique et en déduire un contrôle des résultats numériques obtenus dans le chapitre II.

Nous avons utilisé dans ce but la *Carte des hauteurs moyennes* annexée au présent volume (table I); cette carte a été construite de la manière suivante.

Nous appelons *hauteur moyenne* le nombre par lequel il faut multiplier la base de la colonne au niveau de la mer pour obtenir le volume des «masses extérieures» correspondantes; on attribue cette cote au centre de gravité du compartiment. Conformément à cette définition géométrique, nous ne tenons pas compte des variations de densité; nous négligeons de plus la courbure de la Terre, les altitudes étant très petites par rapport au rayon terrestre. La forme la plus naturelle de la région dont on doit évaluer la hauteur moyenne est le cercle. Toutefois le carré est plus commode; il permet de constituer avec facilité un grand compartiment à l'aide d'éléments plus petits et de même forme.

La *Carte scolaire murale de la Suisse* (échelle 1 : 200 000, équidistance 100 m) a été partagée en carrés de 1 cm de côté; on détermina la hauteur moyenne de chacun de ces éléments, qui, groupés quatre par quatre en carrés plus étendus de 8×8 km, couvraient uniformément l'ensemble du territoire; les altitudes moyennes, portées graphiquement aussi bien dans la direction du méridien et du parallèle que sur la diagonale NW—SE (normale à la chaîne des Alpes), permettaient d'établir de nombreux profils de la forme *moyenne* du terrain; on pouvait obtenir ainsi — sur les trois directions ci-dessus — les points d'égales hauteurs moyennes et construire enfin sur la carte les courbes isohypses cherchées.

Outre la Carte murale de la Suisse, nous avons utilisé, pour les régions frontières: 1^o la *Carta topografica del Regno d'Italia* (échelle 1 : 500 000, équidistance 100, 200, 300 et 400 m). — 2^o La «*Topographische Übersichtskarte des deutschen Reiches*» (1 : 200 000 et 20 m). — 3^o La *Carte de France* (1 : 200 000 et 20 ou 40 m).

Pour juger de l'exactitude des hauteurs moyennes obtenues, nous avons déterminé, à l'aide du planimètre, l'altitude moyenne de quarante grands carrés de 8×8 km, répartis sur le Jura, le Plateau ou les Alpes suisses. Aucune erreur systématique appréciable n'a été dévoilée et l'incertitude d'une évaluation n'atteint que ± 22 m. Les hauteurs moyennes interpolées à l'aide des séries de profils sont naturellement moins exactes; l'incertitude en peut être estimée à ± 30 m. Nous portons même celle-ci à 50 m dans les régions des Alpes où nous avons dû nous servir de la carte italienne mentionnée plus haut.

Nous utiliserons maintenant les hauteurs moyennes tirées de la nouvelle carte pour calculer la densité du défaut de masse en un point quelconque; le procédé est le même que

¹⁾ Voir TH. NIETHAMMER, l. c. page 234.

celui appliqué dans le cas où l'on considère la véritable forme du terrain et où l'on admet l'hypothèse de HAYFORD.

Soit \bar{h}_o la hauteur moyenne; la densité Θ_T du défaut de masse sera

$$\Theta_T = - \frac{\bar{h}_o}{T'} \Theta_o ,$$

les notations étant celles du chapitre I.

Or, l'attraction des masses extérieures doit être calculée à l'aide de la hauteur réelle h_o ; par suite, la composante isostatique ne peut plus être obtenue en multipliant la composante due aux masses extérieures condensées au niveau de la mer, par le facteur de la réduction isostatique \mathfrak{f} ou F ; il faudra déterminer à part l'action compensatrice du défaut de masse et l'ajouter à l'attraction des masses extérieures. Désignons par ΔA_T^P la composante horizontale de l'attraction exercée sur le point P , d'altitude H , par le défaut de masse d'un secteur conique d'ouverture α_i et α_k ; pour le point P_o au niveau de la mer, cette attraction sera représentée par $\Delta A_T^{P_o}$. Si l'on néglige la courbure de la Terre, c'est-à-dire si l'on pose $R = \infty$ dans les expressions analytiques de ces composantes, celles-ci seront désignées par $\Delta \bar{A}_T^P$ et $\Delta \bar{A}_T^{P_o}$.

Comme auparavant, nous admettons sans démonstration spéciale que l'influence de l'altitude de la station peut être calculée indépendamment de la courbure terrestre. Cette hypothèse est exprimée par

$$\frac{\Delta A_T^P}{\Delta A_T^{P_o}} = \frac{\Delta \bar{A}_T^P}{\Delta \bar{A}_T^{P_o}}$$

Le rapport des attractions «planes», dans le second membre, est donné par la formule [24], page 15. Introduisons le symbole $u(x)$ pour définir:

$$u(x) = x \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + x^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + x^2}};$$

il vient

$$\Delta \bar{A}_T^{P_o} = \int \Theta_T d\varphi u(T) \quad [a]$$

et

$$\Delta \bar{A}_T^P = \int \Theta_T d\varphi \{ u(H + T) - u(H) \}$$

Posons pour abrégé:

$$\frac{u(H + T) - u(H)}{u(T)} = 1 + F' ,$$

nous aurons

$$\Delta A_T^P = (1 + F') \Delta A_T^{P_o} \quad [b]$$

Pour ramener le calcul de ΔA_T^P à celui de $\Delta \bar{A}_T^{P_o}$, nous partons de la définition du facteur de la réduction isostatique. Si $\delta A_T'$ est la composante horizontale de l'attraction exercée sur P_o par le défaut de masse condensé au niveau de la mer, nous pourrions écrire

$$\delta A_T^P = (\mathfrak{f} - 1) \delta A_T' ,$$

$$\delta \bar{A}_T^{P_o} = (\bar{\mathfrak{f}}_o - 1) \delta A_T' .$$

Or, dq étant la section de la colonne élémentaire, les composantes horizontales des masses condensées sont données par les expressions:

$$\begin{aligned}\delta A'_T &= \int \Theta_T T' dq \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{E^2} = - \int \Theta_o \bar{h}'_o dq \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{E^2}, \\ \delta \bar{A}'_T &= \int \Theta_T T dq \frac{1}{a^2} = - \int \Theta_o \bar{h}_o dq \frac{1}{a^2}.\end{aligned}$$

Il en résulte

$$\frac{\delta A_{T^o}}{\delta \bar{A}_{T^o}} = \frac{\xi - 1}{\xi_0 - 1} \frac{\bar{h}'_o}{\bar{h}_o} \frac{a^2 \cos \frac{\alpha}{2}}{E^2}.$$

En négligeant les grandeurs de l'ordre $\frac{\bar{h}_o}{R}$, le quotient $\frac{h'_o}{\bar{h}_o}$ devient égal à 1; nous pouvons aussi substituer l'unité au facteur $\frac{a^2 \cos \frac{\alpha}{2}}{E^2}$ qui, pour les distances envisagées, diffère encore moins de 1. L'égalité ci-dessus peut donc s'écrire

$$\delta A_{T^o} = \left(1 + \frac{\xi - \xi_0}{\xi_0 - 1} \right) \delta \bar{A}_{T^o}.$$

Le second terme de la parenthèse varie très lentement avec la distance; par suite, entre les limites α_i et α_k , il peut être remplacé par une valeur moyenne qui sortira du signe de l'intégration.

Si

$$\sigma - 1 \text{ est une valeur moyenne de } \frac{\xi - \xi_0}{\xi_0 - 1},$$

nous obtenons en intégrant

$$\Delta A_{T^o} = \Delta \bar{A}_{T^o} + (\sigma - 1) \Delta \bar{A}_{T^o}.$$

Cette expression, introduite dans la formule (b), fournit:

$$\Delta A_T^P = \Delta \bar{A}_T^P + \Phi \Delta \bar{A}_T^P$$

où

$$\Phi = F'\sigma + (\sigma - 1). \quad [c]$$

Le terme $\Phi \Delta \bar{A}_T^P$ représente donc la correction qu'il faut ajouter à la composante $\Delta \bar{A}_T^P$ (calculée dans l'hypothèse que la Terre est plane et la station au niveau de la mer) pour tenir compte de l'altitude de la station et de la courbure terrestre.

Les calculs numériques peuvent être simplifiés et ramenés à une sommation; il suffit pour cela de choisir convenablement les limites des zones et des secteurs. La formule [a], qui se rapporte au «calcul plan», donne les composantes horizontales de la déviation du zénith:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{\xi}_c^{P_o} \\ \bar{\eta}_c^{P_o} \end{array} \right\} = - \frac{3 \Theta_o}{4 \Theta_m} \frac{206 \, 265''}{\pi R} \sum \left\{ \begin{array}{l} \sin \varphi_m - \sin \varphi_l \\ \cos \varphi_l - \cos \varphi_m \end{array} \right\} \bar{h}_o \log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + T^2}}{a_i + \sqrt{a_i^2 + T^2}}.$$

Nous choisirons les zones et les secteurs de manière que

$$\left. \begin{array}{l} \bar{\xi}_c^{P_o} \\ \bar{\eta}_c^{P_o} \end{array} \right\} = \Sigma \bar{h}_o \cdot 10^{-4};$$

les constantes

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_m - \sin \varphi_l \\ \cos \varphi_l - \cos \varphi_m \end{aligned} \right\} = \frac{1}{4}, \quad \begin{aligned} \Theta_o &= 2,73 \\ \Theta_m &= 5,52 \\ R &= 6371 \text{ km} \end{aligned}$$

fournissent la condition

$$\log \frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + T^2}}{a_l + \sqrt{a_l^2 + T^2}} = 0,1046 \ 422$$

c'est-à-dire

$$\frac{a_k + \sqrt{a_k^2 + T^2}}{a_l + \sqrt{a_l^2 + T^2}} = 1,1103 \ 133 .$$

On en déduit les valeurs de a qui figurent dans la table numérique suivant; les nombres des deux dernières colonnes proviennent des formules du chapitre I.

Zones	a km	Valeurs limites de $\frac{\xi - \bar{\xi}_0}{\bar{\xi}_0 - 1}$	Valeurs moyennes $\sigma - 1$
I	0,000	0,01884	0,01657
II	12,580	0,01449	0,01275
III	25,298	0,01118	0,00990
IV	38,293	0,00873	0,00780
V	51,708	0,00696	0,00631
VI	65,689	0,00573	0,00530
VII	80,391	0,00492	0,00465
VIII	95,974	0,00441	0,00425
IX	112,608	0,00411	0,00403
X	130,476	0,00397	0,00395
XI	149,775	0,00393	0,00394
	170,715	0,00395	

Pour calculer les moyennes relatives aux premières zones, nous avons utilisé les valeurs particulières qui suivent:

a km	$\frac{\xi - \bar{\xi}_0}{\bar{\xi}_0 - 1}$
0,000	0,01884
3,145	0,01764
6,290	0,01652
9,435	0,01547
12,580	0,01449
18,939	0,01271
25,298	0,01118

Les facteurs de réduction Φ , correspondant au système de zones établi ci-dessus, sont donnés dans la table qui suit. Nous reproduisons, pages 76 et 77, l'ensemble des calculs de la station Gurten. Pour les autres stations, nous nous contentons de comparer les nouveaux résultats à ceux obtenus dans le deuxième chapitre. A cet effet, l'action compensatrice du défaut de masse se détermine en soustrayant la composante topographique de la composante isostatique (chapitre II); nous formons ensuite, pour diverses distances, la résultante des

Le facteur de réduction Φ .

H altitude	Zones				
	I	II	III	IV	V
	Diff.	Diff.	Diff.	Diff.	Diff.
0	+0,0166 -448	+0,0128 -56	+0,0099 -33	+0,0078 -23	+0,0063 -18
100	-0,0282 -335	+0,0072 -56	+0,0066 -33	+0,0055 -23	+0,0045 -17
200	-0,0617 -293	+0,0016 -56	+0,0033 -33	+0,0032 -24	+0,0028 -17
300	-0,0910 -265	-0,0040 -55	0,0000 -32	+0,0008 -23	+0,0011 -18
400	-0,1175 -245	-0,0095 -56	-0,0032 -33	-0,0015 -22	-0,0007 -17
500	-0,1420 -229	-0,0151 -56	-0,0065 -33	-0,0037 -23	-0,0024 -18
600	-0,1649 -215	-0,0207 -55	-0,0098 -33	-0,0060 -23	-0,0042 -18
700	-0,1864 -205	-0,0262 -57	-0,0131 -33	-0,0083 -23	-0,0060 -17
800	-0,2069 -194	-0,0319 -56	-0,0164 -32	-0,0106 -23	-0,0077 -17
900	-0,2263 -184	-0,0375 -56	-0,0196 -33	-0,0129 -23	-0,0094 -18
1000	-0,2447 -177	-0,0431 -55	-0,0229 -34	-0,0152 -23	-0,0112 -18
1100	-0,2624 -168	-0,0486 -57	-0,0263 -32	-0,0175 -23	-0,0130 -18
1200	-0,2792 -162	-0,0543 -56	-0,0295 -32	-0,0198 -23	-0,0148 -17
1300	-0,2954 -157	-0,0599 -55	-0,0327 -32	-0,0221 -23	-0,0165 -18
1400	-0,3111 -151	-0,0654 -56	-0,0359 -33	-0,0244 -24	-0,0183 -18
1500	-0,3262 -146	-0,0710 -56	-0,0392 -33	-0,0268 -23	-0,0201 -18
1600	-0,3408 -140	-0,0766 -55	-0,0425 -33	-0,0291 -23	-0,0219 -18
1700	-0,3548 -136	-0,0821 -56	-0,0458 -33	-0,0314 -23	-0,0237 -17
1800	-0,3684 -132	-0,0877 -55	-0,0491 -32	-0,0337 -23	-0,0254 -17
1900	-0,3816 -127	-0,0932 -56	-0,0523 -32	-0,0360 -23	-0,0271 -18
2000	-0,3943 -123	-0,0988 -54	-0,0555 -34	-0,0383 -23	-0,0289 -18
2100	-0,4066 -120	-0,1042 -56	-0,0589 -32	-0,0406 -23	-0,0307 -17
2200	-0,4186 -117	-0,1098 -55	-0,0621 -33	-0,0429 -23	-0,0324 -18
2300	-0,4303 -113	-0,1153 -54	-0,0654 -33	-0,0452 -23	-0,0342 -18
2400	-0,4416	-0,1207	-0,0687	-0,0475	-0,0360

composantes de cette action compensatrice et calculons enfin, à l'aide d'un procédé graphique, les valeurs qui correspondent aux limites des zones I à XI. Les différences entre les deux manières d'établir l'action compensatrice du défaut de masse, savoir: a) calcul d'après l'hypothèse de HAYFORD (chapitre II) moins b) calcul basé sur la carte des hauteurs moyennes, se trouvent dans la table page 77.

