

MAREES TERRESTRES

BULLETIN D'INFORMATIONS

N° 55

30 septembre 1969

Association Internationale de Géodésie

Commission Permanente des Marées Terrestres

Editeur Prof. Paul MELCHIOR
Observatoire Royal de Belgique
3. Avenue Circulaire
Bruxelles 18



TABLE DES MATIERES N° 55

	p.
O.V. TCHOUPROUNOVA (<i>Traduction</i>) Sur les effets indirects dans les marées terrestres	2611
Tauno HONKASALO The earth tide station Lohja in Finland	2626
Manfred BONATZ Gravimetereichung durch verschiebung des verstärkernullpunktes	2628
E.P. FEDOROV (<i>Traduction</i>) Sur les forces d'action réciproque du noyau et de l'enveloppe de la terre apparaissant à cause de la nutation	2631
L.A. LATININA, R.M. KARMALIEVA (<i>Traduction</i>) Premiers résultats des observations par un extensomètre horizontal à Tian-Shane	2637
V.V. POPOV, M.K. TCHERNIAVKINA (<i>Traduction</i>) Quelques résultats des observations sur les déformations de la surface de la terre à la station géophysique de "Yalta"	2644
B. DUCARME Comparaison des crapaudines au moyen d'un pendule étalon	2656
T. CHOJNICKI Détermination des paramètres de marées par la compensation des observations	2669
Z.N. AKSENTIEVA, A.E. OSTROVSKI, P.S. MATVEYEV (<i>Traduction</i>) Inclinaisons de la surface de la terre d'après les observations faites en Union Soviétique de 1957 à 1967.	2672
P.S. MATVEYEV, V.G. BALENKO, I.D. BOGDAN (<i>Traduction</i>) Sur les observations clinométriques sur les profils en Ukraine	2681

12

13

14

SUR LES EFFETS INDIRECTS DANS LES MAREES TERRESTRES

O.V. Tchouprounova

Marées Terrestres, Acad. Sc. RSS d'Ukraine, Obs. grav. de Poltava-Kiev 1966 p. 175 - 189 .

О КОСВЕННЫХ ЭФФЕКТАХ В ЗЕМНЫХ ПРИЛИВАХ.

О.В. Чупрунова.

Земные Приливы Акад. Наук УССР

Полтавс. Грав. Обсерв. Инст. Геоф. Киев 1966.

СТР. 175 - 189.

L'idée que la Terre n'était pas un corps absolument rigide a été émise en premier lieu par Newcomb. Il explique ainsi la disparité notée par Thomson entre la hauteur théorique et observée de la marée et également la différence obtenue pour la valeur de la période du mouvement du pôle calculée par Euler dans l'hypothèse de la Terre absolument rigide et obtenue par Chandler par l'analyse des observations des latitudes.

Les propriétés élastiques de la Terre sont caractérisées par les nombres h et k introduits par Love. Chaque aspect de la déformation de la surface terrestre peut être exprimé par la combinaison de ces nombres. Le nombre h représente le rapport de la hauteur de la marée terrestre à la hauteur de la marée océanique statique correspondante ; k représente le rapport du potentiel additionnel engendré par la déformation au potentiel déformateur. La combinaison de ces nombres $1 + k - h$ donne la valeur γ .

Il existe un grand désaccord dans les valeurs de γ obtenues aux différents endroits d'observations avec différents appareils.

Les valeurs de γ diffèrent en valeur non seulement d'un endroit à l'autre mais aussi suivant les différents azimuts. Dès le début du XX^e siècle on a remarqué (à la réunion de Manchester) l'inégalité des valeurs de γ . Il est apparu que pour la plupart des stations γ est plus petit dans la direction du méridien que dans la direction du premier vertical.

Ces différences ne s'expliquent pas par les erreurs des observations ou par les particularités des appareils. La plupart des résultats examinés ont été obtenus dans des stations situées en Europe occidentale et peu éloignées l'une de l'autre en latitude. (Les valeurs de γ ont été obtenues principalement pour l'onde semi-diurne M_2 qui aux latitudes de 40° à 50° donne la valeur la plus sûre).

Schweydar [19] après Hecker a expliqué la cause de l'inégalité $\gamma_e > \gamma_n$ par l'influence des marées océaniques sur l'onde lunaire principale semi-diurne M_2 dans les stations situées près des mers ouvertes.

Après quelques calculs il a obtenu la formule :

$$\gamma_n - \gamma_e = 7a_4 \sin^2 \nu - 6a_6 \sin^2 \nu (11 \cos^2 \nu - 3),$$

d'après laquelle la différence $\Delta = \gamma_n - \gamma_e$ doit être négative pour tous les endroits du globe terrestre à l'exclusion du pôle. Il y a vu la cause de l'inégalité des valeurs de γ seulement dans l'influence des marées océaniques.

Suite au voeu de la réunion de Manchester, A. Ya Orlov a créé une station à l'intérieur du continent à Tomsk et après lui on a créé des stations à Poltava et à Kazan où l'influence des marées océaniques ne doit pas se faire sentir fort.

La réduction définitive des observations de Tomsk et aussi les résultats des observations obtenues dans les autres stations (résultats d'une série de onze années d'observations à Poltava [1], Kazan [4,7], Douchambe [6]) ne confirment pas la théorie de Schweydar. Dans ces stations $\gamma_n - \gamma_e > 0$. Ceci témoigne de ce que l'influence des marées océaniques n'est pas la seule cause de la différence entre γ_n et γ_e . Les résultats des observations accumulées indiquent que pour chaque point du globe terrestre la valeur de γ dépend principalement des conditions locales, de la structure interne, de l'éloignement de la surface libre, de l'azimut d'installation de l'appareil et présente dans chaque direction une valeur déterminée par la structure locale de l'écorce et dans un certain degré du manteau.

Cette valeur est probablement variable dans le temps. Des observations de longue durée et très homogènes dans un même endroit peuvent le confirmer.

En donnant un résumé de la première série de trois années d'observations à Tomsk et à Poltava. A. Ya Orlov a écrit au sujet des observations de Poltava : " A Poltava la première et la troisième années d'observations donnent en moyenne $\gamma_e = \gamma_n$ et pour la deuxième année $\gamma_e < \gamma_n$. Il faut ici de nouvelles observations pour juger définitivement de la valeur de γ " [11]. Ce point de vue est encore vrai aujourd'hui.

Z.N. Aksentieva a effectué une série d'observations et exécuté l'analyse des enregistrements pour 15 années.

En moyenne $\gamma_n - \gamma_e > 0$. Cependant si on examine les valeurs des différences séparément par années on constate que ces différences ne sont pas les mêmes pour les différentes années (table 1). Il est difficile de considérer comme accidentelle cette grande divergence dans les valeurs des différences pour une même station d'observations.

Table 1

Année	γ_n	γ_e	$\Delta = \gamma_n - \gamma_e$
Poltava [2]			
1930—1931	0.777	0.773	+0.004
1931—1932	.845	.555	+0.280
1932—1933	.794	.695	+0.099
1933—1934	.692	.676	+0.016
1934—1935	.806	.649	+0.157
1935—1936	.656	.614	+0.042
1936—1937	.617	.640	-0.023
1937—1938	.715	.695	+0.020
1938—1939	.770	.668	+0.101
1939—1940	.692	.643	+0.049
1940—1941	.751	.664	+0.087
1948—1949	.736	.662	+0.074
1949—1950	.757	.597	+0.160
1950—1951	.685	.680	+0.005
1951—1952	.735	.703	+0.032
Tomsk [3]			
1912—1913	0.59	0.50	+0.090
1916—1917	.58	.46	+0.120
1918—1920	.53	.43	+0.100
Kazan [4.7]			
1952	0.699	0.699	0.000
1954	0.645	0.637	+0.008
1960—1961	0.661	0.637	+0.024
Askhabad [8]			
10.4. 1958	0.446	0.617	-0.171
16.	.457	.679	-0.222
16.5	.476	.750	-0.274
2.11	.544	.857	-0.313
5.12	.574	.848	-0.274
7.9. 1958 r.	.523	.855	-0.332
Kondara [10]			
17.9. 1958 r.	0.876	0.660	+0.216
15.10. 1958	.873	.612	+0.261
16.11	.916	.554	+0.362
Poltava [9]			
26.7. 1958	.611	0.577	+0.034
15.8	.671	.756	-0.085
15.9	.683	.589	+0.094
19.9	.602	.542	+0.060

Des observations dans les autres stations : Kazan, Tomsk, Douchambe et aussi des observations obtenues pendant l'AGI et l'ASI quand les observations s'effectuaient avec une précision particulière et la réduction était effectuée en séries mensuelles, on ne peut conclure que $\Delta = \gamma_n - \gamma_e$ soit constante. Une conclusion s'impose plutôt que Δ change avec le temps et subit fortement les influences locales, météorologiques et tectoniques.

Aussi soigneusement que soient à présent effectuées les observations des marées terrestres, leurs résultats subissent toujours dans une certaine mesure les différentes influences indirectes de caractère instrumental, météorologique et régional. Les marées océaniques exercent une grande influence dans les stations situées près des mers ouvertes.

L'influence des marées océaniques s'exprime : 1) dans l'attraction de la verticale par les masses d'eau, 2) dans le fléchissement alternatif de l'écorce terrestre sous l'effet de la charge supplémentaire d'eau et 3) dans la variation du potentiel à cause de la déformation supplémentaire de l'écorce.

L'influence des marées océaniques se fait particulièrement sentir dans les stations situées dans les îles du Japon et dans les îles de la Grande-Bretagne. C'est pourquoi nous rappelons ici les bases de l'étude et de la séparation des effets indirects. Shida, le premier, calcula l'effet indirect pour la station de Kamigamo.

Il y a deux méthodes de séparation des effets indirects : la méthode d'estimation numérique des effets indirects appliquée par les savants japonais et la méthode empirique élaborée par les savants anglais Doodson et Corkan.

La première méthode permet de calculer pour les stations côtières trois aspects de l'influence des masses d'eau :

1. Les masses d'eau attirent la verticale. L'attraction des masses d'eau se calcule d'après les formules

$$A_E = \frac{f\rho h}{g \sin 1''} (\log r_2 - \log r_1) (\cos \Theta_2 - \cos \Theta_1) \quad (1)$$

dans la direction du premier vertical (E-W)

$$A_S = \frac{f\rho h}{g \sin 1''} (\log r_2 - \log r_1) (\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1)$$

dans la direction du méridien (N-S).

où h est la hauteur constante d'un secteur du bassin d'eau considéré ; r_2 et r_1 sont les azimuts du secteur considérés comme positifs dans la direction du mouvement des aiguilles d'une montre.

2. L'écorce terrestre fléchit périodiquement sous l'influence de la charge supplémentaire des eaux. Le fléchissement de l'écorce terrestre dépend de la charge d'eau et se calcule d'après la formule

$$F = \frac{\lambda + 2\mu}{4\pi(\lambda + \mu)\mu} \cdot g\rho \int \frac{hd\sigma}{r} = VA,$$

où λ et μ sont les constantes de Lamé. Ici comme l'a montré Boussinesq en 1878, le déplacement vertical de l'écorce en chaque point est proportionnel au potentiel gravitationnel de la charge et fonction des constantes élastiques du milieu λ et μ .

3. La variation du potentiel résultant de la déformation supplémentaire de l'écorce est prise en première approximation proportionnelle à la valeur

$$A = \frac{\int p}{g} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{hd\sigma}{r},$$

et est considérée comme négative : $V = -EA$.

Ainsi, la somme totale des effets indirects s'exprime par :

$$I = (1 + V - E) A.$$

La méthode d'estimation numérique des effets indirects souffre de beaucoup d'erreurs importantes et d'inexactitudes dont les principales sont les suivantes :

- les formules (1) se rapportent à la déformation de la surface plane et sont utiles uniquement pour les petites portions de terrain sur lesquelles la courbure de la Terre n'est pas sensible ;
- les couches superficielles de l'écorce terrestre ne sont pas soumises à la loi de Hooke sur laquelle est basée la théorie d'élasticité ;
- les marées dans l'océan ouvert sont peu connues ;
- par cette méthode on ne peut tenir compte de l'hétérogénéité de structure géologique de l'écorce terrestre.

La seconde méthode qui est la méthode de séparation approchée des effets indirects dans les observations sur les déformations luni-solaires de la Terre est appliquée dans certains travaux comme "méthode de Corkan". Cette méthode a été développée en particulier par P. Melchior qui l'a appliquée aux observations dans les stations continentales profondes, Freiberg (Saxe) profondeur 149 m. et Brezové Hory, puits Maria (en Tchécoslovaquie) profondeur 1100 m) [12, 13, 14].

Cette méthode suppose la connaissance des constantes harmoniques des trois ondes semi-diurnes M_2 , N_2 et S_2 . Elle se base sur deux hypothèses :

- Les différentes ondes semi-diurnes M_2 , N_2 et S_2 contenues dans l'effet direct ont entre elles un rapport d'amplitudes prévu par la théorie statique des marées :

$$\frac{S_2}{M_2} = 0.464, \quad \frac{N_2}{M_2} = 0.194.$$

- Les différentes ondes semi-diurnes présentes dans les effets indirects ont des rapports d'amplitudes égaux à ceux des marées dans l'océan qui les engendre.

La phase de l'effet direct est prise égale à zéro. Après avoir désigné l'amplitude et la phase de l'effet observé par $K = \gamma_0 E$ et ξ , l'amplitude et la phase de l'effet direct par γE et O et l'amplitude et la phase de l'effet indirect par I et i , nous obtiendrons le rapport :

$$K \cos(\mu t + \xi) = \gamma E \cos \mu t + I \cos(\mu t + i),$$

où

$$K \cos \xi = \gamma E + I \cos i,$$

$$K \sin \xi = I \sin i,$$

d'où

$$I = \frac{K \sin \xi}{\sin i} \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} i = \frac{\gamma_0 \sin i}{\gamma_0 \cos i - \gamma}, \quad (2)$$

en éliminant la phase de l'effet indirect des dernières équations et après avoir posé $y = \gamma$ et $x = I$, nous obtiendrons l'expression suivante :

$$K^2 y^2 - \gamma_0^2 x^2 - 2K^2 \gamma_0 \cos \xi y + K^2 \gamma_0^2 = 0, \quad (3)$$

représentant l'équation de l'hyperbole dont les invariants $\delta = -\gamma_0^2 K^2$, $\Delta = -\gamma_0^4 K^4 \sin^2 \xi$, les coordonnées du centre $x_0 = 0$, $y_0 = \gamma_0 = \cos \xi$ et le sommet se trouve au point $x_1 = \pm K \sin \xi$; $y_1 = \pm \gamma_0 \sin \xi$.

Dans la suite, nous examinerons seulement les parties des courbes qui se trouvent dans la partie positive du système des coordonnées, x et y sont inconnus.

Nous pouvons écrire l'équation du type (3) pour chacune des trois ondes examinées après obtention par analyse harmonique des constantes K et ξ . Après avoir donné la série des valeurs γ dans l'intervalle de sa variation probable de 0.5 et 0.9, nous obtiendrons la série des valeurs des amplitudes de l'effet indirect $I_n M_2$, $I_n N_2$ et $I_n S_2$.

$$\begin{array}{cccc} \gamma_1 & I_1 M_2 & I_1 N_2 & I_1 S_2 \\ \gamma_2 & I_2 M_2 & I_2 N_2 & I_2 S_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_n & I_n M_2 & I_n N_2 & I_n S_2 \end{array}$$

d'où nous déduisons :

$$I_n = f(\gamma) \quad (n = 1, 2 \dots n). \quad (4)$$

Puisque chaque amplitude de l'onde est engendrée par l'onde élémentaire de la marée océanique correspondante alors les amplitudes obtenues $I_n M_2$ et $I_n N_2$, $I_n S_2$ ne sont pas comparables entre elles. Pour comparer les amplitudes on introduit une seconde hypothèse ; les différentes ondes semi-diurnes présentes dans les effets indirects donnent des rapports d'amplitudes le même que les marées dans l'océan qui les engendre c'est-à-dire que la seconde hypothèse s'exprime par

$$\frac{I_n M_2}{I_n N_2} = \frac{I_n' M_2}{I_n' N_2} = b = b',$$

où $I'_n M_2$, $I'_n N_2$ sont les amplitudes des marées océaniques, b est le rapport des amplitudes des effets indirects, b' est le rapport des amplitudes des marées océaniques. Les ondes de marées dans les océans sont différentes en valeur [15] et leurs rapports b' pour chaque port sont stables. L'hypothèse est introduite par la multiplication de chaque valeur de l'amplitude $I'_n M_2$ ou $I'_n S_2$ obtenue précédemment par le coefficient de réduction b' .

Les amplitudes sont maintenant exprimées dans une seule échelle. L'échelle γ est commune et on peut construire les courbes ; les points d'intersection des courbes déterminent les inconnues I et γ pour l'onde M_2 .

On peut avoir les cas suivants : les courbes se confondent, il y a une quantité infinie de solutions; elles ont un ou deux points d'intersection, dans le dernier cas on peut rejeter les valeurs anormales ; les courbes n'ont pas de points communs, il n'y a pas de solutions.

En considérant dans l'égalité (4) I comme fonction des valeurs données γ nous voyons que les rapports des amplitudes des ondes M_2 , N_2 et S_2 des effets indirects se tirent directement des données d'observation ; on peut observer leur variation dans la même station et dans les différentes stations et aussi vérifier la véracité de la seconde hypothèse. Ainsi il peut y avoir une des trois variantes.

1. Les amplitudes des effets indirects sur une partie donnée sont proportionnelles. Pour toutes les valeurs de γ nous avons la même valeur du rapport b qui est égale au rapport des amplitudes des marées océaniques. Par conséquent, la seconde hypothèse est correcte.

Lors de la construction les courbes se confondent, et nous avons une quantité infinie de solutions desquelles il convient d'en choisir une.

2. Les valeurs des rapports varient d'après une loi arbitraire mais de sorte que la valeur b' relevée par nous, se trouve dans l'intervalle de la variation de b alors, pour au moins une valeur $b - b'$, l'hypothèse sera correcte.

Lors de la construction les courbes se coupent (en un ou deux points). Les points d'intersection des courbes donnent les valeurs des inconnues I et γ .

3. Les rapports varient suivant une loi arbitraire et les rapports obtenus sont tels que la valeur choisie b' se trouve en dehors de l'intervalle de leur variation et pas un b n'est égal à b' . Dans ce cas, les courbes N_2 et S_2 n'auront pas de points communs avec la courbe M_2 . Cependant elles peuvent avoir entre elles des points d'intersection. Dans le cas donné nous n'aurons en général pas de solutions ou nous obtiendrons une solution avec un poids faible. Les deux derniers cas sont caractéristiques pour les stations continentales.

Il convient de noter que le coefficient b' est très difficile à fixer.

Les valeurs des amplitudes et des phases et aussi des rapports d'amplitudes des marées océaniques et de la différence de leurs phases sont faciles à obtenir en fonction de [18].

Le succès de la méthode dépend du choix parfait du coefficient b . Corkan prend dans son travail les rapports $\frac{M_2}{S_2} = 2.7$ et pour $\frac{M_2}{N_2} = 5.2$.

P. Melchior prend pour les stations continentales de Freiberg (Saxe) et Brezové Hory (Tchécoslovaquie) des rapports différents pour le méridien et pour le premier vertical et pour les deux stations égaux à

N-S	E-W
$\frac{M_2}{S_2} = 2.5$	$\frac{M_2}{S_2} = 3.3$
$\frac{M_2}{N_2} = 4.9$	$\frac{M_2}{N_2} = 5.2$

Le mieux est de prendre les valeurs des rapports $b = b'$ comme rapport des amplitudes calculées d'après la formule (3) pour la valeur globale $\gamma = \gamma = 0.700$. Dans ce cas nous aurons une intersection obligatoire des courbes obtenues et nous pourrions déterminer et séparer l'effet que nous cherchons. Nous donnons quelques exemples pour confirmer tout ce que nous avons dit plus haut.

Comme premier exemple nous nous sommes servis d'une série annuelle d'observations (1958) dans la station côtière Bidston. Bidston est situé sur une presqu'île à deux mille de la mer d'Irlande où l'amplitude de la marée océanique atteint 9.7 m c'est pourquoi ici l'influence de l'effet indirect est très typique. Ce n'est que la dixième partie de l'effet observé qui s'ajoute ici à la marée terrestre effective. L'Observatoire de Bidston se trouve sur une colline sablonneuse d'une hauteur de 178 m au dessus du niveau de la mer. Sur un vieux pilier de plus de 50 ans et de grande stabilité ont été installés deux pendules horizontaux du système Milne-Shaw dans les directions N-S et E-W.

Le troisième pendule du système Zöllner a été installé dans la direction E-W sur une dalle métallique qui également n'a pas moins de 50 ans. Nous avons obtenu les observations au Centre International des Données. La réduction a été faite par la méthode d'analyse harmonique des "marées faibles". Les résultats obtenus pour les ondes semi-diurnes sont donnés dans la table 2.

En résolvant maintenant l'équation (3) par rapport à x et en donnant la série des valeurs y dans l'intervalle 0.50 - 0.90, nous obtiendrons les valeurs des amplitudes des effets indirects. Prenons le rapport de ces amplitudes des ondes M_2 , N_2 et S_2 . Les rapports obtenus b sont donnés dans la table 3. L'indice M désigne le pendule de Milne, U le pendule de Zöllner. Le rapport des amplitudes des marées océaniques b pour Bidston en fonction de [18] est égal à $b \frac{M_2}{N_2} = 5.2$; $b \frac{M_2}{S_2} = 2.8$. En comparant ces valeurs avec les valeurs b de la table 3, nous voyons qu'elles sont semblables, par conséquent l'hypothèse est correcte.

Table 2

Pendule	H	ζ	γ
Onde M_2			
Milne E.W.	0".05230	208°.38	6.909
Zöllner E.W.	0 .06364	208 .29	8.407
Milne N.S.	0 .07162	141 .23	7.595
Onde N_2			
Idem	0.00983	293.38	6.733
	0.01239	293.25	8.486
	0.01407	122.21	7.689
Onde S_2			
Idem	0.02048	355.46	5.389
	0.02152	352.7	5.619
	0.02160	191.7	4.528

Table 3

γ	E-W		N-S			
	$b \frac{M_2}{N_2} M$	$b \frac{M_2}{N_2} \Pi$	$b \frac{M_2}{S_2} M$	$b \frac{M_2}{S_2} \Pi$	$b \frac{M_2}{N_2} M$	$b \frac{M_2}{S_2} M$
0.50	5.2	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.52	5.2	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.54	5.2	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.56	5.2	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.58	5.2	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.60	5.2	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.62	5.1	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.64	5.1	5.0	2.7	3.1	5.2	3.1
.66	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.68	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.70	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.72	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.74	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.76	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.78	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.80	5.1	5.0	2.7	3.2	5.2	3.1
.82	5.1	4.9	2.8	3.2	5.2	3.1
.84	5.1	4.9	2.8	3.2	5.2	3.1
.86	5.1	4.9	2.8	3.2	5.2	3.0
.88	5.1	4.9	2.8	3.2	5.2	3.0
.90	5.1	4.9	2.8	3.2	5.2	3.0

La table 3 montre que les amplitudes sont proportionnelles c'est pourquoi nous avons une quantité infinie de solutions. Prenons l'une d'elles à savoir : la valeur globale $\gamma = 0.700$ et d'après les formules (2) nous calculerons l'effet indirect pour l'onde M_2 . En déduisant de l'observation l'effet indirect nous obtenons la valeur suivante de l'effet direct (table 4).

Table 4.

Pendule, azimut	$I \cos(\mu t - i)$	$\gamma E \cos(\mu t - 0)$
Milne E-W	$0''.04838 \cos(\mu t - 315^\circ)$	$0''.00471 \cos(\mu t - 351^\circ)$
Zöllner E-W	$0.05976 \cos(\mu t - 315^\circ)$	$0.00523 \cos(\mu t - 359^\circ)$
Milne N-S	$0.07683 \cos(\mu t - 144^\circ)$	$0.00657 \cos(\mu t - 0^\circ)$

La table 4 montre que l'amplitude de l'effet indirect dans le méridien est une fois et demie plus grande que dans la direction du premier vertical pour les pendules du même système (Milne-Shaw).

A titre de second exemple, nous avons pris les observations de Kazan. La construction de la station de marées terrestres de Kazan a été commencée à l'initiative de A. Ya Orlov en 1950. Dans le bulletin de l'O.A.E. N° 34 sont publiés les résultats d'une série de deux années d'observations (1952 - 1955) avec les pendules Repsold - Levitskii à suspension de Zöllner, donnés par Ivanova. Les données de départ que nous avons prises sont présentées dans la table 5.

Table 5.