Le facteur de réduction Φ .

		Zones									
VI		VII		VIII		IX		X		XI	
	Diff.										
+0,0053	-14	+0,0046	-11	+0,0042	-9	+0,0040	-8	+0,0040	-7	+0,0039	-5
+0,0039	-14	+0,0035	-11	+0,0033	-9	+0,0032	-8	+0,0033	-6	+0,0034	-5
+0,0025	-14	+0,0024	-11	+0,0024	-9	+0,0024	-7	+0,0027	-7	+0,0029	-6
+0,0011	-14	+0,0013	-11	+0,0015	-9	+0,0017	-8	+0,0020	-6	+0,0023	-5
-0,0003	-13	+0,0002	-12	+0,0006	-9	+0,0009	-8	+0,0014	-6	+0,0018	-5
-0,0016	-14	-0,0010	-11	-0,0003	-9	+0,0001	-7	+0,0008	-7	+0,0013	-6
-0,0030	-15	-0,0021	-11	-0,0012	-9	-0,0006	-8	+0,0001	-6	+0,0007	-5
-0,0045	-14	-0,0032	-11	-0,0021	-9	-0,0014	-8	-0,0005	-6	+0,0002	-5
-0,0059	-14	-0,0043	-11	-0,0030	-9	-0,0022	-8	-0,0011	-6	-0,0003	-5
-0,0073	-14	-0,0054	-11	-0,0039	-9	-0,0030	-7	-0,0017	-7	-0,0008	-5
-0,0087	-13	-0,0065	-11	-0,0048	-9	-0,0037	-8	-0,0024	-7	-0,0013	-4
-0,0100	-14	-0,0076	-12	-0,0057	-9	-0,0045	-7	-0,0031	-6	-0,0017	-5
-0,0114	-14	-0,0088	-11	-0,0066	-9	-0,0052	-8	-0,0037	-6	-0,0022	-5
-0,0128	-14	-0,0099	-11	-0,0075	-10	-0,0060	-8	-0,0043	-7	-0,0027	-4
-0,0142	-14	-0,0110	-11	-0,0085	-9	-0,0068	-8	-0,0050	-7	-0,0031	-5
-0,0156	-14	-0,0121	-11	-0,0094	-9	-0,0076	-7	-0,0057	-6	-0,0036	-5
-0,0170	-14	-0,0132	-12	-0,0103	-9	-0,0083	-7	-0,0063	-6	-0,0041	-6
-0,0184	-14	-0,0144	-11	-0,0112	-10	-0,0090	-8	-0,0069	-6	-0,0047	-5
-0,0198	-13	-0,0155	-11	-0,0122	-9	-0,0098	-8	-0,0075	-6	-0,0052	-5
-0,0211	-14	-0,0166	-12	-0,0131	-9	-0,0106	-7	-0,0081	-6	-0,0057	-6
-0,0225	-14	-0,0178	-12	-0,0140	-10	-0,0113	-7	-0,0087	-5	-0,0063	-6
-0,0239	-14	-0,0190	-11	-0,0150	-9	-0,0120	-8	-0,0092	-6	-0,0069	-5
-0,0253	-14	-0,0201	-12	-0,0159	-9	-0,0128	-8	-0,0098	-6	-0,0074	-5
-0,0267	-14	-0,0213	-11	-0,0168	-10	-0,0136	-7	-0,0104	-6	-0,0079	-6
-0,0281		-0,0224		-0,0178		-0,0143		-0,0110		-0,0085	

Station Gurten H = 858 m. N-S.

Zones	Secteurs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	-600	-575	-550	-575	-550	-575	-575	-600	665	725
II	-725	-600	-550	-525	-500	-500	-500	-500	600	850
III	-800	-600	-525	-575	-700	-750	-800	-650	650	1 050
IV	-750	-575	-625	-700	-700	-800	-950	-950	650	1 000
V	-700	-550	-600	-500	-525	-600	-700	-900	700	1 075
VI	-575	-500	-450	-325	-375	-400	-500	-725	650	650
VII	-575	-475	-600	-375	-275	-350	-375	-525	650	1 150
VIII	-650	-550	-850	-350	-325	-600	-350	-400	750	1 150
IX	-700	-600	-850	-250	-500	-750	-375	-300	750	900
X	-700	-650	-700	-250	-500	-575	-350	-250	650	1 100
XI	-675	-675	-600	-200	-550	-400	-350	-225	550	750

Zones	Secteurs						Sommes horizont. $\bar{\xi}_c^{P_0}$	$\bar{\xi}_c^{P_0} \cdot \Phi$	Valeurs zonales ξ_c^P	Sommes succes- sives
	11	12	13	14	15	16				
I	750	750	700	650	600	600	+ 850	-185	+0,0665	+0,0665
II	1 050	1 100	1 000	700	650	800	+ 2350	- 85	+0,2265	+0,2930
III	1 300	1 450	1 400	1 050	900	1 150	+ 3550	- 65	+0,3485	+0,6415
IV	1 450	1 500	1 700	1 600	1 500	1 300	+ 4650	- 55	+0,4595	+1,1010
V	1 500	1 900	2 100	2 300	2 600	1 850	+ 8950	- 80	+0,8870	+1,9880
VI	1 500	1 500	1 500	1 500	2 200	2 200	+ 7850	- 55	+0,7795	+2,7675
VII	1 350	1 700	2 400	2 400	2 200	2 100	+1 0400	- 50	+1,0350	+3,8025
VIII	1 900	2 350	2 900	2 600	1 550	1 900	+1 1025	- 40	+1,0985	+4,9010
IX	2 100	2 150	2 150	1 800	1 150	1 550	+ 8225	- 20	+0,8205	+5,7215
X	2 050	1 650	1 900	1 150	500	1 375	+ 6400	- 10	+0,6390	+6,3605
XI	1 450	2 400	1 200	450	400	1 300	+ 4825	0	+0,4825	+6,8430

Station Gurten H = 858 m. W-E.

Zones	Secteurs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	- 625	-600	-575	-575	575	600	600	600	650	650
II	- 775	-750	-675	-575	500	500	500	525	550	600
III	- 950	-850	-700	-550	750	750	550	475	500	600
IV	- 950	-800	-600	-600	800	1000	1000	650	500	600
V	-1 100	-600	-575	-550	675	800	950	1000	650	650
VI	- 650	-550	-550	-450	425	550	800	950	1000	625
VII	- 850	-600	-475	-500	375	400	550	800	950	850
VIII	-1 250	-575	-475	-600	450	300	400	600	900	1 050
IX	-1 250	-700	-450	-700	575	300	300	375	600	1 000
X	-1 450	-750	-475	-675	500	275	250	250	450	700
XI	-1 050	-600	-525	-600	400	300	225	200	250	450

Station Gurten $H = 850$ m. W-E.

Zones	Secteurs						Sommes horizont.	$\bar{\eta}_c^{P_0} \cdot \Phi$	Valeurs zonales	Sommes succes.
	11	12	13	14	15	16	$\bar{\eta}_c^{P_0}$		η_c^P	η_c^P
I	700	725	- 625	- 600	- 600	- 625	10^{-4} + 275	10^{-4} - 60	+ 0,0215	+ 0,0215
II	725	1 000	- 725	- 750	- 850	- 850	- 1050	+ 35	- 0,1015	- 0,0800
III	800	1 250	- 1 000	- 1 050	- 1 200	- 975	- 1600	+ 30	- 0,1570	- 0,2370
VI	825	1 250	- 1 600	- 1 400	- 1 250	- 1 300	- 1875	+ 20	- 0,1855	- 0,4225
V	850	1 400	- 2 400	- 2 400	- 1 550	- 1 200	- 3400	+ 30	- 0,3370	- 0,7595
VI	550	1 200	- 1 900	- 2 500	- 2 200	- 1 550	- 4250	+ 30	- 0,4220	- 1,1815
VII	550	1 400	- 2 250	- 2 200	- 2 250	- 1 500	- 4750	+ 25	- 0,4725	- 1,6540
VIII	650	1 700	- 2 050	- 1 700	- 2 050	- 1 900	- 4550	+ 15	- 0,4535	- 2,1075
IX	600	1 650	- 1 550	- 1 300	- 1 900	- 1 950	- 4400	+ 10	- 0,4390	- 2,5465
X	650	1 600	- 1 000	- 700	- 1 900	- 1 700	- 3975	+ 5	- 0,3970	- 2,9435
XI	650	1 400	- 500	- 750	- 1 800	- 1 600	- 3550	0	- 0,3550	- 3,2985

Différences de l'action compensatrice,
hypothèse a) moins hypothèse b):

Zones	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Limite extérieure des zones en km	12,6	25,3	38,3	51,7	65,7	80,4	96,0	112,6	130,5	149,8	170,7
Stations:											
St-Gothard	+ 0,02	+ 0,05	+ 0,09	+ 0,02	+ 0,08	0,00	- 0,05	- 0,10	- 0,10	- 0,07	0,00
Martinsbruck	+ 0,06	- 0,15	- 0,06	- 0,25	- 0,16	- 0,16	- 0,15	- 0,10	+ 0,02	+ 0,06	+ 0,06
Generoso	+ 0,04	- 0,01	+ 0,08	+ 0,09	+ 0,03	- 0,07	- 0,10	- 0,09	- 0,09	- 0,09	- 0,09
Weissenstein	+ 0,07	+ 0,07	+ 0,05	0,00	- 0,03	+ 0,01	0,00	+ 0,01	0,00	- 0,06	- 0,11
La Dôle	+ 0,02	+ 0,03	+ 0,04	0,00	- 0,06	- 0,06	- 0,07	- 0,02	- 0,05	- 0,10	- 0,06
Lægern	0,00	+ 0,02	+ 0,07	+ 0,02	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,12	+ 0,09	0,00	- 0,04	- 0,11
Zurich	+ 0,07	+ 0,07	+ 0,10	+ 0,12	+ 0,17	+ 0,20	+ 0,21	+ 0,23	+ 0,15	+ 0,17	+ 0,20
Genève	- 0,04	- 0,02	0,00	0,00	+ 0,06	+ 0,08	+ 0,13	+ 0,24	+ 0,28	+ 0,26	+ 0,32
Bâle	0,00	+ 0,04	+ 0,04	+ 0,05	+ 0,07	+ 0,12	+ 0,12	+ 0,25	+ 0,27	+ 0,30	+ 0,34
Neuchâtel	0,00	0,00	0,00	- 0,06	- 0,08	+ 0,10	+ 0,19	+ 0,35	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,45
Gurnigel	+ 0,01	+ 0,08	+ 0,14	+ 0,10	+ 0,14	+ 0,14	+ 0,10	+ 0,05	+ 0,08	+ 0,07	+ 0,14
Gurten	+ 0,04	+ 0,10	+ 0,12	+ 0,21	+ 0,24	+ 0,36	+ 0,38	+ 0,39	+ 0,33	+ 0,30	+ 0,35
Gæbris	- 0,06	0,00	+ 0,15	+ 0,25	+ 0,25	+ 0,25	+ 0,21	+ 0,16	+ 0,14	+ 0,18	+ 0,20
Righi	+ 0,01	+ 0,06	+ 0,13	+ 0,20	+ 0,25	+ 0,25	+ 0,22	+ 0,27	+ 0,25	+ 0,20	+ 0,14
Berra	+ 0,02	+ 0,06	+ 0,11	+ 0,09	+ 0,08	+ 0,16	+ 0,12	+ 0,18	+ 0,15	+ 0,28	+ 0,29
Rochers-de-Naye	+ 0,10	0,00	+ 0,11	+ 0,16	+ 0,16	+ 0,30	+ 0,35	+ 0,29	+ 0,23	+ 0,30	+ 0,28
Moyenne	+ 0,02	+ 0,02	+ 0,07	+ 0,06	+ 0,08	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,14	+ 0,14	+ 0,14	+ 0,15
Accroissement	0,00	+ 0,05	- 0,01	+ 0,02	+ 0,03	0,00	+ 0,03	0,00	0,00	0,00	+ 0,01

Dans les six premières stations les différences sont insignifiantes; dans les dix autres, par contre, ces valeurs ont une allure systématique évidente et sont presque toutes positives. Il ressort des moyennes et de leurs accroissements donnés au pied des colonnes que la troisième zone — dont le rayon extérieur mesure 38,3 km — fournit la plus forte augmentation. On pouvait, à priori, s'attendre à cette constatation; elle confirme l'idée que des différences systématiques obtenues entre les deux procédés doivent provenir des masses relativement peu éloignées de la station. Il est donc légitime d'admettre qu'une partie au moins des écarts obtenus doivent être attribués à la diversité des hypothèses faites dans le calcul de la densité du défaut de masse. Cette part doit atteindre en moyenne 0,05 à 0,1; dans quelques stations, elle pourrait même s'élever au double ou au triple de cette valeur.

CHAPITRE IV.

Influence d'une variation de la profondeur de compensation.

Nous examinerons ici ce que devient la composante isostatique lorsqu'on modifie la profondeur de compensation.

Les facteurs de la réduction isostatique ont été calculés pour $T = 120$ km; cette valeur, moyenne entre les résultats de HAYFORD et de HELMERT, est entachée d'une erreur de ± 10 km.

Toutes les quantités qui se rapportent à la profondeur 120 km seront affectées de l'indice T_0 , tandis que T sera l'indice relatif à une profondeur quelconque. Si, à l'aide du facteur de la réduction isostatique, on exprime la composante horizontale de l'attraction du défaut de masse en fonction de l'attraction de ce défaut de masse condensé au niveau de la mer, il vient:

$$\delta A_{T_0}^P = (\mathfrak{f}_{T_0}^* - 1) \delta A'_{T_0}$$

$$\delta A_T^P = (\mathfrak{f}_T^* - 1) \delta A'_T$$

où les notations sont celles du chapitre I.

Or

$$\delta A'_T = \delta A'_{T_0};$$

par conséquent, si l'on pose

$$\Psi^* = \frac{\mathfrak{f}_T^* - 1}{\mathfrak{f}_{T_0}^* - 1} - 1,$$

on aura

$$\delta A_T^P = \delta A_{T_0}^P + \Psi^* \delta A'_{T_0}.$$

Nous nous bornons à déterminer l'effet produit par un changement de T sur le point P , situé au niveau de la mer et calculons par suite

$$\delta A_T^{P_0} = \delta A_{T_0}^{P_0} + \Psi \delta A'_{T_0} \quad [a]$$

où

$$\Psi = \frac{\mathfrak{f}_T - 1}{\mathfrak{f}_{T_0} - 1} - 1. \quad [b]$$

Pour $\alpha = 0$, Ψ prend la valeur:

$$\Psi = \frac{T'_0}{T'_0} - 1.$$

Les valeurs numériques de Ψ se calculent aisément à l'aide de la formule [31] du chap. I, page 22; elles sont données ci-après, pour les quatre profondeurs $T = 100, 110, 130$ et 140 km; l'argument de cette table est aussi bien la longueur de l'arc a que la distance angulaire α . On constate que Ψ ne varie que fort peu à l'intérieur d'une zone, même quand la largeur est celle des zones I à XI du chapitre III. Il en résulte que l'intégration peut s'effectuer en donnant à Ψ une valeur moyenne et en sortant ce facteur du signe de l'intégrale.

Désignons par (Ψ) cette valeur moyenne et soient ξ_c et η_c les totaux par zone des composantes de l'action compensatrice du défaut de masse pour la profondeur T_0 ; ces totaux pour la profondeur T seront alors

$$\xi_c + (\Psi) \xi_c \quad \text{et} \quad \eta_c + (\Psi) \eta_c.$$

$$\text{Valeurs de } \Psi = \frac{f_T - 1}{f_{T_0} - 1} - 1.$$

Distances		$T = 100$ km	$T = 110$ km	$T = 130$ km	$T = 140$ km
a	α				
km					
0,000	0° 0'	+0,1962	+0,0892	-0,0755	-0,1401
18,532	0 10	+0,1904	+0,0869	-0,0739	-0,1376
37,065	0 20	+0,1748	+0,0806	-0,0697	-0,1305
55,597	0 30	+0,1537	+0,0720	-0,0636	-0,1201
74,130	0 40	+0,1315	+0,0626	-0,0567	-0,1081
92,662	0 50	+0,1109	+0,0535	-0,0497	-0,0957
111,195	1 00	+0,0930	+0,0455	-0,0432	-0,0840
166,792	1 30	+0,0559	+0,0281	-0,0280	-0,0558
222,390	2 00	+0,0357	+0,0181	-0,0187	-0,0378
333,585	3 00	+0,0173	+0,0090	-0,0095	-0,0195
444,780	4 00	+0,0098	+0,0051	-0,0055	-0,0114
667,17	6 00	+0,0041	+0,0022	-0,0023	-0,0049
889,56	8 00	+0,0019	+0,0010	-0,0012	-0,0025
1111,95	10 00	+0,0010	+0,0005	-0,0006	-0,0013
1334,34	12 00	+0,0005	+0,0003	-0,0003	-0,0007
1779,1	16 00	-0,0001	0,0000	0,0000	-0,0001
2223,9	20 00	-0,0003	-0,0002	+0,0001	+0,0003
2668,7	24 00	-0,0005	-0,0002	+0,0002	+0,0004
3558,2	32 00	-0,0006	-0,0003	+0,0003	+0,0006
4447,8	40 00	-0,0007	-0,0003	+0,0003	+0,0006
5337,4	48 00	-0,0007	-0,0004	+0,0004	+0,0007
7116,5	64 00	-0,0007	-0,0004	+0,0004	+0,0007
8895,6	80 00	-0,0007	-0,0004	+0,0004	+0,0008
10674,7	96 00	-0,0008	-0,0004	+0,0004	+0,0008
12453,8	112 00	-0,0008	-0,0004	+0,0004	+0,0008
16012,1	144 00	-0,0008	-0,0004	+0,0004	+0,0008
19570,3	176 00	-0,0008	-0,0004	+0,0004	+0,0008
20015,1	180 00	-0,0008	-0,0004	+0,0004	+0,0008

La table qui suit contient les valeurs moyennes (Ψ) pour les profondeurs $T = 100$ km et $T = 140$ km, les onze premières zones étant celles introduites dans le chapitre III; elle donne en outre, pour la station Gurten, les variations que subissent les composantes de l'action compensatrice dans chaque zone, lorsqu'on passe à ces deux profondeurs 100 et 140 km. Dans la deuxième table, page 81, nous avons réuni les résultats de ces mêmes calculs pour toutes les stations. Si l'on représente ces variations par l'expression

$$a \cdot \Delta T + b \cdot \Delta T^2,$$

l'unité choisie étant $\Delta T = T - T_0 = 10$ km, nous obtenons pour a et b les valeurs indiquées dans les dernières colonnes de la table. Ces coefficients permettent de transformer tout résultat obtenu pour $T_0 = 120$ km en un résultat valable pour une profondeur quelconque entre 100 et 140 km. — On constate ainsi qu'un changement de 10 km de la profondeur

Station Gurten: Action compensatrice du défaut de masse pour $T = 100$ et $T = 140$ km.

Zone N°	Rayon extérieur km	Valeur moyenne (Ψ)		ξ_c pour $T_0 = 120$ km	η_c	$(\Psi) \cdot \xi_c$		$(\Psi) \cdot \eta_c$	
		$T = 100$ km	$T = 140$ km			$T = 100$ km	$T = 140$ km	$T = 100$ km	$T = 140$ km
I	12,58	+0,195	-0,140	+0,066	+0,022	+0,013	-0,009	+0,004	-0,003
II	25,30	+0,190	-0,137	+0,226	-0,102	+0,043	-0,031	-0,019	+0,014
III	38,29	+0,180	-0,133	+0,348	-0,157	+0,063	-0,046	-0,028	+0,021
IV	51,71	+0,166	-0,126	+0,460	-0,186	+0,076	-0,058	-0,031	+0,025
V	65,69	+0,150	-0,118	+0,887	-0,337	+0,133	-0,104	-0,051	+0,046
IV	80,39	+0,133	-0,109	+0,780	-0,422	+0,103	-0,085	-0,056	+0,047
VII	95,97	+0,116	-0,099	+1,035	-0,472	+0,120	-0,102	-0,055	+0,040
VIII	112,61	+0,099	-0,088	+1,098	-0,454	+0,109	-0,097	-0,045	+0,034
IX	130,48	+0,084	-0,078	+0,820	-0,439	+0,069	-0,064	-0,037	+0,027
X	149,78	+0,071	-0,068	+0,639	-0,397	+0,045	-0,043	-0,028	+0,021
XI	170,72	+0,059	-0,059	+0,482	-0,355	+0,028	-0,028	-0,021	+0,039
32	212,8	+0,046	-0,047	+0,464	-0,836	+0,021	-0,022	-0,038	+0,027
33	262,3	+0,032	-0,035	+0,558	-0,768	+0,018	-0,019	-0,025	+0,013
34	323,5	+0,022	-0,025	+0,691	-0,505	+0,015	-0,017	-0,011	+0,005
35	398,7	+0,015	-0,017	-0,048	-0,310	-0,001	+0,001	-0,005	+0,005
36	491,7	+0,010	-0,012	-0,703	-0,394	-0,007	+0,008	-0,004	+0,006
37	606,3	+0,007	-0,008	-0,838	-0,764	-0,006	+0,007	-0,005	+0,002
38	747,9	+0,005	-0,005	-0,793	-0,363	-0,004	+0,004	-0,002	+0,001
39	922,9	+0,003	-0,003	-1,073	-0,404	-0,003	+0,003	-0,001	+0,001
40	1139,0	+0,001	-0,002	-0,692	-0,660	-0,001	+0,001	-0,001	+0,001
41	1406,4 = 12°6	+0,001	-0,001	+0,176	-0,665	-0,000	0,000	-0,001	+0,001
42	15,6	0,000	0,000	-0,072	-1,357	0,000	0,000	0,000	0,000
43	19,4	0,000	0,000	+0,426	-2,561	0,000	0,000	0,000	0,000
44	24,0	0,000	0,000	+0,833	-2,873	0,000	0,000	0,000	0,000
45	29,9	-0,001	0,000	+1,112	-3,024	-0,001	0,000	+0,003	0,000
46	37,4	-0,001	+0,001	+0,117	-2,916	0,000	0,000	+0,003	-0,003
47	47,4	-0,001	+0,001	-0,471	-3,601	0,000	0,000	+0,004	-0,004
48-62	180,0	-0,001	+0,001	-3,864	-3,931	+0,004	-0,004	+0,004	-0,004
Total . . .				+2,664	-29,232	+0,837	-0,705	-0,447	+0,401

Action compensatrice du défaut de masse pour diverses profondeurs de compensation.

Station	Composante N-S			Composante E-W			N-S		E-W	
	$T=100$	$T=120$	$T=140$	$T=100$	$T=120$	$T=140$	a	b	a	b
	km			km						
Gurten	+ 3,50	+ 2,66	+ 1,96	-29,68	-29,23	-28,83	-0,385	+0,0175	+0,212	-0,0062
Berra	+ 3,34	+ 2,46	+ 1,74	-31,02	-30,38	-29,83	-0,400	+0,0200	+0,298	-0,0238
La Dôle	- 1,32	- 1,55	- 1,78	-32,26	-31,71	-31,20	-0,115	0,0000	+0,265	-0,0050
Gæbris	+ 5,58	+ 4,61	+ 3,79	-26,46	-26,10	-25,78	-0,448	+0,0188	+0,170	-0,0050
Generoso	-19,83	-18,60	-17,56	-20,41	-20,45	-20,49	+0,568	-0,0238	-0,020	0,0000
Gurnigel	+ 4,02	+ 3,03	+ 2,23	-29,69	-29,21	-28,79	-0,448	+0,0238	+0,225	-0,0075
Lægern	+ 3,71	+ 3,19	+ 2,70	-27,45	-27,19	-26,94	-0,252	+0,0038	+0,128	-0,0012
Martinsbruck	- 4,00	- 4,30	- 4,53	-22,01	-21,89	-21,78	-0,132	+0,0088	+0,058	-0,0012
Righi	+ 4,41	+ 3,46	+ 2,63	-27,85	-27,41	-27,03	-0,445	+0,0150	+0,205	-0,0075
Rochers-de-Naye	+ 0,55	- 0,13	- 0,69	-31,82	-30,99	-30,30	-0,310	+0,0150	+0,380	-0,0175
St-Gothard	- 5,14	- 5,21	- 5,19	-23,69	-23,63	-23,62	-0,012	+0,0112	+0,018	-0,0062
Weissenstein	+ 3,80	+ 3,21	+ 2,69	-28,60	-28,35	-28,10	-0,280	+0,0075	+0,125	0,0000
Bâle	+ 3,49	+ 3,01	+ 2,57	-28,13	-27,86	-27,60	-0,230	+0,0050	+0,132	-0,0012
Genève	- 1,62	- 1,96	- 2,26	-33,26	-32,52	-31,86	-0,160	+0,0050	+0,350	-0,0100
Neuchâtel	+ 2,15	+ 1,52	+ 1,09	-29,59	-29,30	-29,01	-0,265	+0,0250	+0,145	0,0000
Zurich	+ 4,43	+ 3,72	+ 3,09	-27,20	-26,88	-26,59	-0,335	+0,0100	+0,152	-0,0038
	Moyenne des valeurs absolues:						0,30		0,18	

2

T_e peut produire une variation de plus d'une demi-seconde dans la composante de l'action compensatrice; en moyenne et en valeur absolue, cet écart atteint

0,30 pour la composante N—S

0,18 » » » W—E

L'influence d'un changement de T est beaucoup plus grande sur la composante N—S que sur la composante W—E; ce fait s'explique fort simplement comme le montre le tableau numérique relatif à la station Gurten: les valeurs les plus élevées de η_e dépendent des masses les plus éloignées, pour lesquelles les coefficients Ψ sont petits, — tandis que les valeurs les plus grandes de ξ_e doivent être attribuées aux Alpes dont l'éloignement correspond à des valeurs assez grandes de Ψ .

CHAPITRE V.

Les erreurs.

Les déviations du zénith, calculées dans le chapitre II, sont soumises à diverses causes d'erreurs que nous pouvons classer en deux groupes:

- A. erreurs dues à l'incertitude des constantes et des profondeurs h_o resp^t t_o ; ces quantités ne sont pas des valeurs exactes, mais seulement des valeurs approchées;
- B. erreurs produites par les hypothèses faites dans le but de simplifier les calculs.