Azimut	Onde	K	γ_0	ϵ
N - S	M_2	590	0.664	$1^\circ 18$
	S_2	284	0.688	0.12
E - W	M_2	495	0.674	-0.60
	S_2	241	0.705	-20.18

Remarque : Les valeurs de K sont données en $0''00001$

Lors du choix du coefficient de réduction b nous nous sommes servis du rapport des amplitudes des ondes de marées pour la baie de Tiksi qui est égal à $b' \frac{M_2}{S_2} = 1.3$.

Les valeurs des rapports d'amplitudes des effets indirects pour les valeurs γ sont données dans la table 8. En les analysant nous voyons que b' se trouve dans les intervalles de la variation b_K pour les deux directions c'est-à-dire que nous avons deux solutions.

Pour trouver cette solution, nous multiplierons chaque ordonnée par 1.3 et nous obtenons les ordonnées x_{s_2} que nous pouvons porter en graphique

Table 6

Intersection des ondes.	N - S			E - W		
	γ	I	p	γ	I	p
M_2/S_2	0.581	74	2.5	0.497	131	2.5
	0.728	58	2.5	0.867	142	2.5
Moyenne pondérée	0.654	66	5	0.682	136	5

Remarque : Les valeurs I sont données en $0''00001$.

Prenons le système des coordonnées x et y et construisons les graphiques (fig. 1, 2). Dans le cas donné, les courbes se coupent en 2 points qui nous donnent les valeurs cherchées γ et I avec un poids de 2.5 conformément à P. Melchior qui prend les poids proportionnels aux amplitudes. Les résultats sont donnés dans la table 6.

Telle est l'estimation (table 6) approximative des amplitudes des effets indirects engendrés par les marées dans la baie de Tiksi dans la station de marées terrestres de Kazan déterminés par la méthode de Corkan.

Pour déterminer la phase de l'effet indirect il faut trouver le centre de gravité du triangle obtenu par l'intersection des trois courbes et d'après la formule (2) calculer la phase de l'effet indirect en prenant pour le calcul de la coordonnée le point de la courbe proche du centre de gravité du triangle.

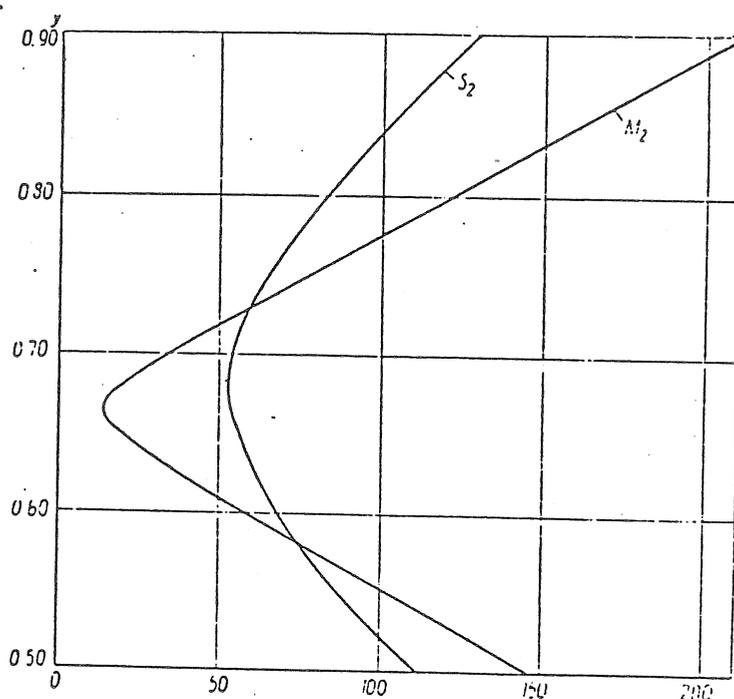


Fig. 1. Kazan N - S

Table 7.

Azimuth	Onde	K	ζ	γ_0
N - S	M_2	589	5°.00	0.786
	S_2	076	-23.54	2.129
	N_2	041	77.30	0.279
E - W	M_2	673	-33.36	0.547
	S_2	106	-36.36	1.853
	N_2	022	-19.12	0.094

Remarque : Les valeurs de K sont données en 0"00001.

Table 8

v	N - S			E - W		
	$b_K \frac{M_2}{S_2}$	$b_{CT} \frac{M_2}{S_2}$	$b_{CT} \frac{M_2}{N_2}$	$b_K \frac{M_2}{S_2}$	$b_{CT} \frac{M_2}{S_2}$	$b_{CT} \frac{M_2}{N_2}$
0.50	1.7	3.5	6.9	1.3	4.4	3.9
.52	1.7	3.3	6.5	1.2	4.5	3.8
.54	1.6	3.1	6.1	1.1	4.7	3.7
.56	1.5	2.8	5.6	0.9	4.7	3.5
.58	1.3	2.6	5.1	0.6	4.9	3.5
.60	1.1	2.4	4.6	0.6	5.0	3.4
.62	0.9	2.2	4.2	0.5	5.3	3.4
.64	0.6	1.9	3.7	0.3	5.5	3.4
.66	0.3	1.7	3.2	0.1	5.7	3.4
.68	0.5	1.5	2.8	0.1	5.9	3.3
.70	0.8	1.3	2.7	0.2	6.1	3.3
.72	1.2	1.2	2.1	0.4	6.4	3.3
.74	1.6	1.0	1.8	0.6	6.7	3.3
.76	1.7	1.0	1.7	0.7	6.9	3.4
.78	1.8	1.0	1.7	0.8	7.3	3.4
.80	1.9	1.1	1.9	1.0	7.6	3.4
.82	2.0	1.3	2.2	1.1	7.9	3.4
.84	2.0	1.5	2.5	1.2	8.9	3.4
.86	2.1	1.8	2.8	1.3	8.9	3.4
.88	2.1	2.1	3.2	1.3	8.9	3.5
.90	2.1	2.4	3.6	1.4	9.2	3.5

Remarque: b_K sont les valeurs des rapports pour Kazan, b_{CT} sont les valeurs des rapports pour Douchambe

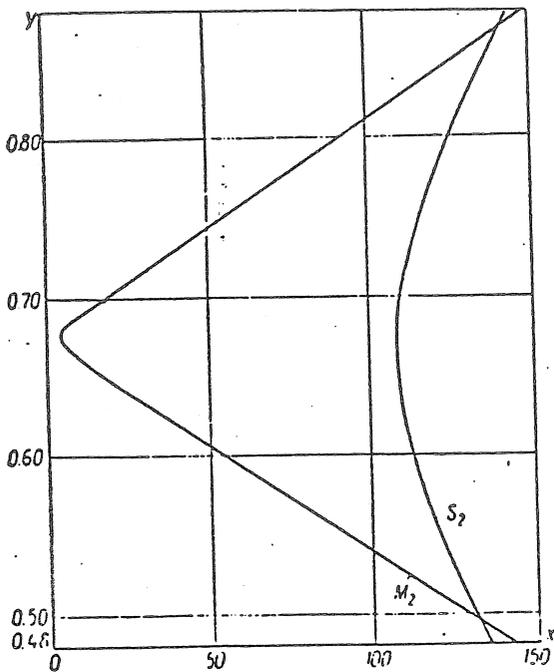


Fig. 2. Kazan E-W

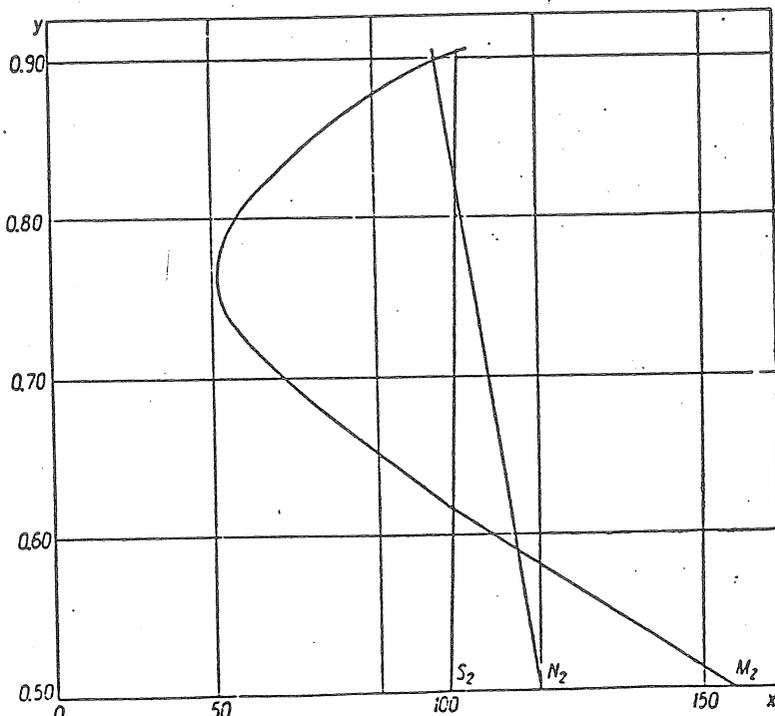


Fig. 3. Douchambe N-S

A titre de troisième exemple nous nous sommes servis des observations de Douchambe [6], et des rapports d'amplitudes des marées océaniques pour le port de Bombay.

Les valeurs du coefficient b' pour Bombay sont :

$$b' \frac{M_2}{N_2} = 4.1, \quad b' \frac{M_2}{S_2} = 2.5.$$

Les valeurs de départ pour Douchambe pour 1949 sont données à la table 7. Les rapports des amplitudes obtenus au moyen des calculs de leurs valeurs observées sont données dans la table 8. Le coefficient b' que nous avons choisi se trouve dans l'intervalle de la variation de b pour la direction N-S. Construisons les graphiques (fig. 3). Les valeurs relevées γ et I sont données dans la table 9.

Table 9.

Intersection de l'onde	γ	I	p
M_2/S_2	0.898	120	2.5
	0.593	143	2.5
M_2/N_2	0.620	123	1
	0.902	126	1
N_2/S_2	0.820	127	1
Moyenne pondérée	0.759	129	8

Dans la direction E-W, nous avons un troisième cas quand pas un b n'est égal à b' , les courbes ne se coupent pas, il n'y a pas de solution.

Toutefois on peut obtenir une solution aussi dans ce cas. Pour cela, il faut prendre les valeurs $b = b'$ comme rapport des amplitudes obtenues d'après la formule (3) pour la valeur globale $\gamma = \gamma = 0.700$.

L'intersection des courbes nous donne les valeurs cherchées des amplitudes des effets indirects. Les phases des effets indirects se calculent d'après la formule (2). Ainsi après avoir déterminé l'amplitude et la phase de l'effet indirect de l'onde M_2 sous la forme $I \cos(\mu t - i)$ pour les deux directions perpendiculaires, nous obtiendrons l'équation de l'ellipse des effets indirects. L'ellipse pour les stations continentales doit être proche ou égale à l'ellipse résiduelle obtenue d'après la méthode de Tomaschek.

BIBLIOGRAPHIE

1. Z.N. AKSENTIEVA
Résultats d'une série de onze années d'observations de 1930 à 1941 sur les oscillations de la verticale à Poltava.
Travaux de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava T. 2 K. 1948
2. Z.N. AKSENTIEVA
3. Z.N. AKSENTIEVA
Résultats définitifs de l'onde M_2 dans les oscillations de la verticale à Tomsk de 1912 à 1920
Travaux de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava T. 4 K, 1951.
4. A.K. YVANOVA
Résultats des observations sur les oscillations dues aux marées de la verticale à l'Observ.
Astron. Engelhardt
Bulletin O.A.E. Kazan 1959
5. A.B. BACHROUCHINE
Résultats des observations sur les inclinaisons de marées à la station de Kondara.
Publ. "Etude des marées terrestres", N° 3, M., 1963.
6. P.S. MATVEYEV
Détermination des marées terrestres d'après les observations clinométriques à (Douchambe) pour 1948 - 1950.
Travaux de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava T. 7, 1958.
7. L.Y. MIRONOVA, A.E. OSTROVSKII, Y.A. OURASINA
Résultats des observations clinométriques dans la région de Kazan pour 1960-1962.
Publ. "Etude des marées terrestres" 1964.
8. A.E. OSTROVSKII, N.N. YONITCHEK, S.M. FANDIOUCHINA
Inclinaisons de marées de la Terre d'après les observations à Ashkhabad en 1957-1958.
Publ. "Recherches gravimétriques" N° 1, 1960.
9. A.E. OSTROVSKII, P.S. MATVEYEV, S.M. FANDIOUCHINA
Observations des inclinaisons de marées de la Terre à Poltava 1958.
Publ. "Recherches gravimétriques" N° 1, 1960.
10. A.E. OSTROVSKII, A.B. BACHROUCHINE, L.Y. MIRONOVA
Inclinaisons de marées de la Terre d'après les observations de Kondara en 1958.
Publ. "Recherches gravimétriques", N° 1, 1960.
11. A. Ya. ORLOV.
Travaux en URSS sur la question des marées terrestres.
Travaux choisis T. III, 1961.
12. P. MELCHIOR
Les marées terrestres.
Monogr. Observ. Royal de Belgique N° 4, 1956.

13. P. MELCHIOR
Discussion du Procédé de Corkan pour la séparation des effets directs et indirects dans les marées terrestres.
Comm. de l'ORB N. 115, Série Géoph. N. 40, 1957.
 14. P. MELCHIOR
Application de la méthode de Corkan à la discussion des observations des marées terrestres à Freiberg Saxe.
Comm. de l'ORB N 74.1954.
 15. B.H. CORKAN
A determination of the earth tide from tilt observations of two places .
Monthly notices of the RAS, Geophysical suppl. N 7, 1953.
 16. B.H. CORKAN
The analysis of tilt records at Bidston.
Monthly notices of the RAS. Geophysical suppl. Vol. 4 N 7, 1937.
 17. J. PICHA
Ergebnisse der Gezeitenbeobachtungen der festen erdkruste in Brezove Hory in den Jahren 1936-1939.
Travaux Geophysiques, 1956.
 18. GEZEITEN des MEERS.
Landolt Bornstein
Zahlenwerte und funktionen aus physik chemie Astronomie, Geophysik und Technik, Band 111, Berlin, 1952.
 19. SCHWEYDAR.
Veroff. d.k. Preus
Geod. Inst. N.F. 66, 1916.
-

THE EARTH TIDE STATION LOHJA IN FINLAND

by

Tauno HONKASALO

Geodeettinen Laitos, Helsinki.

The Finnish Geodetic Institute started the earth tide observations with an Askania recording gravimeter at Station Helsinki in 1964. The first gravimeter results and investigation of instruments were reported in BIM N° 44. In 1967 the apparatus was installed to a new site, Station Helsinki 2.

The horizontal pendulums were installed in 1967 at Lohja, 50 km NW from Helsinki. The station is described and some experiences are reported in the following.

Station Lohja

$\phi = 60^{\circ}12'6''$ N

$\lambda = 24^{\circ} 2'1''$ EG

H = 105 m under the sea level

P = 145 m under the earth surface

Horizontal pendulums of Verbaandert-Melchior type, N° 89 installed to record the EW-component, N° 90 the NS-component, the automatic calibration device of expandable bearing-plate as well as the calibration by determining the period of oscillation are used. The time marks, once an hour, are given with a small lamp installed as the wall between the pendulums in the elevation of pendulum mirrors. In this a synchron motor clock is used.

The station is in an old mine of Lohjan Kalkkitehdas Oy cement factory at Lohja. A part of a mine gallery was separated for the station with a board wall. The niches were cut in an amphibolite wall and isolated with plexiglass windows. A very weak electric heating keeps the humidity in the station room just under 100 %. The temperature is constantly + 7.5 C.

Experiences.

In the beginning the drift was disturbingly large. In addition the sensitivities of pendulums were not constant but slowly changeable. Both effect have, however, decreased. During a year the changes were as follows :

STATION HELSINKI 2 COMPOSANTE VERTICALE FINLANDE

60.10N 24.56E H 12 P 2
 GEODEETTINEN LAITOS T.HONKASALO
 GRAVIMETRE ASKANIA 187

ASK 187 67 6 10 67 7 8
 ASK 187 67 7 13 67 9 7
 ASK 187 67 11 2 67 11 20
 ASK 187 67 11 25 68 1 4
 ASK 187 68 1 9 68 5 22
 ASK 187 68 5 26 68 10 29
 ASK 187 68 11 1 69 4 22

NOMBRE TOTAL DE JOURS 618

ONDES DIURNES		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 11	Q1	1.17780	-0.677
12 - 21	O1	1.14630	-0.668
22 - 29	M1	1.09481	-1.169
30 - 32	P1	1.15805	-4.908
33 - 34	S1	15.37524	1.249
35 - 40	K1	1.13267	-1.445
41 - 45	J1	1.10617	7.380
46 - 52	001	1.20497	-10.420

ERREURS Q.M.		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 11	Q1	0.04683	2.279
12 - 21	O1	0.00852	0.426
22 - 29	M1	0.09297	4.865
30 - 32	P1	0.02152	1.063
33 - 34	S1	1.26425	4.722
35 - 40	K1	0.00639	0.323
41 - 45	J1	0.11936	6.182
46 - 52	001	0.13593	6.462

ERREUR Q.M. D 20.71418

ONDES SEMIDIURNES		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 5	2N2	1.25602	-1.978
6 - 9	N2	1.19073	-4.102
10 - 14	M2	1.16823	-0.815
15 - 19	L2	1.25827	-9.359
20 - 21	S2	1.14099	-3.714
22 - 27	K2	1.09947	-0.505

ERREURS Q.M.		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 5	2N2	0.18497	8.438
6 - 9	N2	0.03761	1.810
10 - 14	M2	0.00632	0.311
15 - 19	L2	0.11809	5.378
20 - 21	S2	0.01281	0.648
22 - 27	K2	0.03611	1.883

ERREUR Q.M. SD 8.72123

STATION LOHJA

COMPOSANTE NORD SUD

FINLANDE

60.13N 24. 2E H 105 P 145
GEODEETTINEN LAITOS HELSINKI T.HONKASALO
PENDULE HORIZONTAL VM 90
ETALONNAGE AUTOMATIQUE

VM	90	67	12	30	68	2	14
VM	90	68	2	17	68	4	3
VM	90	68	4	5	68	9	22
VM	90	68	9	26	68	10	16
VM	90	68	12	2	69	1	9
VM	90	69	1	14	69	6	29

NOMBRE TOTAL DE JOURS 498

ONDES DIURNES		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 11	Q1	0.573973	23.650
12 - 21	O1	0.530809	1.154
22 - 29	M1	0.608095	-41.919
30 - 32	P1	0.514504	-7.726
33 - 34	S1	13.407710	-55.515
35 - 40	K1	0.654427	-0.876
41 - 45	J1	0.386516	-24.981
46 - 52	OO1	0.744127	2.015

ERREURS Q.M.		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 11	Q1	0.116576	11.631
12 - 21	O1	0.021932	2.368
22 - 29	M1	0.317359	29.902
30 - 32	P1	0.059263	6.579
33 - 34	S1	3.641924	15.547
35 - 40	K1	0.017452	1.528
41 - 45	J1	0.278389	41.275
46 - 52	OO1	0.355151	27.355

ERREUR Q.M. D 58.540261

ONDES SEMIDIURNES		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 5	2N2	0.297725	-10.702
6 - 9	N2	0.495387	9.844
10 - 14	M2	0.478053	10.139
15 - 19	L2	0.765141	6.948
20 - 21	S2	0.533471	14.859
22 - 27	K2	0.589842	11.872

ERREURS Q.M.		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 5	2N2	0.140609	27.039
6 - 9	N2	0.028399	3.284
10 - 14	M2	0.004985	0.597
15 - 19	L2	0.103536	7.752
20 - 21	S2	0.010119	1.096
22 - 27	K2	0.028382	2.758

ERREUR Q.M. SD 22.430184

STATION LOHJA COMPOSANTE EW FINLANDE

60.13N 24. 2E H 105 P 145
 GEODEETTINEN LAITOS HELSINKI T.HONKASALO
 PENDULE HORIZONTAL VM 89
 ETALONNAGE PAR PERIODES

VM 89 68 4 5 68 11 3
 VM 89 68 11 21 69 2 13

NOMBRE TOTAL DE JOURS 300

ONDES DIURNES		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 11	Q1	0.732883	2.247
12 - 21	O1	0.683533	1.349
22 - 29	M1	0.649951	-14.441
30 - 32	P1	0.694921	9.214
33 - 34	S1	15.940247	39.993
35 - 40	K1	0.719001	2.171
41 - 45	J1	0.272482	-2.472
46 - 52	OO1	1.074460	-56.248

ERREURS Q.M.		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 11	Q1	0.102236	7.994
12 - 21	O1	0.020015	1.677
22 - 29	M1	0.243090	21.429
30 - 32	P1	0.052040	4.300
33 - 34	S1	3.048822	10.953
35 - 40	K1	0.015281	1.221
41 - 45	J1	0.256867	53.993
46 - 52	OO1	0.327846	17.481

ERREUR Q.M. D 71.517949

ONDES SEMIDIURNES		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 5	2N2	0.612589	-12.512
6 - 9	N2	0.623982	-1.123
10 - 14	M2	0.644075	0.617
15 - 19	L2	0.638769	8.309
20 - 21	S2	0.668663	0.941
22 - 27	K2	0.640049	1.327

ERREURS Q.M.		FACT.AMPL.	PHASES
1 - 5	2N2	0.126032	11.779
6 - 9	N2	0.027885	2.559
10 - 14	M2	0.005123	0.455
15 - 19	L2	0.096730	8.672
20 - 21	S2	0.010557	0.897
22 - 27	K2	0.029017	2.602

ERREUR Q.M. SD 20.590368

	Pend. N° 89		Pend. N° 90		
	1968 Febr.	1969 Febr. 1968	Febr.	1969 Febr.	
Drift	265	58	59	48	mseca/d
Total yearly drift		48"		16"	
Sensibility used	3.39	1.49	1.60		1.25 mseca/mm
Decrease of sensibility	0.22	0.05	0.62		0.04 mseca/mm
Corresponding inclination	73	17	207	13	mseca/d
Yearly inclination		9"		20"	

Both pendulums have been ones repaired due to break of quartz wire, N° 90 in Brussels, N° 89 in Helsinki. The automatic calibration with bearing plate C 62 has given the same sensitivity as the period calibration for pendulum 90 but the bearing plate C 63 under the pendulum 89 gave 58 % greater values than the period calibration. When the bearing plate C 63 was replaced with C 54 in December 1958 the discrepancy disappeared.

Although the pendulum station is deep under the earth surface several disturbances have been observed. These were investigated with a seismograph, temporarily installed in the mine. An indisputable difference between the day and night time was proved. Every heavy goods-train passing the station at 2 km distance was observed.

The results of harmonic analyses, made in the International Centre of Earth Tides, are given in the following tables, for the gravimeter recordings, vertical component, from June 1967 to April 1969, for horizontal pendulums, NS-component from December 1967 to June 1969 and EW-component from April 1968 to February 1969.

GRAVIMETEREICHUNG DURCH SPINDELVERSTELLUNG UND VERSCHIEBUNG DES VERSTÄRKERNULLPUNKTES

von Manfred BONATZ

Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn.

Wie in [1], [2], [3] und [4] näher beschrieben wurde, ist vom Verfasser in der gravimetrischen Gezeitenstation Bonn seit über einem Jahr zur Verstärkung des Meßsignals des Gravimeters GS 12 Nr. 85a ein Keithley-Registrierverstärker, Model 150 B [5], eingesetzt. Die Registrieranlage wurde regelmäßig geeicht durch "Spindelverstellung mit Meßbereichsumschaltung". Neben diesem die innere Genauigkeit verbessernden Eichverfahren bietet der genannte Verstärker zusätzlich die Möglichkeit der "Eichung mit Verschiebung des Verstärkernullpunktes".