Dans le premier groupe d'erreurs, il faut citer celles qui proviennent:

- 1^o du rayon de la Terre R ;
- 2^o de la densité Θ_o de l'écorce terrestre; de la densité Θ_T du défaut de masse et de la densité moyenne Θ_m de la Terre;
- 3^o de la profondeur de compensation T ;
- 4^o des hauteurs h_o et des profondeurs t_o attribuées aux masses extérieures.

Parmi les simplifications, causes d'inexactitudes, on peut mentionner:

- 1^o la Terre est une sphère;
- 2^o les calculs sont basés sur la décomposition du terrain en compartiments de dimensions finies auxquels on donne une altitude constante;
- 3^o la hauteur moyenne des grands secteurs est déterminée en décomposant ces secteurs en éléments plus petits, égaux entre eux, et en prenant la moyenne arithmétique des hauteurs de ces éléments; ceux-ci devraient être choisis de grandeur inégale.

A) Influence de l'incertitude des constantes.

Soit u l'une quelconque des grandeurs utilisées dans les calculs et soit Δu la correction qu'il faut ajouter à u pour en obtenir la valeur exacte; désignons par ϱ la composante de la déviation du zénith calculée au moyen de u . Dans ce cas, la correction $\Delta\varrho$, qui correspond à Δu , sera donnée par:

$$\Delta\varrho = \sum \frac{\partial\varrho}{\partial u} \Delta u,$$

à la condition que Δu soit assez petit pour qu'il soit permis d'abandonner les termes de l'ordre supérieur au premier. Si la grandeur u est un facteur dans l'expression analytique de la composante, il vient:

$$\frac{\partial\varrho}{\partial u} = \frac{\varrho}{u}.$$

En revanche, si la relation entre ϱ et u est plus compliquée (s'il s'agit par exemple de la hauteur relative h aux petites distances), la valeur numérique de la dérivée se déduit de la manière la plus simple en utilisant les tables de réduction construites spécialement pour les calculs.

1. *Le rayon de la Terre.* Nous avons admis $R = 6370,6$ km, resp^t. 6371 km; c'est le rayon d'une sphère de même volume que l'ellipsoïde terrestre (BESSEL, CLARKE ou HAYFORD-HELMERT), l'incertitude restant inférieure à ± 1 km. L'erreur qui en résulte ne dépasse pas ± 1 pour mille dans ϱ et peut être considérée comme négligeable.

2. *Les densités Θ_o , Θ_m et Θ_T .* Si nous supposons que les erreurs $\Delta\Theta_o$ et $\Delta\Theta_m$ sont respectivement égales à 1 pour cent des valeurs Θ_o et Θ_m , c'est-à-dire si

$$\Delta\Theta_o = \pm 0,027$$

et

$$\Delta\Theta_m = \pm 0,055,$$

nous aurons, abstraction faite du signe,

$$\Delta\varrho = \frac{1}{100} \varrho$$

et les composantes ne seront exactes qu'à 1 pour cent près.

L'erreur produite dans ϱ par l'incertitude de Θ_m , densité moyenne de notre planète, n'est pas plus élevée, puisque 0,05 peut être considéré comme la limite supérieure de $\Delta\Theta_m$. Par contre, dans certains cas, l'erreur $\Delta\Theta_o$ peut dépasser sensiblement 0,027. A la station Gurten, par exemple, au milieu du plateau molassique suisse, nous aurions dû remplacer la valeur 2,73 par 2,5 pour les 23 premières zones, c'est-à-dire jusqu'à la distance de 30 km. Dans cette région nous aurions obtenu avec $\Theta_o = 2,5$:

topographiquement:	$\xi_t = -13,33$ au lieu de $-13,81$,
	$\eta_t = +32,55$ au lieu de $+32,62$;
isostatiquement:	$\xi_i = -10,26$ au lieu de $-10,69$,
	$\eta_i = + 3,39$ au lieu de $+ 3,44$.

Ces variations des composantes correspondent à une variation de la densité moyenne de:

	Composante	
	topographique	isostatique
composante N-S:	$\Delta\Theta_o = 0,10$;	$\Delta\Theta_o = 0,11$
composante W-E:	$= 0,01$;	$= 0,04$

On constate que l'erreur de Θ peut atteindre ici 4 pour cent. Mais pour les autres stations qui ne se trouvent pas dans une situation aussi défavorable que Gurten, il suffit d'évaluer à 1 pour cent l'influence d'une erreur de Θ .

Dans le chapitre III, nous avons étudié comment variaient les composantes isostatiques de la déviation lorsque la densité du défaut de masse n'était plus calculée à l'aide de l'hypothèse de HAYFORD, mais au moyen d'une forme compensée de la surface terrestre.

Cette compensation modérée nous a fourni — dans les résultantes — des écarts moyens de 0,1 à 0,2 (par suite, il faudrait évaluer l'erreur de chaque composante à $\pm \frac{0,15}{\sqrt{2}}$). Toutefois nous attribuons à cette erreur la valeur $\pm 0,15$ en nous basant sur le fait qu'une plus forte compensation des hauteurs aurait donné des valeurs de Θ_T plus voisines de la réalité et aurait accentué les divergences par rapport aux résultats du chapitre II. Il faut remarquer d'autre part que les calculs du chapitre III sont tout à fait indépendants de ceux du chapitre II; les écarts constatés contiennent donc l'influence des autres causes d'erreurs (par ex., l'incertitude des hauteurs moyennes h_0).

3. *La profondeur de compensation.* Le chapitre IV est consacré à l'étude de l'influence d'un changement de la profondeur de compensation sur les composantes isostatiques; d'après la page 81, une variation de $\Delta T = 10$ km modifie

la composante N-S de 0,30,
la composante W-E de 0,18.

4. *Les hauteurs relatives h.* Tandis que les grandeurs R , Θ et T produisent des erreurs de nature systématique, nous pouvons considérer comme accidentelles les erreurs dues à l'incertitude des hauteurs h ; leur influence sur le résultat sera donc exprimée par:

$$\sqrt{\sum \left(\frac{\partial g}{\partial h} \Delta h \right)^2} \quad (\text{calcul topographique}),$$

$$\sqrt{\sum \left(F \frac{\partial g}{\partial h} \Delta h \right)^2} \quad (\text{calcul isostatique});$$

la sommation doit s'étendre sur toutes les zones et sur tous les secteurs.

A partir de la zone où la correction topographique est nulle et jusqu'à la zone 47, on peut poser dans la première expression

$$\frac{\partial g}{\partial h} = 0,0001.$$

Au delà le réseau des zones et secteurs est construit à l'aide de

$$F \frac{\partial g}{\partial h} = 0,0000001.$$

Or, dès la zone 48, F est à peu près constant; ce facteur égale 0,00465 et l'on peut admettre ici pour le calcul des erreurs:

$$\frac{\partial g}{\partial h} = \frac{1}{46500}.$$

Dans les zones voisines de la station, $\frac{\partial g}{\partial h}$ dépend de la hauteur relative. Le tableau suivant s'applique aux quatre premières zones:

Zone	Nombre des secteurs	h	$10^4 \frac{\partial \varrho}{\partial h}$	Δh	$\left(10^4 \frac{\partial \varrho}{\partial h} \Delta h\right)^2$
1	$n = 16$	20 m	18,0	± 5 m	8100
2	32	60	2,3	6	196
3	32	100	1,7	6	100
4	32	120	1,3	7	81

Les hauteurs relatives h correspondent à un profil moyen du terrain et les Δh sont supposés constants dans une même zone. Il en résulte

$$\sqrt{\sum \left(n \frac{\partial \varrho}{\partial h} \Delta h \right)^2} = \pm 0,044.$$

Au surplus, nous voyons que $\frac{\partial \varrho}{\partial h}$ s'écarte fort peu de 0,0001, dans la quatrième zone déjà; nous admettrons par suite cette valeur dès la zone 5.

Il s'agit maintenant de calculer l'erreur de la composante topographique à partir de la 5^e zone; pour cela il nous faut connaître Δh en fonction du rayon des zones; la marche de cette fonction pourrait être déterminée par une étude particulière de l'exactitude des hauteurs h ; il suffit pourtant de faire une supposition plausible confirmée par quelques essais. Nous poserons comme erreur probable Δh de l'altitude relative d'un compartiment des zones 5 et suivantes:

$$\Delta h = 5 \sqrt{a} \text{ (en mètres)}$$

où

$$a = \sqrt{a_i a_k} \text{ (en kilomètres).}$$

Cette relation donne

Zone	$\sqrt{a_i a_k}$	Δh
7	1,05 km	± 5 m
15	5,5	12
27	67,4	41
31	155,4	62
34	291	85
38	674	130

Pour contrôler ces indications, nous avons évalué au moyen du planimètre les hauteurs moyennes d'un grand nombre de compartiments, tant sur la carte Siegfried (1 : 25000) que sur la carte orohydrographique (1 : 500000); en comparant les résultats ainsi obtenus aux altitudes déterminées «à l'estime», on obtient h_{estime} moins $h_{planimètre}$:

	Nombre des compartiments	Grandeur	Différences: „estime“	moins „planimètre“
			Moyenne algébrique $\frac{1}{n} \Sigma \Delta h$	Moyenne quadratique $\sqrt{\frac{\Sigma \Delta h^2}{n}}$
Carte Siegfried	70	1 × 1 km ²	0,3 m	± 13 m
Carte orohydrographique .	15	10 × 10 km ²	- 5 m	± 30 m

Dans les zones 15, resp^t. 27, la grandeur moyenne d'un compartiment est de 1, resp^t. 100 km². La relation $\Delta h = 5 \sqrt{a}$ fournit des valeurs un peu trop faibles pour $a < 5$ km et des valeurs un peu trop grandes pour les distances dépassant 50 à 60 km; pour la plupart des zones, cette égalité représente d'une manière fort satisfaisante l'allure des erreurs Δh en fonction de l'éloignement a . Nous ne l'appliquons du reste que jusqu'à la zone 38, la dernière pour laquelle les hauteurs ont été calculées indépendamment les unes des autres dans toutes les stations. On a utilisé un procédé d'interpolation dans les zones 39 à 47 (voir page 68); ces zones sont tracées sur les régions les moins accidentées du continent européen ou sur les mers voisines; on peut donc admettre que l'erreur y est relativement petite et poser

$$\Delta h = \pm 100 \text{ m.}$$

De la zone 48 jusqu'à la dernière zone, à l'antipode de la station, nous posons $\Delta h = \pm 500$ m pour indiquer que l'exactitude des h n'a pas été poussée au delà de ce qui est nécessaire pour calculer la composante isostatique avec une précision suffisante. Des 32×15 compartiments de ces zones, 154 se trouvent sur les continents, 324 dans la mer et 2 dans les régions polaires où manque toute indication d'altitude. Pour les profondeurs des compartiments maritimes, l'incertitude peut être évaluée à

$$\Delta t = \Delta h \frac{\Theta_o - \Theta_e}{\Theta_o} = \pm 500 \cdot 0,624 = \pm 312 \text{ m.}$$

Les erreurs admises pour Δh nous donnent les apports des divers groupes de zones à l'erreur totale de la composante; ce sont:

zones	Incertainitude de la composante:	
	topographique	isostatique
1 à 4	± 0,044	± 0,044
5 à 38	0,16	0,044
39 à 47	0,17	0,001
48 à 62	0,18	0,001

L'erreur totale est égale à la racine carrée de la somme des carrés, savoir:

composante topographique:	± 0,30
„ isostatique:	± 0,05

B) Erreurs dues aux simplifications introduites dans les calculs.

1. *La Terre est une sphère.* Pour calculer les composantes, nous avons admis que les masses perturbatrices étaient placées sur une sphère et non sur un ellipsoïde. La différence entre le rayon équatorial et le rayon polaire est environ 21 km. Supposons qu'à l'équateur une masse soit déplacée verticalement de 10,5 km, et calculons la variation que subit l'attraction horizontale en un point du même méridien, à 45° de latitude. Cette variation n'atteint pas le 0,8 pour mille de l'attraction horizontale; c'est le maximum de l'erreur; par suite la substitution d'une sphère à l'ellipsoïde terrestre reste sans effet appréciable sur les calculs.

Au surplus, il faut remarquer que dans les stations de latitude moyenne, l'erreur maximum est produite par les masses dont l'éloignement rend à peu près nul le facteur de la réduction isostatique.

2. *Les zones et secteurs ont des dimensions finies.* Au lieu d'être infiniment petits, les compartiments ont des dimensions finies; il n'en résulte une erreur que là où l'attraction horizontale n'est pas proportionnelle à l'altitude; c'est le cas dans les premières zones où il faut introduire la correction topographique. Pour évaluer cette erreur, nous supposons que la pente du terrain est constante à l'intérieur de la zone et qu'elle croît ou décroît du rayon a_i jusqu'au rayon a_k . Soient

h_i la hauteur à la distance a_i

h_k la hauteur à la distance a_k

et

$$h_m = \frac{h_i + h_k}{2} .$$

Désignons par v la partie de la « correction topographique » due au compartiment envisagé; nous donnerons à cette quantité l'indice i , k ou m , suivant que le calcul est effectué avec h_i , h_k ou h_m . La valeur de la déviation a été déterminée à l'aide de v_m qui est inexact, tandis que

$$v = \frac{1}{2} \left(v_m + \frac{v_i + v_k}{2} \right)$$

peut être considéré comme une valeur très approchée de la valeur exacte. L'erreur peut donc être estimée à l'aide de l'expression

$$v - v_m = \frac{1}{2} \left(\frac{v_i + v_k}{2} - v_m \right);$$

dans les premières zones, elle prend les valeurs numériques suivantes, pour les hauteurs indiquées h_i et h_k :

Zone	h_m	$h_k - h_i$	$v - v_m$
1	20 m	40 m	- 0",0130
2	60	40	- ,0003
3	40	40	- ,0001

L'erreur diminue donc rapidement quand la distance augmente; en général, elle est même insensible, car le terrain présente presque toujours une pente beaucoup plus faible que celle admise ci-dessus.

3. *Les grands compartiments ont été décomposés en parties à peu près égales.* Il faut envisager deux cas:

a) Aux grandes distances, les grands compartiments ont été partagés en traçant la circonférence médiane, de rayon $\frac{a_i + a_k}{2}$, et en divisant l'angle $\varphi_m - \varphi_l$ en parties égales.

b) L'altitude moyenne des secteurs

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1, 15, 17, 32 & \text{N-S} \\ 8, 9, 24, 25 & \text{W-E} \end{array} \right\}$$

a été égalée à la moyenne arithmétique des hauteurs dans les secteurs:

$$\left\{ \begin{array}{ll} (1, 2, 3, 4), (13, 14, 15, 16), \text{ etc.} & \text{W-E} \\ (5, 6, 7, 8), (9, 10, 11, 12), \text{ etc.} & \text{N-S} \end{array} \right\}$$

a) On aurait pu éviter la première de ces erreurs si l'on avait donné à la circonférence médiane le rayon

$$\bar{a} = \sqrt{a_i a_k} \quad \text{au lieu de} \quad a = \frac{a_i + a_k}{2},$$

et si, en azimut, à la place de

$$\varphi = \frac{\varphi_m + \varphi_l}{2}$$

on avait admis la valeur $\bar{\varphi}$ donnée par la condition:

$$\sin \bar{\varphi} = \frac{1}{2} (\sin \varphi_m + \sin \varphi_l)$$

resp^t.

$$\cos \bar{\varphi} = \frac{1}{2} (\cos \varphi_l + \cos \varphi_m).$$

Pour faire voir que l'erreur commise, en admettant a et φ au lieu de \bar{a} et $\bar{\varphi}$, est insignifiante, il faut examiner les rapports des écarts $\bar{a} - a$ et $\bar{\varphi} - \varphi$ aux dimensions du compartiment

$$\frac{\bar{a} - a}{a_k - a_i} \quad \text{et} \quad \frac{\bar{\varphi} - \varphi}{\varphi_m - \varphi_l}.$$

Le premier rapport ne dépend que du quotient $\frac{a_k}{a_i}$ et vaut 1:36. La valeur approchée du second est

$$- \frac{\sin 1'}{8} (\varphi_m - \varphi_l) \operatorname{tg} \varphi$$

lorsque $(\varphi_m - \varphi_l)$ est exprimé en minutes d'arc. Sa valeur numérique absolue est 1:1420 pour les secteurs d'ouverture minimum et 1:27 pour les secteurs les plus larges. A l'échelle des cartes utilisées, les limites des subdivisions des compartiments auraient dû être déplacées d'une petite fraction de millimètre. C'est dire que l'erreur est négligeable.

b) Examinons maintenant la deuxième cause d'erreur.

Il y a lieu de noter d'abord que les quatre petits secteurs d'une composante (1, 2, 3, 4 W-E) ne couvrent pas exactement le secteur correspondant (1 N-S) de l'autre. L'erreur qui en résulte peut être évaluée facilement. Les quatre secteurs ont 30° de largeur totale; le grand secteur ne mesure que 28° 57'. Nous désignons par:

h la hauteur moyenne dans l'espace de 0 à 30° correspondant aux quatre petits secteurs;

H la hauteur moyenne dans le grand secteur de 28° 57' d'ouverture;

h' la hauteur moyenne de la surface comprise entre 28° 57' et 30°.

Nous avons ainsi

$$h = \frac{1,05 h' + 28,95 H}{30} .$$

En faisant $h = H$, on commet une erreur

$$H - h = \frac{1,05 (H - h')}{30}$$

qui est accidentelle, puisque $H - h'$ est aussi bien positive que négative; comme elle existe dans chaque quadrant, l'erreur Δh_{φ} pour la zone entière sera approximativement

$$\Delta h_{\varphi} = \frac{H - h'}{15} .$$

Si l'on en forme la somme sur toutes les zones où apparaît cette cause d'erreurs, soit jusqu'à la zone 47, on obtient comme incertitude de la composante topographique

$$\pm 10^{-4} \sqrt{\Sigma \Delta h_{\varphi}^2} .$$

On ne tient pas compte du fait que, dans les premières zones, $\frac{\partial \varrho}{\partial u}$ n'est pas égale à 10^{-4} .

Pour obtenir sans peine une valeur numérique de l'expression ci-dessus, nous égalons h' à l'altitude du petit secteur auquel appartient l'espace 28° 57' — 30°. Par exemple

$$H_1 (N-S) = \frac{1}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (W-E)$$

et

$$h' = h_4 \quad (W-E) .$$

Si nous effectuons les calculs à l'aide des nombres obtenus pour la composante N-S de la station Righi, il vient

$$\pm 10^{-4} \sqrt{\Sigma \Delta h_{\varphi}^2} = \pm 10^{-4} \sqrt{15\,000} = \pm 0,01 .$$

Quant à l'erreur principale, celle faite en posant, par exemple,

$$h_1 (N-S) = \frac{1}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (W-E) ,$$

alors qu'il eût fallu donner à ces hauteurs des poids proportionnels aux différences des sinus, respectivement cosinus, des azimuts, nous pouvons l'évaluer de la manière suivante:

Les altitudes h_1, h_2, h_3, h_4 trouvées dans le calcul de la composante W-E, doivent être affectées des poids

$$\sin \varphi_1 - \sin \varphi_m = 0,008 ; 0,024 ; 0,041 ; 0,061$$

dans le calcul de l'autre composante; en réalité on leur a donné le même poids

$$\frac{1}{8} : 4 = 0,031 .$$

Si l'on considère les quatre quadrants, l'erreur « calcul exact — calcul approché » sera, dans chaque zone:

$$\frac{1}{8} \left\{ \begin{aligned} &0,240 (h_4 + h_{13} - h_{20} - h_{29}) \\ &+ 0,080 (h_3 + h_{14} - h_{19} - h_{30}) \\ &+ 0,056 (-h_2 - h_{15} + h_{18} + h_{31}) \\ &+ 0,184 (-h_1 - h_{16} + h_{17} + h_{32}) \end{aligned} \right\} .$$

Pour simplifier, remplaçons les deux coefficients les plus petits 0,080 et 0,056, ainsi que les coefficients les plus forts, 0,240 et 0,184, par leurs moyennes respectives 0,068 et 0,212; il en résultera, quand même, une approximation suffisante de l'erreur cherchée. Nous obtenons alors, comme expression de l'erreur dans la composante N-S (en secondes d'arc):

$$10^{-4} \sum \left\{ \begin{aligned} &0,212 (h_4 - h_1 + h_{13} - h_{16} + h_{17} - h_{20} + h_{32} - h_{29}) \\ &+ 0,068 (h_3 - h_2 + h_{14} - h_{15} + h_{18} - h_{19} + h_{31} - h_{30}) \end{aligned} \right\} ;$$

pour avoir l'erreur de la composante isostatique, il faut encore multiplier sous le signe Σ par le facteur de la réduction isostatique.

Les calculs numériques ont été exécutés, pour la composante N-S, dans les deux stations Bâle et Righi, les écarts obtenus, dans le sens « calcul exact moins calcul approché », sont les suivants:

	Erreur de la composante N-S		Valeur de la composante	
	topographique	isostatique	topographique	isostatique
Righi.	-0,58	-0,31	23"	19"
Bâle	-0,08	-0,02	8"	5"

Par conséquent, la méthode appliquée dans la recherche de l'altitude des grands secteurs produit des erreurs qui peuvent atteindre 1 à 2 pour cent.

Signalons enfin que la distorsion du papier des cartes peut aussi provoquer de petites erreurs; mais nous n'en tiendrons pas compte dans les calculs. Sauf dans le cas exceptionnel d'une distorsion particulièrement forte, ces erreurs ne sauraient dépasser celles que nous avons étudiées page 88.

Résumé.

Les valeurs moyennes des composantes de la déviation du zénith sont:

	Composante	
	topographique	isostatique
N-S	10''	8''
W-E	30''	5''

Nous pouvons donc évaluer l'influence des diverses causes d'erreurs et obtenons ainsi la table ci-dessous.

Les erreurs de nature accidentelle sont précédées du signe \pm ; les erreurs systématiques possèdent un signe, dans le sens «valeur exacte moins valeur approchée», quand ce sens a pu être déterminé.

Récapitulation des erreurs.

	Erreur de la composante			
	N-S	E-W	N-S	E-W
	topographique		isostatique	
A. Les constantes				
1. Rayon de la Terre	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Densités: θ_o	0,00	0,30	0,08	0,05
θ_m	0,10	0,30	0,08	0,05
θ_T	—	—	0,15	0,15
3. Profondeur de compensation T	—	—	0,30	0,18
4. Hauteurs h	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$
B. Les simplifications				
1. Terre sphérique	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Compartiments finis	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
3. Erreurs des grands secteurs:				
a) décomposition inexacte	0,00	0,00	0,00	0,00
b) moyenne inexacte	0,01	0,01	0,00	0,00
	0,15	0,45	0,12	0,08

Ce résumé fait voir que la plupart des erreurs sont systématiques; si elles influençaient toutes les résultats dans le même sens, il faudrait ajouter à l'erreur accidentelle, due principalement à l'incertitude des hauteurs h , un terme systématique; nous évaluons ce terme à:

CHAPITRE VI.

Discussion des résultats.

Le chapitre II est consacré au calcul des déviations du zénith dans deux hypothèses différentes. La première nous a donné les *déviations topographiques*; elle suppose que les *masses extérieures*, l'eau des océans et les masses dépassant le niveau de la mer, sont des masses perturbatrices placées sur les couches homogènes du globe terrestre. La deuxième hypothèse est celle de l'*isostasie*: les *masses extérieures* sont compensées, dans l'écorce de la Terre, par des défauts ou des excès de masse.

Pour examiner la validité de ces hypothèses, nous comparons les *déviations calculées* du zénith avec les *déviations observées*. Dans ce but, nous supposons qu'à l'origine la Terre était formée d'un ensemble de couches homogènes concentriques, limité extérieurement au niveau de la mer; les inégalités de la surface du globe se seraient produites soit par l'apport des masses extérieures (*hypothèse topographique*), soit par une sorte de dilatation ou de contraction des masses comprises entre le niveau de la mer et la surface de compensation, à 120 km de profondeur (*hypothèse isostatique*).

Considérons la verticale d'un point P d'altitude H ; nous représentons par

$$\Phi'_0$$

la latitude géographique de ce point dans le cas du globe terrestre idéal, non déformé, dont il a été question plus haut; soit

$$\lambda'_0$$

la longitude de ce point, comptée positivement vers l'est, le méridien initial étant arbitraire.

Si, à l'aide de l'une ou de l'autre des deux hypothèses, nous passons de l'état idéal de la Terre à son état perturbé, la direction du zénith change et les composantes de cette déviation peuvent être identifiées avec les grandeurs ξ et η calculées dans le chapitre II; soient Φ' et λ' les nouvelles coordonnées du point P ; nous aurons:

$$\begin{aligned}\Phi' &= \Phi'_0 - \xi, \\ \lambda' &= \lambda'_0 - \eta \sec \Phi'_0,\end{aligned}$$

ξ étant compté positivement vers le sud et η vers l'ouest.

Dans la dernière égalité, les longitudes λ' et λ'_0 peuvent être remplacées par les azimuts α' et α'_0 d'une horizontale quelconque, puisque ces grandeurs satisfont à l'équation de Laplace:

$$(\lambda' - \lambda'_0) \sin \Phi'_0 = \alpha' - \alpha'_0 ;$$

on obtient ainsi

$$\alpha' = \alpha'_0 - \eta \operatorname{tg} \Phi'_0 .$$

Soient

$$\Phi, \lambda \text{ et } \alpha$$

les valeurs observées de la latitude, de la longitude et de l'azimut; elles ne seront pas identiques aux grandeurs Φ' , λ' et α' ; et les désaccords seront d'autant plus grands que la répartition réelle des masses différera davantage de celle correspondant au calcul des composantes ξ et η . Considérons ces écarts comme des corrections des déviations calculées et désignons leurs composantes par $\Delta\xi$ et $\Delta\eta$; il vient:

$$\begin{aligned} \Phi' &= \Phi + \Delta\xi, \\ \lambda' &= \lambda + \Delta\eta \operatorname{sec} \Phi, \\ \alpha' &= \alpha + \Delta\eta \operatorname{tg} \Phi. \end{aligned}$$

En substituant ces valeurs dans les expressions précédentes, on obtient:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi'_0 - (\xi + \Delta\xi), \\ \lambda &= \lambda'_0 - (\eta + \Delta\eta) \operatorname{sec} \Phi, \\ \alpha &= \alpha'_0 - (\eta + \Delta\eta) \operatorname{tg} \Phi. \end{aligned}$$

où Φ a été mis à la place de Φ'_0 dans les termes qui contiennent le petit facteur $(\eta + \Delta\eta)$.