Zur Ausschöpfung der Meßgenauigkeit von Verstärker und Registrierschreiber ist es notwendig, die Registrierempfindlichkeit so einzustellen, daß die maximale Gezeitenamplitude nicht wesentlich kleiner ist als die verfügbare Registrierbreite des Schreibers. Das führt jedoch dazu, daß für die Eichung der Registrieranlage durch Verstellung der Meßspindel im Falle des Gravimeters GS 12 Nr. 85a nur $1,5 \cdot 10^{-2}$ Maßstabsskalenteile (MSkt) zur Verfügung stehen. Dieser geringe Betrag reicht jedoch nicht aus, mit einer vertretbaren Anzahl von Spindelverstellungen eine notwendige Eichgenauigkeit von $< 1\%$ zu erzielen; es kommt hinzu, daß neben den unregelmäßigen Einstellfehlern noch mit systematischen Fehlern der Mikrometerteilung zu rechnen ist, die voll in das Eichergebnis eingehen und auch durch eine Vergrößerung der Anzahl der Eichungen nicht eliminiert werden können. Im vorliegenden Falle betrug bei einer Empfindlichkeit von $1,2 \mu\text{Gal}/\text{mm}$ der relative Fehler einer Eichung $\pm 6,2\%$, der sich bei 16 ausgeführten Spindelverstellungen erst auf $1,6\%$ reduzierte (ohne den systematischen Fehleranteil!) - Die Eichgenauigkeit läßt sich nun entscheidend verbessern, indem man die Nullpunktunterdrückung des Registrierverstärkers benutzt: Nach einer Spindelverstellung um $1 \cdot 10^{-2}$ MSkt, bei der beispielsweise die Meßwertanzeige am Registrierschreiber vom linken an den rechten Rand gerückt wurde, wird nach einer nicht zu knapp bemessenen Einlaufzeit (einige Stunden) die Meßwertverschiebung durch Änderung des Verstärkernullpunktes wieder rückgängig gemacht. Wiederum nach einer längeren Einlaufzeit wird dann erneut eine Spindelverstellung in derselben Richtung wie vorher ausgeführt und das ganze Verfahren solange wiederholt, bis ein genügend großer Schwereunterschied durch die Spindelverstellung überbrückt wurde. Es werden also praktisch die einzelnen Verstellungsbeiträge der Spindel addiert, und als Fehler wirksam sind nur die Einstell- und Teilungsfehler der ersten und der letzten Spindeleinstellung. Es kommen hinzu die zufälligen Fehler in der Meßwertanzeige des Registrierschreibers, die aber nicht kumulativ wirken. Das Verfahren setzt natürlich

eine hinreichende Genauigkeit des elektronischen Nullpunktunterdrückungssystems voraus (keine wesentliche Änderung des Verstärkungsfaktors als Funktion der Nullstellung). Im vorliegenden Falle kan diese Bedingung innerhalb einer Toleranz von $< 1 \%$ als erfüllt angesehen werden.

Beispiel : Nach dem beschriebenen Verfahren ergab sich aus 15 Spindelverstellungen um den Betrag von je $1 \cdot 10^{-2}$ MSkt ein gesamter (addierter) Meßwertausschlag von 2277 mm bei der Hinmessung und von 2273 mm bei der Rückmessung; die Differenz ist $0,2 \%$. Der zugeordnete Schwereunterschied der Spindelverstellung auf Grund der Kugeleichung beträgt $15 \cdot 188,6 \mu\text{Gal} = 2829 \mu\text{Gal}$. Die daraus abgeleitete Empfindlichkeit ergibt sich zu

$$k_{1:1} = \frac{2829}{2275} = 1,2435 \mu\text{Gal}/\text{mm}.$$

Natürlich ist dieses Eichverfahren sehr zeitraubend - die Eichungen erstreckten sich im vorliegenden Falle über einen Zeitraum von 14 Tagen - und daher allgemein kaum anwendbar, es hat jedoch seine Bedeutung im Zusammenhang mit dem Eichverfahren mit Meßbereichsumschaltung, nämlich zur Bestimmung des Meßbereichsfaktors. Während des genannten Zeitraumes wurden auch nach dem letzt genannten Verfahren insgesamt 6 Eichungen ausgeführt, die im Mittel für $15 \cdot 10^{-2}$ MSkt einen Meßwertausschlag von $(218,0 \pm 0,9)$ mm ergaben; eine zeitliche Änderung dieses Betrages konnte außerhalb der Meßtoleranz nicht festgestellt werden! Nach dem zweiten Verfahren beträgt die Empfindlichkeit

$$k_{1:10} = \frac{282,9}{218} = 1,2977$$

Aus dem Quotienten $\frac{k_{1:1}}{k_{1:10}} = \frac{1,2435}{1,2977}$ ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von 0,9582 bzw. ein Meßbereichsfaktor von 9,5823. Die nach dem Verfahren mit Meßbereichsumschaltung ermittelten Eichkonstanten müssen also zur Elimination des systematischen Einflusses des Meßbereichsfaktors auf das Eichergebnis hier mit dem Betrag 0,9582 multipliziert werden ($1,2977 \cdot 0,9582 = 1,2435$) oder aber als der einer Spindelverstellung um $15 \cdot 10^{-2}$ MSkt zugeordnete Schwereunterschied muß bei dem Eichverfahren mit Meßbereichsumschaltung der reduzierte Wert $\Delta g_r = 2711 \mu\text{Gal}$ benutzt werden.

L I T E R A T U R

[1] M. BONATZ

Gravimetric Earth Tide Recording with Askania GS 11 or 12 by Electronic Amplification of the Gravimeter-Signal,
dem Erdgezeitsymposium anlässlich der Generalversammlung der IUGG 1967 in Luzern vorgelegter Bericht.

[2] M. BONATZ

Genauigkeitssteigerung der Eichung durch Spindelverstellung bei Verwendung eines elektronischen Registrierverstärkers zu den Askania-Gravimetern GS 11 und GS 12.
Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, Nr. 49 (1967) S. 2226.

[3] M. BONATZ

Ergebnisse der Gravimetreichung durch Spindelverstellung bei Verwendung eines elektronischen Registrierverstärkers,
Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, Nr. 51 (1968) S. 2332.

[4] M. BONATZ

Ergebnisse einer 100-tägigen Gravimeterregistrierung bei Verwendung eines elektronischen Verstärkers,
Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, Nr. 52 (1968) S. 2413.

[5] KEITHLEY ENGINEERING NOTES

150 B Microvolt-Ammeter,
Vol. 15, Nr 1.

SUR LES FORCES D'ACTION RECIPROQUE DU NOYAU ET DE L'ENVELOPPE DE LA TERRE
APPARAISSANT A CAUSE DE LA NUTATION

E. P. Fedorov

Dokladi Akademii Naouk SSSR, 1957, Tome 115 N° 6, pp. 1084-1087

О СИЛАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДРА И ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ВСЛЕДСТВИЕ НУТАЦИИ.

Е. П. Федоров.

Доклады Акад. Наук СССР 1957, Том 115, №

Стр. 1084-1087.

Dans l'étude du mouvement de rotation de l'enveloppe de la Terre il faut tenir compte aussi bien de l'action des forces extérieures perturbatrices d'attraction Luni-solaire que des forces d'action réciproque entre l'enveloppe et le noyau. Soient L_s et N les moments respectifs de ces forces. Alors :

$$\vec{G}_s = \vec{L}_s + \vec{N}, \quad (1)$$

où \vec{G}_s est le moment cinétique de l'enveloppe. Nous désignerons par G le moment cinétique de la Terre entière. La dérivée de G par rapport au temps est représentée comme on le sait par un vecteur situé dans le plan de l'équateur. Déterminons dans ce plan les axes de coordonnées dont l'origine est placée au centre de la Terre et dirigeons l'axe OX vers le point vernal d'une certaine époque initiale. Nous aurons alors :

$$\dot{G} = g(\sin \theta \dot{\psi} + i \dot{\theta}) \quad (2)$$

où g est le module du vecteur G , où θ est l'inclinaison de l'écliptique par rapport à l'équateur et où $\psi = f(t)$, $\theta - \theta_0 = f'(t)$ sont la précession et la nutation en longitude et en obliquité. Les fonctions $f(t)$ et $f'(t)$ représentent les sommes des termes séculaires et périodiques. Les coefficients de ces termes ont été calculés sur la base de sa théorie de la rotation de la Terre absolument rigide, mais ils ne varient pas dans n'importe quelle autre hypothèse admise sur ses propriétés mécaniques. En particulier, pour le terme principal et le terme semi-mensuel de la nutation nous avons les expressions théoriques suivantes :

$$\begin{aligned} \sin \theta \dot{\psi} &= -6",869 \sin \Omega - 0",0812 \sin 2\zeta, \\ \theta - \theta_0 &= +9",220 \cos \Omega + 0",0834 \cos 2\zeta, \end{aligned} \quad (3)$$

où Ω est la longitude du noeud ascendant de l'orbite lunaire et ζ la longitude moyenne de la Lune. Pour les raisons compréhensibles nous nous servons ici de la valeur de la constante de nutation ν q.'on obtient théoriquement à partir du rapport entre cette constante, l'aplatissement mécanique de la Terre H et le rapport μ de la masse de Lune à la masse de la Terre :

$$\nu = 231981",8 H \frac{\mu}{1 + \mu}$$

Nous avons pris $\nu = 9",220$ et avec cette valeur nous avons calculé les autres coefficients et pour les seconds termes des seconds membres des équations (3) nous les avons pris avec un plus grand nombre de chiffres que pour les premiers puisque d'après les observations, l'expression du terme semi-mensuel de la nutation est exacte.

S'il n'y a pas d'action réciproque entre le noyau et l'enveloppe de la Terre c'est-à-dire si le moment \vec{N} dans l'équation (1) peut être pris égal à zéro, il est facile de comprendre que pour la dérivée de \vec{G}_s par rapport au temps nous obtiendrons l'expression

$$\dot{\vec{G}}_s = hg_s (\sin \theta \dot{\psi} + \dot{\theta}). \quad (4)$$

dans laquelle g_s est le module du vecteur G_s et h est le rapport de l'aplatissement mécanique de l'enveloppe à l'aplatissement mécanique de toute la Terre. Dans l'équation (1) on peut remplacer L_s par l'expression (4).

Puisque l'observateur est toujours lié à l'enveloppe de la Terre, nous pouvons obtenir par l'observation astronomique les seconds membres des équations $\psi_r = f_r(t)$, $\theta_r - \theta_0 = f_r(t)$ décrivant le mouvement du vecteur G_s .

Il ne paraît pas possible de déterminer les coefficients de tous les termes de la nutation par les observations et nous nous sommes limités aux termes principaux et semi-mensuels. Nous avons obtenu les coefficients du terme principal de la nutation par l'analyse de 135.000 observations dans les stations des latitudes de Carloforte, de Mizusawa et Ukiah de 1900 à 1934 [1]; pour déterminer les coefficients du terme semi-mensuel [2] nous avons pris en considération aussi les résultats de A. Ya Orlov [3] et Morgan [4] de telle sorte que le nombre total des observations sur lesquelles sont basées les valeurs de ces coefficients atteigne 232.000. On peut représenter les résultats obtenus par les expressions :

$$\begin{aligned} \sin \theta \dot{\psi}_r &= -6",853 \sin \Omega + 0",008 \cos \Omega - 0",0866 \sin 2\zeta + 0",0019 \cos 2\zeta, \\ \theta_r - \theta_0 &= +9",198 \cos \Omega - 0",001 \sin \Omega + 0,0894 \cos 2\zeta + 0,0019 \sin 2\zeta. \end{aligned} \quad (5)$$

Nous pouvons maintenant déterminer G_s par les observations si nous introduisons (5) dans la formule :

$$\vec{G}_s = g_s (\sin \theta \dot{\psi}_r + i \dot{\theta}_r) \quad (6)$$

Puisque le vecteur \vec{N} est dans le plan de l'équateur on peut le représenter sous la forme $X_n + iY_n$ et, en vertu de (1) écrire :

$$X_n + iY_n = g_s [\sin \theta (\dot{\psi}_r - h \dot{\psi}) + i (\dot{\theta}_r - h \dot{\theta})]. \quad (7)$$

Il y a intérêt à comparer cette expression avec celle que nous aurions pour une liaison complète entre le noyau et l'enveloppe c'est-à-dire dans le cas où le noyau serait solide. Dans ce cas le moment des forces agissant du noyau sur l'enveloppe sera désigné par $X'_n + iY'_n$.

Vu l'impossibilité de mouvement du noyau par rapport à l'enveloppe le moment \vec{G}_s est pratiquement colinéaire à \vec{G} . Il s'ensuit que pour substituer en (2) il faut maintenant prendre l'expression théorique de la nutation (3). Nous obtenons :

$$X'_n + iY'_n = g_s (1 - h) (\sin \theta \dot{\psi} + i \dot{\theta}). \quad (8)$$

Pour calculer h , nous avons emprunté à Bullen les données suivantes (5) :

$$\epsilon = \frac{C_n - A_n}{A_n} = 0,00260, \quad \frac{A_n}{A} = 0,112, \quad (9)$$

où C_n et A_n sont les moments principaux d'inertie du noyau et A est le moment d'inertie équatorial de toute la Terre. Avec ces données, nous obtenons $h = 1,027$. Introduisons (3) dans l'équation (8) tout en représentant Ω et $2\mathcal{C}$ sous la forme $\Omega = \alpha t$, $2\mathcal{C} = \beta t$ (avec $\alpha = -0,000146 n$, $\beta = 0,073 n$, où n est la vitesse angulaire de rotation de la Terre et t le temps). Après des transformations simples, nous obtiendrons :

$$X'_n + iY'_n = \alpha g_s (0,217 e^{+\alpha t} - 0,032 e^{-\alpha t}) + \beta g_s (0,0023 e^{+\beta t} - 0,0001 e^{-\beta t}). \quad (10)$$

Le moment des forces provenant du mouvement principal de nutation peut être par conséquent représenté sous la forme d'une somme de deux vecteurs :

$$\vec{U}_1 = 0,217 \alpha g_s e^{+\alpha t}, \quad \vec{U}_2 = -0,032 \alpha g_s e^{-\alpha t}. \quad (11)$$

Puisque α est négatif, le premier vecteur tourne dans l'espace dans le sens des aiguilles d'une montre, le second tourne en sens opposé. Par rapport à la Terre elle-même les deux vecteurs tournent dans le sens des aiguilles d'une montre avec des vitesses angulaires respectives de $(-n + \alpha)$ et $(-n - \alpha)$.

Le moment provenant de la nutation semi-mensuelle est représenté également par deux vecteurs :

$$V_1 = 0,0023 \beta g_s e^{+i\beta t}, \quad V_2 = -0,0001 \beta g_s e^{-i\beta t}. \quad (12)$$

Nous avons ensuite, en substituant (3) et (5) dans l'équation (7) :

$$\begin{aligned} X_n + iY_n &= \alpha g_s (0,236 e^{+i\alpha t} - 0,035 e^{-i\alpha t} + 0,004 i e^{+i\alpha t} - 0,004 i e^{-i\alpha t}) + \\ &+ \beta g_s (-0,0010 e^{+i\beta t} - 0,0024 e^{-i\beta t} + 0,0019 i e^{+i\beta t}) = \\ &= (1,09 + 0,02i) U_1 + (1,09 + 0,13i) U_2 + (-0,43 + 0,83i) V_1 + 24 V_2. \quad (13) \end{aligned}$$

Il est difficile de donner une estimation de la précision du résultat obtenu mais il faut souligner que nous avons à faire avec de petites valeurs à peine discernables dans l'analyse des séries les plus longues d'observations astronomiques. Toutefois, quoiqu'elle n'ait qu'un caractère qualitatif la conclusion suivante est apparemment digne de confiance.

L'influence de la mobilité du noyau par rapport à l'enveloppe de la Terre a pour conséquences :

- 1) l'augmentation du module du vecteur \vec{U}_1
- 2) l'inversion de direction du vecteur \vec{V}_1
- 3) la déviation des vecteurs \vec{V}_1 et \vec{V}_2 dans le sens opposé à la direction de la rotation de ces vecteurs par rapport à la Terre.

Les résultats 1 et 2 paraissent au premier coup d'oeil se contredire. Cependant cette contradiction s'explique facilement si l'on fait appel à la théorie du mouvement de rotation de la Terre avec noyau liquide même dans sa forme la plus simple sous laquelle elle a été développée d'abord par F. Sloudsky (6) et ensuite par H. Poincaré (7) et exposée dans le cours d'Hydrodynamique de G. Lamb (8). Pour calculer le moment des forces agissant de la part du noyau sur l'enveloppe, prenons les équations suivantes du mouvement [(8) page 916] :

$$A\dot{\vec{\omega}} + F\dot{\vec{\omega}}_n - i(C - A)n\vec{\omega} + jFn\vec{\omega}_n = ke^{i\alpha t}, \quad (14)$$

$$F\dot{\vec{\omega}} + A_n\dot{\vec{\omega}}_n + iC_n\vec{\omega}_n = 0. \quad (15)$$

Ici $\vec{\omega} = p + iq$; $\vec{\omega}_n = p_n + iq_n$; p, q sont les projections de la vitesse angulaire de la rotation de la Terre sur deux axes réciproquement perpendiculaires se trouvant dans le plan de l'équateur et constamment liés à l'enveloppe de la Terre ; p_n, q_n sont les projections sur les mêmes axes de la vitesse angulaire de rotation du noyau par rapport à l'enveloppe (ici nous appelons "rotation" "la rotation elliptique" dans le sens que N.E. Joukovskii (9) a donné à ce terme) F est

une quantité ayant la dimension d'un moment d'inertie et, dans le cas considéré, égale à $A_n \sqrt{1-s^2}$.

Soit $\gamma = \frac{C_n - A_n}{C - A}$. On peut transformer l'équation (14) sous la forme :

$$A_s \ddot{\omega} - i(C_s - A_s) n \dot{\omega} = (1 - \gamma) k e^{i\sigma t} + X_n + iY_n,$$

où C_s, A_s sont les moments principaux d'inertie de l'enveloppe. On obtient ainsi :

$$X_n + iY_n = \gamma(X + iY) - A_n \dot{\omega} - F \dot{\omega}_n + i(C_n - A_n) n \omega - iF n \omega_n. \quad (16)$$

En l'absence de mouvement relatif du noyau: $\omega_n = 0$, et

$$X'_n + iY'_n = \gamma(X + iY) - A_n \dot{\omega} + i(C_n - A_n) n \omega. \quad (17)$$

La solution des équations (14) et (15) est

$$\bar{\omega} = -\frac{A_n \sigma + C_n n}{\Delta(\sigma)} i k e^{i\sigma t}, \quad \bar{\omega}_n = \frac{F \sigma}{\Delta(\sigma)} i k e^{i\sigma t}, \quad (18)$$

où

$$\Delta(\sigma) = \begin{vmatrix} A\sigma - (C - A)n & F(\sigma + n) \\ F\sigma & A_n \sigma + C_n n \end{vmatrix}. \quad (19)$$

Après substitution de ces valeurs $\bar{\omega}$ et $\bar{\omega}_n$ dans les équations (16) et (17) et certaines transformations nous trouverons :

$$\frac{X_n}{X'_n} = \frac{Y_n}{Y'_n} = 1 + x(\sigma + n), \quad x = \frac{F^2 \sigma}{S},$$

$$S = \gamma \Delta(\sigma) - (A_n \sigma + C_n n) [A_n \sigma - (C_n - A_n) n] \quad (20)$$

et en substituant les valeurs numériques nous obtenons :

Terme principal de
la nutation (vecteur U_1)

Terme semi-mensuel de
la nutation (vecteur V_1)

$$\begin{aligned} \sigma &= -n + \alpha = (-1 - 0,000146)n \\ \Delta(\sigma) &= -0,00028n^2 C^2 \\ S &= +0,00001n^2 C^2 \\ xn &= -1400 \\ 1 + x(\sigma + n) &= +1,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -n + \beta &= (-1 + 0,073)n \\ &= -0,00695n^2 C^2 \\ &+ 0,00026n^2 C^2 \\ &= -44 \\ &= -2,21 \end{aligned}$$

Nous constatons que l'influence de la mobilité du noyau de la Terre doit effectivement conduire à une augmentation du module du vecteur \vec{U}_1 et à une inversion de direction du vecteur \vec{V}_1 .

Il est naturel de supposer que la déviation des vecteurs \vec{V}_1 et \vec{V}_2 dans le sens de la rotation diurne de la Terre s'explique par l'influence du frottement à la limite du noyau.

On ne peut cependant pas s'attendre à une concordance quantitative des conclusions de la théorie avec les données d'observations parce que le modèle de la Terre utilisé dans la théorie est simplifié : en particulier on n'a pas tenu compte des déformations élastiques de l'enveloppe et de la viscosité du noyau. En outre, l'influence du noyau sur le mouvement de l'enveloppe ne se limite probablement pas à l'action de forces mécaniques apparaissant à leur frontière ; des forces d'un autre genre peuvent jouer un grand rôle par exemple les forces magnétiques.

Pour préciser dans la suite les résultats obtenus il faut analyser de nouvelles données d'observations. Un pas important dans cette direction sera fait quand seront publiées les observations du Service International des latitudes de 1935 à 1954.

BIBLIOGRAPHIE

1. E.P. FEDOROV
Circulaire astronomique
Comm. de l'Ac. des Sc. d'URSS, N° 164, 10 (1955).
2. E.P. FEDOROV
Circulaire astronomique Bureau d'Astronomie.
Comm. de l'Ac. des Sc. de l'URSS. N° 148, 12 (1954).
3. A. Ya ORLOV
Circulaire astronomique. Bureau astronomique
Comm. de l'Ac. des Sc. d'URSS N° 126, 19 (1952).
4. H.R. MORGAN
Astr. J., 57, 232 (1952).
5. K. BULLEN
Monthly Not. R.A. S. Geophys. Suppl. 3, 5 (1936).
6. F. SLOUDSKY
Bull. Soc. Natur. de Moscou N° 2 (1895).
7. H. POINCARÉ
Bull. Astr. 27, 321 (1910)
8. G. LAMB
Hydrodynamique, 1949
9. N.E. JOUKOVSKII
Oeuvres choisies 1, 31 (1948).

PREMIERS RESULTATS DES OBSERVATIONS PAR UN EXTENSOMETRE HORIZONTAL A
TIAN-SHANE

L.A. Latinina, R.M. Karmalieva

Izvestia Ac. des Sc. d'URSS N° 11, 1962 - Série Géoph. pp. 1574-1578

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ
ЭКСТЕНЗОМЕТРОМ В ТЯНЬ-ШАНЕ

Л. А. ЛАТЫНИНА, Р. М. КАРМАЛЕЕВА

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

№ 11, 1962

СЕРИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ

1574—1578

Nous donnons la description de l'installation et les premiers résultats des observations des déformations de la surface de la Terre à l'aide de deux extensomètres en quartz à Talgar (région d'Alma-Ata). Nous donnons l'allure des déformations pour une période de 8 mois.

On a effectué l'analyse harmonique des déformations de marées sur les données obtenues par la composante à longue base, à la suite de quoi on a déterminé les constantes élastiques de la Terre h et l .

L'enregistrement des mouvements lents de la surface de la Terre constitue une large application du groupe d'appareils appelés déformographes ou extensomètres. Les observations des mouvements horizontaux de caractère tectonique et de marée ont été effectuées à l'aide des déformographes en 20 stations du Japon. Les déformographes de Benioff installés dans les stations du Canada et du Chili ont été utilisés pour étudier les ondes sismiques à longue période. Les déformographes construits en DDR sont destinés à l'enregistrement des mouvements locaux près des travaux d'extraction [1-4].

Le déformographe enregistre le déplacement relatif de deux points de la surface de la Terre provoqué par la distension ou la contraction de la roche et est proportionnel à sa déformation linéaire. La distance entre les points que nous appellerons base de l'appareil varie dans les différentes installations de une à plusieurs dizaines de mètres. Quand on augmente la distance entre les points, leur déplacement relatif croît aussi et par conséquent aussi la sensibilité de

l'appareil. Une seconde circonstance rend utile l'augmentation de la base : l'appareil à grande base permet de s'affranchir des particularités locales des déformations en relation avec les crevasses des roches, les hétérogénéités, le microrelief etc ...

Les points de la roche dont le déplacement relatif est enregistré peuvent être reliés entre eux par une tige (extensomètre à tige) par un fil (extensomètre de Sassa) ou optiquement (extensomètre interférenciel).

L'élément fondamental de l'extensomètre à tige le plus répandu est la tige rigide AB (fig.1) dont un bout A est fixé à la roche et l'autre B est libre. Quand on mesure la longueur de la partie de la roche ab, le bout de la tige B se déplace par rapport au point de la roche b. Ce mouvement s'enregistre par des méthodes mécaniques, optiques et électromagnétiques [4 - 5].

Le premier déformographe à grande base a été installé chez nous dans la station géophysique de Talgar dans la région de Alma-Ata en 1961. Les observations dans cette région hautement sismique ont pour but de déceler les mouvements lents en relation avec les processus précédant les tremblements de terre.

Le déformographe est placé dans une nouvelle galerie de mine percée dans le gneiss à angle droit par rapport à la direction de l'étendue de la chaîne de montagnes. A 70 m de l'entrée de la galerie et à 50 m de la surface libre sont installés deux déformographes : un le long de la galerie dans la direction N-S avec une base de 26 m et l'autre dans la direction E-W avec une base de 4 m. Les variations diurnes de la température dans la galerie ne dépassent pas les centièmes de degré.

La tige du déformographe est constituée de bouts de tubes en quartz d'une longueur de 2 ou 3 m chacun, rendus solidaires par des manchons en invar. L'emploi du quartz et de l'invar, matériaux à faible coefficient de dilatation thermique, permet de diminuer la variation de longueur de la tige due aux variations diurnes de la température allant jusqu'à 0,01 à 0,02 micron. L'extrémité fixe de la tige pour la composante N-S est bétonnée dans le socle, pour la composante E-W dans le mur de la galerie. Sur le second socle s'appuient les extrémités libres des tiges. Les socles sont faits de ciment d'alumine, caractérisé par une prise rapide et une faible assise. Les bases des socles sont enfouies en profondeur là où il n'y a pas de roche morcelée par le forage de la galerie.

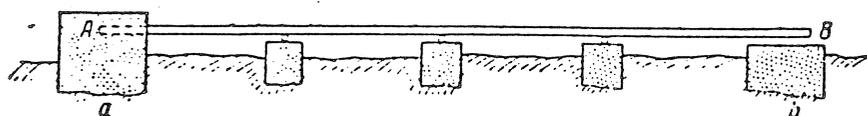


Fig. 1. Schéma de l'extensomètre en quartz.

Pour améliorer l'adhésion avec la roche, les bases des socles sont assez grandes en surface (1m^2). La position de la tige dans l'espace est fixée à l'aide de supports intermédiaires. Les plate-formes intermédiaires sont placées à la distance de 1,5 m l'une de l'autre sur des socles dont les bases sont également enfouies dans la roche. La tige est appuyée sur des galets qui se trouvent sur les plate-formes (fig. 1). L'inclinaison de la tige cause une augmentation sensible des forces résistant au mouvement, aussi la position de la tige est réglée rigoureusement horizontale. La force de friction entre le tube de quartz et les galets est déterminée avant la fixation de l'extrémité de la tige. Elle était égale à 500 g pour un poids de la tige de 70 kg. On a fait des expériences de contrôle de la rigidité de la tige par degré de transmission du déplacement d'une extrémité à l'autre. Le déplacement de l'extrémité libre est obtenu par réchauffement d'un petit bout du tube de quartz on a mis sur ce tube un chauffage électrique d'une longueur de 6 cm et pendant 20 minutes le quartz, à l'endroit du contact avec le chauffage, a chauffé environ jusqu'à 200° . Dans une série de mesures, le chauffage est effectué près de l'extrémité fixe de la tige et le déplacement s'est transmis sur l'extrémité libre le long de toute la tige ; dans l'autre série, le chauffage a été fait près de l'extrémité libre et la tige n'a pas participé à la transmission du mouvement. Il n'y a pas de différences systématiques dans la valeur des impulsions enregistrées.

L'enregistrement est effectué à l'aide d'un dispositif à torsion analogue à celui employé au Japon [6]. L'extrémité libre de la tige est appuyée sur un fin galet qui se trouve librement sur la surface polie. Le déplacement de l'extrémité libre provoque un tour du galet entraînant le miroir qui lui est fixe. L'enregistrement s'effectue de façon photo-optique. L'écart de la tache lumineuse sur la bande d est lié au déplacement sur le sol S par le rapport

$$d = 2L \frac{S}{D}$$

où L est le levier optique, D est le diamètre du galet.

Le galet employé a un diamètre $D = 0,4 \text{ mm}$; à 1 mm de déplacement sur la bande correspondent 0,2 micron sur le sol ou une déformation égale à $0,8 \cdot 10^{-8}$ pour la composante N-S et $5 \cdot 10^{-8}$ pour la composante E-W.

On utilise largement à présent dans les déformographes des générateurs capacitifs et inductifs des déplacements donnant une sensibilité d'un ordre ou deux plus élevée que celle donnée ici et donnant la possibilité de faire un enregistrement à distance. La supériorité du système adopté ici est sa haute stabilité dans le temps ce qui est important lors de l'enregistrement des mouvements tectoniques quasi statiques. Apparemment il convient d'utiliser parallèlement les mêmes appareils avec des systèmes électromagnétiques plus sensibles.

L'enregistrement systématique a commencé en novembre 1961. Nous donnons sur la figure 2 l'allure des déformations d'après les données des deux déformographe pour la période novembre 1961 à juin 1962.

La ligne épaisse donne l'allure des déformations dans la direction NS, la ligne fine dans la direction EW. Nous avons reporté simultanément sur le graphique l'allure de la température extérieure de l'air (ligne pointillée) et de la température intérieure dans la galerie (point avec trait). Le déplacement relatif maximum, dans la direction NS sur la base de 26 m est égal à 20 microns, dans la direction EW sur la base de 4 m, il est de 8 microns.

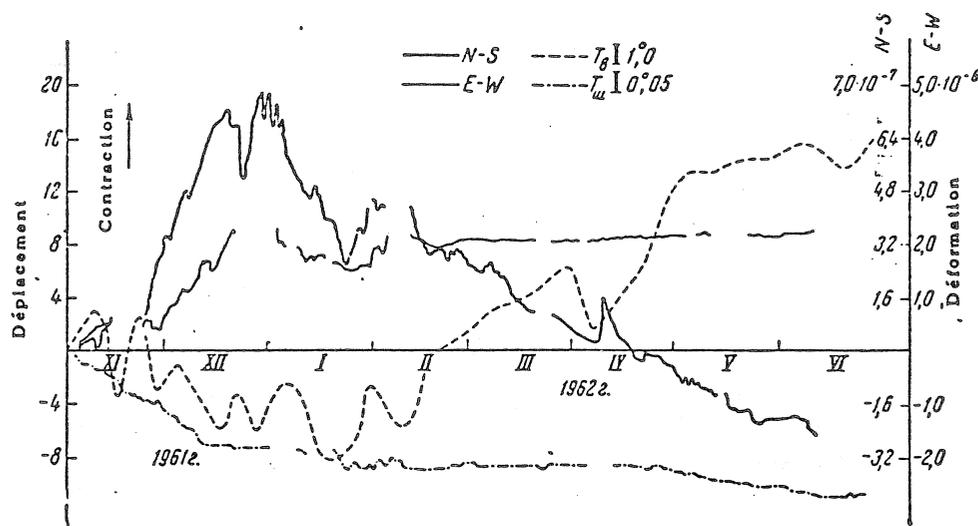


Fig. 2. Allure des déformations linéaires d'après les données de deux extensomètres et variation de la température de l'air à l'extérieur et à l'intérieur de la galerie pour la période de novembre 1961 à juin 1962.

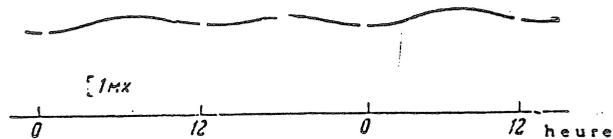


Fig. 3. Exemple d'enregistrement de la déformation de marée sur la composante NS.

Au cours de la première période d'enregistrement (novembre à janvier), l'allure de la déformation correspond à la contraction de la roche. Depuis janvier la déformation change de signe ce qui correspond à la distension de la roche. L'allure de la déformation correspond à l'allure de la température extérieure et a apparemment une nature saisonnière. Les sauts sur la courbe des déformations sont en relation avec la présence de personnes dans la galerie et avec les variations de la température intérieure. Il n'est pas possible de séparer le mouvement tectonique sur un si court temps d'observations. Il n'y a pas eu de forts tremblements de terre proches pour la période d'observation. Les déformations de marée (fig. 3) sont enregistrées sur le fond du mouvement lent de direction par le déformographe.

L'enregistrement des ondes de marées à l'aide des extensomètres permet de déterminer les constantes élastiques de la Terre h est le nombre de Love et l est le nombre de Shida.

Les nombres h et l caractérisent le rapport des composantes verticale et horizontale observées du déplacement dans la Terre provoqué par les forces génératrices de marées aux composantes correspondantes du déplacement de la marée d'équilibre.

Les composantes de la déformation horizontale dans la direction du méridien $e_{\theta\theta}$ et de la latitude $e_{\phi\phi}$ pour les ondes lunaires semi diurne et diurne désignées par M_2 et O_1 ont la forme

$$e_{\theta\theta} = \frac{h \sin^2\theta + 2l \cos\theta}{\sin^2\theta} \frac{(W_2)_{M_2}}{Rg} \quad (1)$$

$$e_{\phi\phi} = \frac{h \sin^2\theta - 2l(1 + \sin^2\theta)}{\sin^2\theta} \frac{(W_2)_{M_2}}{Rg} \quad (2)$$

$$e_{\theta\theta} = (h - 4l) \frac{(W_2)_{O_1}}{Rg} \quad (3)$$

$$e_{\phi\phi} = (h - 2l) \frac{(W_2)_{O_1}}{Rg} \quad (4)$$

où $(W_2)_{M_2}$, $(W_2)_{O_1}$ est le potentiel théorique des ondes M_2 et O_1 , R est le rayon de la Terre, g est l'accélération de la force de pesanteur, θ est la latitude géographique du point d'observation.

On peut trouver h et l par ces rapports d'après les valeurs trouvées $e_{\theta\theta}$. $e_{\phi\phi}$.

Pour séparer les composantes M_2 et O_1 , l'onde de marée est soumise à l'analyse harmonique. L'analyse harmonique faite par la méthode de Pertzév pour les deux séries de 29 jours d'observations pour la composante N-S a fourni les valeurs suivantes de l'onde M_2 .

$$e_{\theta\theta} = \begin{cases} 0,79 \cdot 10^{-8} \cos(2\tau + 6^\circ) \\ 0,60 \cdot 10^{-8} \cos(2\tau + 3^\circ) \end{cases}$$

de l'onde O_1 ,

$$e_{\theta\theta} = \begin{cases} 0,24 \cdot 10^{-8} \cos(\tau - 10^\circ) \\ 0,13 \cdot 10^{-8} \cos(\tau - 4^\circ), \end{cases}$$

où τ est le temps lunaire.

Le second terme sous le signe cos donne le déphasage de l'onde réelle par rapport à l'onde théorique.

En utilisant les valeurs trouvées $e_{\theta\theta}$ pour les ondes M_2 et O_1 , nous déterminerons par les expressions (1) et (3) les constantes h et l :

$$h = 0,46. \quad 0,38. \quad l = 0,07. \quad 0,07.$$

La valeur obtenue pour l est en bonne concordance avec les données existantes. La constante l , calculée théoriquement pour les différents modèles de Terre, varie dans les limites de 0,08 à 0,09. Les chercheurs japonais ont trouvé par les données d'observations aux extensomètres une valeur égale à 0,05.

La valeur h donnée ici est diminuée par rapport aux données des autres observations. Conformément aux données des observations gravimétriques et clinométriques h est proche de 0,6. L'erreur dans la détermination de h est apparemment due à la basse sensibilité de l'appareil pour la mesure des mouvements de marées. La précision de mesure par l'extensomètre, estimée d'après la valeur de divergence des valeurs obtenues de h avec celles obtenues par les autres méthodes est de l'ordre de 0,05 microns.

En conclusion, nous exprimons nos remerciements à E.A. Koridaline et I.L.Nersessov pour leur grande aide lors de l'exécution du travail et leurs indications précieuses.

Publié le 0.VII.1962.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. TAKADA
On the crustal strain accompanied by a great Earthquake
Disast. Prev. Res. Inst. Bull. N° 27, 1959.

 2. K. SASSA, J. OZAWA, S. YOSHIKAWA
Observation of tidal strain of the Earth.
Disast. Prev. Res. Inst. Bull. N° 3, 1952.

 3. L. HIERSEMANN
Aufzeichnung langperiodischer Bodendeformationen mit einem Strainseismometer
Z. Geophysik, N° 1, 1961.

 4. H. BENIOFF
Fused-quartz extensometer for secular, tidal and seismic strains.
Bull. Geol. Soc. Amer., 70, N° 8, 1959.

 5. M. TAKADA
On the observing instruments and telemetrical devices of extensometers and tiltmeters at the Ide Observatory,
Disast. Prev. Res. Inst. Bull., N° 27, 1959.

 6. BONTCHKOVSKII V.F., LATININA L.A.
Déformographe à torsion.
Izvestia Ac. des Sc. d'URSS Série géophys. N° 3, 1955.
-

QUELQUES RESULTATS DES OBSERVATIONS SUR LES DEFORMATIONS DE LA SURFACE
DE LA TERRE A LA STATION GEOPHYSIQUE DE "YALTA"

V.V. Popov, M.K. Tcherniavkina

Izvestia Acad. des Sc. URSS - Série Géophysique N° 7 1960

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИИ НАД ДЕФОРМАЦИЯМИ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ЯЛТА»

В. В. ПОПОВ, М. К. ЧЕРНИАВКИНА

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

№ 7

СЕРИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ

1960

L'étude des déformations lentes de la surface de la Terre présente un grand intérêt pour la géophysique car elle est liée au problème de la prévision des tremblements de Terre, à la structure interne de la Terre et également aux processus tectoniques se produisant dans l'une ou l'autre région.

Les inclinaisons lentes et les déformations de la surface de la Terre sont marquées en grande partie par l'effet de facteurs extérieurs : variation journalière ou annuelle de la température et variations périodiques et non périodiques de la pression.

Pour éliminer l'influence de ces facteurs extérieurs il convient de les étudier soigneusement. En outre les facteurs extérieurs, en provoquant les déformations de la surface de la Terre présentent eux-mêmes un intérêt scientifique. Il est possible qu'avec leur aide on réussisse à éclaircir partiellement la composante annuelle non polaire de la variation de la latitude et de la vitesse de rotation de la Terre.

Les données d'observation accumulées exigeaient des généralisations : c'est pourquoi nous avons entrepris la tâche d'élaborer une méthode plus utile et moins pénible de réduction des données d'observations sur les mouvements lents de la surface de la Terre. Les conclusions scientifiques de l'étude ont été basées sur la réduction et la généralisation des données d'observations à la station géophysique de "Yalta".

METHODE DE REDUCTION DES RESULTATS DES OBSERVATIONS.

On étudie les déformations de la surface de la Terre à la station de "Yalta" à l'aide de deux déformographes à torsion à tiges de quartz fondu d'une longueur de 2 m, installés dans une salle sous le bâtiment de la station, à une profondeur de 4 m sous la surface, dans le schiste argileux (sol de Crimée) dans la direction N-S et E-W. La précision des calculs est de $0,07 \mu$ par mm de déplacement du point lumineux sur le papier photographique [1]. Les variations diurnes de la température dans la salle n'ont pas dépassé $0,03^\circ$ ainsi l'extension de la tige (le coefficient de dilatation thermique du quartz fondu est $4 \cdot 10^{-7}$) sous l'influence des variations de la température intérieure ne constitue par jour pas plus de 5 à 10 % des valeurs observées des déplacements. L'influence des variations de température dont la période dépasse le jour (par exemple annuelles) s'élimine par la méthode de réduction proposée. Les déplacements enregistrés par les déformographes, rapportés à la longueur de la base de l'appareil (2 m) donnent la valeur de la déformation en d'autres termes on peut évaluer la valeur de la dilatation ou de la contraction relatives d'après les enregistrements des appareils.

L'appareil ne peut naturellement pas donner de réponse à la question du déplacement total cependant il est tout à fait utile pour étudier les déformations périodiques.

Lors de l'examen rapide des enregistrements des déformations, une périodicité diurne évidente saute aux yeux. On peut considérer cette périodicité comme régulière puisqu'elle n'est perturbée que par des écarts accidentels et la nature physique précise se dissimule derrière cette périodicité.

Puisque les déformations changent périodiquement au cours d'un jour tandis que le caractère du processus ne change pas d'un mois à l'autre, il est naturel de supposer que la cause de ce phénomène est un processus diurne. Il est plus naturel de supposer qu'il faut considérer la variation d'échauffement de la surface de la Terre à la suite de sa rotation comme la cause de la périodicité de la déformation diurne.

Dans ce cas il se présentera une allure annuelle des déformations puisqu'en principe la répartition de la température à la surface de la Terre est soumise au cours d'un an aux mêmes lois que la répartition diurne. Ainsi, dans le cas idéal on peut représenter la carte suivante de la répartition des déformations provoquées par l'échauffement de la surface de la Terre : une sinusoïde annuelle des déformations à laquelle se superposent les variations diurnes.

Pour le jour nous aurons évidemment une sinusoïde superposée à une certaine droite inclinée : l'angle d'inclinaison doit être faible. Ces réflexions se rapportent au schéma idéal. Outre les déformations thermiques journalières les déformations provoquées par la composante périodique de la pression atmosphérique peuvent jouer un grand rôle. Nous avons d'abord examiné les déformations de période diurne et multiples du jour et ensuite nous avons tiré les conclusions sur l'allure annuelle.

Examinons les déformations diurnes. La courbe des déformations ou des déplacements est semblable en première approximation à une sinusoïde appliquée sur une certaine droite inclinée. On peut interpréter la partie périodique comme le résultat de l'influence des facteurs météorologiques, température et pression et la courbe inclinée comme l'allure annuelle.

Dans un cas plus général, le processus de développement des déplacements diurnes (le déplacement divisé par la base de l'appareil donne la valeur de la déformation) peut être représenté sous la forme analytique

$$y(t) = a_0 + [b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + \dots + b_n t^n + \dots] + [a_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + a_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + \dots + a_n \cos(\omega_n t + \varphi_n)]. \quad (1)$$

La réduction des données avec cette expression analytique pose le problème de la simplification de cette expression. Ce problème a été résolu différemment par différents auteurs. Nous avons proposé une méthode simple de réduction donnant, à ce qu'il nous semble, des résultats d'une précision suffisante.

Nous avons supposé que l'allure annuelle ("séculaire") au cours d'un jour peut être représentée avec un haut degré de précision sous forme de ligne droite. Cette interprétation n'est correcte que sur un intervalle diurne puisque l'inclinaison de la droite change d'un jour à l'autre non seulement en valeur mais aussi en signe. Cela peut s'expliquer par le fait que théoriquement les températures moyennes diurnes au cours d'un mois varient de manière harmonique et leur variation est proche de la linéarité. En effet, la température moyenne diurne au cours d'un mois peut subir de brusques variations.

Il est évident que l'hypothèse de la linéarité de la variation de la température et l'hypothèse analogue de la linéarité de la variation de pression sur un intervalle d'un mois ne tient pas et il est clair qu'on ne peut moyenniser les données mensuelles des observations et ensuite séparer la composante linéaire. Il est normal de supposer que l'allure générale de la température et de la pression n'est linéaire que sur la durée d'un jour et il faut trouver la partie linéaire pour chaque jour séparément. Ainsi, dans la formule (1) la dépendance linéaire en fonction du temps ne s'exprime que par un seul terme.

Au sujet de la partie périodique on émet l'hypothèse suivante : tous les harmoniques entrant dans la partie périodique doivent être multiples de la période principale, diurne puisqu'il est difficile de trouver les facteurs physiques qui provoqueraient des harmoniques de périodes, par exemple de 2/3 de jour etc... Après avoir fait ces hypothèses l'expression analytique pour les déplacements diurnes est simplifiée et s'écrit

$$y(t) = bt + X(t) \quad (2)$$

Résultats de l'analyse harmonique des observations sur les déformations de l'écorce terrestre à la station de "Yalta".

Mois	Composante D.I. (N-S)										Composante D.II (E-W)									
	Janvier - mai 1958																			
Janvier	Λ	0,071	0,80	0,160	0,07	0,033	0,05	0,014	0,389	0,304	0,103	0,040	0,049	0,211	0,002					
	♀		241°	355°	113°	0°	234°		359°	292°	261°	344°	20°							
	Λ																			
	♀																			
	♀																			
Février	Λ													0,003						
	♀																			
	♀	-0,455	0,68	0,17	0,06	0,05	0,06	0,027	0,073	0,209	0,036	0,023	0,025							
	Λ		23°	70°	150°	252°	352°		203°	18°	352°	215°	225°							
	♀																			
Mars	Λ	0,357	0,717	0,229	0,144	0,147	0,51	0,014	0,379	0,425	0,036	0,038	0,036	-0,012						
	♀		222°	15°	105°	226°	296°		237°	283°	72°	162°	244°							
	Λ	0,385	1,153	0,092	0,022	0,101	0,051	-0,017	0,330	0,573	0,080	0,037	0,033							
	♀		191°	259°	43°	321°	18°		246°	149°	87°	149°	220°							
	♀	-0,168	0,234	0,053	0,026	0,033	0,047	-0,01	0,117	0,311	0,061	0,017	0,052							
Avril	Λ		173°	110°	67°	141°	70°		214°	190°	133°	158°	17°	0,002						
	♀																			
	Λ	-0,183	0,154	0,161	0,042	0,055	0,033	-0,005	0,18	0,331	0,084	0,067	0,017							
	♀		170°	116°	277°	31°	57°		217°	217°	143°	357°	155°							
	♀	0,453	1,236	0,135	0,205	0,091	0,051	-0,053	0,678	0,993	0,041	0,101	0,038							
Mai	Λ		207°	129°	40°	342°	272°		234°	433°	30°	243°	329°	0,015						
	♀																			
	Λ	-0,183	0,343	0,052	0,033	0,046	0,075	0,958	0,928	0,213	0,082	0,108	0,056							
	♀		31°	121°	10°	177°	359°		256°	151°	13°	326°	190°							
	♀																			
Mai	Λ	-0,63	0,589	0,148	0,046	0,025	0,023	-0,02	0,277	0,562	0,214	0,117	0,048	-0,020						
	♀		76°	164°	143°	66°	211°		235°	235°	132°	93°	280°							
	Λ	-0,710	1,436	0,113	0,040	0,034	0,027	0,003	0,793	0,906	0,239	0,010	0,082							
	♀		26°	213°	184°	29°	4°		259°	172°	101°	45°	45°							
	♀	-0,643	0,375	0,316	0,153	0,102	0,060	0,033	0,670	1,261	0,397	0,183	0,088							
		39°	216°	202°	154°	268°		234°	90°	230°	169°	169°								

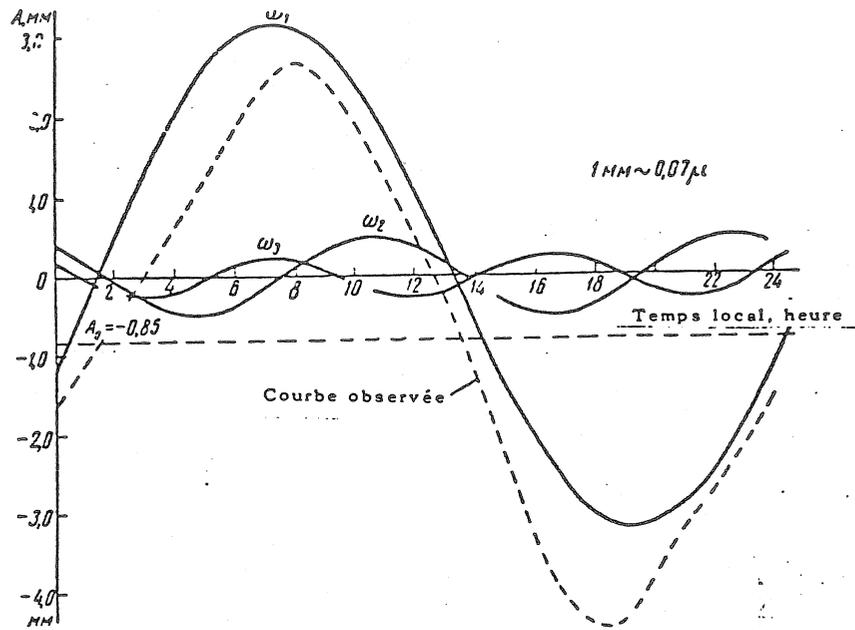


Fig. 1. Analyse harmonique. Première décade de septembre 1857.
Déplacements diurnes N-S

harmoniques	0	1	2	3	4	5	6
amplitude A	0,85	3,18	0,51	0,24	0,12	0,04	0,01
phase initiale		23	221	251	119	63°	

Ainsi, la réduction se ramène à la séparation de l'allure linéaire, à la découverte de la partie périodique et à son analyse successive.

Pratiquement la réduction a été effectuée de la façon suivante. On a relevé les ordonnées pour chaque jour par intervalle horaire ; les ordonnées ont été comptées depuis le même zéro conventionnel choisi au début des observations. Ensuite on a choisi pour chaque jour son zéro conventionnel pour lequel nous avons pris l'ordonnée 0 heure. A partir des hypothèses faites sur la linéarité de l'allure séculaire uniquement au cours d'un jour et sur la divisibilité des harmoniques on a trouvé l'allure séculaire par heure pour chaque jour en particulier ou, autrement dit, le coefficient b de l'équation (2). Pour cela il suffit de diviser par 24 l'ordonnée correspondant à 24 heures comptée depuis le zéro diurne conventionnel. Il est possible de faire cela parce qu'à la suite de la condition de divisibilité, le début et la fin de l'enregistrement diurne, c'est-à-dire les ordonnées 0 et 24 heures, ont la même phase : $x(0) = x(24)$.

Le coefficient b est déterminé pour chaque jour en particulier. Connaissant le coefficient b pour chaque jour, en le multipliant par l'heure correspondante et en trouvant les valeurs bt par l'ordonnée provenant du zéro diurne conventionnel, nous obtiendrons la partie périodique pour chaque jour en particulier. Après cela on effectue la sommation par heure habituelle et la recherche des valeurs diurnes moyennes de la partie périodique.