Pour rendre possible une comparaison entre l'observation et le calcul, nous devons encore remplacer les quantités inconnues Φ'_0 , λ'_0 et α'_0 , variables d'une station à l'autre, par des grandeurs constantes. Dans ce but, nous introduisons les *coordonnées géodésiques* Φ_0 et λ_0 , ainsi que l'*azimut géodésique* α_0 , obtenus par la *triangulation*, et écrivons d'abord les équations ci-dessus sous la forme:

$$\left. \begin{aligned} \xi + \Delta\xi &= \Phi_0 - \Phi + (\Phi'_0 - \Phi_0), \\ \eta + \Delta\eta &= (\lambda_0 - \lambda) \operatorname{cos} \Phi + (\lambda'_0 - \lambda_0) \operatorname{cos} \Phi, \\ \eta + \Delta\eta &= (\alpha_0 - \alpha) \operatorname{ctg} \Phi + (\alpha'_0 - \alpha_0) \operatorname{ctg} \Phi. \end{aligned} \right\} [1]$$

Or les derniers termes des seconds membres sont inconnus. Nous pouvons toutefois les supposer *constants*; en effet, les variations que subissent les différences $\Phi'_0 - \Phi_0$, $\lambda'_0 - \lambda_0$ et $\alpha'_0 - \alpha_0$ dans une région aussi peu étendue que la Suisse sont négligeables; elles le seraient, même dans le cas où l'ellipsoïde de référence, utilisé pour calculer les coordonnées géodésiques Φ_0 , λ_0 et α_0 , différerait sensiblement de la surface de niveau à laquelle se rapportent les coordonnées Φ'_0 , λ'_0 et α'_0 .¹⁾

Introduisons par suite les constantes ξ_0 et η_0 , en posant

$$\xi_0 = \Phi'_0 - \Phi_0$$

et

$$\eta_0 = (\lambda'_0 - \lambda_0) \operatorname{cos} \Phi = (\alpha'_0 - \alpha_0) \operatorname{ctg} \Phi,$$

¹⁾ Voir les formules exactes dans: HELMERT: *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie*, vol. 1, p. 534 et suivantes.

nous obtenons:

$$\left. \begin{aligned} \xi_o &= \xi + \Delta\xi + (\Phi - \Phi_o), \\ \eta_o &= \eta + \Delta\eta + (\lambda - \lambda_o) \cos \Phi, \\ \eta_o &= \eta + \Delta\eta + (\alpha - \alpha_o) \operatorname{ctg} \Phi, \end{aligned} \right\} [2]$$

relations qui permettent d'examiner de combien le calcul s'écarte de l'observation.

Les valeurs numériques de ξ et η , à introduire dans les formules [2], sont tirées du chapitre II et réunies dans la table 1. La table 2 contient les déviations de la verticale, observées dans le méridien $\Phi - \Phi_o$, dans le parallèle $(\lambda - \lambda_o) \cos \Phi$ resp^t $(\alpha - \alpha_o) \operatorname{ctg} \Phi$. Nous les avons tirées du volume 10 de: «*Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz*», pages 264 et suivantes, à l'exception des déviations en azimut pour Genève et Bâle et des déviations en longitude.

D'après les «*Lotabweichungen, Heft II, Veröffentlichung des preussischen geodätischen Institutes*», *Neue Folge, Nr. 19*, la déviation de la verticale en azimut, à Genève, a pour valeur

$$\alpha - \alpha_o = -1''35$$

Pour Bâle, nous utilisons les résultats non publiés des déterminations de l'azimut de la Hohe Winde; lorsque le temps est favorable, cet azimut peut être rattaché, grâce au fil mobile du micromètre, à l'azimut de la lunette méridienne de l'observatoire. A l'aide de quatre mesures faites en 1899, M. TH. NIETHAMMER a obtenu:

Azimut astronomique de la Hohe Winde (du Nord à l'Est, rapporté à la position moyenne du pôle)

$$180^\circ 08' 22''09 \pm 0''25.$$

Azimut géodésique (voir «*Das schweizerische Dreiecknetz*», vol. **18**, p. 85)

$$180^\circ 08' 21''97.$$

La déviation de la verticale en azimut s'élève par suite à

$$\alpha - \alpha_o = +0''12.$$

Quant aux déviations en longitude, elles ont été déterminées en combinant les résultats obtenus de 1861 à 1872, avec les résultats des mesures exécutées de 1912 à 1914 et de 1919 à 1923. Voici comment la compensation du réseau des nouvelles longitudes fournit la deuxième colonne de la table suivante; ces longitudes, rapportées au méridien de Genève, doivent être ramenées au méridien de Berne sur lequel est basée la triangulation de la Suisse. La différence Berne-Genève a été choisie de manière à annuler, dans la moyenne, les différences entre les nouvelles et les anciennes valeurs des longitudes. Dans toutes les stations de longitude, les azimuts étant connus, on peut calculer les résidus v de l'équation de LAPLACE

$$v = (\lambda - \lambda_o) \sin \Phi - (\alpha - \alpha_o).$$

Station	Longitudes astronomiques par rapport à			Différences anciennes moins nouvelles	$\Delta\lambda_o$	$\Delta\lambda_o$ moins moyenne	Longitudes géodésiques par rapport à Berne	Déviations en longitude („observées“) $\lambda - \lambda_o$
	Genève	Berne	Berne Anciennes déterminations					
Gæbris . . .	+3° 18' 59,58	+2° 01' 42,89	41,73	-1,16	+0,97	-3,10	+2° 01' 41,96	+ 0,93
Gurten . . .	+1 17 32,33	+0 00 15,64	—	—	+6,38	+2,31	+0 00 14,50	+ 1,14
Righi . . .	—	+1 02 —	40,06	—	+2,94	-1,13	+1 02, 44,54	- 4,48
Weissenstein	—	+0 04 —	19,23	—	+5,91	+1,84	+0 04 15,75	+ 3,48
Bâle . . .	+1 25 43,37	+0 08 26,68	—	—	+4,66	+0,59	+0 08 27,12	- 0,44
Genève . . .	—	-1 17 16,69	15,45	+1,24	+3,93	-0,14	-1 17 14,96	- 1,73
Neuchâtel . .	+0 48 18,63	-0 28 58,06	57,09	+0,97	+4,83	+0,76	-0 29 09,85	+11,79
Zurich . . .	+2 23 56,16	+1 06 39,47	38,41	-1,06	+2,92	-1,15	+1 06 40,09	- 0,62
Moyenne:					+4,07	±1,38		

Si l'on attribue l'écart à la longitude du méridien initial et si l'on pose

$$v = \Delta\lambda_0 \sin \Phi,$$

on obtient les valeurs de $\Delta\lambda_0$ portées dans la 6e colonne et dont la moyenne arithmétique est 4",07. Nous corrigeons de cette quantité toutes les longitudes géodésiques publiées dans «*Das schweizerische Dreiecknetz*», vol. 10, pages 264 et suivantes; ainsi, que l'on parte des longitudes ou des azimuts, les valeurs observées des déviations de la verticale dans le sens est-ouest forment un système libre de toute contradiction. Ces valeurs sont réunies dans la dernière colonne.

Pour les stations où l'on a déterminé la longitude et l'azimut, on utilisera les moyennes des déviations en parallèle déduites de la longitude et de l'azimut.

Table 1.

Station	Déviations du zénith			
	calcul topographique		calcul isostatique	
	ξ_t	η_t	ξ_i	η_i
Berra	-14",64	+42",36	-12",19	+12",02
Dôle	+ 5,24	+29,13	+ 3,65	- 2,20
Gæbris	-14,30	+26,79	- 9,71	+ 0,82
Generoso	+30,55	+25,82	+11,89	+ 6,06
Gurnigel	-23,78	+27,56	-20,76	- 1,33
Gurten	-13,81	+32,62	-10,69	+ 3,44
Lægern	- 4,40	+28,06	- 1,48	+ 1,08
Martinsbruck	+ 2,03	+22,96	- 2,55	+ 1,10
Righi	-22,64	+33,66	-19,35	+ 6,18
Rochers-de-Naye	- 4,90	+52,34	- 5,06	+21,34
St-Gothard	+12,12	+16,32	+ 6,68	- 7,15
Weissenstein	- 1,19	+26,58	+ 1,73	- 1,52
Bâle	- 8,13	+29,10	- 4,90	+ 1,47
Genève	- 2,65	+37,80	- 4,36	+ 5,48
Neuchâtel	+ 4,45	+25,41	+ 6,15	- 3,86
Zurich	- 7,47	+31,78	- 3,72	+ 4,97

Table 2.

Station	Déviations „observées“ de la verticale			
	dans le méridien	dans le parallèle déduites de		moyenne
		l'azimut	la longitude	
Berra	+ 7",44	-10",01	—	-10",01
Dôle	-10,71	+ 7,65	—	+ 7,65
Gæbris	+ 2,58	- 1,47	+ 0",63	- 0,42
Generoso	-23,00	-12,42	—	-12,42
Gurnigel	+15,11	+ 6,14	—	+ 6,14
Gurten	+ 3,07	+ 2,36	+ 0,78	+ 1,57
Lægern	- 9,74	+ 4,13	—	+ 4,13
Righi	+12,37	- 3,82	- 3,05	- 3,44
Rochers-de-Naye	- 0,67	-16,06	—	-16,06
St-Gothard	+ 0,82	—	—	—
Weissenstein	-11,29	+ 3,62	+ 2,36	+ 2,99
Bâle	- 6,97	+ 0,11	- 0,30	- 0,10
Genève	- 4,39	- 1,29	- 1,20	- 1,24
Neuchâtel	-15,63	+ 8,56	+ 8,24	+ 8,30
Zurich	- 7,36	- 1,20	- 0,42	- 0,81

Dans la table 3, nous avons établi les sommes:

déviation « calculées » du zénith + déviations « observées » de la verticale.

Les moyennes doivent être considérées comme des valeurs approchées des inconnues ξ_0 et η_0 ; elles seraient les *valeurs les plus probables* si les écarts $\Delta\xi$ et $\Delta\eta$ se comportaient comme des erreurs accidentelles.

Table 3.

Station	Déviation „calculée“ du zénith plus déviation „observée“ de la verticale				Ecart du calcul				
	calcul topogr.		calcul isostatique		topographique		isostatique		$\Delta\varrho_i$
	méridien	parallèle	méridien	parallèle	$\Delta\xi_t$	$\Delta\eta_t$	$\Delta\xi_i$	$\Delta\eta_i$	
Berra	- 7,20	+ 32,35	- 4,75	+ 2,01	- 0,39	- 1,25	- 2,62	+ 0,86	2,75
Dôle	- 5,47	+ 36,78	- 7,06	+ 5,45	- 2,12	- 5,68	- 0,31	- 2,58	2,59
Gæbris	- 11,72	+ 26,37	- 7,13	+ 0,40	+ 4,13	+ 4,73	- 0,24	+ 2,43	2,49
Generoso	+ 7,55	+ 13,40	- 11,11	- 6,36	- 15,14	+ 17,70	+ 3,74	+ 9,23	9,96
Gurnigel	- 8,67	+ 33,70	- 5,65	+ 4,81	+ 1,08	- 2,60	- 1,72	- 1,94	2,58
Gurten	- 10,74	+ 34,19	- 7,62	+ 5,01	+ 3,15	- 3,09	+ 0,25	- 2,14	2,14
Lægern	- 14,14	+ 32,19	- 11,22	+ 5,21	+ 6,55	- 1,09	+ 3,85	- 2,34	4,50
Righi	- 10,27	+ 30,22	- 6,98	+ 2,74	+ 2,68	+ 0,88	- 0,39	+ 0,13	0,41
Rochers-de-Naye	- 5,57	+ 36,28	- 5,73	+ 5,28	- 2,02	- 5,18	- 1,64	- 2,46	2,91
St-Gothard	+ 12,94	-	+ 7,50	-	- 20,53	-	- 14,87	-	-
Weissenstein	- 12,48	+ 29,57	- 9,56	+ 1,47	+ 4,89	+ 1,53	+ 2,19	+ 1,40	2,61
Bâle	- 15,10	+ 29,00	- 11,87	+ 1,37	+ 7,51	+ 2,10	+ 4,50	+ 1,50	4,75
Genève	- 7,04	+ 36,56	- 8,75	+ 4,24	- 0,55	- 5,46	+ 1,38	- 1,33	1,94
Neuchâtel	- 11,18	+ 33,77	- 9,48	+ 4,44	+ 3,59	- 2,67	+ 2,11	- 1,57	2,65
Zurich	- 14,83	+ 30,97	- 11,08	+ 4,16	+ 7,24	+ 0,13	+ 3,71	- 1,29	3,92
Moyenne:	- 7,59	+ 31,10	- 7,37	+ 2,87	± 5,44	± 3,86	± 2,90	± 2,22	

Table 4.

Station	calcul topographique			calcul isostatique			$\Delta A_t =$	$\Delta A_i =$	$\varrho_t \sin \Delta A_t$	$\varrho_i \sin \Delta A_i$
	ϱ_t	$A_t + 180^\circ$	A_o	ϱ_i	$A_i + 180^\circ$	A_o	$A_o - (A_t + 180)$	$A_o - (A_i + 180)$		
		calcul	observation		calcul	observation	„observation“ moins „calcul“			
Berra	44,82	289,1	290,1	17,12	315,4	319,0	+ 1,0	+ 3,6	+ 0,7	+ 1,1
Dôle	29,60	259,8	262,4	4,26	148,9	125,0	+ 2,6	- 23,9	+ 0,3	- 1,7
Gæbris	30,37	298,1	287,9	9,74	355,2	341,7	- 10,2	- 13,5	- 5,4	- 2,3
Generoso	40,00	220,2	250,5	13,34	207,0	224,4	+ 30,3	+ 17,4	+ 20,2	+ 4,0
Gurnigel	36,40	310,8	312,3	20,80	3,7	8,3	+ 1,5	+ 4,6	+ 0,8	+ 1,7
Gurten	35,41	292,9	289,9	11,23	342,2	352,8	- 3,0	+ 10,6	- 1,8	+ 2,1
Lægern	28,40	278,9	265,4	1,83	323,9	152,2	- 13,5	- 171,7	- 6,6	- 0,3
Righi	40,57	303,9	300,0	20,31	342,3	342,2	- 3,9	- 0,1	- 2,8	0,0
Rochers-de-Naye	52,57	275,4	278,3	21,93	283,3	289,5	+ 2,9	+ 6,2	+ 2,6	+ 2,4
Weissenstein	26,61	272,6	262,5	2,30	138,7	178,4	- 10,1	+ 39,7	- 4,7	+ 1,5
Bâle	30,21	285,6	271,1	5,12	343,3	277,6	- 14,5	- 65,7	- 7,5	- 4,7
Genève	37,89	274,0	275,6	7,00	308,5	305,9	+ 1,6	- 2,6	+ 1,1	- 0,3
Neuchâtel	25,80	260,1	250,5	7,26	147,9	146,4	- 9,6	- 1,5	- 4,3	- 0,2
Zurich	32,65	283,2	270,4	6,21	306,8	270,2	- 12,8	- 36,6	- 7,2	- 3,7
Moyenne des valeurs absolues:									4,8	1,9

Dans la table 4 enfin, nous trouvons les valeurs des déviations:
en grandeur

$$\varrho = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$$

et en azimut

$$A = \text{arc tg } \frac{\eta}{\xi}.$$

Nous indiquons de plus les azimuts A_0 de la déviation observée de la verticale, formés à l'aide de

$$A_0 = \text{arc tg } \frac{(\alpha - \alpha_0) \text{ctg } \Phi - \eta_0}{(\Phi - \Phi_0) - \xi_0},$$

la composante « observée » dans le méridien $(\Phi - \Phi_0)$ étant diminuée de ξ_0 , celle observée dans le parallèle $(\alpha - \alpha_0) \text{ctg } \Phi$, resp^t $(\lambda - \lambda_0) \cos \Phi$, étant diminuée de η_0 .