Pour élever la précision des résultats des observations, on a choisi la décade comme unité de moyenne. Les valeurs horaires moyennes par décade ont été soumises à l'analyse harmonique. Etant donné que la courbe moyennée est assez lisse, on peut effectuer l'analyse par 12 fragments. Les résultats de l'analyse harmonique sont donnés dans la table pour la généralisation ultérieure. Un exemple d'analyse harmonique est donné à la figure 1*.

RESULTATS DE LA REDUCTION DES OBSERVATIONS SUR LES DEFORMATIONS DE LA SURFACE DE LA TERRE

On a réduit par la méthode proposée les données des observations sur les déformations de la surface de la Terre à la station de "Yalta" de août 1957 à septembre 1958. On a pris la décade comme unité de moyenne. Les données des observations ont une interruption dans l'enregistrement en janvier-février 1958. Les résultats principaux de la réduction sont donnés dans la table où sont données les amplitudes et les phases initiales pour les harmoniques séparées qui sont désignées dans la table par 0. 1. 2. ... 6. Les variations annuelles de l'amplitude et de la phase initiale pour la première et la seconde harmoniques au cours d'un an sont données aux figures 2 à 5

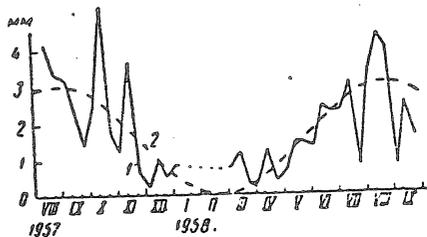


Fig. 2

Fig. 2. Variation de l'amplitude des déplacements périodiques diurnes Composante N-S
Première harmonique ($T_1 = 24$ heures) 1 mm correspond au déplacement de $0,07 \mu$
 $A_{1moy} = 1,44 \pm 0,61$ mm
1 courbe observée ; 2 courbe calculée

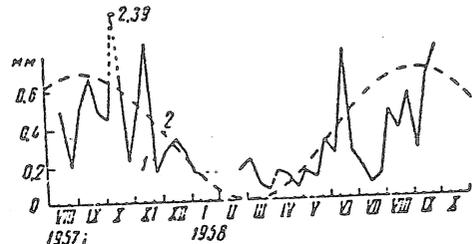


Fig. 3

Fig. 3. Variation de l'amplitude des déplacements périodiques diurnes Composante N-S
Seconde harmonique ($T_2 = 12$ heures) :
 $A_{2moy} = 0,35 \pm 0,20$ mm
1 courbe observée 2 courbe calculée

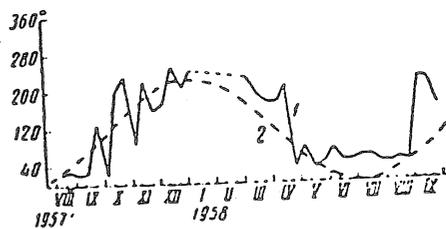


Fig. 4

Fig. 4. Variation de la phase initiale des déplacements périodiques diurnes Composante N-S
Première harmonique ($T_1 = 24$ heures). $\phi_{1moy} = 111 \pm 49^\circ$

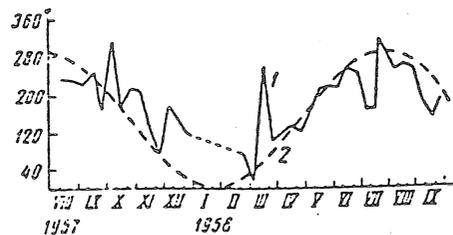


Fig. 5

Fig. 5. Variation de la phase initiale des déplacements périodiques diurnes Composante N-S
Seconde harmonique ($T_2 = 12$ heures) $\phi_{2moy} = 146 \pm 30^\circ$
1 courbe observée 2 courbe calculée

* Popov V., V Tcherniavkina. Sur le total des travaux de recherche des observations sur les mouvements lents de la surface de la Terre. Fonds de l'Inst. de Phys de la Terre. Ac. des Sc. URSS.

Malgré que les variations annuelles de l'amplitude et de la phase ont des variations par à-coups, il est facile de noter aussi la périodicité dans les processus annuels. Pour trouver la variation moyenne annuelle de l'amplitude et de la phase on peut se servir de la méthode simple suivante. On suppose que l'amplitude des harmoniques et les phases initiales varient au cours d'un an d'après la loi :

$$u = u_0 (1 + \cos \omega t) \quad (3)$$

Connaissant les valeurs de l'amplitude et de la phase pour chaque décade et en utilisant la dépendance en fonction du temps (3) nous avons trouvé pour chaque décade la valeur de la variation annuelle des amplitudes et des phases des harmoniques séparées pour les deux composantes et on a fait la moyenne de toutes ces valeurs. La valeur moyennée a été choisie de sorte que l'erreur à la suite de la divergence soit la plus petite (on a déplacé la position de l'époque $t = \pi / 2\omega$). Sur la base de ce choix on a construit la courbe moyennée de la variation annuelle de l'amplitude et de la phase.

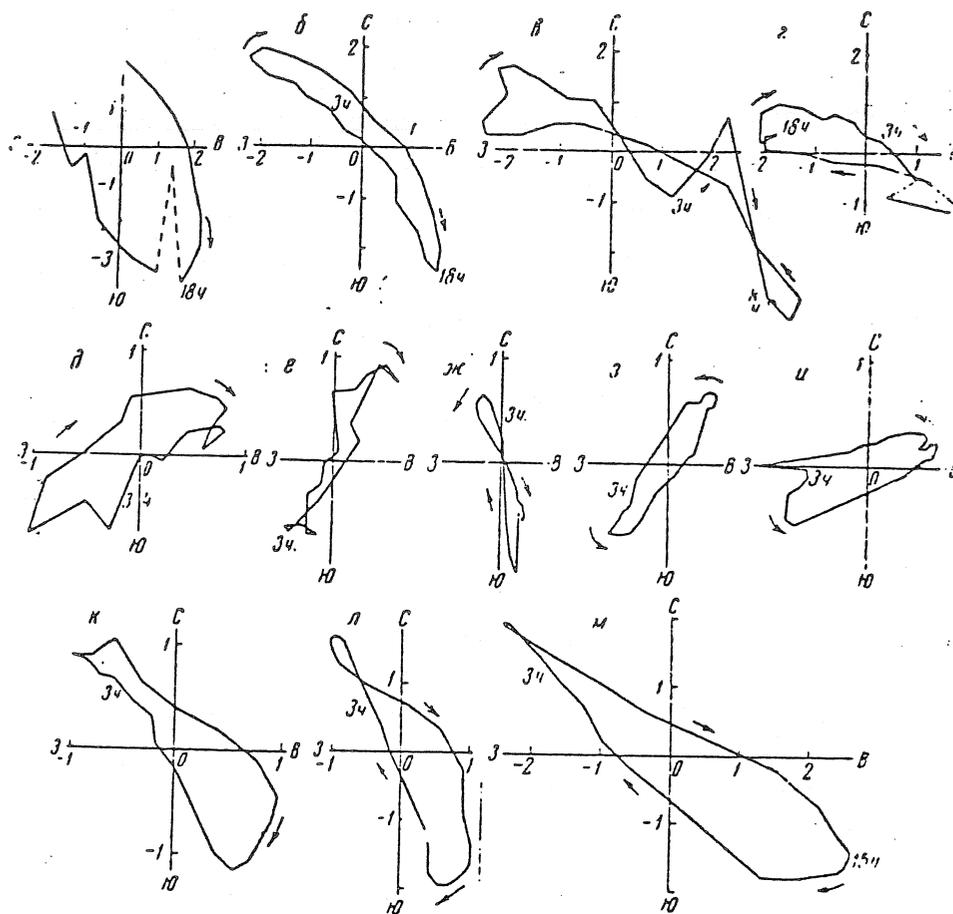


Fig. 6. Diagrammes vectoriels des variations diurnes des déplacements pour chaque mois depuis août 1957.

1957 : a - août ; b - septembre ; v - octobre ; g - novembre ; d - décembre

1958 : e - janvier ; j - février ; z - mars ; i - avril ; k - mai ; l - juin ; m - juillet

D'une façon analogue on a construit les graphiques des amplitudes et des phases pour les harmoniques suivants. Des graphiques il découle que la dépendance en fonction de l'époque de l'année est exprimée de la meilleure façon pour le premier harmonique aussi bien pour l'amplitude que pour la phase.

Pour le deuxième harmonique la dépendance en fonction de l'époque de l'année se dégage assez nettement pour l'amplitude (fig. 3) et moins nettement pour la phase (fig. 5). Le troisième, quatrième et cinquième harmoniques ne portent pas les traces d'une quelconque dépendance précise, leurs amplitudes (prises ensemble) ne constituent pas plus de 10 % des deux premières. D'où on peut tirer la conclusion qu'il faut les considérer jusqu'à présent comme le résultat de l'effet de facteurs non constants et arbitraires.

Il nous semble que l'influence des facteurs météorologiques saisonniers tels que la température, la pression et leurs variations est la cause des variations annuelles des déformations [2]. Pour représenter plus complètement la variation de l'allure diurne des déformations sur la base des données moyennées par mois, mais non lissées, on a construit des diagrammes vectoriels des variations diurnes des déplacements (déformations) pour chaque mois depuis août 1957 à juillet 1958 (fig. 6). On voit par les graphiques sur lesquels sont représentées les allures diurnes des déplacements par mois, que les formes des variations diurnes des déplacements (déformations) sont à peu près semblables entre elles mais les valeurs de leurs amplitudes ne restent pas constantes d'un mois à l'autre. La direction du plus grand axe des variations des déplacements (déformations) change d'un mois à l'autre, elle tourne de N-W à S.-E.

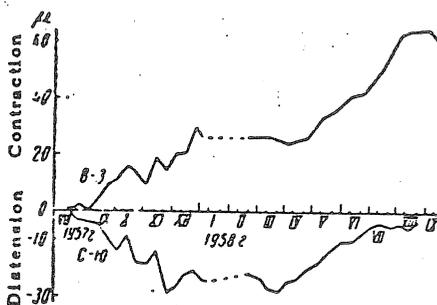


Fig. 7. Déplacements annuels à la station de "Yalta".

Pour trouver l'allure annuelle, on peut utiliser la valeur du coefficient b que nous avons trouvé pour chaque jour en particulier.

Après avoir fait la moyenne de ces valeurs par décade, nous obtiendrons l'allure horaire moyenne de la composante séculaire par décade. Il est facile de construire d'après ces valeurs les variations de la composante non périodique au cours d'un an.

Il y a une interruption en janvier et février 1958. Etant donné que la variation de la composante non périodique est très insignifiante dans les mois d'hiver on a supposé l'allure séculaire ces mois là égale à zéro. On a construit d'après les données de la réduction des graphiques de la variation de la composante séculaire de août 1957 à septembre 1958 (fig. 7) par lesquels on voit assez nettement que la variation annuelle des déplacements est soumise à des lois périodiques. Les amplitudes des variations annuelles pour les différentes composantes sont différentes : en direction N-S environ 13μ , en E-W environ 8μ . L'allure séculaire pour la composante N-S est de l'ordre de 5μ (contraction) pour la composante E-W de l'ordre de 60μ (distension). Le minimum des déplacements périodiques se présente dans les mois d'hiver.

CONCLUSIONS

La réduction des données d'observations d'après les déformographes courts installés dans des salles de surface, permet de tirer les conclusions suivantes :

1. On a des déplacements périodiques diurnes nettement exprimés avec des harmoniques du premier et du second ordres, dont la variation des amplitudes et des phases est également soumise aux lois périodiques. Les amplitudes des déformations d'après le premier et le second harmoniques ont un maximum dans les mois d'été (fig. 2,3). Les valeurs des déformations maximales étaient respectivement égales : pour le premier harmonique à 10^{-7} et pour la seconde $2 \cdot 10^{-8}$. Les harmoniques de l'ordre plus haut que le deuxième ont un caractère accidentel : aucune régularité n'a été notée pour eux.
2. Les formes des diagrammes vectoriels des variations des déformations diurnes sont semblables entre elles mais la valeur de leurs amplitudes et la direction des grands axes ne restent pas constantes d'un mois à l'autre. Les directions des grands axes des diagrammes vectoriels des déplacements diurnes tournent du N.W au S.E. (fig. 6) dans les mois d'hiver et dans la direction inverse les mois d'été.
3. A l'aide du procédé de réduction proposé on peut déduire de l'enregistrement des déformations ou des inclinaisons de la surface de la Terre la composante périodique diurne ce qui est nécessaire pour l'analyse ultérieure des enregistrements (par exemple pour les recherches des signes précurseurs des tremblements de Terre).
4. On a réussi qualitativement à montrer l'existence de l'allure annuelle et à donner la valeur de l'amplitude pour les deux composantes. Pour résoudre ultérieurement le problème de l'allure annuelle, il faut des données supplémentaires d'observations.

13.VI.1959.

BIBLIOGRAPHIE

1. V.F. BONTCHKOVSKII, L.A. LATININA
Déformographe circulaire.
Izvestia Ac. des Sc. d'URSS série géophys. n° 3, 1955.

 2. K. HOSOYAMU
Memoirs of the college of science university of Kyoto.
Ser. A, 28, N° 3, article 4, 1957.
-

COMPARAISON DES CRAPAUDINES AU MOYEN D'UN PENDULE ETALON

par

B. Ducarme

Le problème de l'étalonnage des crapaudines est fondamental pour l'interprétation des résultats des observations de déviation de la verticale et spécialement pour la comparaison entre différents appareils et différentes stations.

Il y a quelques années la plupart des pendules étaient étalonnés par le Centre International des Marées Terrestres sur quelques crapaudines sélectionnées avec soin.

A présent, l'étalonnage automatique lie chaque appareil à une crapaudine différente et celles-ci doivent être étalonnées en grand nombre.

Le problème se pose de maintenir la qualité de l'étalonnage alors qu'on ne dispose que d'un temps limité pour les mesures. Il faut donc éliminer au maximum les sources d'erreurs.

Dans un travail précédent [1] nous avons étudié la dispersion interne des mesures d'étalonnage des crapaudines. Il ressortait de ce travail que dans la plupart des cas, l'erreur sur un étalonnage est de l'ordre de un à deux millièmes.

Toutefois, certaines anomalies ont attiré l'attention sur l'existence d'erreurs systématiques ou accidentelles affectant l'ensemble des mesures d'un étalonnage, que nous appellerons erreurs externes.

1. EFFET DE TEMPERATURE

En premier lieu on citera l'effet de température. On peut le minimiser en étalonnant toujours au voisinage de la température d'utilisation en mine. Pour les crapaudines utilisées en salle d'étalonnage, il serait souhaitable de déterminer la sensibilité à diverses températures. C'est ce qui a été réalisé pour les crapaudines C 37 et C 54 de l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) à Uccle.

Pour la C 37 nous avons pu calculer par moindres carrés la fonction $H = f(T)$. Pour l'ordre 2 que nous avons retenu, l'écart type est de 0,3 %

$$H = 24.52563 + 0.03915 T - 0.00210 T^2$$

Notons de plus que la variation totale n'atteint pas 0,5 %. Il semble bien que pour cette crapaudine aucun effet de température ne soit à craindre et qu'elle puisse servir de référence fondamentale pour la comparaison des diverses crapaudines.

Pour la C 54 par contre, tout effet éventuel de température est masqué par les autres erreurs externes (tableau III, fig. 1).

2 DERIVE DES ANNEAUX D'INTERFERENCE

Si les trois crapaudines utilisées sont fort différentes, les anneaux d'interférence dérivent dans le champ de l'oculaire. La méthode de tangence successive aux quatre côtés du carré des fils réticulaires permet d'éliminer cette dérive, pour autant que le rayon des anneaux varie linéairement avec l'écartement des miroirs. En fait, le rayon varie en fonction du carré de la distance entre les miroirs et pour des dérives importantes la mesure est systématiquement faussée.

Il faut donc, autant que possible, n'étalonner ensemble que des crapaudines très semblables, ce qui suppose une mesure préalable avec pour seul but de les apparier.

3 EFFETS DE POINTE

Si nous considérons la théorie de la flexion des plaques [1], nous constatons que nous mesurons un déplacement maximum. Pour peu que l'on change la position de la pointe qui repose dans le cratère de la crapaudine ou que l'on change son orientation par rapport au plan de flexion, le déplacement mesuré est diminué. On aura des valeurs du coefficient de sensibilité α trop faibles.

Cette erreur est toutefois négligeable vis à vis de celle qui se produira si le chromage du cratère adhère mal au métal et garde une élasticité propre. Pour les crapaudines revenant de station, la rouille dans le cratère peut avoir un effet analogue.

A l'appui de cette thèse, on notera qu'une crapaudine revenue de station ou rechromée voit son coefficient d'étalonnage changer (voir paragraphe 6).

Pour lutter contre cet effet on évitera d'employer des pointes trop aiguës de façon que le contact se passe sur les bords du cratère et non au fond de celui-ci.

4 PENDULE ETALON

Pour évaluer l'importance réelle des erreurs externes et voir si elles sont dues principalement à la crapaudine elle-même (erreurs de pointes) ou à la méthode d'étalonnage interférométrique (dérive ou autres), il est apparu nécessaire de comparer différentes crapaudines au moyen d'un même pendule qui deviendrait ainsi un "Pendule Etalon".

Ceci devait permettre en outre de mettre en évidence d'éventuelles erreurs externes dans la méthode d'étalonnage des pendules horizontaux.

Celle-ci est bien connue [2] et nous rappellerons simplement qu'après avoir placé une crapaudine sous la vis de dérive on lui applique une onde forcée d'une période de 15 minutes en fixant le godet de mercure à l'extrémité d'un bras en rotation. Sur l'enregistrement on obtiendra une sinusoïde dont l'amplitude permet d'évaluer la sensibilité du pendule connaissant la distance focale, l'écartement des pieds de l'appareil et la sensibilité de la crapaudine en microns par cm de Hg.

L'oscillation libre du pendule superposée à cette courbe donne la période propre de l'instrument moyennant l'introduction d'une base de temps précise sur l'enregistrement.

Par la formule $K = sT^2$ on obtiendra une détermination de la constante caractéristique K de l'instrument ramené à 5 m de distance focale. Les erreurs accidentelles sont importantes, de l'ordre de 1 à 2 pour cent. La dérive de l'appareil se fait sentir dans la mesure de l'amplitude. Les petites variations de la vitesse de rotation du tambour perturbent la base de temps. Les excitations externes qui provoquent les oscillations libres peuvent également fausser les mesures de période.

Il est donc nécessaire de faire une moyenne sur un grand nombre de valeurs de K, généralement entre 20 et 30. On obtient ainsi une erreur quadratique moyenne de l'ordre de 0.25 pour cent, en éliminant éventuellement une ou deux mesures anormales.

Il reste toutefois deux causes d'erreurs externes sur la valeur moyenne K, à savoir les erreurs de distance focale et d'éventuels effets dus à la crapaudine. La première erreur ne dépassant pas un millième, la composition des erreurs permet de s'attendre à une dispersion des valeurs de K de l'ordre de 0,3 pour cent.

A ce moment, si une crapaudine donne une valeur de K différant de plus de 0.5 % de la valeur étalon, on pourra suspecter un mauvais étalonnage de la crapaudine ou une anomalie dans la détermination de K.

5 RESULTATS NUMERIQUES

Ceux-ci sont résumés dans le tableau I et la figure 2. Le pendule étalon est le pendule ORB n° 1.

La crapaudine C 37 qui a servi à déterminer la constante caractéristique K du pendule, fournit 5 valeurs dont l'écart extrême n'atteint pas 0.5 pour cent. L'erreur quadratique moyenne sur la moyenne $K = 6.4099$ n'est que de 0.013 c'est-à-dire 0.2 pour cent.

Sur cette base nous pouvons considérer comme excellente toute crapaudine donnant une valeur de K comprise entre 6.39 et 6.43.

Toutefois, il est apparu rapidement que la valeur de K pouvait être affectée elle aussi d'erreurs externes de l'ordre du pour cent, alors même que l'erreur interne de chaque série était faible.

Ce sont précisément les crapaudines qui ont présenté des anomalies à l'étalonnage interférométrique qui donnent lieu à la plus grande dispersion avec le pendule étalon. Nous donnons un exemple de ce phénomène avec la C 54:

Or, comme seules les erreurs de pointe sont communes aux deux méthodes, il semblait bien qu'il fallait améliorer en premier lieu la construction des crapaudines, de façon à éliminer celle-ci.

Pour supprimer le problème du chromage et de la rouille il s'imposait de construire des crapaudines en acier inoxydable. Cette nouvelle série fut numérotée à partir de 100 et comme on peut le voir dans le tableau II et sur la figure 3, elle présente une beaucoup plus grande cohérence aussi bien à l'interféromètre qu'au pendule étalon. Ainsi le problème semble résolu.

Reste dans la série des crapaudines non inoxydables, le problème des crapaudines s'écartant de plus de un pour cent de la moyenne. Tout d'abord leur abondance relative n'est pas représentative de la qualité moyenne des étalonnages interférométriques. En effet, nous avons choisi de préférence des crapaudines où nous avons des raisons de suspecter une anomalie.

Etant donné l'existence de sources d'erreurs systématiques dans les deux méthodes, il n'est pas sûr que la valeur déduite du pendule soit meilleure que la valeur interférométrique. Le mieux serait de procéder à un nouvel étalonnage par les deux méthodes et en cas de nouveau désaccord de considérer la crapaudine comme inutilisable.

6 VIEILLISSEMENT DES CRAPAUDINES

Il serait bon qu'après quelques années d'utilisation les crapaudines soient renvoyées au Centre International afin de procéder à une vérification de leur coefficient d'étalonnage. Celui-ci peut en effet subir une variation sensible au cours du temps comme le montrent les exemples ci-dessous tirés du tableau III.

TABLEAU I

Cr N°	T°	ΔH (H = 200)	\bar{K}
37	6.8	24.695	6.4135
	7.5	24.701	6.4048
	9.0	24.709	6.4298
	14.2	24.658	6.3980
	16.0	24.615	6.4034
22	8.5	38.176	6.3655
44	5.5	24.220	6.4839
47	5.0	25.125	6.4259
48	5.0	33.160	6.3963
54	6.7	31.059	6.3560
	8.5	31.059	6.4154
	10.0	31.059	6.3672
57	6.5	40.580	6.3692

TABLEAU II

Cr N°	T°	ΔH (H = 200)	\bar{K}
100	6.7	38.14	6.3908
	10.5	38.14	6.3974
115	10.0	42.46	6.4156
116	9.5	42.53	6.4153
117	9.0	41.18	6.3922
118	9.0	41.15	6.3966
121	12.0	25.51	6.3902

La crapaudine C1 est la seule qui ait été étalonnée après rechromage. Elle présente une très forte augmentation de sensibilité. Les crapaudines C 13, C 20 et C 34 ont été construites en 1962 et réétalonnées en 1969. Les crapaudines C 47 et C 48 ont séjourné trois ans à la station de Příbram en Tchécoslovaquie [3] et la C 37 a été utilisée pendant deux ans à la salle d'étalonnage de l'Observatoire à Uccle. Toutes présentaient en fin de période d'utilisation une forte oxydation. On voit que leur sensibilité a diminué.

Pour les C 47 et C 48, le phénomène a été détecté grâce à une variation apparente de la constante K des pendules au cours du temps [3] et a été confirmé par le pendule étalon (fig. 2).

7. TABLEAU RESUME

Le tableau III ci-après récapitule tous les étalonnages faits à ce jour.

NUM	numéro de la crapaudine
DATE	année, mois, jour de l'étalonnage. Elle est remplacée par la lettre M dans le cas de la moyenne de différentes mesures.
DH (cm)	dénivellation de mercure nécessaire pour passer d'un anneau d'interférence au suivant
H	hauteur moyenne de mercure en cm
T	température exprimée en degrés centigrades
ALPHA	coefficient de sensibilité en millisecondes d'arc. C'est l'inclinaison d'un pendule en quartz Verbaandert-Melchior lorsque la crapaudine est soumise à une variation de pression correspondant à 48 cm de Hg. C'est le coefficient α_2 renseigné dans le procès-verbal d'étalonnage.

Dans le cas d'une crapaudine étalonnée plusieurs fois, la sensibilité ALPHA est généralement renseigné soit pour la moyenne des étalonnages, soit pour le meilleur d'entre eux. Autrement, il faut choisir celle qui correspond au domaine de température où l'on travaille.

Les crapaudines 60 * et 71 * sont frappées du même numéro que les crapaudines 60 et 71. On peut aisément les distinguer en se reportant à la date marquée sur les procès-verbaux d'étalonnage les accompagnant.

TABLEAU III.				
NUM	DATE	DEPLACEMENT	SENSIBILITE	
C001		DH# 46.07	ALPHA#0.214402	
C001	67 10 17	DH# 40.97 &.0009H		T#15.0
C001	69 04 18	DH# 41.10 &.0000H		T#08.0
C001	M	DH# 41.12 &.0000H	ALPHA#0.240368	T#11.5
C002	62 09 05	DH# 39.964	ALPHA#0.24732	
C003	62 09 25	DH# 38.748	ALPHA#0.25508	
C010	63 03	DH# 39.92	ALPHA#0.247594	
C011		DH# 37.98	ALPHA#0.260241	
C012	64 12 21	DH# 40.72 &.0020H	ALPHA#0.24154	T#05.0
C013	62 29 10	DH# 41.39	ALPHA#0.23880	
C013	69 04 21	DH# 42.13 &.0001H		T#08.5
C013	69 04 22	DH# 42.12 &.0001H		T#09.0
C013	M	DH# 42.13 &.0001H	ALPHA#0.234494	T#09.0
C016		DH# 29.50	ALPHA#0.925423	
C017		DH# 30.003	ALPHA#0.329432	
C018	65 02 26	DH# 31.03 -.0011H	ALPHA#0.320802	T#04.0
C018	65 02 17	DH# 30.75 -.0006H		T#05.0
C018	M	DH# 30.87 -.0007H	ALPHA#0.321638	T#05.0
C018	67 05 17	DH# 31.13 &.0000H		T#16.0
C018	66 09 08	DH# 30.68 -.0012H		T#17.0
C018	M	DH# 30.75 &.0004H	ALPHA#0.320524	T#17.0
C019		DH# 31.483	ALPHA#0.313945	
C020	62 09 12	DH# 30.03	ALPHA#0.32913	
C020	69 04 19	DH# 30.97 -.0001H		T#07.5
C020	69 04 21	DH# 31.19 -.0003H		T#09.0
C020	M	DH# 31.09 -.0003H	ALPHA#0.318528	T#08.5
C021		DH# 36.72 &.0025H	ALPHA#0.265555	
C022	64 12 19	DH# 38.44 -.0013H		T#07.0
C022	67 05 10	DH# 38.40 -.0005H		T#14.0
C022	M	DH# 38.39 -.0007H	ALPHA#0.258404	T#10.5
C023	63 06	DH# 39.525	ALPHA#0.250068	
C024	64 12 18	DH# 35.01 &.0010	ALPHA#0.28143	T#07.0
C025		DH# 37.62	ALPHA#0.262732	
C026	64 06 29	DH# 39.9 &.0008H	ALPHA#0.247222	
C027	64 03 15	DH# 39.70 &.0017H	ALPHA#0.24790	
C028	64 03 15	DH# 38.92 &.0043H	ALPHA#0.25118	
C029	64 06 25	DH# 42.3 &.0015H	ALPHA#0.232837	
C030	62 06 21	DH# 36.243	ALPHA#0.27271	
C030	68 03 28	DH# 35.17 -.0014H	ALPHA#0.283289	T#11.0
C031	61 12 15	DH# 38.268	ALPHA#0.258282	
C032	61 12 11	DH# 33.492	ALPHA#0.295113	
C033	62 09 06	DH# 51.404	ALPHA#0.19228	
C034	62 06 05	DH# 34.137	ALPHA#0.28949	
C034	69 04 19	DH# 34.03 -.0004H	ALPHA#0.291132	T#07.5
C035	62 05 14	DH# 30.37	ALPHA#0.325451	
C036	62 06 13	DH# 37.360	ALPHA#0.26409	
C037	65 11 22	DH# 24.70 -.0004H		T#04.0
C037	66 11 18	DH# 24.66 &.0004H		T#07.0
C037	65 10 27	DH# 24.69 -.0001H		T#13.0
C037	65 05 17	DH# 24.59 -.0001H		T#17.0
C037	66 08 16	DH# 24.64 -.0004H		T#18.0
C037	M	DH# 24.63 -.0000H	ALPHA#0.401297	T#11.0
C037	69 04 09	DH# 24.74 &.0003H		T#12.0
C037	69 04 10	DH# 24.80 &.0000H		T#12.5
C037	M	DH# 24.76 &.0002H	ALPHA#0.399836	T#12.0
C038	64 12 29	DH# 26.64 -.0016H		T#01.0
C038	65 03 05	DH# 26.26 -.0008H		T#02.0
C038	65 02 09	DH# 25.99 -.0012H		T#05.5
C038	65 07 12	DH# 26.07 -.0014H		T#05.5
C038	64 12 07	DH# 26.19 -.0006H		T#07.0

NUM	DATE	DEPLACEMENT	SENSIBILITE	
C038	64 11 23	DH# 26.106-.0006H	ALPHA#0.38044	T#11.0
C038	64 10 02	DH# 26.59 -.0014H		T#16.0
C039	66 08 29	DH# 32.49 -.0017H	ALPHA#0.305626	T#17.5
C040	65 10 25	DH# 26.13 -.0014H		T#12.0
C040	65 10 26	DH# 26.12 -.0014H		T#12.0
C040	M	DH# 26.13 -.0014H	ALPHA#0.382357	T#12.0
C041	65 11 03	DH# 24.33 -.0019H	ALPHA#0.41268	T#12.0
C042	64 11 27	DH# 27.20 &.0007H		T#11.0
C042	65 05 17	DH# 27.37 -.0000H		T#17.0
C042	M	DH# 27.29 &.0003H	ALPHA#0.361276	T#14.0
C043	65 03 02	DH# 31.59 -.0003H		T#03.0
C043	65 01 05	DH# 30.90 &.0003H		T#05.0
C043	64 12 10	DH# 31.10 &.0015H	ALPHA#0.31632	T#11.0
C044	64 10 23	DH# 24.27 -.0005H		T#11.0
C044	64 10 12	DH# 24.28 -.0004H		T#11.0
C044	M	DH# 24.32 -.0006H	ALPHA#0.408427	T#11.0
C045	65 11 04	DH# 34.33 -.0005H	ALPHA#0.28875	T#10.0
C046	65 03 09	DH# 24.895-.0013H	ALPHA#0.39909	T#04.0
C046	65 05 10	DH# 24.35 -.0004H	ALPHA#0.407249	T#14.0
C047	65 04 26	DH# 24.92 &.0002H	ALPHA#0.39599	T#07.0
C047	69 04 09	DH# 25.255-.0007H		T#12.0
C047	69 04 10	DH# 25.199-.0004H		T#13.0
C047	M	DH# 25.225-.0005H	ALPHA#0.393391	T#12.5
C048	65 04 26	DH# 32.68 -.0003H	ALPHA#0.30309	T#10.0
C048	69 04 15	DH# 33.10 &.0003H	ALPHA#0.298068	T#09.0
C049	66 12 28	DH# 31.09 -.0004H		T#08.0
C049	66 12 29	DH# 31.17 -.0004H		T#10.0
C049	67 11 07	DH# 30.96 -.0005H		T#09.0
C049	67 11 08	DH# 31.09 -.0001H		T#09.0
C049	M	DH# 31.09 -.0004H	ALPHA#0.318734	T#09.0
C050	66 01 27	DH# 27.66 -.0013H	ALPHA#0.360728	T#05.0
C051	66 02 02	DH# 31.35 &.0009H	ALPHA#0.313377	T#08.0
C052	66 03 06	DH# 33.55 &.0002H	ALPHA#0.294165	T#08.5
C053	66 12 05	DH# 29.80 -.0002H		T#06.0
C053	66 12 12	DH# 29.98 -.0004H		T#07.0
C053	66 08 05	DH# 29.51 -.0012H		T#16.5
C053	M	DH# 29.58 -.0006H	ALPHA#0.335504	T#11.0
C054	66 11 14	DH# 31.48 -.0010H		T#07.0
C054	66 11 16	DH# 30.84 &.0012H		T#08.0
C054	66 11 10	DH# 31.38 -.0010H		T#10.5
C054	M	DH# 30.93 &.0003H	ALPHA#0.318940	T#08.0
C054	66 09 29	DH# 30.87 &.0002H		T#14.5
C054	66 09 16	DH# 31.11 &.0000H		T#16.5
C054	M	DH# 31.06 -.0004H	ALPHA#0.319043	T#15.5
C055	66 09 19	DH# 33.62 -.0002H	ALPHA#0.295306	T#15.0
C056	66 12 09	DH# 35.00 -.0001H	ALPHA#0.282559	T#06.0
C057	66 12 01	DH# 40.58 -.0000H	ALPHA#0.243567	T#05.0
C057	66 12 07	DH# 40.81 &.0004H		T#05.0
C058	66 11 17	DH# 33.33 &.0000H		T#05.0
C058	67 11 07	DH# 33.46 &.0000H		T#09.0
C058	67 11 08	DH# 33.29 &.0002H		T#09.0
C058	M	DH# 33.37 &.0001H	ALPHA#0.296037	T#09.0
C059	66 11 26	DH# 39.30 &.0005H		T#06.0
C059	66 11 28	DH# 39.58 -.0007H		T#08.5
C059	M	DH# 39.44 -.0001H	ALPHA#0.250734	T#07.0
C060	66 11 29	DH# 36.46 -.0014H	ALPHA#0.273263	T#06.5
C60*	67 05 27	DH# 44.59 -.0014H	ALPHA#0.223013	T#15.0
C061	67 03 13	DH# 40.21 &.0011H		T#08.0
C061	67 03 06	DH# 40.51 &.0008H		T#09.0
C061	M	DH# 40.44 &.0004H	ALPHA#0.243867	T#08.5

NUM	DATE	DEPLACEMENT	SENSIBILITE	
C062	67 05 29	DH# 41.24 -.0007H	ALPHA#0.240485	T#15.5
C063	67 03 17	DH# 40.31 &.0005H	ALPHA#0.244591	T#08.0
C063	67 05 26	DH# 40.19 &.0011H	ALPHA#0.244591	T#11.0
C064	67 03 14	DH# 39.66 -.0003H		T#08.0
C064	67 03 11	DH# 39.28 &.0007H		T#09.5
C064	M	DH# 39.43 &.0003H	ALPHA#0.250290	T#09.0
C065	67 06 05	DH# 34.794-.0001H	ALPHA#0.284283	T#16.0
C066	67 06 10	DH# 35.838-.0002H	ALPHA#0.276057	T#15.0
C067	67 05 19	DH# 37.35 -.0002H		T#14.0
C067	67 06 07	DH# 36.833&.0005H	ALPHA#0.267603	T#17.0
C068	67 06 05	DH# 32.930&.0003H	ALPHA#0.299658	T#16.0
C069	67 07 10	DH# 35.84 &.0002H		T#17.5
C069	67 07 14	DH# 35.70 -.0002H	ALPHA#0.277171	T#22.0
C070	67 06 14	DH# 37.74 &.0012H	ALPHA#0.260241	T#14.5
C070	67 07 13	DH# 36.79 &.0016H		T#22.0
C071	67 06 16	DH# 37.43 -.0002H	ALPHA#0.264347	T#15.0
C071	67 07 12	DH# 37.16 &.0011H		T#19.0
C71*	67 10 04	DH# 35.91 -.0001H		T#15.0
C71*	67 09 28	DH# 36.24 -.0011H		T#18.0
C71*	M	DH# 36.00 -.0003H	ALPHA#0.275012	T#16.5
C072	67 10 19	DH# 37.03 &.0016H		T#12.0
C072	67 10 05	DH# 36.996&.0014H	ALPHA#0.265127	T#14.0
C072	M	DH# 36.92 &.0016H	ALPHA#0.265461	T#13.0
C073	68 03 13	DH# 34.96 -.0004H		T#05.0
C073	67 09 29	DH# 35.06 -.0018H		T#19.0
C073	M	DH# 35.01 -.0011H	ALPHA#0.284103	T#12.0
C074	67 11 13	DH# 34.80 &.0009H		T#09.0
C074	67 10 24	DH# 34.89 &.0007H		T#14.0
C074	67 10 27	DH# 34.79 &.0011H		T#14.0
C074	M	DH# 34.83 &.0009H	ALPHA#0.282318	T#12.0
C075	67 10 06	DH# 34.83 &.0009H		T#13.5
C075	67 09 27	DH# 34.52 &.0015H		T#18.0
C075	M	DH# 34.69 &.0011H	ALPHA#0.283126	T#15.0
C076	67 11 17	DH# 35.97 &.0004H		T#07.0
C076	67 11 04	DH# 36.37 &.0001H		T#10.0
C076	M	DH# 36.04 &.0003H	ALPHA#0.273036	T# 8.0
C100	67 09 08	DH# 38.41 -.0002H		T#15.5
C100	67 09 25	DH# 38.56 -.0004H		T#16.0
C100	M	DH# 38.48 -.0003H	ALPHA#0.257260	T#16.0
C100	67 12 20	DH# 38.22 -.0004H	ALPHA#0.259149	T#03.0
C101	68 03 29	DH# 42.38 &.0001H		T#12.0
C101	68 05 07	DH# 41.64 -.0007H		T#12.5
C101	68 04 30	DH# 41.96 -.0016H		T#15.0
C101	M	DH# 41.82 -.0011H	ALPHA#0.237595	T#13.0
C102	68 03 13	DH# 39.838&.0010H	ALPHA#0.246827	T# 5.0
C103	69 02 14	DH# 44.97 -.0003H		T#02.0
C103	69 01 06	DH# 45.01 -.0005H		T#03.5
C103	68 12 22	DH# 44.93 -.0001H		T#07.0
C103	M	DH# 44.97 -.0003H	ALPHA#0.220083	T#04.0
C104	68 05 09	DH# 43.74 -.0002H		T#11.5
C104	68 05 15	DH# 43.61 -.0005H		T#13.0
C104	68 04 24	DH# 43.55 -.0010H		T#16.0
C104	M	DH# 43.65 -.0007H	ALPHA#0.227113	T#13.0
C105	68 05 08	DH# 40.77 -.0015H		T#11.5
C105	68 04 31	DH# 40.46 -.0003H		T#13.0
C105	68 04 26	DH# 41.08 -.0026H		T#14.0
C105	M	DH# 40.745-.0012H	ALPHA#0.244108	T#13.0
C106	68 05 15	DH# 40.22 -.0006H		T#12.5
C106	68 05 14	DH# 40.33 -.0001H		T#13.0
C106	M	DH# 40.275-.0003H	ALPHA#0.245869	T#13.0

NUM	DATE	DEPLACEMENT	SENSIBILITE	
C107	68 05 15	DH# 43.17 -.0012H		T#12.5
C107	68 05 16	DH# 42.70 &.0009H		T#13.0
C107	M	DH# 42.84 &.0002H	ALPHA#0.230556	T#13.0
C108	68 09 14	DH# 39.46 -.0004H		T#17.0
C108	68 09 09	DH# 39.38 &.0005H		T#18.0
C108	M	DH# 39.43 -.0000H	ALPHA#0.250671	T#17.5
C110	68 09 17	DH# 41.15 -.0004H		T#16.0
C110	68 09 28	DH# 40.90 -.0006H		T#17.0
C109	68 09 02	DH# 44.30 &.0003H	ALPHA#0.222812	T#18.0
C110	M	DH# 40.95 -.0002H	ALPHA#0.241602	T#16.5
C111	69 02 13	DH# 39.65 -.0004H		T#02.0
C111	69 02 22	DH# 39.91 -.0002H		T#02.0
C111	M	DH# 39.80 &.0001H	ALPHA#0.248278	T#02.0
C111	69 01 11	DH# 40.34 -.0007H		T#05.5
C111	68 09 12	DH# 39.47 &.0004H		T#17.0
C112	69 02 13	DH# 36.44 &.0005H		T#02.5
C112	69 01 08	DH# 36.33 &.0004H		T#04.5
C112	M	DH# 36.48 &.0001H	ALPHA#0.270793	T#03.5
C113	69 02 14	DH# 37.51 -.0003H		T#02.0
C113	68 12 13	DH# 37.04 &.0002H		T#02.0
C113	69 01 08	DH# 37.45 -.0000H		T#04.0
C113	69 01 10	DH# 37.40 &.0002H		T#04.5
C113	M	DH# 37.44 &.0000H	ALPHA#0.263924	T#03.5
C114	69 01 07	DH# 44.01 -.0025H		T#03.5
C114	69 01 03	DH# 43.41 &.0000H		T#04.0
C114	M	DH# 43.67 -.0099H	ALPHA#0.227374	T#04.0
C115	69 01 03	DH# 42.80 -.0018H		T#04.0
C115	68 12 24	DH# 42.44 -.0006H		T#07.0
C115	69 04 30	DH# 42.74 -.0007H		T#11.5
C115	M	DH# 42.66 -.0010H	ALPHA#0.232782	T#07.0
C116	69 02 11	DH# 42.41 &.0000H		T#03.5
C116	69 01 28	DH# 42.71 -.0008H		T#08.0
C116	69 04 24	DH# 42.57 -.0002H		T#09.5
C116	69 04 27	DH# 42.52 &.0001H		T#11.5
C116	M	DH# 42.55 -.0001H	ALPHA#0.232399	T#08.0
C117	69 02 21	DH# 41.11 &.0000H		T#01.0
C117	69 02 03	DH# 41.35 -.0001H		T#06.0
C117	69 02 01	DH# 41.31 -.0010H		T#07.0
C117	69 04 24	DH# 41.15 -.0002H		T#09.5
C117	M	DH# 41.22 -.0002H	ALPHA#0.240018	T#06.0
C118	69 02 06	DH# 40.94 &.0009H		T#05.0
C118	69 02 01	DH# 41.26 -.0002H		T#07.0
C118	69 04 24	DH# 41.08 &.0002H		T#09.5
C118	M	DH# 41.09 &.0003H	ALPHA#0.240193	T#07.0
C119	69 02 04	DH# 39.90 -.0001H		T#05.0
C119	69 02 04	DH# 40.02 -.0004H		T#05.5
C119	M	DH# 39.94 -.0001H	ALPHA#0.247594	T#05.0
C120	69 02 07	DH# 33.62 -.0002H		T#05.0
C120	69 02 05	DH# 33.71 -.0005H		T#05.0
C120	69 04 17	DH# 33.70 -.0003H		T#09.0
C120	M	DH# 33.70 -.0004H	ALPHA#0.293990	T#07.0
C121	69 02 12	DH# 25.61 -.0006H		T#03.5
C121	69 04 01	DH# 25.63 -.0006H		T#07.0
C121	M	DH# 25.63 -.0006H	ALPHA#0.387302	T#05.5
C122	69 02 12	DH# 35.28 -.0003H		T#03.5
C122	69 04 15	DH# 35.25 -.0001H		T#09.0
C122	M	DH# 35.27 -.0002H	ALPHA#0.280555	T#07.0
AM30		DH# 9.04 -.0004H	ALPHA#1.103118	T#06.0
AM45		DH# 39.63 &.0010H	ALPHA#0.248153	T#05.0
STR1	63 03	DH# 80.14	ALPHA#0.123333	

- 2666 -				
NUM	DATE	DEPLACEMENT	SENSIBILITE	
CA07		DH#119.2	ALPHA#0.082919	T#05.0
CA09	65 03 30	DH#165.85	ALPHA#0.05960	T#20.0
CB2	69 05 09	DH#198.1		T#12.5
CB2	69 05 14	DH#194.6		T#17.5
CB2	M	DH#196.3	ALPHA#0.0503512	
CB3	69 05 10	DH#215.3		T#13.0
CB3	69 05 15	DH#216.1		T#17.0
CB3	M	DH#215.7	ALPHA#0.0458227	
A013		DH#306.4	ALPHA#0.032258	T#04.0

BIBLIOGRAPHIE

1 B. DUCARME.

Etalonnage interférométrique des crapaudines dilatables
(Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Licencié en
Sciences Physiques - Université Catholique de Louvain, 1965)

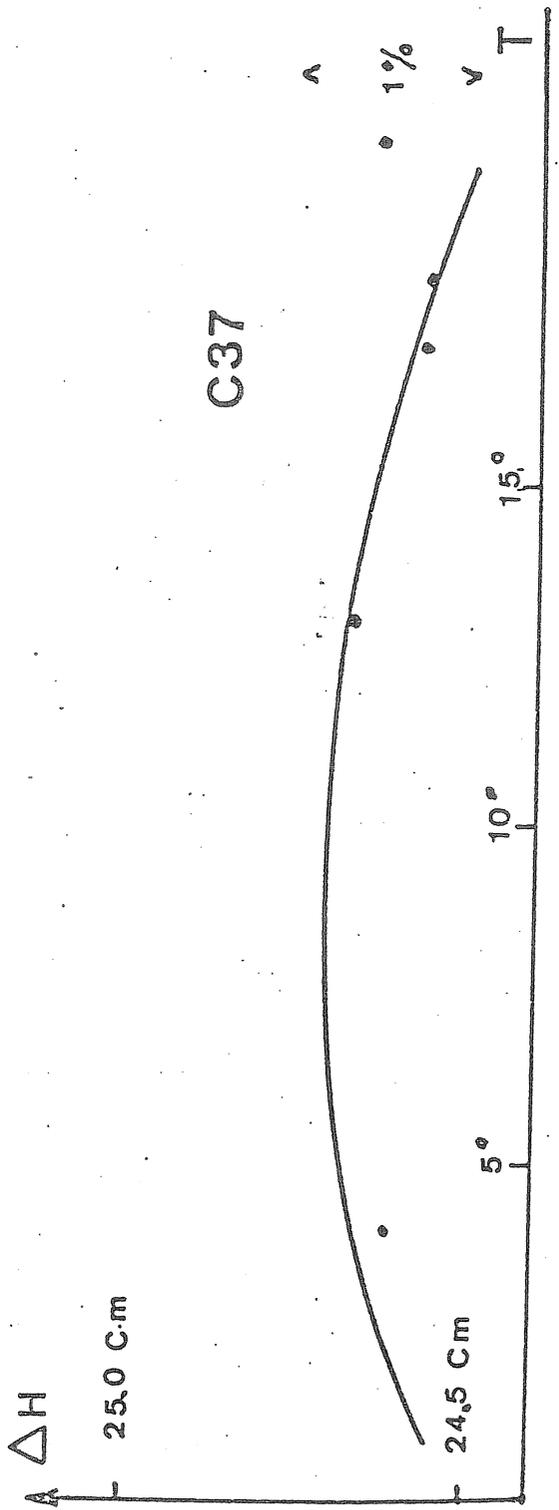
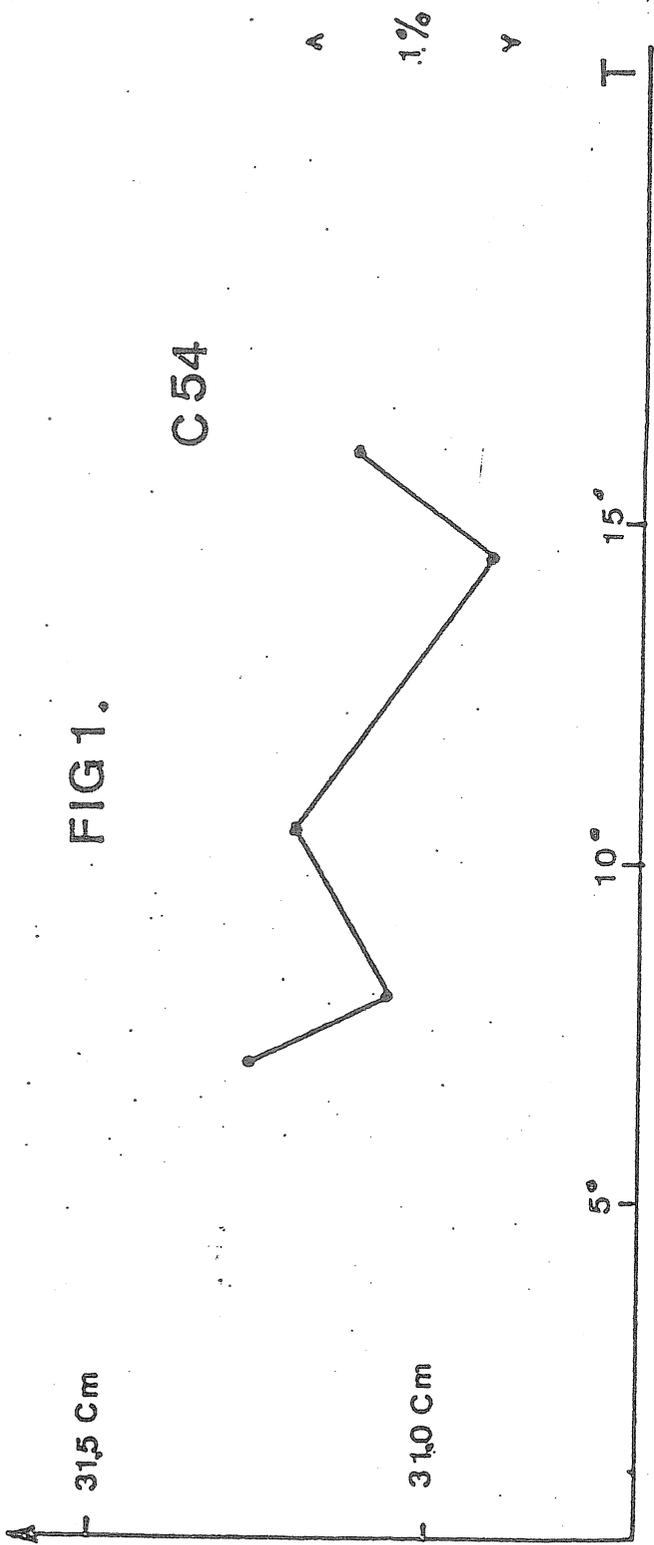
2 J. VERBAANDERT