Pour résoudre la question de savoir quelle est celle des deux hypothèses qui explique le mieux les déviations observées, nous pouvons prendre comme point de départ:

- 1° les constantes ξ_0 et η_0 ,
- 2° les résidus $\Delta \xi$ et $\Delta \eta$,
- 3° les écarts ΔA dans les azimuts.

Une représentation graphique des déviations « observées » et « calculées » se trouve sur la planche II.

1° En ce qui concerne d'abord les constantes ξ_0 et η_0 , il y a lieu d'apporter au point fondamental Berne une correction de:

	Dans le calcul	
	topographique	isostatique
composante nord-sud :	— 7",6	— 7",4
composante ouest-est :	+ 31",1	+ 2",9

Le terme correctif + 31",1 est très élevé; il est dû au fait que les masses principales des Alpes sont à l'est et au sud-est des stations et produisent en conséquence une déviation du zénith vers l'ouest. Pour la composante méridienne, les deux genres de calcul nécessitent à peu près la même correction. Quelle est celle des deux hypothèses qui correspond aux valeurs peu probables ξ_0 et η_0 ? Il n'est pas possible de le dire à l'aide des nombres obtenus ici. On ne parviendra à élucider cette question qu'en faisant intervenir des déviations de caractère continental. HELMERT a calculé des déviations de ce genre dans une étude d'ensemble des réseaux géodésiques de l'Europe centrale¹⁾. De ce travail, nous tirons les nombres suivants:

¹⁾ F. R. HELMERT: *Bericht über Lotabweichungen*. Comptes-rendus des séances de la Commission permanente de l'Association géodésique internationale, Nice 1887, Annexe Ia.

Station	Déviation sud-nord Ellipsoïde de			Déviation ouest-est Ellipsoïde de	
	Bessel	Clarke	Clarke	Bessel	Clarke
Déviation pour Rauenberg:	0''	0''	+ 5''		
Berne	+ 1,5	- 1,0	+ 4,0	+ 2,0	- 1,3
Righi	+13,9	+11,5	+16,5	- 5,6	- 8,4
Gæbris	+ 3,5	+ 1,3	+ 6,3	- 1,2	- 3,4
Genève	- 3,4	- 6,2	- 1,2	- 2,2	- 6,2
Zurich	- 4,5	- 6,7	- 1,7	- 1,9	- 4,6
Weissenstein	- 9,8	-12,1	- 7,1	+ 1,4	- 1,9
Neuchâtel	-13,8	-16,2	+ 14,2	+10,7	+7,1

Le point de repère choisi par HELMERT était Rauenberg près de Berlin; les diverses valeurs du tableau précédent correspondent à l'ellipsoïde de BESSEL ou à celui de CLARKE (1880), ainsi qu'à la valeur attribuée à la déviation nord-sud à Rauenberg.

Ces déviations de caractère continental, comparées aux déviations du réseau suisse (voir table page 95 et table 2, page 96), font constater que les différences atteignent quelques secondes d'arc seulement. Les résultats des recherches de HELMERT prouvent donc à l'évidence que des déviations particulièrement élevées ne peuvent exister en Suisse. Par conséquent, l'hypothèse qui sert de base au calcul topographique est beaucoup plus improbable que l'autre.

2° L'examen des résidus $\Delta \xi$ et $\Delta \eta$ de la table 3 conduit à la même conclusion. La moyenne de ces grandeurs est en valeur absolue:

calcul topographique	$\Delta \xi_i = 5,4$	$\Delta \eta_i = 3,9$,
calcul isostatique	$\Delta \xi_i = 2,9$	$\Delta \eta_i = 2,2$;

ainsi l'hypothèse «topographique» fournit des écarts à peu près doubles de ceux qui sont dus à l'hypothèse «isostatique». Celle-ci est donc préférable à la première.

3° Si l'on examine, dans la table 4, les différences ΔA des azimuts, il semble que le calcul isostatique est en désavantage, puisqu'il montre de plus grands désaccords. Or la divergence entre le calcul et l'observation ne doit pas être appréciée d'après les valeurs de ΔA , mais d'après les corrections dont il faut affecter les résultantes $\varrho = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ pour faire coïncider les directions calculées avec les directions observées; ces corrections

$$\varrho \sin \Delta A$$

se trouvent dans les deux dernières colonnes de la table 4; elles montrent également la supériorité de l'hypothèse isostatique, puisque la moyenne des valeurs absolues $|\varrho \sin \Delta A|$ est:

calcul topographique	4,8
calcul isostatique	1,9.

Sur la planche II nous avons représenté par des flèches hachurées les résultantes des résidus $\Delta \xi_i$ et $\Delta \eta_i$. L'échelle 1'' = 5 mm est cinq fois plus grande que celle utilisée pour

désigner les déviations observées et calculées ($1'' = 1 \text{ mm}$); le graphique est ainsi plus clair. Ces écarts sont-ils dus à des *perturbations locales* dans la répartition isostatique des masses? On ne peut répondre affirmativement que si les résidus sont supérieurs aux erreurs que l'on doit attendre de l'incertitude du calcul et de l'observation. Dans le chapitre V, nous avons étudié en détail la question de l'incertitude des *calculs* et avons obtenu comme approximation:

Calcul	Composante ξ ou η	Résultante
topographique:	$\pm 1,0$	$\pm 1,4$
isostatique:	0,5	0,7

Les résidus $\Delta\xi$ et $\Delta\eta$ sont exempts d'une erreur éventuelle constante ou de nature systématique, commune aux diverses stations, puisque cette erreur s'annulerait dans les différences $\xi - \xi_0$ et $\eta - \eta_0$.

L'incertitude des déviations *observées* se compose:

- 1) des erreurs affectant les coordonnées géodésiques et l'azimut géodésique,
- 2) des erreurs des déterminations astronomiques,
- 3) des erreurs qui existent dans les grandeurs ξ_0 et η_0 dont les déviations observées ont été réduites.

L'incertitude des latitudes et longitudes géodésiques est négligeable. Par contre les azimuts géodésiques peuvent être affectés d'erreurs sensibles; nous devons le craindre surtout dans les stations qui n'appartiennent pas à la triangulation de premier ordre, mais à un réseau secondaire raccordé au réseau principal. L'erreur qui en résulte peut être évaluée à l'aide des écarts entre les équations de LAPLACE et leur valeur moyenne. La table, page 95, fournit ces différences; la valeur moyenne, $\pm 1,38$ en valeur absolue, correspond à une approximation de $\pm 0,9$ dans le parallèle, ce chiffre contenant aussi bien l'incertitude des déterminations astronomiques que géodésiques.

Les erreurs des latitudes et des azimuts «observés» sont étudiées dans les anciens volumes de cette publication; les valeurs qu'il faut admettre sont les suivantes:

	Erreur moyenne	
	d'une latitude	d'un azimut
y compris la réduction à la position moyenne du pôle:	$\pm 0,2$ à $\pm 0,3$	$\pm 0,3$ à $\pm 0,4$
non compris cette réduction:	$\pm 0,3$ à $\pm 0,4$	$\pm 0,4$ à $\pm 0,5$

	Erreur moyenne d'une longitude
Déterminations récentes:	$\pm 0,1$ à $\pm 0,2$
Déterminations anciennes:	$\pm 1,0$

L'erreur des quantités ξ_0 et η_0 ne peut pas être déterminée au moyen des restes $\Delta\xi$ et $\Delta\eta$, puisque ceux-ci ne sont pas de caractère accidentel; nous devons en estimer la valeur à 1 ou 2 secondes d'arc au moins.

Si l'on tient compte de toutes les données qui précèdent, on constate qu'il faut attribuer à la résultante

$$\Delta \varrho_i = \sqrt{\Delta \xi_i^2 + \Delta \eta_i^2}$$

une incertitude de 2 à 3 secondes d'arc. Dans le cas seulement où ce nombre est dépassé, on pourra admettre l'existence de perturbations locales. Le tableau d'ensemble des résidus $\Delta \xi_i$ et $\Delta \eta_i$ (table 3) frappe dès l'abord par l'importance des valeurs relatives aux stations Generoso et St-Gothard:

$$\begin{array}{l} \text{St-Gothard} \quad \Delta \xi_i = -15'' \\ \text{Generoso} \quad \left. \begin{array}{l} \Delta \xi_i = + 4 \\ \Delta \eta_i = + 9 \end{array} \right\} \Delta \varrho_i = 10'' . \end{array}$$

Or, le signe + signifie que le zénith est dévié, dans le méridien vers le sud (le fil à plomb vers le nord), dans le parallèle vers l'ouest (le fil à plomb vers l'est); par suite, pour expliquer la grande valeur négative de $\Delta \xi_i$ au St-Gothard, il faut admettre l'existence de masses perturbatrices positives au sud de ce point. En effet, les mesures de l'intensité de la pesanteur prouvent qu'il existe un excès de masse important dans la région du lac Majeur; à la station Brissago, l'anomalie de la pesanteur atteint:

$$\begin{array}{l} \text{d'après la méthode de réduction de Bouguer:} \quad +0,012 \text{ cm sec}^{-2}, \\ \text{d'après la méthode de réduction isostatique:} \quad +0,106 \text{ cm sec}^{-2}. \end{array}$$

Mais, si cette irrégularité dans la répartition des masses affecte de manière intense la direction de la verticale au St-Gothard, il semble qu'elle devrait aussi se traduire dans la station plus voisine, le Generoso. Or, il n'en est rien: au Generoso le fil à plomb n'est pas dévié du côté où se trouve l'excès de masse, mais précisément dans la direction opposée. Il n'est donc pas possible d'expliquer maintenant les déviations de la verticale, constatées dans ces deux stations; on n'y parviendra que lorsqu'on aura déterminé les déviations de la verticale dans une série de points situés entre le massif du St-Gothard et le Generoso.

Dans les stations suivantes, les résidus $\Delta \varrho$ dépassent également 3'':

$$\begin{array}{l} \text{Zurich} \quad \Delta \varrho_i = 3,9 \\ \text{Lægern} \quad \quad = 4,5 \\ \text{Bâle} \quad \quad = 4,8 \end{array}$$

La planche II fait voir que, dans ces stations, le zénith est dévié vers le sud; cela prouve l'existence d'une masse perturbatrice au nord. Il s'agit des masses du Jura et de la Forêt Noire qui, d'après les mesures de la pesanteur, ne sont pas compensées par un défaut de masse au-dessous du niveau de la mer. A Bâle, l'influence de la Forêt Noire et de la plaine du Rhin semble être prépondérante. L'effet perturbateur du Jura se remarque aussi dans les stations Genève, la Dôle, Neuchâtel et Weissenstein où l'orientation des déviations est la même; le fil à plomb y est dévié nettement vers le Jura.

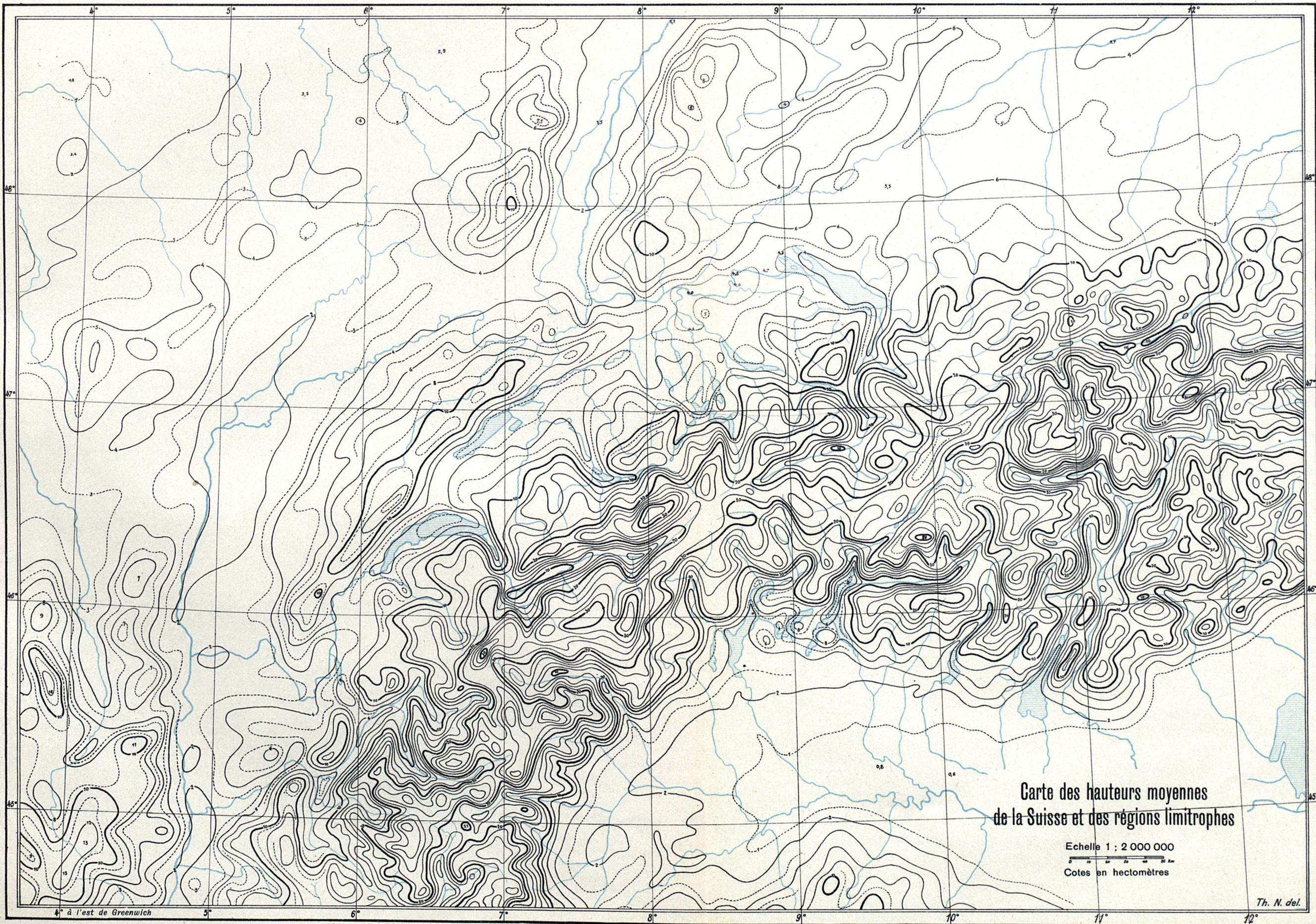
Les autres stations, Rochers-de-Naye, Berra, Gurnigel, Gurten, Righi, Gæbris, se trouvent dans les Préalpes; on n'y observe aucune direction spéciale des ρ . Attribuer une signification réelle, tant à la grandeur qu'à la direction des déviations obtenues en ces points, n'est guère possible; en effet, le terrain est si fortement accidenté que l'incertitude des calculs dans les stations préalpines est évidemment plus grande, en moyenne, que dans les stations du Plateau ou du Jura.

Résumé.

Nous avons essayé d'expliquer les déviations observées de la verticale dans quinze stations suisses: soit par la seule attraction des masses dites «extérieures», soit par l'influence combinée des masses «extérieures» et des excès ou des défauts de masses qui leur correspondent dans la croûte terrestre conformément à l'hypothèse de PRATT. Dans le premier cas («calcul topographique»), les résidus des déviations du fil à plomb sont à peu près le double de ceux obtenus dans le deuxième cas («calcul isostatique»). De plus, le calcul topographique ne représente les observations que lorsqu'on donne au point initial Berne une déviation assez grande, improbable au vu de recherches antérieures. L'hypothèse isostatique est donc plus conforme à la répartition des masses de l'écorce terrestre que l'hypothèse topographique.

Or la plus grande partie des déviations calculées du zénith proviennent de l'attraction des Alpes, tandis que les masses dont l'éloignement dépasse mille kilomètres fournissent un apport à peu près constant; il faut donc en déduire que *la chaîne des Alpes est compensée par un défaut de masse au-dessous du niveau de la mer et que la densité de ce manque de matière peut être obtenue, de manière approchée, à l'aide du principe de PRATT dans la forme que lui a donnée HAYFORD pour les calculs de déviation*. Cette conclusion est conforme aux résultats fournis par les mesures de l'intensité de la pesanteur.

Les résidus des déviations de la verticale qui restent inexpliqués dans le calcul isostatique de certaines stations peuvent être attribués à des perturbations dans la distribution isostatique des masses de l'écorce terrestre.



**Carte des hauteurs moyennes
de la Suisse et des régions limitrophes**

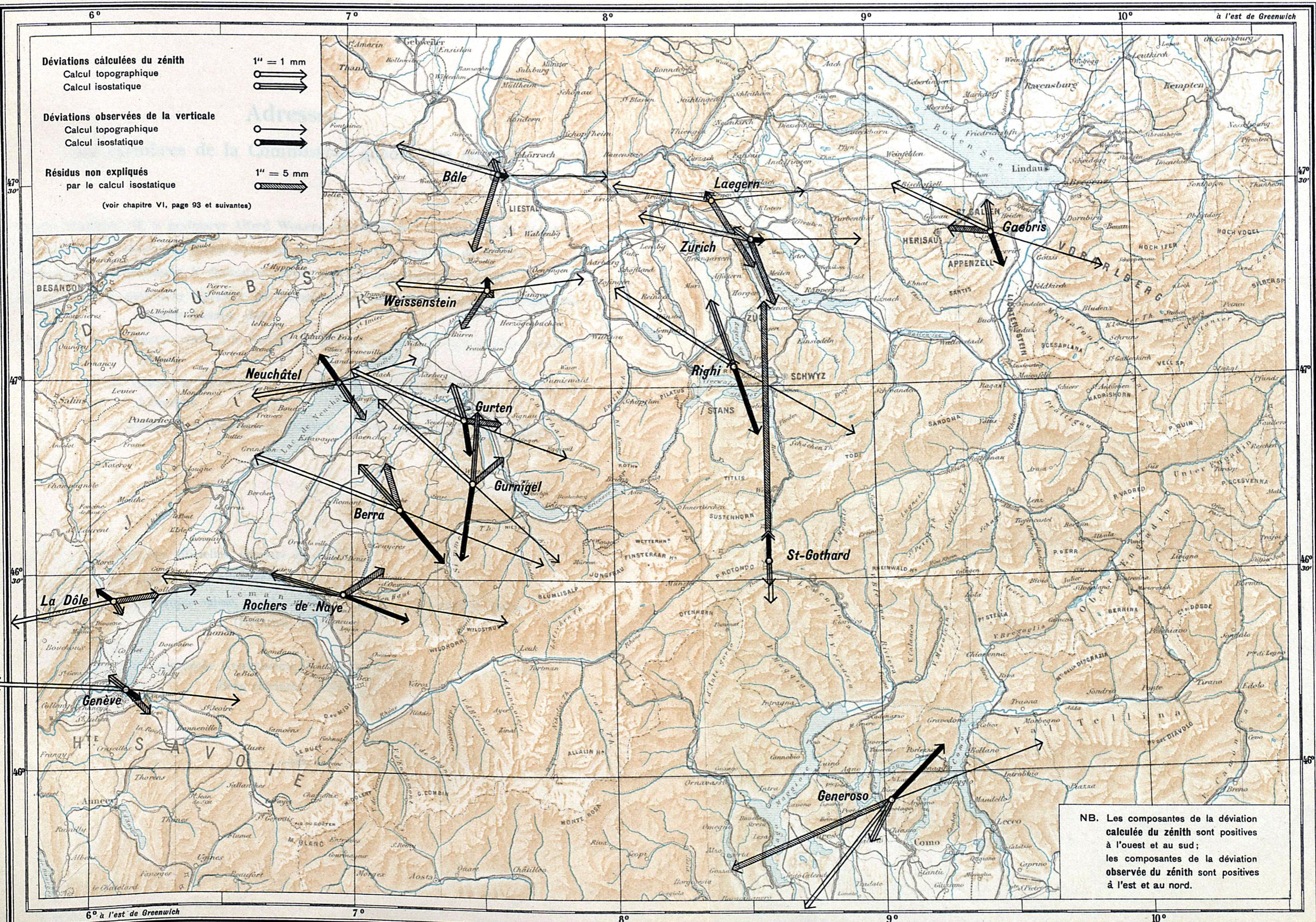
Echelle 1 : 2 000 000

0 10 20 30 40 50 km

Cotes en hectomètres

Th. N. del.

REMARQUE: La carte représente le modelé topographique que l'on obtient en remplaçant l'altitude réelle par la hauteur moyenne d'un carré de 8 km de côté. L'équidistance des courbes de niveau est 200 m (courbes pointillées 100 m).



Déviations calculées du zénith
 Calcul topographique $1'' = 1 \text{ mm}$
 Calcul isostatique

Déviations observées de la verticale
 Calcul topographique
 Calcul isostatique

Résidus non expliqués
 par le calcul isostatique $1'' = 5 \text{ mm}$

(voir chapitre VI, page 93 et suivantes)

NB. Les composantes de la déviation calculée du zénith sont positives à l'ouest et au sud; les composantes de la déviation observée du zénith sont positives à l'est et au nord.

Adresses

des membres de la Commission géodésique suisse.

Membre honoraire: M. le professeur Alfred WOLFER, directeur de l'observatoire de Zurich.

Président: M. le professeur Raoul GAUTIER, directeur de l'observatoire de Genève.

Suppléant: M. le professeur F. BÆSCHLIN, École polytechnique fédérale, Zurich.

Secrétaire: M. le professeur Théodore NIETHAMMER, directeur de l'Astronomisch-meteorologische Anstalt, Bâle.

Trésorier: M. H. ZÆLLY, chef de la Section de géodésie au Service topographique fédéral, Berne.

M. H. CHIENAU, professeur de géodésie et de topographie à l'Université de Lausanne.

M. le professeur S. MAUDERLI, directeur de l'Institut astronomique, Berne.

Pour les correspondances officielles, adresser au président.

Pour les envois de publications, adresser :

Commission géodésique suisse, p. adr.: Service topographique fédéral, Berne
(Heinrich Wildstr. 3)

ou

Schweizerische geodätische Kommission, Adr.: Abteilung für Landestopographie,
Bern (Heinrich Wildstr. 3)



Bisherige Publikationen der schweizerischen geodätischen Kommission (zu beziehen durch den Kartenverlag der schweizerischen Landestopographie in Bern):

Wolf, Dr. Rud., Geschichte der Vermessungen in der Schweiz, als historische Einleitung zu den Arbeiten der Schweiz. geodätischen Kommission bearbeitet. Mit einem Titelbilde. Zürich 1879, in 4°. Fr. 10.—.

Das schweizerische Dreiecknetz, herausgegeben von der Schweiz. geodät. Kommission:

- I. Band. Die Winkelmessungen und Stationsausgleichungen. Zürich 1881, in 4°. Fr. 10.—.
- II. Band. Die Netzausgleichung und die Anschlussnetze der Sternwarten und astronomischen Punkte. Zürich 1885, in 4°. Fr. 10.—.
- III^{me} Vol. La mensuration des bases. Lausanne 1888, in 4°. Fr. 10.— (vergriffen).
- IV. Band. Die Anschlussnetze der Grundlinien. Zürich 1889, in 4°. Fr. 10.—.
- V. Band. Astronomische Beobachtungen im Tessiner Basisnetze, auf Gäbris und Simplon; definitive Dreieckseitenlängen; geographische Koordinaten. Mit einer Karte. Zürich 1890, in 4°. Fr. 10.—.
Als Separatabdruck aus Bd. V: Definitive Seitenlängen und geographische Koordinaten der Punkte des schweiz. Dreiecknetzes und der Anschlussnetze. Mit einer Karte. Zürich 1890, in 4°. Fr. 2.—.
- VI. Band. Lotabweichungen in der Westschweiz. Mit einer Tafel. Zürich 1894, in 4°. Fr. 10.—.
- VII. Band. Relative Schwerebestimmungen. I. Teil, Mit drei Tafeln. Zürich 1897, in 4°. Fr. 10.—.
- VIII. Band. Lotabweichungen in der mittleren und nördlichen Schweiz. Mit einer Tafel. Zürich 1898, in 4°. Fr. 10.—.
- IX. Band. Polhöhen und Azimutmessungen. Das Geoid der Schweiz. Mit vier Tafeln. Zürich 1901, in 4°. Fr. 10.—.

Die Fortsetzung unter dem Titel:

Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz.

- X. Band. Relative Lotabweichungen gegen Bern und telephonische Uhrvergleichungen am Simplon. Mit zwei Karten und zwei Tafeln. Zürich 1907, in 4°. Fr. 15.—.
- XI^{me} Vol. Mesure de la base géodésique du tunnel du Simplon. Avec 35 figures. Zurich 1908, in 4°. Fr. 10.—.
- XII. Band. Schwerebestimmungen in den Jahren 1900—1907. — Das Nivellements-polygon am Simplon. Mit 13 Tafeln. Zürich 1910, in 4°. Fr. 15.—.
- XIII. Band. Polhöhen und Schwerebestimmungen bis zum Jahre 1910. Mit fünf Tafeln und einer Karte. Zürich 1911, in 4°. Fr. 12.—.
- XIV. Band. Telegraphische Bestimmung der Längenunterschiede zwischen schweizerischen Sternwarten 1912—1914. Zürich 1915, in 4°. Fr. 10.—.
- XV. Band. Schwerebestimmungen in den Jahren 1911—1914. Mit fünf Tafeln und einer Karte. Zürich 1916, in 4°. Fr. 10.—.
- XVI. Band. Schwerebestimmungen in den Jahren 1915—1918. Mit einer Textfigur, acht Tafeln und einer Karte. Basel 1921, in 4°. Fr. 9.—.

Nivellement de précision de la Suisse. Livraison I—X. 1867—1891 in 4°. Chaque livraison Fr. 3.—.
Catalogue des Hauteurs suisses. Second volume (X^e Livr.) de «Nivellement de précision de la Suisse». 1901, in 4°. Fr. 3.—.

Bericht der Abteilung für Landestopographie an die schweizerische geodätische Kommission über die **Arbeiten am Präzisionsnivellement der Schweiz** in den Jahren 1893—1903. Bearbeitet von Dr. J. Hilfiker. Mit einer Uebersichtskarte. Zürich 1905, in 4°. Fr. 2.50.