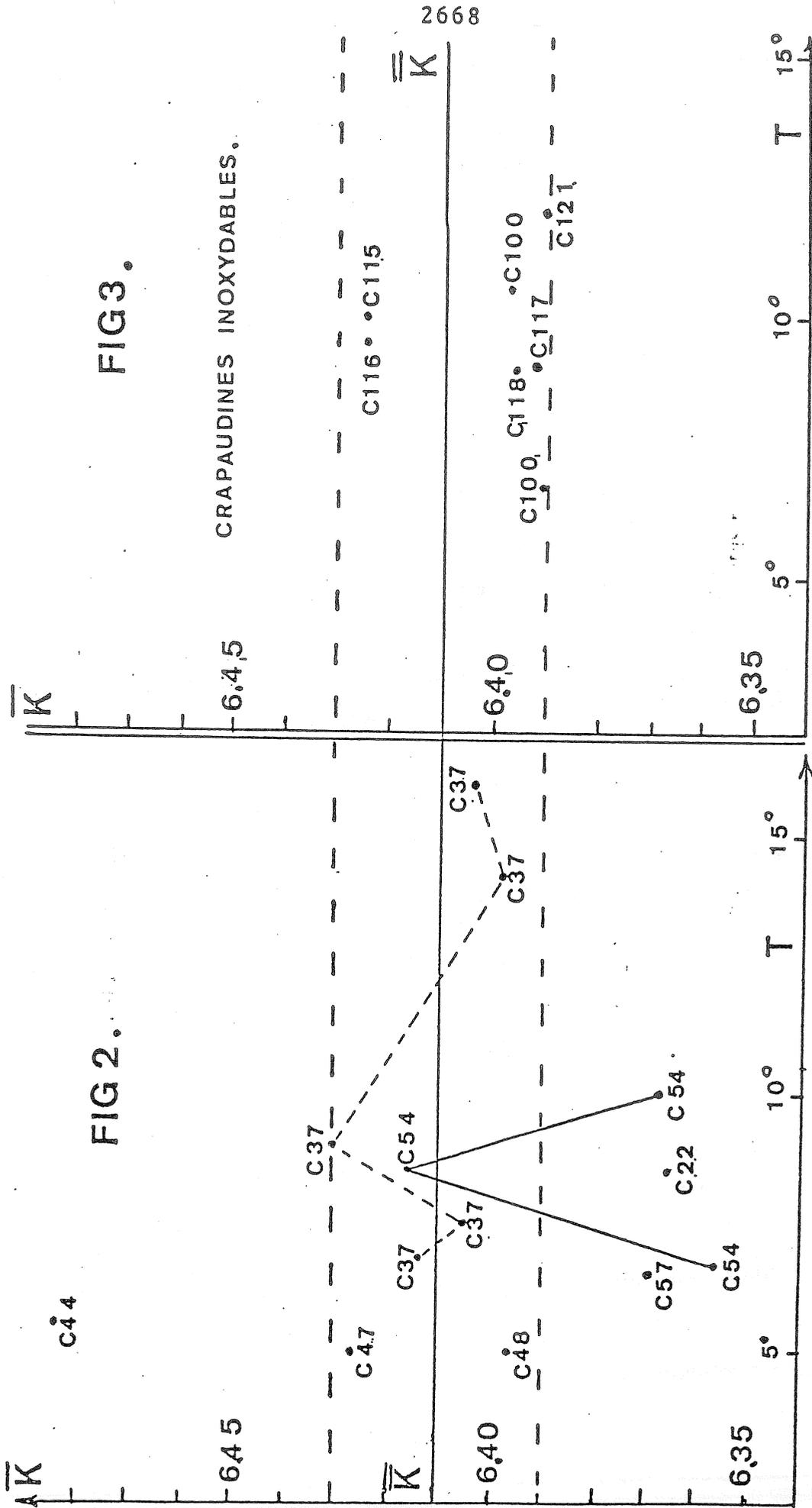
L'étalonnage des pendules horizontaux
(Communication de l'O.R.B. n° 214)

3 P. MELCHIOR et L. SKALSKY

Station : Pribram/Belg, mesures faites dans les composantes Nord-
Sud et Est-Ouest avec les pendules horizontaux VM n° 76 et n° 77
en 1966, 1967 et 1968
(Observatoire Royal de Belgique, Bulletin d'Observations, Marées
Terrestres, vol. III, fasc IV).

FIG1.





DETERMINATION DES PARAMETRES DE MAREES PAR LA COMPENSATION DES OBSERVATIONS

(par la méthode des moindres carrés)

Tadeusz CHOJNICKI

Institut de Géophysique · Varsovie

En désignant par Z_i la valeur observée à l'instant t_i de l'effet due aux forces de marées, nous pouvons écrire de façon générale :

$$Z_i = \sum_n R_n^t \gamma_n \cos(\phi_n + k_n t_i) : \quad (1)$$

où : R_n^t , γ_n , ϕ_n ; k_n - sont : l'amplitude théorique, le coefficient de réduction, la phase initiale et la vitesse de la n-ième onde de marée. D'où nous pouvons écrire :

$$Z_i + v_i = Z(R_n^t \cdot \gamma_o + \Delta\gamma_n \phi_n^t + \Delta\phi_n, k_n, t_i) . \quad (2)$$

où : Z_i est la valeur observée, v_i - son erreur accidentelle, R_n^t , ϕ_n^t - les valeurs théoriques, γ_o - la valeur approximative du coefficient, $\gamma_n = \gamma_o + \Delta\gamma_n$, $\Delta\phi_n$ - le déphasage.

En développant le second membre de l'équation (2) et en nous bornant aux expressions du premier ordre, nous obtenons :

$$v_i = \sum_n \frac{\partial Z}{\partial \gamma_n} \Delta\gamma_n + \sum_n \frac{\partial Z}{\partial \phi_n} \Delta\phi_n + Z_o - Z_i . \quad (3)$$

De cette façon nous obtenons l'équation générale des corrections, où le terme ("libre") $Z_o - Z_i$ est la différence entre la valeur théorique Z (multipliée par la valeur approximative γ_o) et la valeur observée.

Par la méthode des moindres carrés nous pouvons déterminer les paramètres $\Delta\gamma_n$ et $\Delta\phi_n$ à l'aide des équations du type 3.

On peut naturellement introduire δ au lieu de γ .

La forme de l'équation peut subir des modifications selon les besoins, p. ex. nous pouvons admettre que : $\Delta y_1 = \Delta y_2 = \dots = \Delta y_n$.

En comparaison de l'analyse harmonique cette méthode présente certains avantages, dont les plus importants sont :

1. La possibilité de l'appliquer à des intervalles de durée quelconque, sans nécessité d'interpoler les valeurs manquantes.
2. La possibilité de pouvoir prendre en considération ou bien de déterminer des facteurs quelconques ne provenant pas des marées (p. ex. la température, la pression etc.) à condition que soit connue à l'aide d'un diagramme ou d'une fonction quelconque la dépendance de ces facteurs en fonction du temps.
3. Par cette méthode nous pouvons définir clairement la précision des observations en déterminant les erreurs moyennes inconnues, l'erreur moyenne de l'observation et les corrections de chacune des observations. Il est possible de mettre en évidence ainsi que d'éliminer une partie des observations s'écartant de trop de la majorité des valeurs.

On étudie à présent l'utilité de cette méthode sur des modèles théoriques. Pour pouvoir faire les calculs il est nécessaire d'employer un ordinateur électronique.

Une telle conception concernant le problème de la compensation des observations de marées ressemble à celle qui a été appliquée dans la méthode de l'analyse de Venedikov principalement par l'utilisation de la méthode de moindres carrés. La différence principale consiste dans le fait que nous prenons pour une seule observation une lecture de la courbe de marée à un instant donné (et non la combinaison de 48 lectures faites toutes les heures) ainsi qu'un autre moyen de mise sous forme linéaire des équations des corrections. Cela nous permet des conceptions non-conventionnelles de l'analyse des marées terrestres comme p. ex. :

1. La possibilité de tirer profit des lectures de courbes de marées faites à des intervalles quelconques de temps et pas nécessairement toutes les heures.
2. En comparant les valeurs théoriques et observées des marées de phase identique, au lieu du déphasage, nous pourrions admettre dans l'analyse la différence de temps après laquelle la croûte réagit aux forces de marée. Dans ce cas on obtient l'équation :

$$v_i = \sum^n \frac{\partial Z}{\partial \gamma_n} \Delta \gamma_n - \sum^n \frac{\partial Z}{\partial t_{1n}} \Delta t_n + Z_o - Z_i \quad (4)$$

Si nous admettons un retard de temps identique pour certains groupes d'ondes ou même pour toutes les ondes, cela peut se révéler plus motivé que si nous admettions le déphasage identique qu'on applique souvent.

Un cas très intéressant de l'analyse peut être réalisé à l'aide de l'équation (4). Si nous tenons beaucoup à une analyse rapide de certaines observations de marées ayant le même coefficient γ et le même retard du temps pour toutes les ondes composantes nous pourrions le faire facilement à l'aide des tables ou des diagrammes de marées théoriques. Le coefficient de la première inconnue dans l'équation (4) sera une valeur théorique de la marée, et le coefficient de la deuxième inconnue - une dérivée de la marée observée par rapport au temps. Ces deux coefficients ainsi que la valeur Z_0 nous sont données par des tables et Z_1 par les observations.

De cette façon il nous est possible d'écrire les équations des corrections. Si, en plus nous n'écrivons ces équations que pour les deux sortes d'époques où la valeur de la marée atteint un extremum ou zéro, nous obtenons, malgré une grande diminution du nombre des observations, un système d'équations bien déterminable: pour ces époques le premier ou le deuxième coefficient sera proche de zéro dans ces équations.

Nous n'avons débattu ci-dessus que des principes et des possibilités de cette méthode. Les travaux concernant les programmes pour les calculs à la machine électronique ne sont pas encore terminés. Les conclusions résultant de l'utilisation pratique de la méthode seront présentés plus tard.

INCLINAISONS DE LA SURFACE DE LA TERRE D'APRES LES OBSERVATIONS FAITES
EN UNION SOVIETIQUE DE 1957 à 1967.

Z.N. Aksentieva, A.E. Ostrovskii, P.S. Matveyev

Rapports - Symposium International de Leningrad 1968 Comité de Géoph. d'URSS Moscou 1969.

НАКЛОНЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В
СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ ЗА ВРЕМЯ С 1957 ПО 1967 ГОД.

З.Н. Аксентьева, А.Е. Островский, П.С. Матвеев.

Доклады - Симпозиум Ленинграда 1968 Советск.
Геоф. Ком. СССР Москва 1969 Стр. 36-45.

Les observations des inclinaisons de la surface de la Terre ont été commencées en URSS bien avant l'Année Géophysique Internationale (1957), par A. Ia Orlov, Z.N. Aksentieva et Bontchkovskii dans les travaux desquels on peut trouver une description détaillée. Nous donnerons dans ce rapport un court résumé des résultats des recherches au cours des 10 dernières années, obtenus principalement avec de nouveaux clinomètres photoélectriques perfectionnés mis au point à l'Institut de Physique de la Terre.

Au fur et à mesure du perfectionnement des clinomètres, le domaine des problèmes résolus par les observations clinométriques s'est élargi. A présent, l'étude des inclinaisons s'effectue dans quatre directions fondamentales :

1. Les études des signes précurseurs des forts tremblements de Terre proches sous l'aspect d'inclinaisons anormales avant la secousse.
2. L'étude de la structure interne de la Terre, des propriétés visqueuses du noyau et de la structure en blocs de l'écorce terrestre, d'après les amplitudes et les phases de la marée terrestre.
3. La mise au point d'une méthode instrumentale des observations des déformations tectoniques actuelles de l'écorce terrestre dans les régions séismiques actives et aux zones en formation.
4. L'étude des oscillations propres du globe terrestre après de forts tremblements de Terre semblables à celui de Chili (22 mai 1960).

1 INCLINAISONS ET TREMBLEMENTS DE TERRE.

L'étude des tremblements de Terre montre que la surface terrestre se déforme fortement à l'épicentre du tremblement de Terre. Les autres déformations atteignent parfois 10 mètres. Cependant existe-t-il des déformations élastiques et plastiques de l'écorce de la Terre avant le tremblement de Terre, quelle forme ont-elles dans le temps et quelles valeurs les déformations atteignent lors de la formation d'un fort tremblement de Terre, nous ne le savons pas.

Les procédés les plus répandus et mis au point de l'étude de la déformation de l'écorce terrestre avant les tremblements de Terre sont les observations clinométriques, les observations des déformations linéaires à l'aide des déformographes en quartz et le nivellement réitératif.

Le nivellement réitératif permet de déterminer les variations pour des laps de temps assez grands - de un à dix ans -. Quant à l'étude des variations des déformations de l'écorce terrestre dans le temps, elle s'effectue à présent exclusivement par les clinomètres et les déformographes.

Au Japon, les observations des inclinaisons pour la recherche des signes précurseurs des tremblements de Terre s'effectuent depuis 1929. Ces dernières années, le nombre des clinomètres dans les stations du Japon a été porté à soixante. Le programme de prévision des tremblements de Terre pour les prochains 5 ans se propose d'augmenter sensiblement le nombre de clinomètres.

Pour 30 années d'observations des inclinaisons au Japon on a noté des inclinaisons anormales dans une série de cas avant de forts tremblements de Terre proches. Des observations semblables ont été effectuées en Italie dans la région sismique active près de Palerme où on a enregistré également des inclinaisons anormales avant les tremblements de Terre locaux.

En Union Soviétique, ces observations sont effectuées dans un nombre restreint de points et pas depuis si longtemps qu'au Japon, mais le cas d'une variation évidente de l'allure des inclinaisons avant les tremblements de Terre s'observe également.

Ces dernières années, à l'Institut de Physique de la Terre de l'Académie des Sciences on a mis au point des clinomètres avec enregistreur photoélectrique qui ont une sensibilité d'un ordre plus élevé que les clinomètres en quartz d'Ishimoto employés au Japon. Le bruit de fond a fortement diminué par utilisation d'un galvanomètre.

Les observations des inclinaisons dans des sondages ont montré la possibilité d'obtenir des enregistrements des inclinaisons dans les villes situées dans les plaines. Ces observations expérimentales des inclinaisons dans les sondages s'effectuent à présent à Tachkent,

Douchambe et Poltava. Une communication spéciale donne des indications sur les sondages et sur les premiers résultats des observations.

Des observations ininterrompues des inclinaisons s'effectuent à présent en 19 stations clinométriques. On a préparé des salles spéciales en quatre stations où est planifiée l'organisation des observations clinométriques systématiques en 1968-1969.

Ces dernières années, on a effectué de grands progrès dans la réduction des observations clinométriques. Le calcul de la courbe théorique des marées permet d'éliminer les déformations de marées. Ainsi l'efficacité de la séparation des inclinaisons anormales avant les tremblements de Terre a été fortement augmentée.

L'obtention de données nombreuses dans les zones d'épicentre constitue l'étape suivante dans l'étude des signes précurseurs des forts tremblements de Terre. Pour effectuer ces recherches, on se propose d'organiser un réseau de stations clinométriques permanentes. Les stations clinométriques seront réparties à proximité de grandes villes, telles que Ashkhabad, Alma-Ata et aussi dans les zones d'activité sismique près de hauts barrages tels que Toktogoulskaia et Nourekskaia et enfin dans des zones particulièrement actives de l'Asie Centrale et de l'Extrême Orient. On s'est proposé d'utiliser non seulement les stations sismiques mais aussi les stations météorologiques : les salles clinométriques seront installées soit à proximité des stations si le permettent les conditions géologiques, soit dans la banlieue.

La principale tâche lors de l'exécution des observations des inclinaisons dans le but de prévoir le tremblement de Terre est la diminution du bruit de fond c'est-à-dire l'augmentation de la sensibilité effective des clinomètres et l'organisation d'un réseau de stations clinométriques fonctionnant constamment dans les régions d'activité sismique de notre pays.

2 LES INCLINAISONS DE MAREES

Les premières mesures des inclinaisons de marées dans notre pays ont été effectuées comme on le sait par A. Ia Orlov et Z.N. Aksentieva.

Ces dernières 10 années, ces observations ont été sensiblement améliorées. La sensibilité des clinomètres a été augmentée d'un ordre, l'enregistrement de leurs indications s'effectue séparément, une méthode électrodynamique de détermination et de contrôle de la sensibilité du clinomètre a été mise au point. Ces perfectionnements permettent de déterminer en un court laps de temps les amplitudes et les phases des ondes de marées avec une précision plus élevée que celle obtenue précédemment par des séries de plusieurs années d'observations. Les observations des inclinaisons avec des instruments installés dans des sondages près de Moscou, Poltava, Douchambe et Tachkent ont montré la possibilité de se passer d'excavations profondes lors des études clinométriques ce qui compliquait fortement les observations.

Les observations des inclinaisons à Moscou et en Ukraine et aussi dans les stations d'Asie Centrale - Alma-Ata, Douchambe, Tachkent ont montré que malgré la situation de ces stations loin des océans et par conséquent la faible influence des marées océaniques, les amplitudes et les phases des inclinaisons de marées varient fortement d'un endroit à l'autre.

Nous donnons dans la table des inclinaisons de marées les résultats de la détermination des valeurs γ et κ pour l'onde M_2 d'après les observations en 25 points sur le territoire de l'Union Soviétique. Des salles clinométriques spéciales ont été aménagées dans des puits de mine, des galeries de mine, des caves et des sondages. La profondeur d'installation des salles varie de 4 à 260 mètres. Lors des observations des inclinaisons de marées, on s'est servi des pendules horizontaux de Repsold-Levitskii et des clinomètres de A.E. Ostrovskii avec amplification photo-électrique. L'analyse harmonique a été effectuée d'après la méthode de P.S. Matveyev et d'après celle de B.P. Pertsev. Les séries d'observations ont des durées de 2 mois à 15 ans (Poltava).

Il est apparu que la valeur γ pour la composante NS varie de 0,252 (station Torès) à 0,922 (station de Kondara I). Pour la composante EW, l'écart de la valeur γ est sensiblement plus petit - de 0,569 (station de Kondara I) à 0,777 (station de Simféropol). Ces divergences ne s'expliquent pas par des défauts d'instrument, ni par la courte durée des séries d'observations ; elles sont déterminées apparemment par la construction de la salle, par le procédé d'installation des clinomètres et par les propriétés géologiques du lieu où se trouve la salle.

On peut dire la même chose sur la différence des phases entre la courbe théorique et la courbe observée. Le déphasage varie de $+ 9^{\circ}4$ à $- 34^{\circ}1$. Les plus grandes valeurs sont obtenues à Simféropol où, pour la composante NS $\kappa = - 34.1^{\circ}$ et pour la composante EW $\kappa = - 27.5^{\circ}$. Lors de la comparaison des valeurs moyennes γ et κ , nous avons éliminé les trois stations mentionnées plus haut - Torès, Kondara I et Simféropol - et nous n'avons pas tenu compte des stations où les observations ont duré un à deux mois.

Les valeurs moyennes de γ et κ dans les directions du méridien et du premier vertical sont :

$$\begin{array}{l} \text{NS } \gamma = 0,652 \pm 0,010 \\ \text{EW } \gamma = 0,683 \pm 0,007. \end{array}$$

En comparant les valeurs γ obtenues pour les composantes NS et EW, il est aisé de noter que la différence dans les valeurs est plus grande que l'erreur quadratique moyenne formelle de mesure mais cette différence ne constitue toutefois pas une valeur réelle : elle est due probablement à l'influence systématique de la variation de température sur la marée lunaire semi-diurne principale M_2 . La valeur γ dans la direction EW est moins troublée par la température et est en effet déterminée avec une plus grande précision. C'est pourquoi à présent pour étudier le modèle de structure interne de la Terre d'après les observations des inclinaisons en URSS, il vaut mieux

prendre la valeur $\gamma = 1 + k - h$ et les nombres de Love k et h égaux à :

$$\gamma = 0,683 \pm 0,007$$

$$k = 0,317 \pm 0,007$$

$$h = 0,634 \pm 0,007$$

Nous donnons dans la table des données non pour tous les points dans lesquels sont effectuées les observations car la réduction est fort en retard sur les observations. En outre, le nombre des nouveaux points clinométriques croît d'un an à l'autre, c'est pourquoi la précision de la détermination des nombres de Love d'après les observations clinométriques croîtra avec le temps.

Les résultats des observations dans les sondages de Chevtchenkovo et Samotoevka retiennent l'attention. Bien qu'elles se trouvent à une distance de plus de 100 kilomètres l'un de l'autre, les amplitudes et les phases en ces points sont très proches. La valeur γ - la moyenne pour les deux sondages était égale à 0,703 pour la composante NS, 0,705 pour la composante EW c'est-à-dire voisine du chiffre moyen obtenu par la table générale en EW. Le fait que la différence des phases était faible et que κ sont les mêmes dans les directions du premier vertical et du méridien, force à considérer ces observations comme les meilleures de toute la table.

Nous donnons à la table 2 les valeurs du facteur d'amplitude γ et les différences des phases κ pour les mêmes stations qui sont énumérées dans la table 1. Ces valeurs sont données ici avec une estimation de la précision des mesures. Les erreurs quadratiques moyennes sont calculées en fonction de séries mensuelles indépendantes. Il est aisé de noter que l'erreur des mesures du déphasage dépasse parfois la valeur mesurée elle-même. Aussi bien le déphasage que γ sont mesurés avec plus de précision pour la composante EW que pour la composante NS. Cela nous confirme encore dans le fait que les influences de température lors de la mesure des marées terrestres se font sentir dans une plus grande mesure sur la composante NS que sur la composante EW.

Le principal problème lors des observations des inclinaisons de marées comme précédemment est l'augmentation de la précision de mesure des amplitudes et des phases de la marée terrestre aussi bien dans le but d'étudier la structure interne de la Terre que pour étudier les failles dans l'écorce terrestre.

3. INCLINAISONS ET MOUVEMENTS ACTUELS.

Le nivellement réitératif permet de mesurer les discordances représentées en mesure d'angle avec une précision allant jusqu'à 0".1. C'est pourquoi l'idée d'utiliser les observations d'inclinaisons de profils dans les sondages en commun avec le nivellement réitératif est très séduisante.

L'essai d'effectuer une série d'un an et demi d'observations dans l'ancienne excavation de montagne près de Moscou a montré qu'à la profondeur de 15 mètres il y a des inclinaisons saisonnières atteignant au printemps $\pm 0".3$. L'inclinaison pour un an n'était pas de plus de 0".1. Cependant les observations dans les puits ont indiqué qu'en certains endroits de la région de Moscou (Khatoun) les inclinaisons uniformes peuvent être sensiblement plus grandes et atteindre 4" par an.

La dérive des appareils apporte des perturbations sensibles dans les mesures. La dérive est particulièrement grande dans les premiers mois d'observation. Les observations parallèles par des appareils installés dans des sondages voisins l'un de l'autre conduisent à la conclusion que les inclinaisons des socles séparés dans les sondages peuvent différer sensiblement l'une de l'autre, que les valeurs des inclinaisons sont une dizaine de fois plus grandes que les inclinaisons calculées par les nivellements. Le principal problème lors des mesures des inclinaisons séculaires uniformes est l'éclaircissement des causes des inclinaisons locales, la mise au point d'une salle standard et le procédé d'installation des clinomètres.

Cependant dans l'état actuel de la technique de mesure à l'aide des clinomètres, on peut résoudre les problèmes pratiques dans les cas où les failles tectoniques dans une section transversale ne dépassent pas 2 à 3 mètres. Ces recherches sont effectuées avec succès à Saïano-Chouchenskaïa et à Zéïskaïa (station hydroélectrique), à la digue du réservoir d'eau d'Andigan et au Caucase : stations hydroélectriques de Tchirkéïskaïa et d'Ingouria. On parlera plus en détail de ces travaux dans un rapport spécial.

A la station hydroélectrique de Saïano Chouchenskaïa on a utilisé aussi des clinomètres pour étudier les déformations des roches lors de la recharge. L'enregistrement des déformations dans le temps et l'enregistrement sur la distance donnent une série d'avantages à l'égard des anciennes méthodes de mesures de déplacement de repères lors des recharges et des décharges.

4. INCLINAISONS ET OSCILLATIONS PROPRES DE LA TERRE.

Les enregistrements des inclinaisons lors du passage des ondes élastiques au moment du tremblement de Terre du Chili ont indiqué que les clinomètres enregistrent les ondes avec des périodes allant jusqu'à 1000 secondes. Par analyse spectrale on met à jour des ondes avec une période allant jusqu'à une demi-heure. L'analyse spectrale des forts tremblements de Terre n'est pas terminée mais le premier essai montre que les enregistrements clinométriques des ondes à longue période diffèrent avantageusement des enregistrements des séismographes et des gravimètres.

Pour utiliser avec succès les observations clinométriques dans cette voie il faut que la vitesse de l'enregistrement ne soit pas de moins de 20 mm par heure.

Observatoire gravimétrique de Poltava.
Ac. des Sc. d'Ukraine.
Institut de Physique de la Terre
Ac. des Sc. d'URSS.

I. [1,2,3] 2. [4,5] 3. [6,10] 4. [7,10] 5. [9] 6. [11] 7. [10] 8. [13] 9. [10] 10. [12] 11. [10] 12. [10] 13. [9] 14. [24] 15. [24] 16. [14] 17. [15,16] 18. [15,16] 19. [15,16] 20. [17,23] 21. [18] 22. [18] 23. [19,20] 24. [19,20] 25. [19,20] 26. [21] 27. [22]	Nom du site des observations	Type de sable	Profondeur	Epoque des observations	Type d'appareil	Méthode d'analyse	N - S		E - W		Coordonnées approximatives du site	
							η	Δφ	γ	Δφ	η	γ
	Poltava 1, 2	cave	4	I 1930 - I 1952	R-1	CH	180	+392	0.726	0.663	499.6	34.5
	Poltava 3	cave	4	VIII.1958-VIII.1959	OST	M	9	+5.6	0.660	0.702	-	-
	Chmakovo	mine	237	Y.1958-XI.1958	R-1	M	6	+7.5	0.589	0.718	48.0	33.4
	Ingoulets	"	250	YIII.1961-III.1962	R-1	M	8	-6.6	0.510	0.665	47.7	33.2
	Torbé	"	180	Y.1960-III.1962	R-1	M	12	+6.2	0.252	0.608	48.1	38.6
	Simferopol	galerie	25	IX.1963-VI.1966	R-1	CH	36	-34.1	0.739	0.777	45.0	34.0
	Darlevka	puits	7	VII.1964-VIII.1965	OST	M	12	-3.8	0.533	0.682	46.6	32.8
	Kiev	galerie	10	XII.1964-VIII.1967	OST	M	10	+3.4	0.693	0.670	50.4	30.5
	Vel. Boudicha	puits	12	XI.1965-II.1967	OST	M	24	+0.7	0.639	0.704	49.9	34.6
	Tchevchenkovo	"	16	VII.1966-	OST	M	8	0	0.700	0.707	49.5	35.6
	Samotoevka	"	10	XI.1966-	OST	M	6	+0.6	0.707	0.704	50.8	35.2
	Lichovka	"	9	VII.1967-	OST	M	4	-5.0	0.511	0.678	48.7	33.9
	Kalouché	mine	230	I.1964-I.1966	R-1	CH	24	-4.9	0.622	0.650	49.0	24.4
	Inkerman	galerie	70	XII.1966-	R-1	M	2	+6.5	0.737	0.666	44.6	33.6
	K. Libknechtovsk	mine	130	III.1967-	R-1	M	2	-3.0	0.476	0.683	48.7	38.1
	Alma Ata 1	galerie	23	XI.1959-XII.1960	OST	II	11	-0.5	0.716	0.725	49.2	77.4
	Kondara 1	galerie	90	I.1959-VIII.1959	OST	II	14	-13.6	0.955	0.582	38.8	68.8
	Kondara 2	"	90	I.1959-VIII.1959	OST	II	12	-0.3	0.671	0.614	38.8	68.8
	Kondara 3	"	90	VII.1959-IX.1959	OST	II	6	+2.9	0.814	0.631	38.8	68.8
	Ashkabad	cave	4	IV.1957-XII.1959	OST	II	10	-6.8	0.544	0.655	37.9	58.3
	Kisailicha	galerie	15	Y.1962-VIII.1963	OST	II	10	-0.1	0.622	0.706	55.5	37.8
	Cianovo	"	40	III.1964-X.1964	OST	II	8	-6.1	0.638	0.692	55.5	37.8
	Novlinskoe	puits	10-8	VI.1965-XI.1967	OST	III	7	-6.6	0.685	0.713	55.3	37.6
	Cianovo 3	"	14	X.1965-I.1966	OST	II	4	-5.0	0.690	0.661	55.3	37.6
	Katoun	"	11-12	IV.1966-IX.1966	OST	II	10	-3.6	0.652	0.708	55.0	37.6
	Kasan	cave	14	XI.1952-Y.1968	OST	II	41	-1.6	0.707	0.710	55.8	48.8
	Talgar	galerie	90	XII.1966-I.1968	OST	II	11	-5.5	0.616	0.713	43.2	77.2

Valeur arithmétique moyenne

0.653 -1.9

Erreur quadratique moyenne

± 0.015 ± 0.9 ± 0.007 ± 0.9

Remarque. On a introduit 1) "R-L" - Pendule horizontal Repsold-Levitskii, "OST" - clinomètres photoélectriques A.E.Ostrovskii
2) "S.P." - Méthode des marées faibles, M - méthode de P.S.Matveyev, P. - méthode de B.P.Pertsev.
n - nombre de mois-appareil
Le signe "-" moins pour la valeur Δφ correspond au retard de la marée terrestre observée par rapport à la marée théorique.

Observ. prolongée
Observ. prolongée
NS (α = 456°); EW (α = 46°)
Observ. prolongée
Observ. prolongée
Moyenne pour 2 fouilles N° 1 et N° 2
Moyenne pour 3 fouilles

Table 2

Résultats de la détermination de l'onde M2
dans les sites de mesures clinométriques en URSS
avec estimation de l'erreur.

N° du site	N - S			E - W			N - S			E - W		
	n	γ	Δφ	n	γ	Δφ	n	γ	Δφ	n	γ	Δφ
1. Poltava 1	11x12	0,724 ± 21	+ 3,2° ± 1,0	11x12	0,667 ± 15	- 0,3 ± 0,8	2	0,737	+ 6,5	0,666	+ 4,8	
Poltava 2	4x12	0,728 ± 15	- 2,0 ± 2,1	4x12	0,660 ± 22	- 2,7 ± 1,2	2	0,476	- 3,0	0,683	- 2,6	
Poltava 3	9	0,660 ± 21	+ 5,6 ± 2,1	9	0,702 ± 18	+ 0,5 ± 2,4	15	0,716 ± 9	- 0,5 ± 0,9	0,725 ± 11	+ 9,4 ± 1,1	
2. Chmakovo	6	0,589 ± 7	+ 7,5 ± 1,2	6	0,718 ± 8	- 2,1 ± 0,6	14	0,955 ± 15	+ 13,6 ± 1,9	0,582 ± 6	- 7,0 ± 1,4	
3. Ingoulets	8	0,510 ± 13	- 6,6 ± 1,4	8	0,665 ± 8	+ 2,5 ± 0,5	12	0,671 ± 21	+ 0,3 ± 1,3	0,614 ± 21	0,0 ± 2,0	
4. Torès	12	0,252 ± 36	+ 6,2 ± 3,0	12	0,608 ± 10	- 2,1 ± 2,4	6	0,814 ± 17	- 2,9 ± 0,7	0,631 ± 9	- 3,3 ± 5,1	
5. Simféropol	3x12	0,739 ± 41	- 34,1 ± 7,4	3x12	0,777 ± 39	- 27,5 ± 8,6	16	0,622 ± 5	- 0,1 ± 0,8	0,706 ± 8	+ 4,4 ± 1,5	
6. Dariévka	12	0,633 ± 11	- 3,8 ± 1,3	13	0,682 ± 8	- 6,9 ± 0,7	9	0,638 ± 23	- 6,1 ± 6,5	0,692 ± 17	+ 4,8 ± 1,0	
7. Kiev	10	0,693 ± 32	- 3,4 ± 1,4	9	0,670 ± 19	- 5,2 ± 1,1	7	0,685 ± 96	6,6 ± 1,8	0,722 ± 43	+ 7,0 ± 0,6	
8. Vel. Bou-dicha	24	0,639 ± 5	+ 0,7 ± 0,6	27	0,704 ± 5	- 5,5 ± 0,3	9	0,690 ± 4	- 5,0 ± 1,7	0,675 ± 11	- 5,0 ± 0,1	
9. Tchevchenkovo	6	0,707 ± 14	0,0 ± 1,5	7	0,707 ± 12	- 2,7 ± 1,1	10	0,654 ± 17	- 2,7 ± 1,7	0,708 ± 11	- 4,3 ± 0,6	
10. Samotoévka	4	0,541 ± 27	- 5,0 ± 2,0	4	0,678 ± 21	- 6,5 ± 1,6	41	0,707 ± 4	+ 1,6 ± 0,3	0,710 ± 4	- 0,1 ± 0,5	
12. Kaloucha	2x12	0,632	- 4,0	1	0,650	- 14,4	11	0,616	- 5,5	0,713	+ 2,8	

SUR LES OBSERVATIONS CLINOMETRIQUES SUR LES PROFILS EN UKRAINE

P.S. Matveyev, V.G. Balenko, I.D. Bogdan

Rapports - Symposium Intern. Leningrad 1968.

Obs. grav. de Poltava - Ac. des Sc. Ukraine

О НАКЛОНОМЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ НА ПРОФИЛЯХ
В УКРАИНСКОЙ ССР.

П.С. Матвеев, В.Г. Баленко, И.Д. Богдан.

Симпозиум Ленинграда - 1968, МОСКВА 1969.

Стр. 48-55.

Les résultats des observations clinométriques de marées terrestres peuvent servir aussi bien pour obtenir des indications précieuses sur la structure interne c'est-à-dire sur les propriétés mécaniques et physiques du noyau et du manteau, que pour l'étude de certaines particularités de la structure de l'écorce terrestre. Les observations effectuées dans des points très éloignés des océans sont très favorables pour atteindre ces objectifs.

Les valeurs γ et κ obtenues en ces points sont faiblement altérées par l'effet indirect ce qui permet de les considérer comme principalement perturbées par l'effet indirect d'origine tectonique.

Partant des idées sur la nature possible de l'effet tectonique indirect émises en leur temps par W. Lambert, R. Tomashek et d'autres chercheurs [1 - 5] on peut supposer que la plus grande influence peut être exercée des failles du type de fractures profondes isolées ou de leurs zones. Le mécanisme possible peut être représenté schématiquement de la façon suivante (fig. 1a) Supposons que dans la situation initiale (non déformée) la surface de la Terre et, coïncidant avec elle, la surface équipotentielle de la pesanteur occupaient la position (1).

Pour le cas où l'écorce terrestre et le manteau ne présentent pas de failles (et d'autres particularités de structure), l'action des forces génératrices de marées déplacerait la surface de la Terre dans la position (2) et la surface de niveau dans la position (4). Dans ce cas nous aurions affaire à la marée terrestre normale.

S'il y a dans l'écorce terrestre une zone de fractures profondes, cette zone et ses bords doivent subir dans le processus de la déformation de marée des déplacements verticaux supplémentaires (diminuant en valeur avec l'éloignement de la zone) et occuper la situation (3) plus haute par rapport au niveau (2). Quant à la surface équipotentielle de pesanteur (coïncidant d'abord avec la surface de la Terre non déformée) elle doit occuper la position (5).

Le but des observations d'inclinaisons est la détermination de l'anomalie des inclinaisons de marée $\Delta\eta$ qui représente l'angle entre les surfaces (2) et (3) c'est-à-dire :

$$\Delta\vec{\eta} = \vec{\eta}_{obs} - \vec{\eta}_o = \vec{\eta}_{obs} - \gamma_o \vec{\eta}_{théor.} \quad (1)$$

Ici $\vec{\eta}_{obs}$ est l'inclinaison de marée observée c'est-à-dire l'angle entre les surfaces (5) et (3). $\vec{\eta}_o$ est l'inclinaison correspondant à la marée terrestre normale, c'est-à-dire l'angle entre les surfaces (2) et (4). $\vec{\eta}_{théor.}$ en est la valeur théorique (rigidité absolue de la Terre) et γ_o est la valeur la plus sûre d'une des caractéristiques de la marée terrestre normale.

En 1957, un groupe de collaborateurs de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava (Ac. des Sc. d'Ukraine) a commencé des observations clinométriques suivant le profil de Soumi-Poltava-Kherson dont le but principal était la découverte d'un effet tectonique possible des zones de fractures profondes situées dans la partie nord de la région de plissements alpins comprenant le Caucase, la Crimée, la dépression de la Mer Noire, les Carpathes etc... Si le mécanisme exposé plus haut de l'influence tectonique est réel au moins dans une certaine mesure, alors par les inclinaisons anormales $\Delta\eta$ aux points du profil perpendiculaire à la zone de fractures, il faut s'attendre à trouver une étroite dépendance de la valeur $\Delta\eta$ en fonction de la distance h entre le point d'observation et la zone de fractures. Qualitativement cette dépendance doit être analogue à celle donnée ici par la courbe (b) sur la figure 1. La valeur $\Delta\eta$ est la dérivée du déplacement vertical anormal de la surface de la Terre sur les bords de la zone de fractures.

Par conséquent, les anomalies $\Delta\eta$ découvertes des deux côtés de la zone de fractures doivent avoir des signes opposés et augmenter graduellement en approchant de la zone, en atteignant leurs valeurs extrêmes à une certaine distance d'elle. La valeur de cette distance sera évidemment déterminée par la profondeur de l'étendue des fractures dans la zone, par sa largeur et l'épaisseur de la couche sédimentaire. En approchant de la zone, la valeur absolue des anomalies doit diminuer avec le fait qu'au passage par la zone le signe change, et on passe ainsi par des valeurs voisine de zéro ($\Delta\eta \approx 0$). Dans la représentation des valeurs extrêmes des vecteurs anormaux $\Delta\vec{\eta}_r = 0$ (fig. 1 c) ces derniers doivent se conduire de la même façon que les vecteurs du gradient horizontal de la force de pesanteur le long du profil, coupant en croix l'anomalie négative de pesanteur fortement allongée.

Ainsi, le caractère de la répartition des vecteurs d'anomalies $\Delta\vec{\eta}_T$ pourrait servir d'indicateur important lors des recherches et de l'étude des zones de grandes fractures non seulement ouvertes mais aussi recouvertes d'une grosse épaisseur sédimentaire y compris celles qui ne manifeste pas actuellement d'activité.

Il convient de noter qu'on ne peut attendre des observations une déduction rigoureuse sur cette carte schématique donnée à la figure 1. Il faut tenir compte des erreurs des observations qui sont encore parfois très grandes. De pair avec les erreurs d'observation il faut encore noter

les erreurs provoquées par l'inexactitude dans la valeur admise γ_0 (nous prenons $\gamma_0 = 0,72$) et également par l'ignorance de l'effet des marées océaniques. En étudiant l'influence possible des grandes fractures séparées ou de leurs zones (à l'échelle planétaire) il faut convenir que les fractures plus petites (devançant ou accompagnant les éléments tectoniques importants et conditionnant également la structure en blocs de l'écorce terrestre dans ses zones de plate-forme) influenceront à leur tour la marée terrestre dans l'esprit du mécanisme exposé plus haut. Ces influences (locales) plus petites en valeur se superposeront dans notre cas à l'effet des zones des fractures de la ceinture de plissement Alpin comme sur un fond régional quelconque.

A présent, sur le profil Soumi - Poltava - Kherson on a sept points pour lesquels les valeurs γ et κ sont déterminées avec une exactitude suffisante : Samotoévka, Velikié Boudicha, Poltava, Likhovka, Chmakovo, Ingouletz, Dariévka.

Nous ne nous arrêtons pas ici ni sur les conditions des observations en ces points, ni sur la caractéristique des valeurs obtenues γ et κ . Ces questions sont données en détail dans une série de nos publications. Nous rappellerons seulement que les observations dans les points énumérés ont été effectuées dans des puits de mine, des caves et des sondages. On a utilisé des appareils de deux types - les pendules horizontaux de Repsold-Lévitskii et les clinomètres photo-électriques de A.E. Ostrovskii.

Quels sont les résultats préliminaires que nous avons obtenus dans le domaine de la découverte de l'effet des zones de fractures de la ceinture alpine ?.

Nous donnons sur la figure 2 sous forme de graphiques les valeurs γ_s (pour la direction NS) et γ_w (pour la direction EW) obtenues pour l'onde principale semi-diurne M_2 . Outre les données pour les sept points énumérés plus haut du profil de Soumi-Kherson, nous donnons sur ces graphiques également les données préliminaires pour deux points de Crimée : Simféropol et Inkerman [6, 7]. Bien que ces deux points ne se trouvent pas dans l'alignement du profil Soumi-Kherson, on peut toutefois leur attribuer les valeurs obtenues de γ pour la caractéristique de l'inclinaison anormale dans la région contiguë au profil qui est très intéressante au point de vue géologique. Cette région se trouve dans la bande d'articulation de la limite de la plate forme russe avec la partie nord de la ceinture géosynclinale alpine.

Comme nous le verrons, lors du déplacement du nord vers le sud, on observe distinctement une diminution de la valeur absolue de γ_s jusqu'à sa valeur minimale quelque part dans les limites de l'écran cristallin d'Ukraine (dans la région de Likhovka-Ingouletz) d'où on observe une tendance à l'augmentation jusqu'à la valeur normale ($\gamma_0 = 0,72$).

En comparant le graphique de la variation de γ_s (fig. 2) avec la branche de la courbe (b) sur la figure 1, nous pouvons parler avec de bonnes raisons de l'accord qualitatif du caractère de répartition de la différence observée $\gamma_s - \gamma_0$ avec le caractère de la répartition de l'anomalie des inclinaisons $\Delta\eta$ découlant du mécanisme de l'influence tectonique décrit plus haut. Il convient de noter que la courbe γ_w sur la fig. 2 indique une certaine tendance au fléchissement dans la partie moyenne. Cela peut s'expliquer par le fait que les zones examinées des fractures de la ceinture de plissement alpin ont apparemment une étendue pas rigoureusement de latitude mais sont caractérisées également par un certain tour vers le nord (dans la direction ouest) et vers le sud (dans la direction est).

Depuis 1964, un groupe de collaborateurs de l'Observatoire gravimétrique de Poltava (Ac. des Sc. d'Ukraine) a entrepris des observations clinométriques d'après un seul profil passant de Kiev par Poltava sur Artemovsk. Dans ce profil on a obtenu jusqu'à présent les valeurs γ et κ uniquement en trois points : à Kiev, Chevtchenkove et Karlo-Libknekhtovska. Les conditions d'observation dans ces points et les appareils utilisés sont les mêmes que dans les points du profil Soumi-Kherson.

Le caractère de la variation de la différence $\gamma - \gamma_0$ ne peut donner qu'une représentation très approximative de la valeur et de la direction des inclinaisons anormales $\Delta\eta$ aux points d'observation. On peut obtenir des données plus sûres en comparant les diagrammes de facteurs d'inclinaisons anormales $\Delta\eta$ calculés d'après les formules (1). Ces calculs ont été effectués pour les dix points des deux profils. Les équations des ellipses des inclinaisons anormales $\Delta\eta$ ont été représentées sous la forme [5].

$$\begin{cases} \Delta\eta_s = M \cos(30^\circ t - m) \\ \Delta\eta_w = N \cos(30^\circ t - n) \end{cases} \quad (2)$$

où t est le temps spécial de l'onde M_2

Les valeurs des amplitudes M et N (en msec) et des phases initiales m et n (à l'époque $t_0 = 0$) pour les deux composantes des inclinaisons anormales et pour chacun des dix points sont données dans la table. Outre les valeurs énumérées dans cette table nous donnons également les azimuts α de l'orientation des grands axes des ellipses anormales qui ont été calculés d'après la formule :

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2MN}{M^2 - N^2} \cos(m - n) \quad (3)$$

Anomalies des inclinaisons de marées (onde M₂)

Profil	Dénomination du point	$\Delta\eta_s$		$\Delta\eta_w$		α
		M	m	N	n	
Soumi-Kherson	Dariévka	0,774	154,3	1,000	207,7	56,7
	Ingouletz	1,742	164,6	0,665	297,3	-15,6
	Chmakovo	1,296	209,3	0,492	200,0	20,9
	Likhovka	1,463	165,3	0,939	210,9	28,4
	Poltava	0,706	225,3	0,198	288,6	7,6
	Vel. Boudicha	0,635	185,4	0,719	195,6	48,6
	Samotoévka	0,115	211,7	0,477	201,0	76,6
Kiev - Artemovsk	Kiev	0,346	127,8	0,840	219,5	90,8
	Chevtchenkovo	0,156	178,2	0,370	202,5	68,4
	K.-Libknekhtovska	1,926	174,2	0,509	230,5	8,8

Les ellipses obtenues sont reportées sur la carte (fig. 3) où sont représentés par des flèches les vecteurs des inclinaisons anormales $\Delta\eta_t = 0$ à l'époque de minuit local ($t_0 = 0$), temps spécial de l'onde M₂ (c'est-à-dire à l'époque correspondant à l'élévation maximale du territoire de l'Ukraine sur la crête de cette onde). En comparant la répartition des vecteurs $\Delta\eta_{t=0}$ suivant les profils (en particulier suivant le profil Soumi-Kherson) avec le schéma (c) sur la fig.1, on peut tirer la même conclusion que celle que nous avons tirée précédemment lors de l'examen du caractère de répartition de la différence $\gamma_s - \gamma_c$. Il y a un complet accord qualitatif. En effet, tous les vecteurs $\Delta\eta_{t=0}$ sont orientés de préférence au nord ou nord-est. Vers le Sud, la valeur de ces vecteurs croît sensiblement et on observe une certaine diminution uniquement au point le plus méridional du profil Soumi-Kherson à Dariévka. La forte augmentation des anomalies $\Delta\eta$ dans la direction sud-est suivant le profil Kiev-Artemovsk attire l'attention. La plus grande des dix anomalies apparaît à Karlo-Libknekhtovska. Apparemment la grande valeur de l'anomalie $\Delta\eta$ en ce point est due à des particularités spécifiques de la structure de l'écorce terrestre dans la région de Donbass. Cette hypothèse est confirmée par les résultats des observations clinométriques effectuées par E.I. Evtouchenko au point Torès (Tchistiakovo) en 1960-1966. Les valeurs préliminaires γ et κ obtenues pour ce point indiquent que l'anomalie $\Delta\eta$ y est même plus grande qu'à Karlo-Libknekhtovska et constitue environ 50 % de toute l'inclinaison de marée [8].

En résumant l'examen des résultats préliminaires de la détermination des inclinaisons $\Delta\eta$ suivant les deux profils, on peut tirer la conclusion que les zones de profondes fractures perturbent de façon importante la déformation de marée normale de la surface de la Terre sur les territoires qui leur sont contigus.

BIBLIOGRAPHIE

1. W.D. LAMBERT
Report on Earth Tides 1936-1938,
Spec. Publ. N° 223, US Coast and Geod. Surv., Washington, 1940.
2. R. TOMASCHEK
Harmonic analysis of tidal Gravity experiments at Peebles and Kirklington,
Mon. Not., Geophys. Suppl., vol. 6, N° 5, 1952.
3. P.S. MATVEEV
L'étude des anomalies des Inclinaisons de marée de la surface terrestre en Ukraine,
BIM, N° 34, Bruxelles, 1963.
4. P.S. MATVEYEV
Anomalies des inclinaisons de marées de la surface de la terre à Poltava, Shmakovo et Ingoulets.
Publ. Dynamique de l'écorce terrestre. Edit. Naouka, M. 1965.
5. P.S. MATVEYEV
Sur la possibilité d'utiliser les résultats des observations clinométriques pour l'étude des particularités de la structure de l'écorce terrestre.
Publ. "Rotation et déformations dues aux marées de la Terre". Edit. Naoukova Doumka " K, 1969 (sous presse).
6. O.V. TCHOUPROUNOVA
Résultats des observations clinométriques à Simféropol.
Publ. Rotation et déformations de marées de la Terre "Edit. Naoukova Doumka, K. 1969 (sous presse)
7. Z.N. AKSENTIEVA, Y.A. DITCHKO, P.S. KORKA. TCHAN VAN NIAK
Résultats préliminaires des observations clinométriques à Inkerman.
Publ. Rotation et déformations de marées de la Terre. Edit. Naoukova Doumka K. 1959 (sous presse).
8. E.Y. EVTOUCHENKO
Résultats des observations clinométriques à Donbasse pour 1960 "Marées terrestres"
Edit. Naoukova Doumka " K 1966. .